

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA GABRIELA DA SILVA ANTHERO



ESTUDO DO PROCESSO DE MALTEAÇÃO DA AVEIA (*Avena sativa*)

CURITIBA

2017

ANA GABRIELA DA SILVA ANTHERO

ESTUDO DO PROCESSO DE MALTEAÇÃO DA AVEIA (*Avena sativa*)

Dissertação apresentação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos, no Curso de Pós-Graduação de Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof^a Dr^a Regina Maria Matos Jorge
Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Mário Matos Jorge

CURITIBA

2017

A627

Anthero, Ana Gabriela da Silva

Estudo de processo de malteação da aveia (*Avena sativa*). / Ana Gabriela da Silva Anthero. – Curitiba, 2017.

108 f.: il.; tabs. : color. : 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-Graduação de Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profª Drª Regina Maria Matos Jorge

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Mário Matos Jorge

Bibliografia: p.101-108.

1. Aveia. 2. Malte. 3. Engenharia de Alimentos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Jorge, Regina Maria Matos. III. Título.
CDD 663.42

ANA GABRIELA DA SILVA ANTHERO

ESTUDO DO PROCESSO DE MALTEAÇÃO DE AVEIA (*Avena sativa*)

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientadora:


Prof.^a Dr.^a REGINA MARIA MATOS JORGE
UFPR/Setor de Tecnologia - PPGEAL


Prof. Dr. MARCELO KAMINSKI LENZI
UFPR/Setor de Tecnologia - PPGEQ


Prof.^a Dr.^a CRISTIANE VIEIRA HELM
EMBRAPA/Florestas, Colombo-PR

Curitiba, 24 de fevereiro de 2017.

Dedico este trabalho à minha mãe pelo apoio mútuo,
sendo meu porto seguro e o amor da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força e sabedoria durante essa jornada, sem ele nada sou.

A minha mãe devo tudo que sou por isso dedico à senhora esse trabalho. Obrigada de coração pelas orações, seu amor e apoio incondicional, saiba que a senhora é meu espelho, te amo mãezinha.

Ao meu pai agradeço por acreditar que um dia eu chegaria até aqui, obrigada pelo apoio e principalmente por não me deixar desistir, te amo muito.

A minha família, avô, tios e tias, muito obrigada pelo incentivo nessa jornada.

Ao meu irmão Victor, minha cunhada Renata e meus sobrinhos Lara e Samuel, por todo apoio e carinho durante essa caminhada.

Ao meu amor Junior, pela paciência, amor e por toda ajuda nos experimentos, e por ser minha calma nos momentos difíceis, sou eternamente grata a Deus por te colocado você em minha vida.

Agradeço meus orientadores Dr. Regina e professor Dr. Luiz Mário pela oportunidade de trabalho, pela confiança e por todo apoio durante o mestrado.

Aos Professores Patrício Peralta e Noemi Nagata e sua aluna Bianca do Amaral, muito obrigada por toda atenção e apoio para realização deste trabalho.

Aos membros de banca, Marcelo Lenzi e Cristiane Helm por terem aceito o convite para participar da defesa e pelas contribuições realizadas ao trabalho.

À Fabiane Bach, amiga que o mestrado trouxe pra mim, muito obrigada pela ajuda nos experimentos, pela amizade e por sempre estar disposta a me ajudar.

Obrigada Fernanda Mattioda e Ithiara Dal Ponte pelo companheirismo, pela participação mútua neste trabalho, pelas correções, pelas palavras de conforto e apoio durante os momentos que mais precisei.

As minhas amigas que levarei pra sempre comigo, Fran, Cris, Tati e Luana muito obrigada por todo apoio, pela companhia e amizade.

Agradeço a Beatriz Souza e a Francieli Begnini pela amizade e pelo apoio nas análises de atividade enzimática.

Aos meus amigos do laboratório de Engenharia de Processos de Sistemas Particulados, Fernanda, Ithiara, Rayssa, Cristiane, Viviane, Thaisa, Chacon, Geovana, Guilherme, Danielli e Gabriel, agradeço de coração por toda ajuda, pelo

conhecimento compartilhado, por tornarem as horas no laboratório mais alegres, saibam quem sem a ajuda de vocês esse trabalho não seria possível.

Aos meus parceiros de pesquisa, meus alunos de iniciação, Paulo e Jardel, pelas horas e horas que me ajudaram no laboratório, pela paciência que tiveram comigo e pelo interesse em aprender.

Aos técnicos de laboratório, Walderson, Marcelo, Patrícia e Andréa, muito obrigada pela ajuda com as análises e por cederem espaço para realização da pesquisa.

Agradeço a Empresa SL Alimentos, em especial a Raceli Sandrin por ter cedido as amostras de Aveia e a Empresa Embrapa Florestas pela oportunidade de realização parcial das análises.

Ao Centro de Microscopia eletrônica da UFPR.

A Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos pela oportunidade de realização do mestrado.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro.

Por fim, agradeço todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram na realização deste trabalho.

“Ama-se mais o que se conquista com esforço.”

Benjamin Disraeli.

RESUMO

A aveia é um cereal com propriedades nutricionais específicas e quando é submetida ao processo malteação pode aumentar os teores de compostos bioativos e seu valor nutricional. A importância do malte de aveia é que o mesmo pode ser utilizado em pães, biscoitos, bebidas fermentadas e na fabricação de cervejas. O propósito deste estudo foi estudar o processo de obtenção de malte de aveia dos cultivares IPR Afrodite e URS CORONA para potencializar seu uso na indústria de alimentos. O estudo foi conduzido pela caracterização do grão de aveia, avaliação da cinética de maceração; determinação do potencial germinativo e o poder de germinação; e por fim caracterização dos maltes de aveia obtidos. A aveia IPR Afrodite apresentou maior teor de amido (42%) e de lipídios (5,26 %), em contrapartida, o cultivar URS CORONA apresentou maior teor de fibras. O processo de maceração (hidratação) foi realizado nas temperaturas 10, 15, 20 e 25 °C. As cinéticas mostraram que os cultivares de aveia apresentam duas fases de hidratação, caracterizadas pelas forças capilares e pela difusão. O regime de hidratação observado foi caracterizado como absorção de água distribuída pelo grão de aveia. Os modelos matemáticos empíricos usados para descrever o comportamento cinético apresentaram ajustes satisfatórios, no qual os coeficientes de determinação para as isotermas ajustadas por Peleg e Weibull apresentaram valores de R^2 superiores a 90%, baixos valores de RMSE (<5%) e P (<10%). Os modelos fenomenológicos indicaram melhor ajuste para o modelo de Difusão. O Coeficiente difusivo aumentou com o acréscimo da temperatura de hidratação. Os maltes de aveia apresentaram diferenças em sua estrutura química e morfológica, devido ao processo de germinação. Quanto aos teores de açúcares redutores, compostos bioativos e atividade antioxidante, os maltes apresentaram valores superiores aos do grão de aveia *in natura*, para ambos os cultivares, e valores semelhantes para o malte de cevada comercial, exceto para o teor de açúcares redutores, pois no malte comercial foi determinado um alto teor. Contudo, constatou-se que as temperaturas de hidratação contribuíram para as mudanças ocorridas na estrutura, composição química e morfológica dos maltes de aveia.

Palavras-chaves: Malte de aveia. Cinética de hidratação. Atividade Antioxidante.

ABSTRACT

The oat grain is a cereal with specific nutritional properties and when subjected to the malting process can increase the contents of bioactive compounds and their nutritional value. The importance of oat malt is that it can be used in breads, biscuits, fermented beverages and brewing. The purpose of this study was to study the process to obtain of oat malt from the cultivars IPR Aphrodite Afrodite and URS CORONA to enhance its use in the food industry. The study was conducted provided by the characterization of the oat grain, evaluation of the maceration kinetics; Determination of germination potential and germination power; and finally characterize the obtained oats malt. The IPR Afrodite oats presented higher starch content (42%), lipids (5.26%) in contrast, the cultivar URS CORONA presented higher fiber content. The maceration process (hydration) was carried out at temperatures 10, 15, 20 and 25 ° C. The experimental hydration Kinetic showed that oat cultivars present two different phases depending of the dynamic behavior of the of hydration phase , characterized by capillary forces and diffusion. In addition, an absorption of water by distributed grain was observed. The empirical mathematical models used to describe the behavior had satisfactory adjustments, in which the determination coefficients for the isotherms adjusted by Peleg and Weibull presented R^2 values higher than 90%, lower values of RMSE (<5%) and P (<10 %). The phenomenological models indicated a better fit for the diffusion model. The diffusive coefficient increased the increase of the hydration temperature. The oat malt presented differences in their chemical and morphological structure due to the germination process. Regarding the reductive sugars, bioactive compounds and antioxidant activities, the malts had values slightly higher than the oat grain *in natura*, for both cultivars, but similar values for commercial barley malt, except for the reducing sugars content. The results obtained in this work showed that the hydration temperatures contributed to the changes in the structure, chemical and morphological composition of the oats malt.

Keywords: Oat Malt.Kinetic hydration. Antioxidant activities.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - GRÃO DE AVEIA E DETALHES DAS SUAS SEÇÕES LONGITUDINAL E TRANSVERSAL	19
FIGURA 2 - ETAPAS DO PROCESSAMENTO DO GRÃO DE AVEIA	24
FIGURA 3 - A) AVEIA BRANCA COM CASCA; B) AVEIA BRANCA DESCASCADA C) AVEIA EM FLOCOS GRANDES; D) AVEIA EM FLOCOS MÉDIOS; E) FARINHA DE AVEIA BRANCA; F) FARELO DE AVEIA BRANCA.	26
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MALTEAÇÃO DA AVEIA	27
FIGURA 5 - AVEIA BRANCA (IPR AFRODITE) GERMINADA	29
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE HIDRATAÇÃO NA FORMA CONCENTRADA (A) E DISTRIBUÍDA PARA O GRÃO DE AVEIA (B)	37
FIGURA 7 – ESTRUTURA QUÍMICA DO ÁCIDO CAFÉICO.	43
FIGURA 8 – ESTRUTURA QUÍMICA DO ÁCIDO P- CUMÁRICO.	43
FIGURA 9 – ESTRUTURA QUÍMICA DO ÁCIDO FERÚLICO	43
FIGURA 10 – DIAGRAMA COM AS ANÁLISES REALIZADAS NO TRABALHO.	47
FIGURA 11 - IMAGENS DA ESTRUTURA DA AVEIA IPR AFRODITE	62
FIGURA 12 - IMAGENS DA ESTRUTURA DA AVEIA URS CORONA	63
FIGURA 13 - CURVAS CINÉTICAS DE HIDRATAÇÃO EM DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR IPR AFRODITE).....	66
FIGURA 14 - CURVAS CINÉTICAS DE HIDRATAÇÃO EM DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR URS CORONA).....	67
FIGURA 15 - REGIME DE HIDRATAÇÃO- HIDRATAÇÃO COM CORANTE (35 °C) CULTIVAR URS CORONA	68
FIGURA 16 - MODELO CINÉTICO DE PELEG AJUSTADO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR IPR AFRODITE).....	69
FIGURA 17 - MODELO CINÉTICO DE PELEG AJUSTADO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR URS CORONA).....	69
FIGURA 18 - MODELO CINÉTICO DE WEIBULL AJUSTADO EM DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR IPR AFRODITE).....	70
FIGURA 19 - MODELO CINÉTICO DE WEIBULL AJUSTADO EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO (CULTIVAR URS CORONA).	70
FIGURA 20 - MODELO PARÂMETROS CONCENTRADOS (CULTIVAR IPR AFRODITE). 76	
FIGURA 21 - MODELO PARÂMETROS CONCENTRADOS (CULTIVAR URS CORONA). 76	
FIGURA 22 - MODELO DE DIFUSÃO (CULTIVAR IPR AFRODITE).....	76
FIGURA 23 - MODELO DE DIFUSÃO (CULTIVAR IPR AFRODITE).....	76

FIGURA 24 - ILUSTRAÇÃO DO ESQUEMA DE MACERAÇÃO (HIDRATAÇÃO) DO GRÃO DE AVEIA (AVENA SATIVA)	80
FIGURA - 25 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DOS GRÃOS GERMINADOS	81
FIGURA 26 - ESPECTROS FTIR DAS AMOSTRAS DE MALTE E AVEIA IN NATURA.	82
FIGURA 27 - IMAGENS MICROSCÓPICAS DOS MALTES DE AVEIA, AVEIA IN NATURA E PARA O CULTIVAR URS CORONA. AMPLIAÇÕES DE 2 KX E 9.00 KX DA ESQUERDA PARA DIREITA.....	84
FIGURA 28 - IMAGENS MICROSCÓPICAS DOS MALTES DE AVEIA, AVEIA IN NATURA PARA O CULTIVAR IPR AFRODITE E O MALTE CEVADA COMERCIAL. AMPLIAÇÕES DE 2 KX E 9.00 KX DA ESQUERDA PARA DIREITA.....	85
FIGURA 29 - CAMADA DA ALEURONA DA AVEIA MALTADA.....	86
FIGURA 30 - GRÂNULOS DE AMIDO DE ARROZ GERMINADO.....	87
FIGURA 31 - COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS.....	93
FIGURA 32 - ANÁLISE DE DPPH	93
FIGURA 33 - ANÁLISE DE ABTS.....	93
FIGURA 34 - ANÁLISE DE FRAP.....	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRODUÇÃO NACIONAL DE AVEIA BRANCA NA SAFRA DE 2013/2014.	17
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AVEIA.....	22
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AVEIA.....	23
TABELA 4 A - ESTUDOS CINÉTICOS DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS EMPÍRICOS	34
TABELA 4 B- ESTUDOS CINÉTICOS DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS EMPÍRICOS	35
TABELA 5 A- ESTUDOS DE CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS	39
TABELA 5 B- ESTUDOS DE CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS FENOMENOLÓGICOS.....	40
TABELA 6 – VALORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO GRÃO DE AVEIA E SUAS FRAÇÕES.....	44
TABELA 7 - MODELOS MATEMÁTICOS EMPÍRICOS	51
TABELA 8- COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS CULTIVARES DA AVEIA BRANCA.....	60
TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS CULTIVARES IPR AFRODITE E URS CORONA.....	63
TABELA 10 - QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA NAS DIFERENTES TEMPERATURAS E FASES OBSERVADAS DURANTE A HIDRATAÇÃO DOS CULTIVARES DE AVEIA.....	67
TABELA 11- PARÂMETROS CINÉTICOS DOS AJUSTES PELOS MODELOS EMPÍRICOS	71
TABELA 12 - EQUAÇÕES DOS PARÂMETROS DOS MODELOS PELA LEI DE ARRHENIUS	74
TABELA 13 – MODELOS GENERALIZADOS PARA O CULTIVARES IPR AFRODITE E URS CORONA	75
TABELA 14 – AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS FENOMENOLÓGICOS.....	77
TABELA 15 – RESULTADO DO POTENCIAL GERMINATIVO E PODER GERMINATIVO DOS CULTIVARES IPR AFRODITE E URS CORONA	80
TABELA 16 – NOMENCLATURA DOS MALTES E TEOR DE UMIDADE(%).....	81
TABELA 17 – AÇÚCARES REDUTORES (MG.L ⁻¹)	88
TABELA 18- EQUAÇÕES DA CURVA DE CALIBRAÇÃO DOS COMPOSTOS PADRÕES PAR QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS.....	90
TABELA 19 – TEORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS QUANTIFICADOS POR CLAE (CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA)	91

LISTA DE SÍMBOLOS

D_0	Constante de proporcionalidade
D_{ef}	Coefficiente de difusão efetivo
E_a	Energia de ativação
GLR	Grau de liberdade
k_1	Constante de velocidade de transferência de massa do modelo de Peleg
k_2	Constante de capacidade de Absorção de água
k_s	Coefficiente convectivo de transferência de massa
N	Número de observações
N_A	Fluxo mássico de água
P	Erro médio relativo
R	Constante universal dos gases
r	Raio do grão
R^2	Coefficiente de determinação
RMSE	Raiz quadrada média do erro
SE	Estimativa do desvio padrão
T	Temperatura
t	Tempo
U	Umidade
U_0	Umidade inicial
U_{bu}	Umidade em base úmida
U_{eq}	Umidade de equilíbrio
U_s	Umidade de saturação
U_t	Umidade no instante de tempo t
V	Volume do grão
α	Parâmetro de escala (capacidade de absorção)
β	Parâmetro de forma (velocidade de absorção)
ρ	Densidade
ρ_A	Concentração média de água no grão
ρ_{A0}	Concentração inicial de água no grão
ρ_{eq}	Concentração de água no grão no equilíbrio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 GRÃO DE AVEIA	16
2.1.1 Histórico	16
2.1.2 Produção mundial, nacional e regional.....	17
2.1.3 Estrutura.....	18
2.1.4 Principais Cultivares	19
2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	20
2.3 PROCESSAMENTO DO GRÃO DE AVEIA PARA OBTENÇÃO DE PRODUTOS	24
2.4 PROCESSO DE MALTEAÇÃO	27
2.5 PARÂMETROS QUE INFLUÊNCIAM NO PROCESSO NA HIDRATAÇÃO DOS ALIMENTOS.....	30
2.5.1 Aplicação de modelos matemáticos em processo de hidratação dos alimentos	32
2.6 ATIVIDADE ENZIMÁTICA.....	41
2.7 COMPOSTOS FENÓLICOS E atividades ANTIOXIDANTES DA AVEIA.....	42
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
3 MATERIAL E MÉTODOS	46
3.1 AMOSTRAS	46
3.2 DIAGRAMA SEQUENCIAL DA REALIZAÇÃO DAS etapas do projeto.....	47
3.3 CARACTERIZAÇÃO química DA AVEIA <i>in natura</i>	48
3.3.1 Teor de Umidade e Cinzas.....	48
3.3.2 Teor de proteínas	48
3.3.3 Teor de lipídios totais	48
3.3.4 Teor de amido	49
3.3.5 Teor de fibra bruta.....	49
3.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (Mev)	49
3.4 CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO da aveia <i>in natura</i>	49
3.4.1 Regime de hidratação	50

3.4.2 Determinação das dimensões, do volume e densidade	50
3.4.3 Aplicações de modelos no processo de hidratação	50
3.5 OBTENÇÃO DO MALTE DE AVEIA	53
3.5.1 Hidratação	53
3.5.2 Germinação	53
3.5.3 Secagem da aveia germinada	54
3.5.4 Moagem e Armazenamento	55
3.6 caracterização do malte de aveia	55
3.6.1 Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier (FTIR)	55
3.6.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	55
3.6.3 Teor de açúcares redutores	56
3.6.4 Extração dos compostos fenólicos	56
3.6.5 Análise de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)	56
3.6.6 Determinação dos compostos fenólicos totais	57
3.6.7 Avaliação da atividade antioxidante (AA)	57
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1 CARACTERIZAÇÃO dos cultivares de aveia <i>IN NATURA</i>	60
4.1.1 Composição Centesimal	60
4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	61
4.1.3 Considerações gerais do Item 4.1	64
4.2 COMPORTAMENTO CINÉTICO DA HIDRATAÇÃO DO GRÃO DE AVEIA	64
4.2.1 Cinética de hidratação dos cultivares de aveia IPR Afrodite e URS CORONA e Regime de hidratação	64
4.2.2 Ajustes de Modelos Matemáticos	69
4.2.3 Considerações Gerais	79
4.3 OBTENÇÃO DOS MALTES DE AVEIA	79
4.3.1 Germinação	80
4.3.2 Secagem dos grãos germinados	81
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO MALTE DE AVEIA	82
4.4.1 Análises de Espectroscopia FTIR	82
4.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	83
4.4.3 Teor de açúcares redutores	87
4.4.4 Análise de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)	89

4.4.5 Compostos Fenólicos Totais e Capacidade Antioxidantes.....	92
4.4.6 Análise de Componentes Principais (ACP)	95
4.4.7 Considerações Gerais	97
5 CONCLUSÃO-	99
REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

Desde 2011, a Política Nacional de Alimentação e Nutrição (PNAN) divulga e incentiva a população a obter hábitos mais saudáveis visando melhorar a nutrição dos indivíduos, a redução da obesidade e principalmente a prevenção de doenças relacionadas à alimentação não saudável (PNNA, 2011).

A aveia (*Avena sativa*) é um cereal presente na alimentação humana, pois é fonte de fibras, compostos bioativos e ácidos graxos essenciais. O consumo desse cereal está relacionado com redução do índice glicêmico, colesterol e riscos de doenças cardiovasculares (FAO, 2003; DAOU; ZHANG, 2012).

O cereal aveia é um alimento promissor para a dieta alimentar saudável, pois possui propriedades funcionais específicas e pode ser encontrada na forma de farinha e/ou farelo para preparo de mingaus, elaboração de bolos e biscoitos.

Outra maneira de consumir a aveia é na forma de malte. Para obter o malte, o grão de aveia precisa atingir de 35-40% de umidade no processo de hidratação, seguir para germinação e por fim, a secagem. De acordo com TIAN et al., (2010) quando o grão está na forma de malte possui um valor nutricional agregado. Isso ocorre em virtude do aumento dos compostos fenólicos e da redução dos fatores anti-nutricionais.

Como a hidratação antecede à germinação, na etapa de hidratação o grão deve atingir, em um determinado tempo, a umidade requerida sem afetar a atividade biológica no processo de germinação. Sendo assim, é de suma importância conhecer a dinâmica com que esse processo acontece e estudar novas temperaturas de processo, diferentes das que são sugeridas para produzir o malte cevada.

Para avaliar a dinâmica, otimizar o processo e assim elucidar o efeito das temperaturas de hidratação na qualidade do produto obtido o presente estudo utilizou modelos empíricos e fenomenológicos para caracterizar o comportamento da aveia frente ao processo de hidratação. Além disso, o trabalho buscou correlacionar às características do grão e do malte obtido, para potencializar o uso da aveia também na forma de malte em produtos alimentícios.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de obtenção do malte de aveia (*Avena sativa* L.) para potencializar seu uso na indústria de alimentos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as sementes de Aveia *in natura* quanto às suas propriedades físico-químicas e morfológicas;
- Estudar o comportamento cinético de hidratação da aveia em batelada, e avaliar o efeito de diferentes temperaturas;
- Avaliar os modelos cinéticos, empíricos ou fenomenológicos, que melhor descrevem o comportamento de hidratação do grão de aveia;
- Avaliar o efeito da temperatura de maceração na germinação dos grãos de aveia através do poder germinativo e potencial germinativo;
- Obter o malte de aveia após a secagem em batelada dos grãos germinados;
- Caracterizar o malte de aveia obtido por diferentes temperaturas de hidratação quanto à sua composição química, concentração de açúcares redutores, teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 GRÃO DE AVEIA

2.1.1 Histórico

Relatos históricos mostram que a produção da aveia teve origem na Idade Média. Os cereais cultivados no inverno eram o trigo, o centeio e a cevada, no entanto, ao chegar à primavera, o cultivo da cevada cedeu espaço para a aveia, a qual era destinada à alimentação animal e também para o consumo humano (MAZOYER; ROUDART, 2010).

A aveia (*Avena spp.*) pertencem à família Poaceae (antiga família das gramíneas), subfamília *Pooideae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*. Por sua vez, são plantas de clima temperado capazes de suportar baixas temperaturas, e por isso são consideradas culturas de inverno. A aveia pode ser utilizada para alimentação humana, animal e também é destinada a forragem e cobertura do solo (BRASIL, 2012; EMBRAPA, 2012).

As principais espécies cultivadas são a aveia branca (*Avena sativa*) e a aveia amarela (*Avena byzantina*), ambas apresentam folhas largas e colmos grossos, enquanto a aveia preta (*Avena strigosa*) possui folhas estreitas e colmos finos (BRASIL, 2012).

2.1.2 Produção mundial, nacional e regional

No que se refere à produção de aveia, registros revelaram que no ano de 2014 a União Europeia produziu cerca de 8 milhões de toneladas ficando à frente da Rússia (4,93 MM t) e Canadá (3, 89 MM t). Enquanto isso, nesse mesmo ano, o Brasil atingiu uma produção de 0,38 (MM t), ficando entre os três maiores produtores de aveia da América do Sul (EMBRAPA, 2014).

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015) previu um aumento de 23,8% na área de aveia cultivada no Brasil, sendo esta a responsável pela segunda maior área plantada entre as culturas de inverno, ficando apenas atrás do trigo, nesse contexto, verifica-se que o estado do Rio Grande do Sul apresentou maior área de plantio com uma produção estimada de 248,6 mil toneladas de aveia no ano de 2014, sendo o estado responsável por 80% de aveia produzida no Brasil, ficando à frente do Paraná e do estado do Mato Grosso do Sul. Ao estado do Paraná foi estimado um crescimento de 21,3% de área de aveia plantada com produção de 421 mil toneladas de grãos de aveia em 2014, conforme dados exibidos na Tabela 1 (IBGE, 2013; CONAB, 2015).

TABELA 1 - PRODUÇÃO NACIONAL DE AVEIA BRANCA NA SAFRA DE 2013/2014.

Estado	Área Colhida (mil ha)	Produção (t)
Mato Grosso do Sul	5,9	10,0
Rio Grande do Sul	61,7	113,0
Paraná	102,5	274,9
Total	170,1	397,9

FONTE: adaptada de CONAB (2014) (v.1, N.7, Abril, 2014). Elaboração: Embrapa Trigo/ Socioeconomia (2014).

No Paraná, as regiões que se destacaram na safra de 2014, pela produtividade significativa da cultura de aveia foram o noroeste (61.950 mil t) do estado, seguida pela região sul (10. 150 mil t) e o oeste com 9.750 mil toneladas (EMBRAPA, 2014).

Enquanto isso, dados mais recentes do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) mostrou que a aveia atingiu uma produção de 776.338 toneladas no mês de do ano de 2016, aumento de 2,6% frente ao mês anterior, no Estado do Paraná (IBGE, 2016).

2.1.3 Estrutura

O grão de aveia é uma cariopse definida como fruto-semente onde parte do fruto está junto à semente, a qual é constituída pelo germe e endosperma, encobertos pelas camadas aleurona e revestimentos epidérmicos (pilosidade), e casca.

A cariopse apresenta forma semicilíndrica com leves afinações nas extremidades. A casca é constituída por celulose e hemicelulose, e em menor porcentagem de lignina. Durante o processo de desenvolvimento da aveia, a casca tem a função de revestimento protetor, e ainda, contribui para o transporte de nutrientes. No entanto, a mesma enrijece após a maturação do grão tornando-se imprópria para consumo humano, devendo ser removida durante os processamentos e/ou beneficiamento do grão (GULVADAY; BROWN; BELL, 2014).

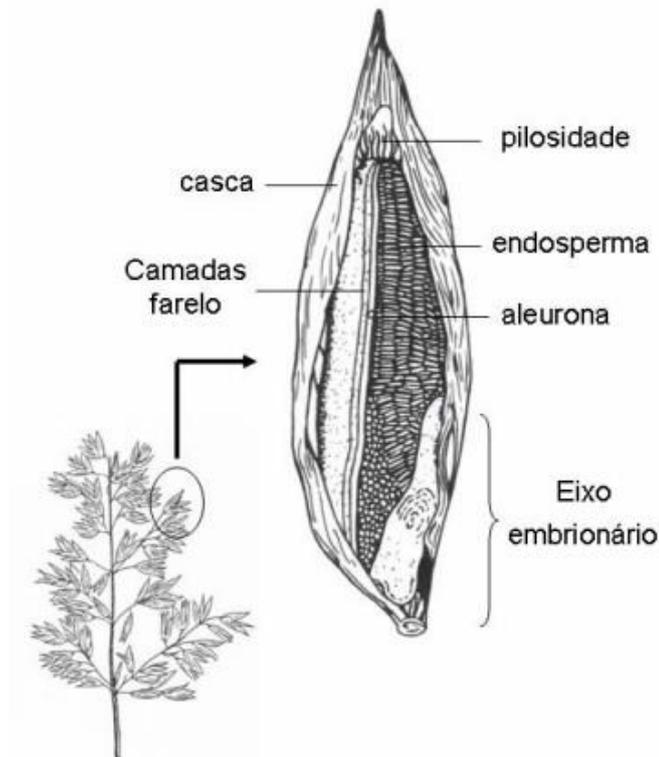
As camadas do farelo da aveia consistem em uma parte externa com a presença do pericarpo e do tegumento, que são remanescentes do tecido do desenvolvimento embrionário. Essas camadas são formadas por carboidratos complexos, pelas fibras, e também compostos fenólicos. A segunda região é uma camada única de células chamada aleurona (HENRY; KETTLEWEL, 1996).

A parede celular desta camada contém β -glucanas e compostos fenólicos. Em seu interior a segunda camada é rica em corpos proteicos contendo depósitos de fitina, niacina, compostos fenólicos e carboidratos. As proteínas presentes nesta camada são rodeadas por estruturas lipídicas. A camada aleurona em conjunto com a camada sub-aleurona contém numerosos corpos proteicos e alguns grânulos de amido os quais formam a interface entre o farelo e o endosperma amiláceo (HENRY; KETTLEWEL, 1996).

A região que predomina na semente da aveia é o endosperma amiláceo. Este, por sua vez, representa 55-80% da mesma, e, além da presença do amido, contém proteínas, lipídios e enzimas lipolíticas e amilases (SERNA-SALDIVAR, 2010).

A estrutura do grão de aveia pode ser observada na Figura 1.

FIGURA 1 - GRÃO DE AVEIA E DETALHES DAS SUAS SEÇÕES LONGITUDINAL E TRANSVERSAL



FONTE: DOEHLERT E McMULLEN (2000).

2.1.4 Principais Cultivares

No Brasil, há informações que o cultivo da *Avena sativa* é realizado desde 1940, embora até 1970 a área de plantio foi pequena devido às dificuldades de adaptação das cultivares frente às condições climáticas do país. Antes dos anos 70, os cultivares de aveia branca eram provenientes do Uruguai e da Argentina, no entanto, as mesmas também apresentavam problemas para adaptação e conseqüentemente resultavam em baixo rendimento de produção, com produtos com qualidade inferior (PRIMAVESI; GODOY; SOUZA, 2006).

Devido aos problemas enfrentados no plantio da aveia na década de 80 no Sul do país, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Universidade de Passo Fundo (UPF) deram início às pesquisas de melhoramento genético dessa cultura por meio de introdução de linhagens e populações segregantes provenientes de Wisconsin, nos Estados Unidos (BARBOSA NETO et al., 2000).

Atualmente a aveia é uma das principais culturas do Sul do Brasil, tendo destaque no Rio Grande do Sul e no Paraná, embora seja cultivada também no estado do Mato Grosso do Sul. O objetivo de diversificação na exploração agrícola favorece o aumento na área de cultivo de forma expressiva, em vista da necessidade de alternativas para rotação de culturas (LÂNGARO; CARVALHO, 2014; EMBRAPA, 2012).

Segundo informes do Ministério de Agricultura, Agropecuária e Abastecimento (2016) há 20 registros de cultivares da espécie *Avena sativa* no Brasil, sendo essas: Fronteira, IPR Afrodite, IPR Artemis, IPR Esmeralda, IPR Suprema, Milton, UPFA GAUDÉRIA, UPF OURO, UPFPS FARROUPILHA, URS ALTIVA, URS BRAVA, URS CORONA, URS ESTAMPA. URS F GALOPE, URS GUAPA, URS GUARÁ, URS Tarimba, URS Taura, URS TORENA e URSFAPA SLAVA.

2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Segundo Ames, Rhymer e Storsley (2014), os grãos de aveia se destacam pelo seu uso na alimentação humana em virtude do valor nutricional agregado. Esse cereal possui um teor elevado de proteínas, amido, ácidos graxos insaturados, fibras alimentares (β - glucanas) e enzimas. Os teores da composição química podem variar conforme os genótipos e o processamento do grão de aveia.

Proteínas

O menor teor de proteínas encontrado na literatura foi na pesquisa de Fujita e Figueroa (2003) em que flocos de aveia apresentaram um teor de 13, 29% e para a aveia tostada de 17,57 % (SÁ; FRANCISCO; SOARES, 1998) como mostra a Tabela 2. Outros autores preconizam que os teores proteicos do grão de aveia podem variar de 12-24%, sendo esse valor superior quando comparado aos demais cereais: trigo, centeio, arroz e milho. O grupo de proteínas que se apresentam majoritariamente no grão são as albuminas (44%) seguidas pelas globulinas (23%), e, em menor concentração as prolaminas (9%). A semente de aveia contém aminoácidos essenciais em sua composição química, cuja concentração de lisina relatada em estudo foi de 4,2 (g/100 g proteína), 2,5 (g/100 g proteína) de metionina e 1,3 (g/100

g proteína) do aminoácido triptofano (SERNA; SALDIVAR, 2010; AMES; RHYMER; STORSLEY, 2014).

Carboidratos

Dentre a composição de carboidratos presentes no grão de aveia, o amido é o que apresenta maior percentual, como mostra a Tabela 2. Os grânulos de amido presente na aveia possuem 24% de amilose e apresentam forma irregular, visto que pode existir na mesma semente grânulos com configuração poliédrica, semiesférica e oval (POMERANZ, 1995).

Quando se trata das propriedades de pasta desse polissacarídeo, sabe-se que o poder de inchamento e solubilidade são variáveis, pois esses são dependentes da temperatura. De maneira geral, os géis do amido de aveia na forma nativa são mais elásticos, adesivos e translúcidos, além disso, esse gel apresenta maior estabilidade à retrogradação quando comparado às pastas do amido nativo de trigo e de milho (POMERANZ, 1995; AMES; RHYMER; STORSLEY, 2014).

Lipídios

O teor lipídico dos grãos de aveia, relatado por Pedó (1960) apresenta uma média de 7,65 (g.100⁻¹g). Em estudo de Weber, Gutsiki e Elias (2002) foram determinados os teores dos principais ácidos graxos insaturados presente na aveia (cultivar UPF-18), contendo teores de 38,21% do ácido graxo oleico, 40,99% do linoleico e 1,75% do linolênico, sendo os dois últimos óleos essenciais para nutrição humana.

β- Glucanas

As β-glucanas são fibras solúveis constituídas por unidades D-glicose, estando presente em concentrações significativas no grão de aveia *in natura* (5%) (WELCH, 1995), no entanto, quando maltado os valores de β-glucanas reduzem significativamente, atingindo porcentagem de 1,32%, como mostra a Tabela 2. De acordo com Henry e Kettlewell (1996), tal valor é menor pois durante o processo de germinação a concentração das enzimas β-1,3 glucanases aumentam e essas hidrolisam as β-glucanas, tendo por resultado favorável a redução da viscosidade do mosto da cerveja.

Em contrapartida, esse polissacarídeo é de interesse para indústria de alimentos por ser considerado uma fibra alimentar e estar correlacionado com a redução dos níveis do colesterol do ser humano (AUTIO; SALMENKALLIO-MARTILLA, 2003).

Fujita e Figueroa, (2003) bem como Autio e Salmenkallio-Martilla (2003) verificaram que a quantidade de β-glucanas em produtos comerciais pode estar diretamente correlacionada com o cereal utilizado na formulação, uma vez que, produtos elaborados com farelo de aveia, biscoitos e pães, apresentaram maior teor de β-glucanas.

Na Tabela 2 é possível visualizar a composição química do grão de aveia *in natura*, tostado, sem casca, em flocos e maltado conforme diferentes autores.

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AVEIA

Composição Química (g/100 g)	Aveia com casca – Cultivar UPF-15 (PEDO, 1996)	Aveia tostada (SÁ; FRANCISCO; SOARES, 1998)	Aveia sem casca (SANDRIN, 2013)	Aveia (flocos) (FUJITA, FIGUEROA, 2003)	Aveia Maltada (SANDRIN, 2013)
Umidade	10,56	5,63	10,68	10,88	1,22
Proteína	15,08	17,57	15,68	13,29	16,98
Lipídios	7,5	8,67	6,24	5,57	7,68
Cinzas	1,73	1,74	1,94	1,62	1,84
B- glucanas	4,63	5,11	3,13	nd	1,32
Carboidratos totais	52,51	54,12	65,45	55,52	64,94

FONTE: À AUTORA (2016).

Micronutrientes

As vitaminas e os minerais também estão presentes na composição do grão de aveia, como mostra o estudo de Pedó (1996) exposto na Tabela 3. Apesar da ausência da Vitamina C (ácido ascórbico) e a da Vitamina B12 (cobalamina) como em outros cereais, outras vitaminas do complexo B, incluindo tiamina, riboflavina, niacina e a vitamina E (tocoferóis e tocotrienóis) podem ser encontradas no grão.

Os principais minerais a serem ingeridos pelo ser humano em quantidades de 100 mg/por dia são o cálcio, magnésio, potássio, fósforo e sódio, sendo estes também são encontrados na aveia (GULVADAY; BROWN; BELL, 2014).

TABELA 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AVEIA

Grão de Aveia com casca – Cultivar UPF-15	
	Vitaminas (mg.100⁻¹g)
Vitamina E	4,61
Tiamina	0,12
Riboflavina	0,02
Niacina	traços
	Minerais (mg.100⁻¹g)
Cálcio	48
Fósforo	270
Potássio	320
Sódio	23
Magnésio	120

FONTE: PEDÓ (1996).

Qualidade nutricional da Aveia

Gulvaday, Brown e Bell (2014) afirmam que os grãos de aveia apresentam uma quantidade significativa de nutrientes que apresentam benefícios para saúde humana. Quando comparados principais cereais como o milho, trigo e arroz, a aveia apresenta maior quantidade de proteínas, alguns micronutrientes, e, um teor considerável de fibras solúveis, a β -glucanas.

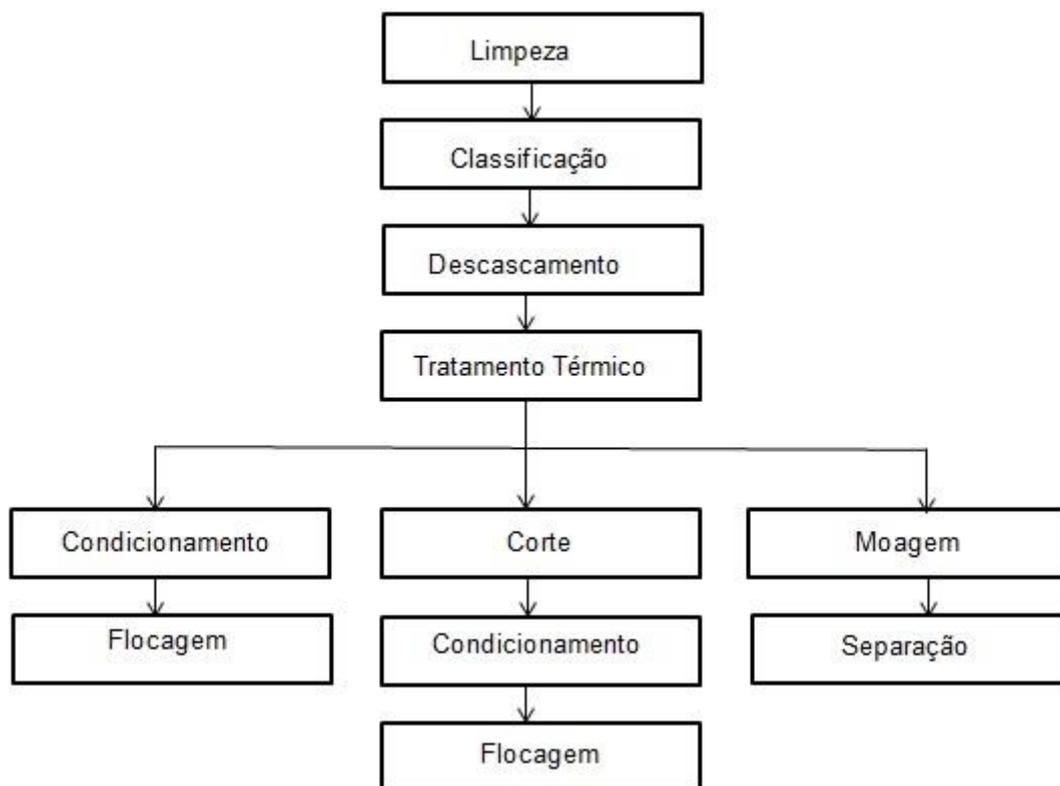
Diante da qualidade nutricional desse grão, em 1995 FDA (Food and Drug Administration – EUA) preconizou que a aveia é um alimento funcional. Em 1997, este mesmo órgão autorizou a rotulagem de produtos à base de aveia com as seguintes informações: "Dietas ricas em aveia ou farelo de aveia e pobres em gordura saturada e colesterol podem reduzir o risco de doenças coronárias". Produtos brasileiros com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde foram

reconhecidos e legalizados perante a legislação brasileira em 1999, conforme estabelecido nas Resoluções ANVS/MS nº 17/99 e 19/99 (ANVISA, 2012).

2.3 PROCESSAMENTO DO GRÃO DE AVEIA PARA OBTENÇÃO DE PRODUTOS

A Figura 2 exibe as etapas do processamento do grão de aveia para obtenção de produtos na forma de farinha, farelo e flocos.

FIGURA 2 - ETAPAS DO PROCESSAMENTO DO GRÃO DE AVEIA



FONTE: SANDRIN (2013).

Os grãos de aveia (FIGURA 3-A) ao chegarem à indústria precisam primeiramente ser limpos e classificados, uma vez que junto à aveia pode haver impurezas, outros tipos de grãos, oriundos do campo, como soja, trigo e aveia preta. Na sequência, a casca fibrosa que lhe confere uma textura firme a qual pode dificultar o processo de flocagem, deve ser removida (FIGURA 3-B) (YAN; FRÉGEAU-REID; FETCH, 2014).

Após o descascamento os grãos são submetidos ao tratamento térmico, tal etapa consiste em inativar as enzimas (lipases e lipoxigenases) e reduzir a água livre no

grão de 14% para aproximadamente 6%. A inativação de dessas enzimas se dá, pois elas são responsáveis pelo processo da rancidez oxidativa a qual tem por resultado o odor de ranço desagradável. Nesse processo utiliza-se altas temperaturas, que podem atingir até cerca de 90 °C, conferindo ao grão aroma “amendoado” garantindo produtos com maior vida útil (YAN; FRÉGEAU-REID; FETCH, 2014).

Nas etapas finais, a aveia, segue para a obtenção dos produtos. O processamento pode ocorrer em três segmentos distintos, a flocagem dos grãos inteiros, resultando em flocos de maior tamanho (FIGURA 3-C), que podem ser usados na produção de granola, na fabricação de pães e em barras de cereais. Quando cortados e depois flocados a partir dos grãos, obtêm-se os flocos médios e finos (FIGURA 3-D) os quais são destinados à produção de sopas e mingaus. Se esses mesmos flocos forem submetidos ao processo de moagem obtém-se a farinha (FIGURA 3-E) que pode ser utilizada em produtos de panificação e alimentos infantis. O farelo de aveia (FIGURA 3-F) é rico em β -glucanas, e é empregado na fabricação de pães e biscoitos, e tem como público alvo pessoas que apresentam altos níveis de colesterol (GANBMAN; VORWERCK, 1995).

FIGURA 3 - A) AVEIA BRANCA COM CASCA; B) AVEIA BRANCA DESCASCADA C) AVEIA EM FLOCOS GRANDES; D) AVEIA EM FLOCOS MÉDIOS; E) FARINHA DE AVEIA BRANCA; F) FARELO DE AVEIA BRANCA.

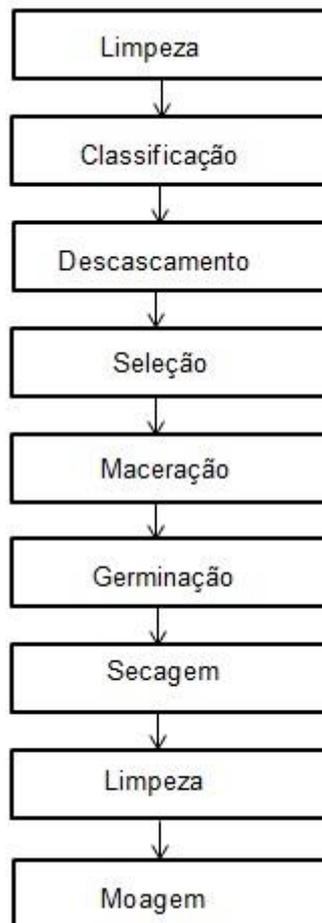


FONTE: SANDRIN (2013).

2.4 PROCESSO DE MALTEAÇÃO

A Figura 4 descreve as etapas do processamento da aveia para obtenção do malte.

FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MALTEAÇÃO DA AVEIA



FONTE: SANDRIN (2013)

Por definição, malte é o produto oriundo da germinação e posterior secagem do grão de cevada ou de outros cereais, no entanto, quando o malte não for obtido a partir da cevada deve ser designado como malte e mais o cereal o qual deu origem, como milho, trigo ou aveia (ANVISA, 1978). Sendo assim, o produto malte para o cereal usado neste estudo será designado como malte de aveia.

Na literatura o processo de malteação na maioria das vezes está ligado ao processamento da cevada, cereal amplamente utilizado para tal finalidade, sobretudo nas indústrias cervejeiras. No entanto, apesar do destaque para a cevada o malte pode ser obtido por demais fontes de cereais.

A malteação pode ser feita com qualquer outro cereal mesmo com a escassez de relatos literários. A seleção do cereal depende do poder diastásico (conversão do amido em açúcares redutores) e do valor econômico de cada cereal. Dentre os cereais utilizados na alimentação humana, destacam-se por apresentarem maior poder diastásico, nessa ordem, a cevada, centeio, trigo, aveia, milho e arroz (BRASIL, 1978; SERNA-SALDIVAR, 2010).

O processo de malteação da aveia agrega mais valor ao cereal e sabe-se que o malte de aveia pode ser utilizado na fabricação de pães, biscoitos, produtos de confeitaria e cereais matinais (POMERANZ, 1995).

Esse tipo de processamento confere à aveia propriedade sensorial específica como, sabor doce, aroma “amendoado” e textura firme (SANDRI, 2013). O extrato do malte de aveia pode melhorar as propriedades reológicas da farinha de trigo e contribuir para o aumento do volume específico dos pães (GUTSOKI et al. 2010).

O grão propício para malteação deve apresentar boa absorção de água durante o processo de maceração (hidratação), alto poder de germinação e alta atividade das enzimas amilolíticas (EVANS, 2001).

O processo de malteação consiste em três etapas principais: maceração, germinação e por fim a secagem. No entanto, antes de seguir para a maceração os grãos devem ser previamente limpos e submetidos ao processo de seleção para que tenham tamanhos uniformes (EVANS, 2001).

- Maceração

Nessa etapa os grãos são imersos em água a baixa temperatura, a água é difundida para interior do endosperma a onde ocorre a síntese de enzimas, as quais são responsáveis pelo processo de germinação (GIBSON, 2001).

O processo de maceração, também conhecido como hidratação ocorre em tanques de aço inoxidável e a água utilizada deve estar nos padrões de qualidade exigidos pela legislação vigente. A operação inicial consiste na imersão dos grãos em água à temperatura de 18 °C com agitação e temperatura controlada, essa operação pode durar até dois dias, a água deve ser periodicamente trocada durante o processo, até o grão deve atingir um teor de umidade de aproximadamente 40% (HENRY, KETTLEWELL, 1996; GIBSON, 2001).

- Germinação

Quando o grão atinge a umidade requerida durante a maceração é destinado às câmaras de germinação. Esse processo dura de 3 a 5 dias, a uma faixa de temperatura que varia entre 12°C e 19°C, e para evitar o superaquecimento do grão este deve ser inserido em um ambiente com umidade relativa do ar de 85 a 90% (GIBSON, 2001).

Durante a germinação as três raízes primárias da radícula começam a crescer e evoluir para as primeiras folhas e raízes. Entre o embrião e o endosperma encontra-se o escutelo que é responsável pela secreção de enzimas durante a germinação e está envolvido na transferência de nutrientes (MOORE-COLYER, 1995).

De acordo com Hosenev (1986) o crescimento de uma nova planta pode ser controlado pela umidade do grão, pois em baixas umidades o metabolismo não é ativado. Em altas temperaturas a taxa de crescimento da radícula é alta, em contrapartida, pode haver redução do desempenho das amilases e como consequência, obtem-se baixo rendimento do malte. Esse processo biológico pode ser bloqueado quando o acrospório tem o comprimento de um terço da semente, como pode ser visto na Figura 5.

FIGURA 5 - AVEIA BRANCA (IPR Afrodite) GERMINADA



FONTE: Á AUTORA (2016)

- Secagem

Após o fim do processo de germinação obtém-se o “malte verde” e é destinado à secagem. Tal processo exige cautela, pois é preciso remover a umidade do grão sem inativar as enzimas, uma vez que, estas são sensíveis ao calor quando o teor de água livre é alto. Dessa forma, para proteger as enzimas, o processo deve ocorrer a baixas temperaturas.

A secagem do grão procede em até três etapas, primeiramente, o grão é submetido a uma secagem a temperatura inferior a 40 °C, à medida que o grão é seco essa temperatura é aumentada não devendo ultrapassar os 60°C. Além da remoção da umidade, a secagem tem por finalidade ativar as reações de escurecimento no grão, como a reação de Maillard, agregando ao malte características sensoriais agradáveis, como cor e o aroma (KANNENBERG; FULAYTER, 1997; SANDRIN, 2013).

2.5 PARÂMETROS QUE INFLUÊNCIAM NO PROCESSO NA HIDRATAÇÃO DOS ALIMENTOS

O processo de hidratação pode ser utilizado na indústria com algumas finalidades, como por exemplo, cozimento das leguminosas para gelatinização do amido e geleificação das proteínas; obtenção do malte para fabricação das cervejas e aplicação em produtos de panificação; processo de parbolização do arroz, além de facilitar a remoção da película do grão para posterior processamento (DERYCKEA et al. 2005; KHAZAE; MOHAMMADI, 2009; YILDIRIM; ONER; BAYRAM, 2011; MONTANUCCI et al., 2014).

Segundo Paquet-Durand et al. (2015) as propriedades cinéticas de absorção de água pelos alimentos são requisitos chave de muitas substâncias e ingredientes alimentares, pois a velocidade desse fenômeno pode definir o comportamento físico-químico e a vida útil dos produtos alimentícios.

A hidratação consiste na transferência de água para o interior do grão, processo que ocorre pelo fluxo mássico das moléculas de água. Nesse transporte há sempre uma força motriz que gera o fluxo de massa, também designado como fluxo de difusão mássica (THOMSON, 2000; YILDIRIM; ONER; BAYRAM, 2011).

No decorrer do processo de embebição de água pelo grão, ocorrem alterações físico-químicas juntamente com a difusão da água, como resultado, podem ser observadas modificações na composição química e na estrutura física do grão. Os alimentos, em sua maioria, são porosos, dessa forma os mecanismos de transporte de matéria são as forças capilares (difusão capilar) e a difusão. Ainda assim, há os mecanismos que envolvem a difusão de vapor, difusão na superfície, fluxo hidrodinâmico e a difusão térmica (LISBÔA et al., 2015).

Segundo Coutinho et al. (2010) a força motriz do processo de hidratação a uma dada temperatura está correlacionada com a diferença entre a concentração de água em condições de equilíbrio e a concentração em um determinado instante de tempo, quanto maior essa diferença maior será a taxa de incorporação de água no grão, e quando o teor de umidade do grão permanecer constante, a força motriz tenderá a ser nula.

Paquet-Durand et al. (2015) colocam que o caminho de difusão de água pelo grão está correlacionado com a sua estrutura, pois no processo de dratação do trigo a água penetra mais rapidamente na camada exterior do farelo atingindo a saturação, enquanto o endosperma tem uma absorção mais lenta, embora a quantidade total de água absorvida seja muito maior.

Quando o alimento apresenta um revestimento mais firme (pericarpo de maior espessura), a resistência à penetração de água é maior e a taxa de absorção de água é mais lenta, quando comparado a alimentos que não apresentam essa estrutura (KAPTSO et al. 2008).

Miano e Augusto (2015) verificaram que o hilo (centro orgânico do grão) também é uma importante via de absorção, pois apresenta uma alta porosidade. Logo, a casca não é a única forma de penetração de água no grão.

Outro fator de influência na absorção de água é a composição química dos alimentos. Pineda-Gómez, Rosales-Riveira e Rodríguez-García (2012) evidenciaram em sua pesquisa que a absorção de água no processo de difusão pode ser maior devido às ligações OH da água-amido. Enquanto os autores Sopade, Ajisegiri e Badau (1992) afirmaram a proteína é o macronutriente que mais contribui para esse processo, seguida pelas fibras solúveis e o amido.

Aliada à composição esta a temperatura. A respectiva propriedade física pode contribuir na velocidade da hidratação, pois a temperatura mais alta pode acelerar processo, diminuindo a resistência à incorporação de água no alimento,

promovendo então uma maior taxa de absorção (GEANKOPÓLIS, 1983; KHAZAE; MOHAMMADI, 2009; MONTANUCI; JORGE; JORGE, 2013; FRACASSO et al. 2014). Em contrapartida, temperaturas elevadas podem causar o rompimento da casca e a degradação dos compostos químicos, alterando dessa forma, os aspectos físicos e químicos do grão (KHAZAE; MOHAMMADI, 2009).

Alimentos que apresentam baixo teor de umidade inicial podem ter uma maior taxa de absorção de água (MIANO; AUGUSTO, 2015), e, tempos maiores de imersão do alimento em água podem resultar em produtos com alto teor de umidade (MASKAN, 2002; OMOTO, et al., 2009).

2.5.1 Aplicação de modelos matemáticos em processo de hidratação dos alimentos

Com a finalidade de conhecer as propriedades cinéticas da hidratação do grão de aveia dos cultivares IPR Afrodite e URS CORONA, serão utilizados nesse estudo modelos empíricos e fenomenológicos. O ajuste dos modelos permite a identificação das constantes que contribuem para interpretação dos fenômenos que ocorrem no processo de hidratação.

Os modelos empíricos se diferenciam dos modelos fenomenológicos por serem simples correlações matemáticas, de fácil aplicação, os quais são fundamentados em dados experimentais, na análise dimensional e na análise estatística. Enquanto isso, os modelos fenomenológicos são baseados em teorias e leis, sendo por sua vez, mais complexos, pois envolvem parâmetros que representam o sentido físico do sistema real, com base nas condições iniciais do processo, e os parâmetros físicos da matéria-prima avaliada (LISBÔA, et al. 2015).

2.5.1.1 Modelos empíricos

Neste Item serão abordados apenas os modelos que serão empregados no desenvolvimento deste trabalho: os modelos de Peleg e modelo de Weibull.

De acordo com Prasad et al. (2015) o modelo de Peleg (1988) apresenta ajuste satisfatório aos dados experimentais, podendo ser utilizado para estudar a absorção e dessorção de água dos alimentos em função do tempo de processo. O presente modelo permite estimar o ganho de umidade após determinados períodos de tempo. Para isso, a respectiva expressão relaciona os dados experimentais aos

parâmetros cinéticos: K_1 é a constante de velocidade de transferência de massa (h^{-1} %) e K_2 é designada como a constante máxima de absorção de umidade.

O modelo cinético de 1° ordem apresenta uma constante (C (min^{-1})), sendo esta a constante de absorção de água pelo grão durante o processo de hidratação (GHAFOOR et al., 2014). Autores utilizaram tal modelo para prever a velocidade em grãos de soja (GOWEN et al., 2007), grão de bico (PRASAD et al., 2010) e grãos de feijão (GHAFOOR et al., 2014)

Outro modelo empírico empregado nesse tipo de processo é o modelo de distribuição de Weibull, desenvolvido por W. Weibull em 1939 (WEIBULL, 1939). Esse modelo é capaz de descrever o comportamento de sistemas ou eventos que podem ter algum grau de variabilidade, tais como absorção de água e perdas de sólidos solúveis durante a hidratação dos grãos e sementes (PRASAD et al., 2010; GHAFOOR et al., 2014). A equação desenvolvida por Weibull (1939) apresenta duas constantes: β - parâmetro de escala define a velocidade do processo de absorção de umidade; α - parâmetro de forma; índice de comportamento (absorção), e quando $\alpha=1$, a distribuição de Weibull reduz ao modelo exponencial (KHAZAEI; MOHAMMADI, 2009).

Na Tabela 4-A e 4-B encontram-se estudos referentes ao processo de hidratação de grãos e leguminosas, os quais utilizaram ajustes matemáticos por modelos empíricos. Esses relatos da literatura mostram que tais modelos apresentaram ajustes satisfatórios aos dados experimentais, pois os resultados estatísticos expostos nos estudos evidenciam altos valores para R^2 e erros percentuais notadamente inferiores a 10%.

TABELA 4 A - ESTUDOS CINÉTICOS DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS EMPÍRICOS

Referência	Modelo	Alimento	Tempo de Hidratação (h)	Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo	R ²	Análise estatística do modelo
Turhan, Sayar e Gunasekaran (2002)	Peleg	Grão de Bico	12	20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100	$K_{120^{\circ}\text{C}} \times 10^3 = 17,1 \text{ (h}^{-1}\%) \text{ e}$ $K_{220^{\circ}\text{C}} \times 10^3 = 7,36 \text{ (\%}^{-1}\text{)}$	0,996	P(%)= 2,2
Gowen et al (2007)	Primeira Ordem	Soja	24	35 e 50	$C \times 10^{-3} = 8,1152 \text{ (min}^{-1}\text{)}$	-	P(%)= 3,26
Kaptso et al (2008)	Peleg	Feijão miúdo	8	25, 35 45	$K_{125^{\circ}\text{C}} = 15,4 \text{ (min g H}_2\text{O}^{-1}\text{g DM)}$ $K_{225^{\circ}\text{C}} = 0,79 \text{ (g H}_2\text{O}^{-1}\text{g DM)}$	0,99	¹ SEE (%)= 0,05
Khazaei e Mohamadi (2009)	Weibull	Gergelim	5,5	27, 40,50 e 60	$\alpha_{27^{\circ}\text{C}} = 0,642 \text{ e}$ $\beta_{27^{\circ}\text{C}} = 46,95 \text{ (min)}$	0,993	RMSE (%)= 4,77
Khazaei e Mohamadi (2009)	Peleg	Gergelim	5,5	27, 40,50 e 60	$K_{127^{\circ}\text{C}} = 0,3385 \text{ (min.\%}^{-1}\text{)}$ $K_{227^{\circ}\text{C}} = 0,0174 \text{ (\%}^{-1}\text{)}$	0,997	RMSE (%)= 1,67
Jideani e Mpotokeana (2009)	Peleg	Feijão	24	25, 50, 75 e 100	$K_{125^{\circ}\text{C}} = 0,127 \text{ (h}^{-1}\%) \text{ e}$ $K_{225^{\circ}\text{C}} = 0,0049 \text{ (\%}^{-1}\text{)}$	0,994	³ P (%)= 0,3445
Botelho et al (2010)	Peleg	Arroz Parboilizado	10	35, 45, 55, 75	$K_{135^{\circ}\text{C}} = 0,203 \text{ K}_{235^{\circ}\text{C}} = 0,0198 \text{ (100h kg}_{\text{ms}}.\text{kg}^{-1}\text{a)}$	0,9813	³ SE=2,32
Kashiri et al (2010)	Peleg	Sorgo	10	20, 30, 40, 50	$K_{120^{\circ}\text{C}} = 6,56 \text{ (h}^{-1}\%) \text{ e}$ $K_{220^{\circ}\text{C}} = 2,26 \text{ (\%}^{-1}\text{)}$	-	

¹SEE= Erro Padrão Estimado ²X²=Qui- quadrado reduzido; ³P (%) : Erro relativo,

TABELA 4 B- ESTUDOS CINÉTICOS DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS EMPÍRICOS

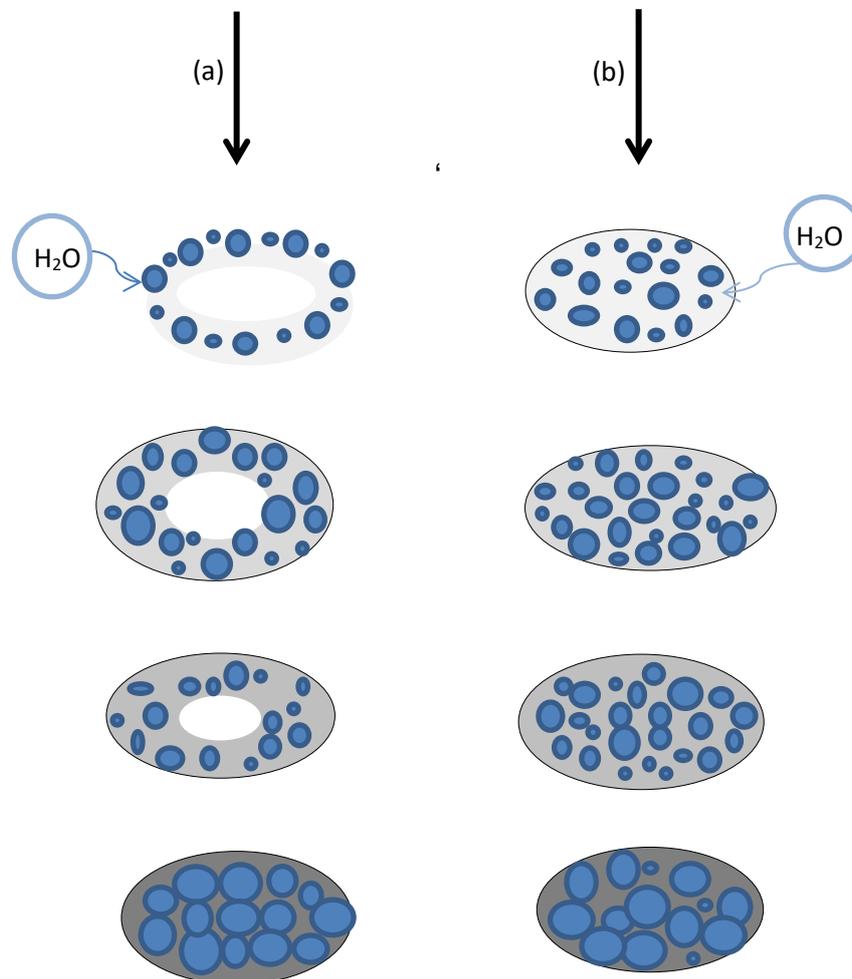
Referência	Modelo	Alimento	Tempo de hidratação	Temperatura (°C)	Parâmetros do Modelo	R ²	Análise estatística do modelo
Prasad et al (2010)	Peleg	Grão de Bico	2	40, 50 e 60	$K_{1\ 40^{\circ}\text{C}} = 0,3988\ (\text{h}^{-1}\%)$ $K_{2\ 40^{\circ}\text{C}} = 0,755\ (\%^{-1})$	0,995	RMSE (%)= 2,18 e $^2\chi^2=0,00064$
Prasad et al (2010)	Weibull	Grão de Bico	2	40, 50 e 60	$\alpha_{40^{\circ}\text{C}} = 0,9312$ $\beta_{40^{\circ}\text{C}} = 0,5060(\text{h})$	0,991	RMSE (%)= 2,76 $\chi^2= 0,0009$
Perez et al (2011)	Peleg	Arroz	1,25	25, 35, 45 e 55	$K_{1\ 25^{\circ}\text{C}} = 0,184\ (\text{min}^{-1}\%)$ $K_{2\ 25^{\circ}\text{C}} = 0,028\ (\%^{-1})$	-	RMSE (%)= 1,44
Quicazán et al. (2012)	Peleg	Soja	10	20,40 e 80	$K_{1\ 20^{\circ}\text{C}} = 0,012$ (100 h.kg.kg ⁻¹) $K_{2\ 20^{\circ}\text{C}} = 0,0067$ (100 kg.kg ⁻¹)	0,997	-
Montanucci, Jorge e Jorge (2013)	Peleg	Cevada	32	10,15,20,25,30,35	$K_{1\ 10^{\circ}\text{C}} = 6,03\ (\text{h}^{-1}\%)$ $K_{2\ 10^{\circ}\text{C}} = 1,88\ (\%^{-1})$	0,975	-
Botelho et al (2013)	Peleg	Milho	12	40, 50, 60 e 70	$K_{1\ 40^{\circ}\text{C}} = 0,098\ (100\ \text{h.kg.kg}^{-1})$ e $K_{2\ 40^{\circ}\text{C}} = 0,017\ (100\ \text{kg.kg}^{-1})$	0,996	$^3\text{SE}=1,19$
Fracasso et al (2014)	Peleg	Soja	7,5	25, 35, 45, 55 e 65	$K_{1\ 25^{\circ}\text{C}} = 102,5(\text{h}^{-1}\%)$ e $K_{2\ 25^{\circ}\text{C}} = 0,658\ (\%^{-1})$	0,998	-
Shafei, Masoumi e Roshan (2014)	Peleg	Grão de Bico	1	5, 25 e 45	$K_{1\ 5^{\circ}\text{C}} = 0,00034\ (\text{h}^{-1}\%)$ $K_{2\ 5^{\circ}\text{C}} = 0,000774\ (\%^{-1})$	0,975	P(%)=3,04
Patero e Augusto (2015)	Peleg	Sorgo	5,54	25 e 53 °C	$K_{1\ 25^{\circ}\text{C}} = 1,73 \pm 0,06$ (min.% ⁻¹) $K_{2\ 25^{\circ}\text{C}} = 0.0285 \pm 0.0003$ (% ⁻¹)	-	-

2.5.1.2 Modelos fenomenológicos

A vantagem do uso dos modelos fenomenológicos para hidratação está associada aos parâmetros obtidos por essas equações. Por sua vez, os modelos fenomenológicos consideram as etapas elementares de transferência de massa (OMOTO et al., 2009). O processo de difusão é uma propriedade de transporte de massa necessária para o projeto e otimização de todos os processos que envolvem ganho ou perda de massa de produtos (KHAZAEI; MOHAMMADI, 2009).

Os modelos fenomenológicos podem estimar o comportamento do processo de transferência de massa admitindo-se duas condições, a primeira, quando a concentração de água no grão inicial é uniforme e conhecida, isso quando se tem um processo de transferência de água igual em toda superfície do grão, de forma concentrada. Quando o processo ocorre de forma distribuída, a concentração de água varia na superfície do grão no qual, as umidades se distribuíram da superfície ao interior do endosperma do grão, como pode ser esquematizado pela Figura 6.

FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE HIDRATAÇÃO NA FORMA CONCENTRADA (A) E DISTRIBUÍDA PARA O GRÃO DE AVEIA (B)



FONTE: À AUTORA (2016).

O modelo de parâmetros concentrados desenvolvido por Omoto e seus colaboradores (2009) foi definido frente um balanço de massa e foi aplicado ao processo de hidratação de grãos de ervilhas. Neste caso, foram determinados dois parâmetros de importância, a constante de transferência de massa por convecção (K_s) e a constante de concentração de equilíbrio ($\rho_{A_{eq}}$). O respectivo modelo admite que no início da hidratação a concentração de água é uniforme e constante.

Andrew (2005) afirma que a segunda lei de Fick da difusão descreve uma condição em estado não estacionário, quando a concentração varia com o

tempo, mas as partículas não são criadas e nem destruídas. O modelo de difusão fornece o parâmetro de suma importância para a transferência de massa, o coeficiente de difusão. Tal parâmetro é o fator de proporcionalidade que representa a quantidade de substância que se difunde por uma área em virtude do gradiente de concentração (KHAZAEI; MOHAMMADI, 2009).

O referido modelo da difusão é comumente aplicado tanto em processo de hidratação quanto em processos de secagem, e dentre outros processos que envolvem transferência de massa. Como o próprio nome diz, é um modelo que envolve a difusão baseada na Lei de Fick. Tal lei estabelece uma relação entre as taxas de variação temporal e espacial da concentração de água, através do coeficiente de difusão (LISBÔA, et al. 2015)

Outro modelo que considera o processo de transferência de massa de forma distribuída é o modelo de Nicolin e colaboradores (2012), cuja equação matemática foi obtida para prever o comportamento cinético de absorção de água pelos alimentos a partir do modelo de Omoto et al. (2009). Para modelagem de a hidratação das ervilhas, os autores propuseram um balanço de massa levando em consideração o fluxo convectivo e o coeficiente de transferência de massa constante. A diferença entre os modelos de Omoto e Nicolin (OMOTO et al. 2009; NICOLIN et al. 2012) está na consideração realizada por Nicolin, no qual a equação apresentada representa variação do volume do grão durante o tempo de processo.

Dada a importância desses estudos, na Tabela 5 A e 5 B encontram-se os trabalhos recentes que utilizaram os modelos fenomenológicos para prever o comportamento dos seus processos de hidratação de alimentos.

TABELA 5 A- ESTUDOS DE CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS FENOMENOLÓGICOS

Referência	Modelo	Alimento	Tempo de hidratação (h)	Temperatura (°C)	Parâmetros do Modelo	Condições do modelo	Solução do Modelo
Resende e Côrrea (2007)	2° Lei de Fick	Feijão	48	20, 30, 40 e 50	$D_{e\ 20\ ^\circ\text{C}} = 1,41 \times 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	Volume constante Grão com geometria esferóide	Solução Analítica
Omoto et al., (2009)	Parâmetros Concentrados	Ervilha	3	20,30, 40 e 50	$\rho_{A_{eq\ 60\ ^\circ\text{C}}} = 0,526 \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$ $K_{s\ 60\ ^\circ\text{C}} \times 10^3 = 4,270 \text{ (cm} \cdot \text{min}^{-1}\text{)}$	Geometria esférica; Balanço de massa em regime transiente; Volume constante durante o processo de hidratação.	Solução numérica, utilizando rotina ode45 e os ajustes dos parâmetros foram obtidos pela rotina fmssearch (Software MATLAB)
Bakalis et al., (2009)	2° Lei de Fick	Arroz	24	70	$D_{e\ 20\ ^\circ\text{C}} = 7,5 \times 10^{-10} \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	Geometria de elipse; Umidade inicial de 0,08 Kg de água/ Kg de sólido;	Elementos Finitos (Software Comsol)
Khazaei e Mohammadi (2009)	2° Lei de Fick	Gergelim	5,5	27, 40,50 e 60	$D_{e\ 27\ ^\circ\text{C}} \times 10^{-11} = 4,16 \text{ (m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	Geometria esférica; Teor de umidade inicial e de saturação dependentes da área das sementes;	Regressão não linear (Software Sigmaplot)
Coutinho et al., (2010)	HSU	Soja	12	10, 20, 30 e 40.	$K'_{140\ ^\circ\text{C}} = 5,040 \times 10 \text{ (kg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$ $D_{e\ 20\ ^\circ\text{C}} \times 10^{11} = 10,820 \text{ (m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$ $\beta_{40\ ^\circ\text{C}} \times 10^4 = 5.594 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	Geometria esférica; Volume constante Coeficiente de difusividade variando com teor de umidade	Solução Numérica (Software Matlab)
Yildirim; Oner; Bayram (2011)	2° Lei de Fick	Grão de Bico	8	20, 30, 40, 50, 60, 70, 87, 92 e 97	$D_{e\ 20\ ^\circ\text{C}} \times 10^{10} = 1,4 \text{ (m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	Geometria esférica; Volume constante; Coeficiente de difusividade variando com teor de umidade de grãos.	Regressão não linear (Software Sigmaplot 10)

FONTE: A AUTORA (2016).

TABELA 5 B- ESTUDOS DE CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO EM ALIMENTOS COM AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS FENOMENOLÓGICOS

Referência	Modelo	Alimento	Tempo de hidratação (h)	Temperatura (°C)	Parâmetros do Modelo	Condições do modelo	Solução do Modelo
Montanucci et al., (2014)	2° Lei de Fick e Lei de Fourier	Cevada	32	10,15,20 e 25	$h_{m25^{\circ}\text{C}} = 3,5 \times 10^{-5} (m \cdot s^{-1})$ $h_{25^{\circ}\text{C}} = 47,8 (W \cdot m^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C})$ $D_{e\ 25^{\circ}\text{C}} = 1,8 \times 10^{-11} (m^2 \cdot s^{-1})$	Geometria esférica; Campo de velocidade nula dos grãos de cevada; Geração térmica e massa nulos; Propriedades termofísicas homogêneas ao longo do grão, mas variável com o tempo.; Teor de umidade inicial e temperatura homogênea nos grãos.	Elementos Finitos (Software Comsol)
Pramiu et al., (2015)	2° Lei de Fick	Grão de Bico	24	10, 25 e 40 e 0,10Mpa, 0,15Mpa, 0,20Mpa, 0,25 Mpa e 0,30 Mpa	$D_{e\ 10^{\circ}\text{C}, 0,10\text{Mpa}} = 7,38 \times 10^{-11} (m^2 \cdot s^{-1})$	Geometria esférica; Volume constante; Coeficiente de difusividade variando com teor de umidade de grãos	Regressão não linear (Software Statistic 10)

* $\rho_{A_{eq}20^{\circ}\text{C}}$ = concentração de água no grão no equilíbrio (g/ cm³); Φ^2 : Desvio quadrático médio

2.6 ATIVIDADE ENZIMÁTICA

O grão de aveia apresenta em sua estrutura enzimas, sendo as principais: as lipases, lipoxigenases, proteases, maltase, α -amilases e as β -amilases (POMERANZ, 1995).

Para a produção dos produtos de aveia, como farelo, farinha e flocos, as enzimas são responsáveis por hidrolisar os ácidos graxos contribuindo para o processo de oxidação lipídica, por esta razão, são inativadas durante o tratamento hidrotérmico (YAN; FRÉGEAU-REID; FETCH, 2014).

Durante o processo de germinação, o amido presente no endosperma é convertido em glicose solúvel e maltose através da hidrólise das enzimas α e β – amilases. A atividade dessas enzimas é necessária para a liberação de açúcares ao processo fermentativo, o qual ajuda durante a obtenção dos produtos de panificação. No entanto, níveis altos de amilases podem resultar na formação do pão com coloração mais escura resultado da caramelização dos açúcares redutores, e obtenção do miolo de aspecto adesivo, causando dificuldade para a fatiabilidade do produto; e uma baixa atividade enzimática tem por consequência pão com textura firme (EVANS, 2001; MÓDONES; SILVA; TRIGUEROS, 2009).

Diante disso, a literatura mostra que a atividade enzimática pode ser avaliada por métodos quantitativos através dos teores de açúcares redutores produzidos pelas enzimas e por meio de método qualitativo, amplamente empregado em avaliação das farinhas na fabricação dos produtos de panificação, conhecido como Número de Queda.

A forma quantitativa de avaliação enzimática das amilases consiste na determinação de açúcares pelo método de Somogyi-Nelson. Esse método é baseado nas propriedades redutoras dos açúcares, pela reação da hidroxila hemiacetálica dos monossacarídeos. A diferença dessa metodologia em relação a outros métodos de determinação de açúcares redutores é a sensibilidade do método, cuja faixa de determinação situa-se entre 25 e 500 mg/L. Sendo assim, quanto maior for a concentração dos açúcares redutores, maior será a atividade enzimática (MALDONADE et al., 2013).

2.7 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADES ANTIOXIDANTES DA AVEIA

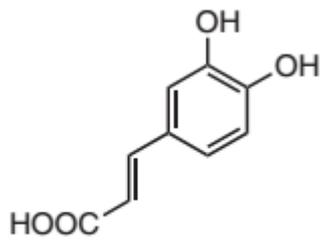
Os compostos antioxidantes são capazes de atuar nas células protegendo as moléculas biologicamente importantes, tais como DNA, proteínas, e lipídios dos danos oxidativos, podendo contribuir para os efeitos protetores contra doenças cardiovasculares. Nos produtos alimentícios atuam como conservantes, pois devido suas propriedades antioxidantes são capazes de proteger outros compostos fitoquímicos da oxidação e retardar os processos oxidativos em alimentos ricos em óleos ou gorduras (PETERSON, 2001; PETERSON, EMMONS; HIBBS, 2001; PIMENTEL et al., 2005).

A ação desses compostos consiste em alterar a produção dos radicais; atuar como quelantes de metais e eliminar os precursores dos radicais livres (PIMENTEL et al., 2005; WANG; HE; CHEN, 2014).

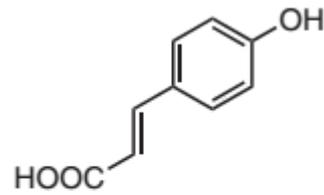
Na forma integral os grãos apresentam maiores teores dos compostos bioativos, os polifenóis (principalmente ferúlico e ácido fenólico) são os principais contribuintes pelo potencial antioxidante dos grãos de cereais *in vitro* e *in vivo*. Dentre os cereais com maior teor desses microcomponentes destaca-se a aveia (*Avena sativa* L.), embora seja consumida em menor quantidade quando comparada aos demais cereais, como o trigo (*Triticum aestivum* L., *T. Durum* L.) e arroz (*Oryza sativa* L) (PETERSON, 2001; MASISI; BETA; MOGHADASIAN, 2016).

Na aveia pode ser encontrada teores variados de ácido cafeico (FIGURA 7), p-hidroxibenzaldeído ácido p-cumárico (FIGURA 8), ácido vanílico, ácido ferúlico (FIGURA 9), avenatramidas (TONG et al., 2014; CHEN et al., 2015), tocoferóis e tocotrienóis (TIWARI; CUMINS, 2009), dispersos em maior concentração na parte externa do grão (pericarpo e na camada de aleurona) (PETERSON, 2001), e também pode ser encontrado o ácido fítico, os flavonoides e os esteróis (KLAJN et al., 2006).

Os compostos bioativos de maior representação no grão estudado são as avenatramidas e a vitamina E. Peterson, Emmons e Hibbs (2001) verificaram a presença de 82,5 mg.kg⁻¹ de avenatramidas dispostas uniformemente no grão de aveia. Enquanto Peterson e Qreshi (1993) avaliaram doze genótipos de aveia e constataram uma variação de 19 a 30,3 mg.Kg⁻¹ no teor de Vitamina E.

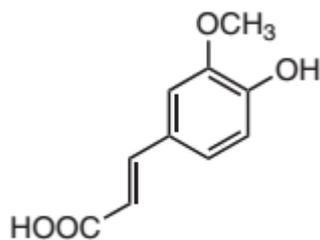
FIGURA 7 – ESTRUTURA QUÍMICA DO
ÁCIDO CAFÉICO.

Caffeic acid

FIGURA 8 – ESTRUTURA QUÍMICA DO
ÁCIDO P- CUMÁRICO.

p-Coumaric acid

FIGURA 9 – ESTRUTURA QUÍMICA DO ÁCIDO FERÚLICO



Ferulic acid

FONTE: SHAIKI E NACZK (2003).

Na Tabela 6 estão expostos alguns estudos realizados na quantificação de compostos fenólicos o respectivo potencial antioxidante do grão de aveia e do malte de aveia.

TABELA 6 – VALORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO GRÃO DE AVEIA E SUAS FRAÇÕES

Cereal	Extração	Teor de Compostos fenólicos	Atividade Antioxidante	Referência
Grão de Aveia (G4, China)	Água	1746 (mg EAG.100 g ⁻¹ de amostra)	17,1 EC 50 mg/ ml de extrato Método: DPPH	Nelson et al. (2016)
Grão de Aveia (Variedade Andrew-EUA)	-	0,82 (g de EAG.kg ⁻¹ de amostra)	15,56 (mmol de Trolox equivalente/ kg de amostra) Método: ABTS	Alfieri e Readelli (2015)
Grão de Aveia (OS-7)	-	1844 (µg EAG.g ⁻¹ de amostra)	11,9 % de descoloração Método: DPPH	Sandhu et al. (2015)
Grão de Aveia (cultivar Yanke 1)	-	-	7,47 (µg/ ml) EC 50 Método: Abts	Tong et al. (2014)
Grão de Aveia (Genótipo Vrbas)	Etanol	25,22 (mg AG.g ⁻¹ de extrato de etanol)	0,39 EC 50 mg/ml de extrato	Rakic et al. (2014)
Malte de Aveia	Etanol acidulado Ph=2 (Banho Ultrassom)	281,36(mg de EAG.100 g ⁻¹ de amostra)	96,12% SRL	Sandrin (2013)

Onde, EAG é equivalente de ácido gálico; AG é Ácido gálico; EC50: Concentração de extrato necessária para inibir 50% da atividade dos radicais livres DPPH; SRL: Sequestro de radicais livres.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante o exposto na revisão bibliográfica, destaca-se que a aveia é um cereal de inverno que tem sua maior produção no sul do Brasil. O aumento do consumo desse grão pode ser atribuído a sua composição rica em fibras alimentares e compostos bioativos com potencial antioxidante.

Além da sua produção para consumo na forma de farelo e farinha, o malte de aveia é uma alternativa para ser utilizado em alimentos como aditivo, agregando valor nutricional ao produto.

Para isso, torna-se necessário conhecer o processo de malteação da aveia e as variáveis que influenciam o processo. As etapas que necessitam ser executadas para obtenção do malte são: hidratação, germinação e secagem.

Estudos na área de hidratação vêm avançando para determinar o comportamento cinético dos cereais, e como a hidratação é a etapa importante que antecede a germinação, torna-se necessário entender esse fenômeno.

Além do comportamento cinético, os modelos descritos são empregados a fim de explicar o perfil de absorção de água pelo grão e fornecer parâmetros que podem contribuir na otimização desse processo, visando reduzir custos no processo.

Como a hidratação, a germinação agrega valor nutricional ao produto, e junto à secagem são etapas importantes para obtenção de um malte de qualidade. Sendo assim, como diferencial o presente trabalho utiliza diferentes temperaturas no processo de hidratação na aveia para produção do malte e estuda as características do malte obtido, buscando um incentivo na aplicação do produto malte de aveia em alimentos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

As análises desse trabalho foram realizadas no Laboratório de Engenharia de Processos de Sistemas Particulados (LEPSP), Central Analítica e no Laboratório de Química Analítica Aplicada (LQAA) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba – PR, em parceria com o Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR. Enquanto as análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante foram executadas na Embrapa Florestas, Colombo – PR. As análises de espectroscopia de FTIR e CLAE (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência) foram realizadas no Departamento de Pós-Graduação da Química na UFPR.

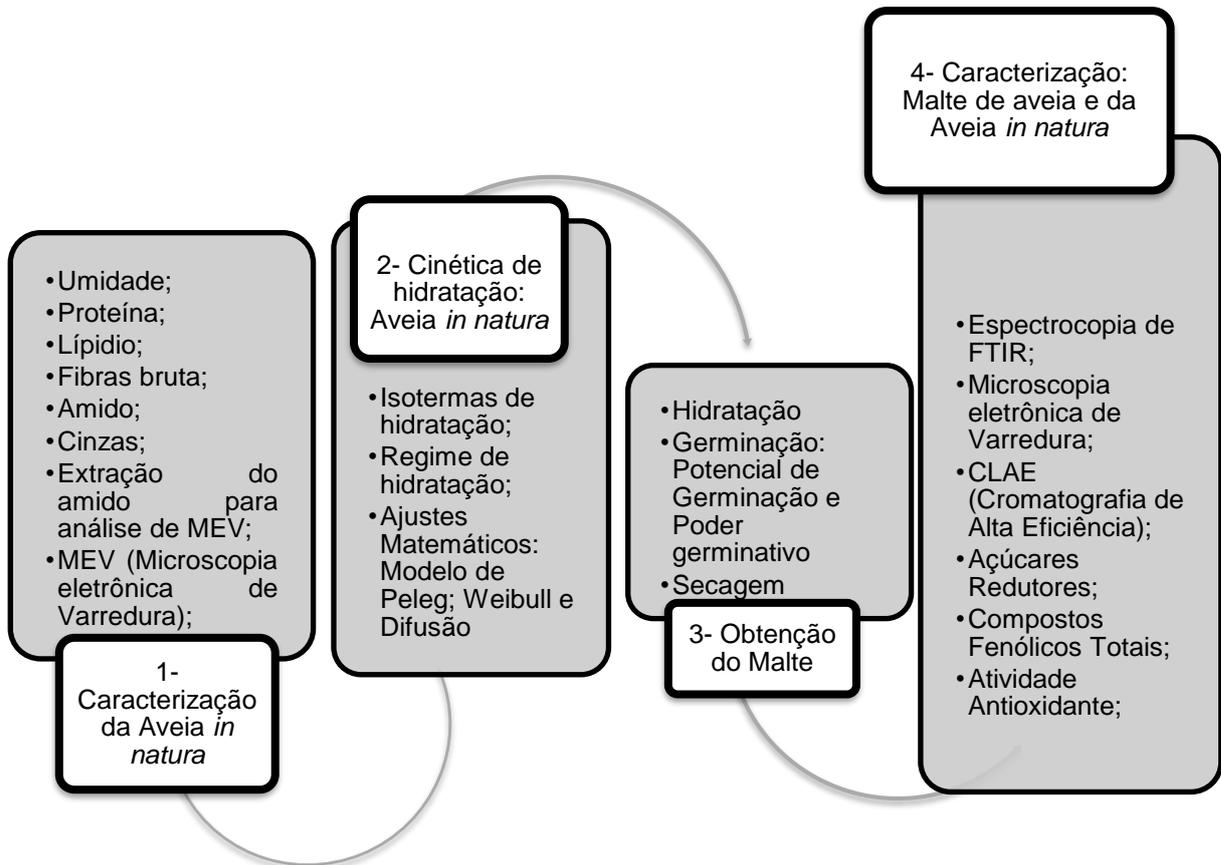
3.1 AMOSTRAS

Para o presente estudo foram utilizados dois cultivares de Aveia Branca, a URS CORONA e a URS Afrodite ambas doadas pela empresa SL Alimentos, localizada na região de Mauá da Serra no Estado do Paraná. A seleção das cultivares foi de interesse da empresa em conhecer o comportamento destes frente ao processo malteação com uso de diferentes temperaturas. As cultivares provenientes da safra de 2014 foram devidamente armazenadas em recipientes plásticos lacrados sob temperatura ambiente.

3.2 DIAGRAMA SEQUENCIAL DA REALIZAÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO

A Figura 10 apresenta a seqüência das análises que foram realizadas no trabalho de forma resumida.

FIGURA 10 – DIAGRAMA COM AS ANÁLISES REALIZADAS NO TRABALHO



FONTE: À AUTORA (2016)

3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA AVEIA *in natura*

Com a finalidade de caracterizar os macronutrientes presente nos dois cultivares em estudo, as amostras *in natura* foram trituradas em moinho de facas (MARCONI/ MA 630/1).

3.3.1 Teor de Umidade e Cinzas

Conforme a metodologia descrita por Adolfo Lutz (2008) procederam-se as análises para determinação de umidade e cinzas dos cultivares em estudo. Para identificar o teor de umidade, pesaram-se 5 g de amostra, em seguida, foram inseridas em estufa a 105 ± 2 °C por 24 h. Os valores foram expressos em base úmida ($U_{b.u}$), como mostra a Equação 1:

$$\%U_{b.u} = \frac{U_{b.u} - U_{b.s}}{U_{b.u}} \quad (1)$$

Na sequência, o resíduo foi utilizado para a determinação do teor de cinzas, o qual foi realizado em mufla a 600 °C por aproximadamente 6 horas ou até obtenção de uma cinza clara, sinal da ausência completa de matéria orgânica. Os teores de umidade e cinzas foram determinados por gravimetria.

3.3.2 Teor de proteínas

Para análise do teor de proteínas totais das amostras de aveia, utilizou-se o método de Kjeldahl com fator de conversão 6,25 (BRASIL, 2008).

3.3.3 Teor de lipídios totais

A extração dos lipídios presentes nos cultivares de aveia branca foi realizada de acordo com o método de extração por Soxhlet (BRASIL, 2008). A quantificação dos lipídios totais foi realizada por gravimetria.

3.3.4 Teor de amido

A determinação do teor de amido das amostras de aveia foi realizada por hidrólise ácida e leitura do polarímetro (Polax WXG-4), segundo o método descrito pela AOAC (1995).

3.3.5 Teor de fibra bruta

A análise de fibras foi realizada conforme o procedimento descrito nas metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (Mev)

A avaliação da estrutura do grão de Aveia *in natura* e do amido de aveia foi realizada por meio das observações no Microscópio Eletrônico de Varredura (Tescan/veja 3 LMV/USA) com ampliações de 25 x, 94x, 350x e 9.00 kx e aceleração de voltagem de 5.00 kV. As amostras de aveia foram metalizadas (Bal-Tec/SCD.050/Liechtenstein) com ouro.

O amido foi obtido por intermédio da extração sólido-líquido utilizando água como solvente na proporção 1:4. A suspensão água e amido após ser homogeneizada foi deixada em repouso por 2 h e seguida por um processo de filtração, centrifugação (3000 rpm/ 10 min) e secagem (40 °C/ 24 h) (LÓPEZ et al., 2015).

3.4 CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DA AVEIA *IN NATURA*

Os grãos de aveia (300 g) foram submetidos ao processo de hidratação, utilizando a metodologia de Montanuci, Jorge e Jorge (2015) aplicada em grãos de cevada. Inseriram-se em fôrmas de alumínio os grãos de aveia e água destilada na proporção 1:3 (m/v) e em seguida, as formas foram dispostas em banho termostático, à pressão atmosférica. Os ensaios, em triplicata, foram realizados em quatro temperaturas distintas: 10, 20, 25 e 35 °C.

O tempo de ensaio foi de 8 h e as amostras foram retiradas a cada 30 min até completar 3 h e na sequência, a cada 1 h até completar 8 h de processo de hidratação.

Para determinação de umidade presente nos grãos durante o período de hidratação utilizou-se a mesma metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008) descrita no Item 3.3.1

3.4.1 Regime de hidratação

Para verificar o principal mecanismo de absorção de água nos grãos de aveia avaliou-se o regime de hidratação. A visualização desse regime foi permitida pelo uso do corante azul de metileno ($0,01 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) na água de hidratação a 35 C , conforme o procedimento descrito por Miano, García e Augusti (2015). Amostras foram removidas da água de 10 em 10 minutos na primeira 1 h e a cada 30 min até completar 10 h. Estas foram secas superficialmente com papel toalha e cortadas transversalmente. Em seguida, selecionaram-se algumas imagens dos grãos de aveia obtidas pela câmara fotográfica 16 MP.

3.4.2 Determinação das dimensões, do volume e densidade

A densidade foi determinada mediante razão da massa de 50 grãos pelo volume (Equação 2) de água deslocado, em provetas graduadas de 10 mL.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

O comprimento maior (a), menor (b) e a altura (c) foram mensurados em paquímetro (Digital Caliper, Western).

3.4.3 Aplicações de modelos no processo de hidratação

No presente trabalho foi realizado aplicação de modelos matemáticos empíricos e fenomenológicos, para obtenção dos parâmetros cinéticos de hidratação da aveia.

3.4.3.1 Modelos empíricos

Para estimar o comportamento cinético, empregaram-se os modelos empíricos de Peleg (1988) e modelo de distribuição de Weibull (WEIBULL, 1939) presentes na Tabela 7.

TABELA 7 - MODELOS MATEMÁTICOS EMPÍRICOS

MODELOS EMPÍRICOS	EQUAÇÃO	PARÂMETROS
Peleg	$U(t) = U_0 + (t/(K_1 + K_2 t))$ (3)	K_1 : constante de velocidade de transferência de massa ($h^{-1}\%$); K_2 é a constante máxima de absorção de umidade ($\%^{-1}$).
Modelo de Distribuição de Weibull	$U(t) = \left(e^{(-\frac{t}{\beta})^\alpha}\right)(U_0 - U_s) + U_s$ (4)	β : parâmetro de escala; define a velocidade do processo de absorção de umidade; α : parâmetro de forma índice de comportamento (absorção).

FONTE: À AUTORA (2016).

3.4.3.2 Modelos Fenomenológicos

- Parâmetros Concentrados

Como segundo modelo, aplicou-se o de parâmetros concentrados utilizado por Coutinho et al. (2007) e Omoto et al. (2009) o qual desconsidera a expansão volumétrica do grão durante o processo de hidratação.

Sabendo que essa equação representa a variação da massa de água no grão ($\rho_A V$) com o tempo (t). Sendo A a área externa do grão; V, o volume do grão; e N_A o fluxo mássico de água ($g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$).

$$\frac{d(m_A)}{dt} = N_A A \quad (5)$$

Considerando a variação da massa de água no grão (m_A) como o produto de sua concentração (ρ_A) pelo volume do grão (V), e o fluxo mássico como o produto do coeficiente de transferência de massa, K_s ($cm \cdot min^{-1}$) e a área (A) pela diferença entre a concentração média de água no grão (ρ_A) e a concentração de água no grão no equilíbrio (ρ_{eq}), tem-se a Equação 6.

$$\frac{d(\rho_A \cdot V)}{dt} = K_s (\rho_{eq} - \rho_A) \cdot A \quad (6)$$

Como condição do modelo considerou-se a aveia como formato esférico do com raio r e volume constante, onde no instante $t=0$, $\rho_A = \rho_{A0}$, obtendo a Equação 7. Esta quando linearizada é representada pela Equação 8 utilizada para obtenção da constante K_s .

$$\frac{d(\rho_A)}{dt} = \frac{3K_s}{r} (\rho_{eq} - \rho_A) \quad (7)$$

$$\ln\left(\frac{\rho_{eq} - \rho_A}{\rho_{eq} - \rho_{A0}}\right) = \frac{3K_s}{r} t \quad (8)$$

3.4.3.3 Influência da temperatura nos parâmetros dos modelos

A constante K_s pode ser influenciada positivamente pela temperatura do sistema ao longo do processo, como observado no trabalho de Coutinho et al. (2007) e Omoto et al. (2009). A partir desta análise, K_s pode ser correlacionado à Arrhenius (EQUAÇÃO 9). Os parâmetros B e E_a serão ajustados por regressão linear.

$$K_s = B \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (9)$$

A generalização correspondente às Equações 3, 4 e 8 será mediante a correlação de K_s em função da temperatura. O modelo generalizado deverá ser capaz de estimar a concentração de água no grão para diferentes condições de temperatura de hidratação.

- Parâmetros distribuídos

Como modelos fenomenológicos utilizou-se a segunda Lei de Fick, modelo descrito por Crank (1975) considerando o grão com geometria esférica e a variação do volume constante durante o processo, a concentração é então uma função do raio r (m) e do tempo t (min) somente.

Modelo de difusão é dado por:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) \quad (10)$$

Onde: U é a umidade (% b.u.); t o tempo (min) e a é r coordenada radial (m).

A solução analítica para a Equação 10 pode ser representada pela Equação 11 de acordo com as seguintes considerações:

- A geometria teórica é uma esfera;
- Variação do volume e as dimensões do grão durante o processo são desprezíveis;
- Equilíbrio de umidade conhecida na superfície do grão;
- Coeficiente de difusão (D_{ef}) independente da concentração

$$\frac{U_t - U_{eq}}{U_0 - U_{eq}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D_{ef} n^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad (11)$$

3.5 OBTENÇÃO DO MALTE DE AVEIA

3.5.1 Hidratação

Para obtenção do malte, foi realizada uma segunda hidratação realizada em banho-maria. Esses grãos foram imersos em água durante 8 h nas temperaturas de 10, 15 e 20, 25 e 35 °C. A escolha de mais de uma temperatura para a produção do malte foi para ter mais uma variável temperatura cuja hipótese, poderia influenciar na qualidade do mesmo.

3.5.2 Germinação

A germinação é estabelecida por secagem com ar úmido durante cinco dias, a fim de aumentar a atividade enzimática e aumentar o teor de açúcares redutores presente no grão germinado. Para realizar o a germinação das sementes de aveia,

desenvolveu-se uma câmara de germinação contendo temperatura e umidade do ar controlado na faixa de 17 °C e 85% de umidade relativa do ar (PALMER, 1989).

3.5.2.1 Potencial de germinação

Potencial de germinação deve ser da ordem de 65 a 85 % (PALMER, 1989). Essa metodologia preconiza que o potencial germinativo está associado ao tamanho da radícula formada.

Para essa avaliação, 100 grãos foram expostos sobre papel manteiga em placas de Petri e colocados na câmara de germinação com temperatura de 17 °C e umidade relativa de 85%. Após 72 h de germinação, o tamanho das radículas formadas foi medido com auxílio de um paquímetro. Quando o tamanho dessas radículas foram igual ou superior a 3 cm, os grãos foram contabilizados e expressos em porcentagem, de acordo com a Equação (12).

$$PG\% = \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ de aveias germ. radícula maior que 3 cm}}{\text{n}^\circ \text{ de aveias totais}} \right) \times 100 \quad (12)$$

3.5.2.2 Poder germinativo

Com as mesmas amostras preparadas no Item 4.8.2 foi avaliado o potencial germinativo das sementes, a 20°C por 5 dias,. A análise foi realizada pela contagem das sementes germinadas. As sementes que atingiram valores inferiores de germinação a 95% não estavam aptas à maltagem e foram descartadas. O teste foi realizado em triplicata e o poder germinativo (PW) expresso pela Equação 13 (PALMER, 1989).

$$PW\% = \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ de aveias germinadas}}{\text{n}^\circ \text{ de aveias totais}} \right) \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

3.5.3 Secagem da aveia germinada

A secagem da aveia após germinação foi realizad conforme a metodologia adaptada por Sandrin (2013). Os grãos germinados foram subtimos à esse

secagem para obtenção do malte verde em estufa com circulação de ar à temperatura de 60 °C por 48 h. Na sequência foi determinado o teor de umidade final dos maltes obtidos conforme o item 3.3.1.

3.5.4 Moagem e Armazenamento

As amostras foram trituradas em moinho de facas (Marconi Ma630/1). Na sequência, inseriram-se as amostras em recipientes de vidro devidamente fechados e colocados sob congelamento a -10 °C para as posteriores análises de caracterização.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DO MALTE DE AVEIA

As análises de caracterização do malte de aveia dos dois cultivares (IPR Afrodite e URS CORONA) foram realizadas em triplicata e para comparação utilizou-se um malte comercial de cevada e a aveia *in natura*.

3.6.1 Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise qualitativa para averiguar presença de grupos químicos presente no grão de aveia foi realizada no espectrofotômetro FTIR (Bruker; Vertex 80) equipado com o acessório Drift no qual os espectros foram coletados na região de 4000-700 cm^{-1} .

Ambos os espectros foram plotados no software Statistic 10 (STATSOFT, Michigan, USA).

3.6.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com as amostras moídas (malte de aveia, malte de cevada e aveia *in natura*) obtiveram-se imagens por meio das observações no Microscópio Eletrônico de Varredura (Tescan/Veja 3 LMV/USA) em ampliações de 2 Kx e 9.00 kx, com aceleração de voltagem de 5.00 kV.

3.6.3 Teor de açúcares redutores

O teor de açúcares redutores seguiu a metodologia de Farias et al. (2009) a qual utilizou a sacarificação do malte de milho com o objetivo de estudar o potencial hidrolítico das enzimas presentes no malte. Como parâmetro de comparação realizou-se o mesmo procedimento para o grão de aveia *in natura*.

A determinação dos açúcares redutores totais foi realizado conforme a metodologia descrita por Maldonade et al. (2013), mediante quantificação pelo método de Somogy-Nelson utilizando a glicose como solução padrão e os resultados serão expressos em mg/L.

3.6.4 Extração dos compostos fenólicos

A extração dos compostos fenólicos presente nas amostras foi realizada de acordo o procedimento realizado por Karmowski et al. (2015) com algumas modificações.

Pesaram-se 1 g de amostra triturada, e as mesmas foram homogeneizadas com etanol (80%) colocadas em banho ultrassônico a 30 °C, com frequência de 40 KHz.

Os extratos foram armazenados em recipientes de vidro contra luz devidamente fechados e mantidos sob congelamento a -4 °C para as demais análises.

3.6.5 Análise de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

As determinações cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo em fase líquida de alta eficiência (Agilent 1260), equipado com detector DAD (Diode Array Detector) e de fluorescência, injetor automático, coluna C18 (Microsorb 4,6 x250 mm, com tamanho de partícula de 5 µm) e software OpenLab EZChrom Elite para aquisição e tratamento de dados. As fases móveis foram previamente degaseificadas em um Ultrassom Ultracleaner 1400 (Unique). O método cromatográfico foi adaptado de Irakli et al. (2012). A fase móvel consistiu de (A) metanol e (B) água ultrapura/ ácido acético (99:1 v/v). Um modo de eluição gradiente foi empregado: composição inicial de 10% de A foi aumentada linearmente

em 12 minutos para 20%, passando para 35% de A em 40 minutos. 65% de A é atingido em 46 minutos e mantido por 2 min. A condição inicial foi reestabelecida em 5 minutos e mantida por 3 minutos. A vazão e a temperatura foram mantidas constantes em 0,8 mL/min e 30 °C, respectivamente. O volume de injeção foi 15 µL. os comprimentos de onda monitorados no DAD foram 260, 270 e 320 nm.

Os padrões utilizados neste estudo foram: ácido gálico, ácido clorogênico, ácido caféico, p-cumárico, ácido ferúlico, ácido vanílico e ácido siríngico. Para o preparo das soluções dos padrões utilizou-se metanol e as curvas de calibração foram obtidas a partir de injeções em triplicata de cinco concentrações.

Com isso, os compostos fenólicos presente nos extratos foram identificados comparando seus tempos de retenção com os de padrões puros.

3.6.6 Determinação dos compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos livres presentes nos maltes e na aveia foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme a metodologia descrita por Irakli et al. 2012 com algumas modificações. Alíquotas de 200 µL de extrato de amostra foram inseridos em tubos de vidro juntamente com 1,5 mL de Folin Ciocalteu diluído (1:10), após 3 min adicionou-se 1,5 mL de carbonato de sódio (7,5%) e os tubos permaneceram em abrigo de luz por 90 min. Por fim, após a reação, as amostras foram submetidas a leitura no espectrofotômetro UV/ VIS (Shimadzu- 1800) a 725 nm. Os teores de compostos fenólicos foram obtidos por meio da curva padrão ácido gálico e os resultados expressos em mg equivalentes de ácido gálico.L⁻¹ de extrato.

3.6.7 Avaliação da atividade antioxidante (AA)

As análises de atividade antioxidante foram realizadas por três métodos, DPPH, ABTS e FRAP.

- DPPH

O método baseia-se na transferência de elétrons onde, por ação de um antioxidante (AH), o DPPH que possui cor púrpura é reduzido formando o difenil-

picril-hidrazina, de coloração amarela, com conseqüente desaparecimento da absorção, podendo a mesma ser monitorada pelo decréscimo da absorbância.

A capacidade antioxidante pelo método DPPH foi obtida através da metodologia de Sandhu et al. (2015). Os extratos (100 µL) foram inseridos em tubos de vidro de coloração escura, devidamente protegidos contra luz, na seqüência foram adicionados 3,9 mL de 6×10^{-5} mol/ L de solução de DPPH. Após 30 min de reação a absorbância foi obtida em no espectrofotômetro UV/ VIS (Shimadzu- 1800) a 515 nm. Os resultados obtidos foram expressos em µmol de Trolox equivalente/ g de amostra.

- ABTS

O mecanismo que conduz o método de ABTS^{•+} para determinar a atividade antioxidante consiste na captura do radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS^{•+}), que pode ser gerado através de reação química, eletroquímica ou enzimática (KLAJN et al., 2012).

A avaliação da capacidade antioxidante por ABTS foi realizada seguindo as metodologias descritas no trabalho de Re et al. (1999), Yim et al. (2013) e Ozgen et al. (2006). As soluções de ABTS (7 mM) e de persulfato de potássio (140 mM) foram preparadas utilizando 10 mL de acetato de sódio (20 mM; pH 4,5). Em seguida, 10 mL de ABTS foram homogeneizados com 176 L de persulfato de potássio e a absorbância da solução de ABTS foi ajustada para $0,700 \pm 0,050$, no qual a proporção de ABTS: solução tampão foi de 1:10.

Por fim, 3 mL de ABTS foi inserido em 30 µL de extrato e permaneceu sob abrigo de luz por 2 h, na seqüência, a leitura foi realizada no espectrofotômetro UV/ VIS (Shimadzu- 1800) em 734 nm.

- FRAP

Segundo Klajn et al. (2012) o método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) – poder antioxidante de redução do ferro é baseado na redução do ferro e não na captura de radicais livres, diferente do método DPPH e ABTS.

Para avaliar a atividade antioxidante por FRAP seguiu-se a metodologia de Kilc e Gocmen (2014) com adaptações. O reagente FRAP foi obtido a partir da combinação de 120 mL de tampão acetato 0,3 M, 12 mL de uma solução de TPTZ (2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine) 10 mM e 12 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM, sendo utilizado logo após o preparo. Em seguida, realizou a mistura na proporção (10: 1: 1) da solução tampão, do TPTZ e do cloreto férrico, nessa ordem. Inseriram-se 0,1 dos extratos juntamente com 3 mL do reativo Frap em tubos de ensaios vidro escuro e após 30 min realizaram-se as leituras no espectrofotômetro UV/ VIS (Shimadzu- 1800) a 593 nm. O resultado final foi expresso em μmol de Trolox equivalente/ g de amostra.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises de composição centesimal foram realizadas em triplicata e os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa público ASSISTAT 7.6 beta (ASSISTAT, 2014).

Os gráficos e os ajustes dos modelos matemáticos foram realizados no programa Statistic 10 (STATSOFT, Michigan, USA).

Os parâmetros utilizados como critério de seleção para os ajustes matemáticos foram: o coeficiente de determinação ajustado (R^2), a raiz quadrada média do erro (RMSE) e o erro relativo (P %) os quais podem ser obtidos pelas seguintes equações:

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (14)$$

$$\text{RMSE} = \sum_{i=1}^N \left[\frac{(Y - \hat{Y})^2}{\text{GLR}} \right]^{0,5} \quad (15)$$

Onde, N é o número de dados observados; Y o valor experimental; \hat{Y} o valor obtido pelo modelo e GLR o grau de liberdade do modelo, determinado através da diferença entre o número de dados observados e o número de parâmetros do modelo.

Para avaliar a correlação entre as análises de Teor de Açúcares Redutores (AR), Compostos Fenólicos, Atividade Antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) aplicou a análise de componentes principais (PCA) utilizando o software Matlab versão 7.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CULTIVARES DE AVEIA *IN NATURA*

4.1.1 Composição Centesimal

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para a composição centesimal do grão de aveia IPR Afrodite e URS CORONA e outros resultados adquiridos por outros autores para comparação. Com relação aos macronutrientes, verificam-se valores próximos aos encontrados na literatura. Convém destacar os teores consideráveis de amido, fibras brutas e proteína.

TABELA 8- COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS CULTIVARES DA AVEIA BRANCA

Composição Química (g/100 g)	Presente Trabalho		Literatura	
	IPR Afrodite	URS CORONA	HITAYEZU et al. (2015) Grão de Aveia (Farinha Integral)	SANDHU et al. (2015) Aveia (OS-346)
Umidade	12,4 ^b ± 0,0660	11,7 ^{Cb} ± 0,00100	9,0	8,2
Cinzas	1,78 ^f ± 0,0750	1,61 ^{Ee} ± 0,213	1,8	3,9
Proteínas	10,2 ^d ± 0,244	9,96 ^{Dd} ± 0,311	13,0	13,6
Lipídios	5,26 ^e ± 0,0510	4,60 ^{Ff} ± 0,066	6,9	5,3
Amido	42,08 ^a ± 0,4150	40,8 ^A ± 0,502	nd	nd
Fibra bruta	11,69 ^c ± 0,5230	14,60 ^B ± 0,380	12,7	13,3

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. *nd- Não determinado

FONTE: À AUTORA (2016).

Diante os resultados obtidos, notou-se que o grão de aveia do cultivar Afrodite apresentou maior teor de amido (42,08 % ± 0,4150) e de lipídios (5,26 % ± 0,0510). No entanto, o cultivar CORONA destacou-se no teor de fibra bruta (14,60 % ± 0,380), valor notadamente superior ao encontrado na literatura por Hitayezu et al. (2015) para farinha de aveia integral e por Sandhu et al. (2015) para aveia cultivar OS-346. Tong e seus colabores (2014) verificaram em 21 cultivares de aveia que dentre as fibras brutas a média de β - glucanas presente no grão é de

5.26%, um alto teor, resultado que justifica a classificação da aveia como fonte de fibras alimentares.

Por meio dos resultados obtidos foi possível constatar que o componente que representa mais de 40% da composição do grão de aveia é o amido. Esta macromolécula apresenta grupos hidrofílicos, sendo assim, em processo de hidratação a absorção de água pelo grão de aveia tende a ser maior para grãos que apresentam maior teor de amido.

Ao avaliar o teor proteico, constatou-se que o valor encontrado é inferior aos dos outros trabalhos, mas ainda, encontra-se dentro da variação esperada, pois diferentes cultivares tendem a apresentar variação em sua composição, uma vez que, as condições ambientais, como clima, composição do solo (nitrogênio; carbono; oxigênio) pode variar de região para região.

Outros componentes, como as cinzas em menor concentração, representa os micronutrientes presentes na aveia, como por exemplo, os minerais. Esse teor de 1,78% pode reduzir durante o processo de maceração, pois os minerais solúveis em água podem ser transferidos para água de maceração.

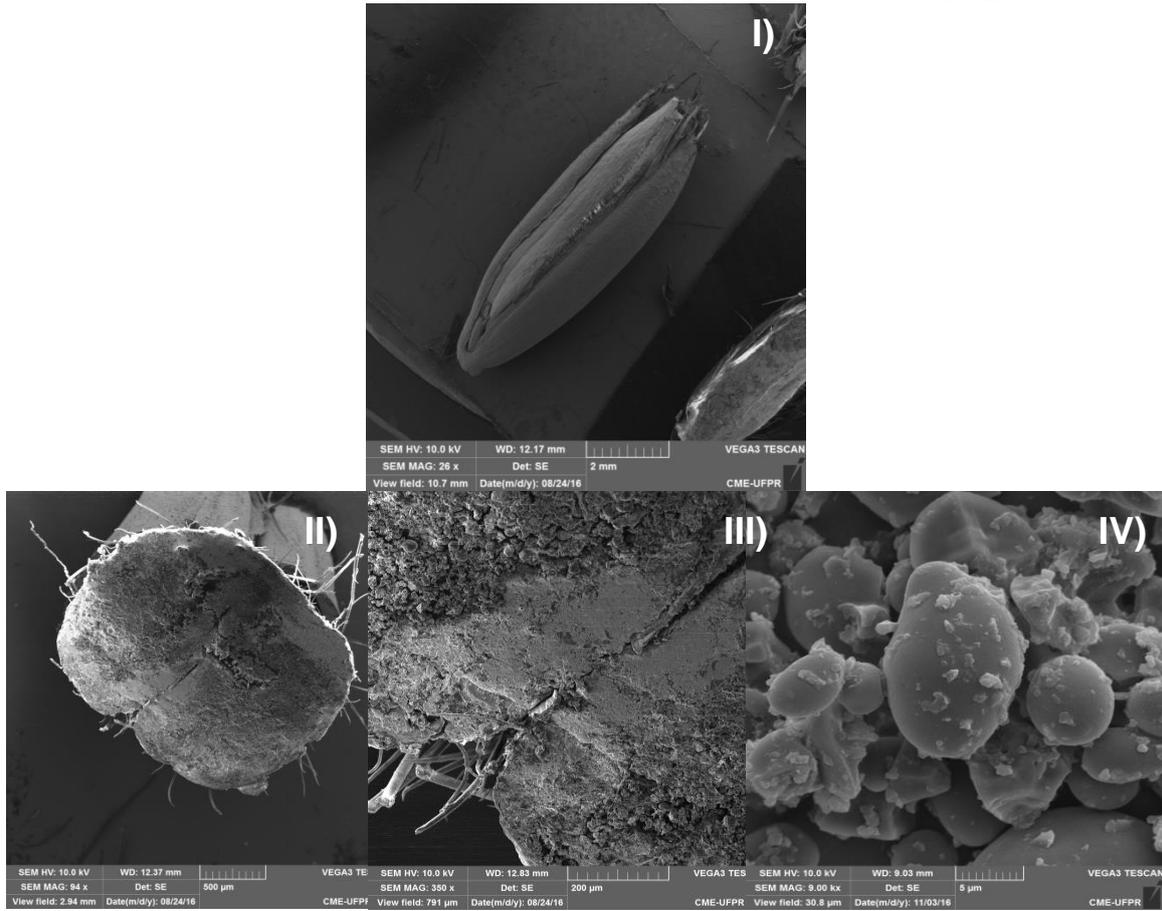
4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 10-I e a Figura 11-I mostra a forma OVAL do grão de aveia para ambos cultivares estudados. A estrutura é constituída por um pericarpo rígido, porém no interior do endosperma como mostra a Figura 10- II e Figura 11- II, há presença de fissuras, as quais são responsáveis pela permeabilidade de água para o interior do cereal.

Ao aproximar a imagem do corte transversal, o qual permitiu avaliar o interior do endosperma amiláceo (FIGURA 10-III E FIGURA 11- III) notou-se diferença entre essa região III entre os cultivares estudados, no qual a aveia IPR Afrodite aparentemente parecer ser mais porosa do que o cultivar CORONA.

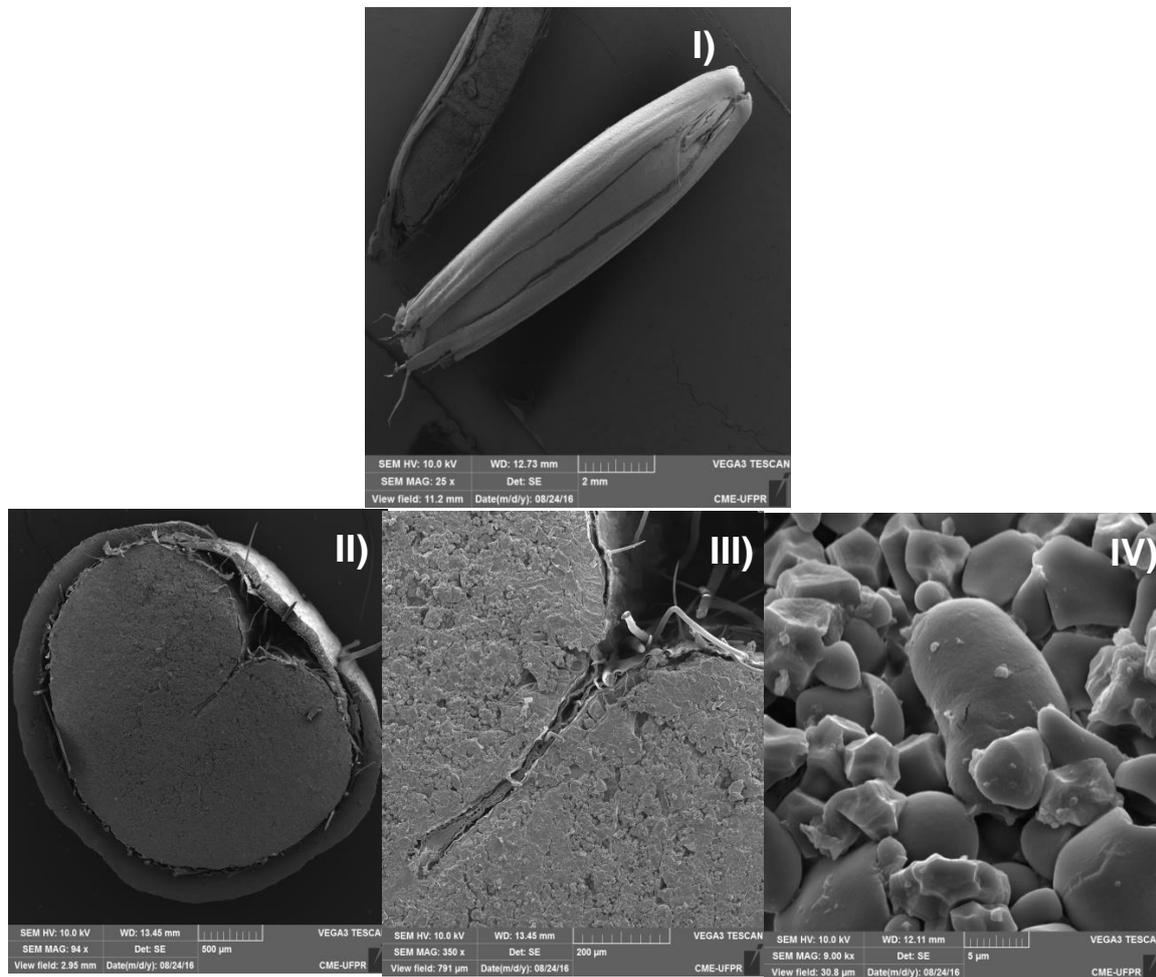
Analisando os grânulos de amido dos cultivares de aveia (FIGURA 10- IV e FIGURA 11- IV) foi possível visualizar na imagem que há proteínas ligadas aos grânulos de amido. Conforme as imagens constatou-se que o amido da aveia apresenta estrutura irregular, pois é composto por grânulos de configuração poliédrica, semiesférica e oval, resultado semelhante ao observado por Shah et al. (2017).

FIGURA 11 - IMAGENS DA ESTRUTURA DA AVEIA IPR AFRODITE



FONTE: À AUTORA (2016).

FIGURA 12 - IMAGENS DA ESTRUTURA DA AVEIA URS CORONA



FONTE: À AUTORA (2016).

4.1.2 Dimensões, Densidade e Volume dos grãos de aveia

Na Tabela 9 estão presente os resultados dos aspectos físicos dos cultivares de aveia.

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS CULTIVARES IPR AFRODITE E URS CORONA.

Cultivares	Dimensões (cm)		Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)
	Raio (cm)	Comprimento (cm)		
IPR Afrodite	0,128 ^a ± 0,0016	0,978 ^a ± 0,002	0.00042 ^a ± 0,000017	0,0151 ^a ± 0,0003
URS CORONA	0,137 ^a ± 0,0018	1,07 ^a ± 0,003	0.00056 ^b ± 0,000023	0,0186 ^b ± 0,0002

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

FONTE: À AUTORA (2016).

Com mostra a Tabela 9 os cultivares estudados apresentam resultados semelhantes, no entanto o URS CORONA apresenta maior volume e densidade com diferença significativa.

Contudo, a importância de conhecer tais características está associada ao comportamento que cada grão apresentou no processo de hidratação. O valor do raio e da densidade foram utilizados nos modelos de Difusão e Parâmetros concentrados, os quais são apresentados em posteriores resultados.

4.1.3 Considerações gerais do Item 4.1

Alguns pontos importantes sobre a caracterização dos cultivares de aveia estudada vale ser ressaltados:

- Os cultivares de aveia IPR Afrodite e URS CORONA apresentam mais de 40% de amido em sua composição, além de serem ricos em fibras brutas;
- Os cultivares de aveia apresentam-se na forma oval, com endosperma amiláceo poroso e grânulos de amidos com forma poliédrica, semiesférica e oval.

4.2 COMPORTAMENTO CINÉTICO DA HIDRATAÇÃO DO GRÃO DE AVEIA

O comportamento cinético da aveia, ainda é um estudo pouco explorado na literatura, por esse motivo o presente trabalho buscou estudar tal comportamento em função das variáveis: tempo e temperatura.

4.2.1 Cinética de hidratação dos cultivares de aveia IPR Afrodite e URS CORONA e Regime de hidratação

A cinética foi conduzida por um período de 10 h utilizando quatro temperaturas distintas 10, 20, 25 e 35 °C. As temperaturas escolhidas foram de acordo com estudo realizado com cevada (MONTANUCI; JORGE: JORGE, 2013). O respectivo estudo avaliou o efeito de baixas e altas temperaturas sobre a capacidade de absorção de água pelo grão.

Pelo exposto nas Figuras 13 e 14 constatou-se que o comportamento cinético de hidratação para os cultivares URS CORONA e IPR Afrodite podem ser dividido em duas Fases de hidratação.

A primeira fase, sendo a fase rápida de ganho de umidade pode ser caracterizada pelas forças capilares, que segundo Becker (1960) esse fenômeno pode ocorrer em processos de alimentos porosos, como a aveia, arroz, trigo, cevada. Esse comportamento foi avaliado em virtude da característica da curva. Na Figura 13 e 14 foi possível observar que os cultivares tiveram um aumento de mais de 10 % da umidade inicial, após meia hora de processo.

Enquanto isso, a segunda fase inicia-se pelo fenômeno da difusão. Nessa etapa a água se liga ao amiláceo presente no endosperma, resultando em uma maior concentração da mesma no centro do grão (PINEDA-GÓMEZ; ROSALES-RIVEIRA; RODRÍGUEZ-GARCÍA, 2014). Na respectiva fase, o grão inicia-se a saturação de água no seu interior e o ganho de umidade é mais lento, pois a capacidade de absorção do grão vai entrando no limite, pois a diferença de concentração vai se tornando constante.

FIGURA 13 - CURVAS CINÉTICAS DE HIDRATAÇÃO EM DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR IPR AFRODITE)

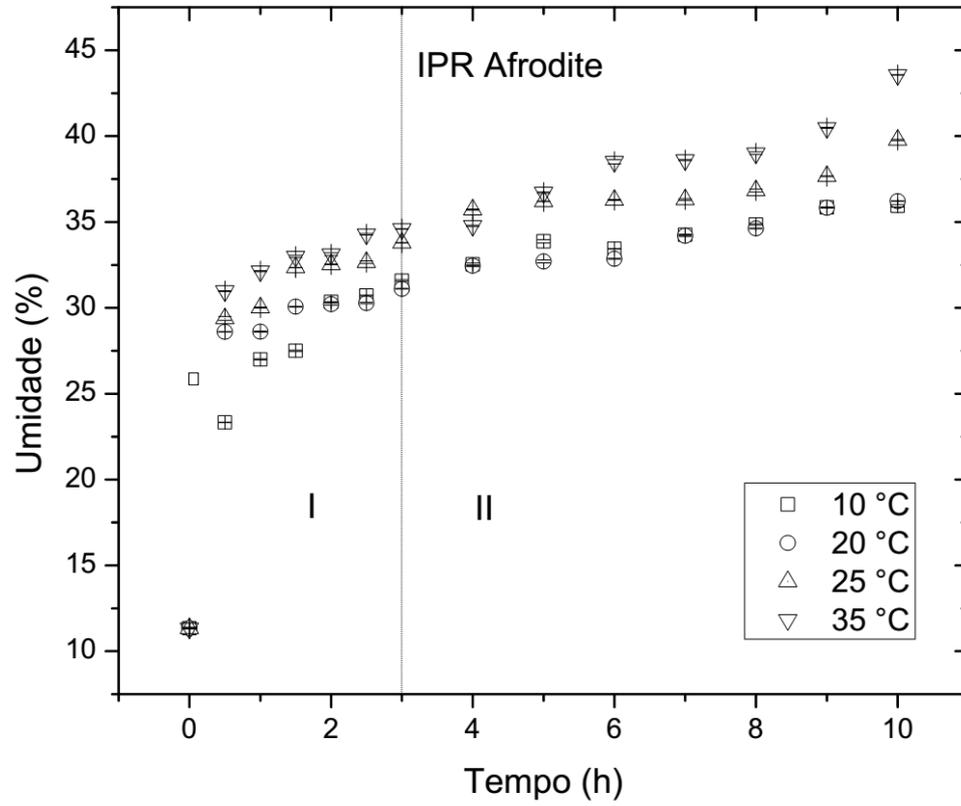
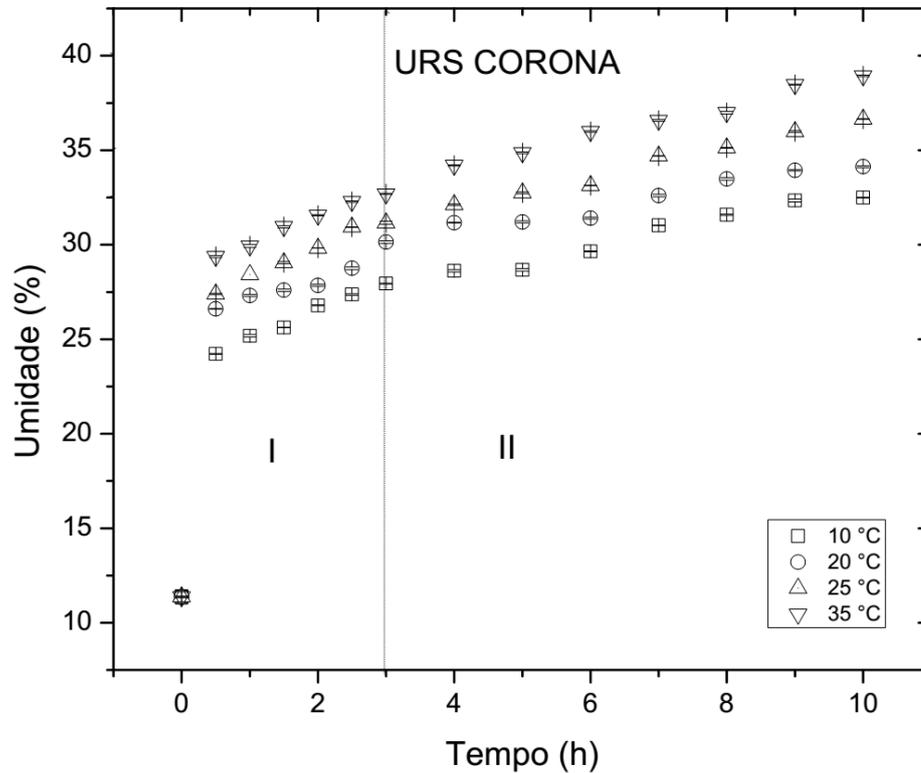


FIGURA 14 - CURVAS CINÉTICAS DE HIDRATAÇÃO EM DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR URS CORONA)



A Tabela 10 evidencia a diferença significativa entre o início de uma fase e o começo da outra. Segundo os dados, a Fase I termina após três horas de hidratação para ambos cultivares de aveia. O fim de uma Fase e início de outra foi observado pelos dados estatísticos realizado com as médias da umidade de cada Fase.

TABELA 10 - QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA NAS DIFERENTES TEMPERATURAS E FASES OBSERVADAS DURANTE A HIDRATAÇÃO DOS CULTIVARES DE AVEIA

Cultivares	Temperatura (° C)	Fase I (%b.u.)	Fase II (%b.u.)
Afrodite	10	25,97 ^a ± 4,93	34,39 ^b ± 0,9895
IPR	20	27,17 ^b ± 4,52	34,12 ^a ± 1,248
Afrodite	25	28,86 ^b ± 5,01	36,96 ^a ± 1,000
	35	29,91 ^b ± 5,31	38,81 ^a ± 1,894
URS CORONA	10	24,35 ^a ± 3,68	30,62 ^b ± 1,41
URS CORONA	20	25,68 ^b ± 4,05	32,56 ^a ± 1,11
URS CORONA	25	26,89 ^b ± 4,40	34,35 ^a ± 1,44
	35	28,32 ^b ± 4,81	36,57 ^a ± 1,34

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

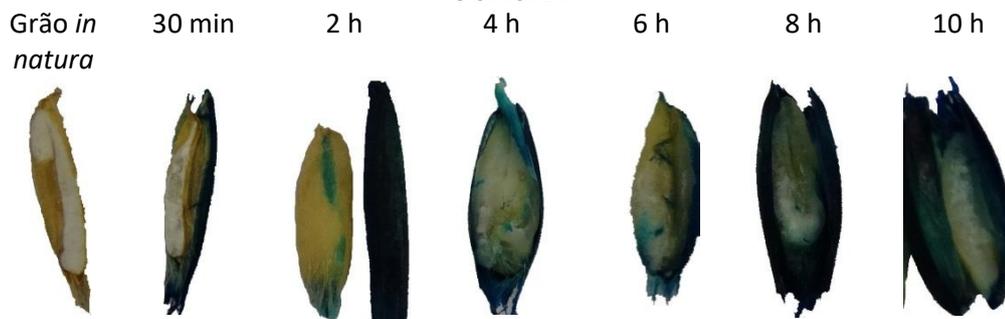
Com os resultados obtidos foi possível observar que a Fase I é a fase de maior absorção de água, tendo menor desvio padrão, enquanto que a Fase II para ambos cultivares e temperaturas o desvio vai diminuindo, sendo esse período de absorção constante.

O teor de umidade absorvida na primeira fase em relação à umidade inicial para temperatura de 10 °C foi de 15% e para maior temperatura do processo foi de 18, 57% de umidade para o cultivar CORONA.

Em contrapartida, o cultivar Afrodite apresenta-se maior absorção de água, pois sua umidade de equilíbrio é notadamente superior, e tal comportamento pode ser justificado pelo fato desse cultivar apresentar maior teor de amido e aparentemente é mais poroso, como visto na análise de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Como o processo de hidratação ocorre em duas Fases o regime de hidratação foi avaliado por meio da hidratação com corante. A Figura 15 expõe o mecanismo de absorção de água pelo grão aveia, a qual mostra que no primeiro estágio de hidratação a absorção ocorreu pelo pericarpo, sendo essa parte do grão uma região porosa.

FIGURA 15 - REGIME DE HIDRATAÇÃO- HIDRATAÇÃO COM CORANTE (35 °C) cultivar URS CORONA



A Figura 15 mostrou que a água inicia-se sua hidratação pela casca do grão e vai penetrando lentamente para o interior do grão até atingir a o interior da aveia, a qual teve um rápido ganho de umidade, caracterizado pela Fase I.

O interior do grão de aveia é constituído por proteínas ligadas a grânulos de amido. Sendo assim, ao atingir o endosperma as moléculas de água se ligam as hidroxilas do grânulo de amido e as proteínas hidrofílicas até atingir a saturação.

Esse fenômeno de absorção pode diferir de um grão para outro, sendo cereal ou leguminosa cada um possui sua particularidade de penetração de água. Cabe

ressaltar que esse fenômeno pode ser caracterizado por uma distribuição de água pelo interior do cereal de aveia o qual tem entrada de água pelo pericarpo. Em analogia a esse fenômeno ao do trabalho realizado por Miano e Augusto (2015), constatou-se que a entrada de água pelo feijão é pelo hilo.

4.2.2 Ajustes de Modelos Matemáticos

- Modelos Empíricos

As Figuras 16 a 19 exibem os ajustes matemáticos frente aos modelos empíricos utilizados neste estudo. Como pode-se observar no comportamento cinético de hidratação dos grãos de aveia, a umidade após 8 h de processo mantém-se constante, pois o ganho é muito pequeno. Sendo assim, para estudar o processo de maceração da aveia a umidade atingida no tempo de 8 h de hidratação é suficiente para seguir para etapa de germinação.

FIGURA 16 - MODELO CINÉTICO DE PELEG AJUSTADO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR IPR AFRODITE)

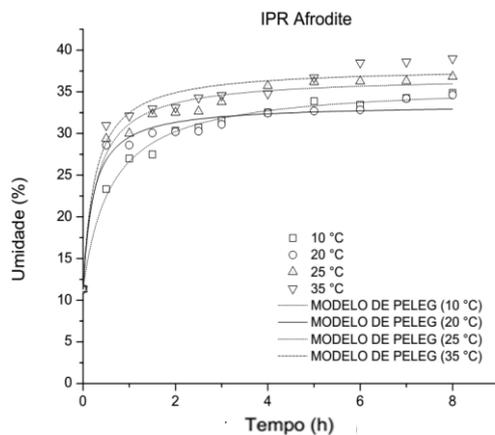


FIGURA 17 - MODELO CINÉTICO DE PELEG AJUSTADO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR URS CORONA)

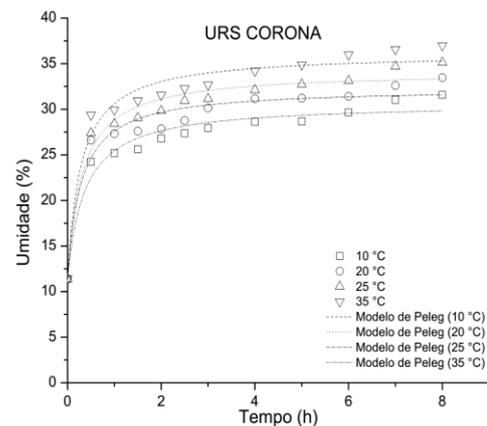


FIGURA 18 - MODELO CINÉTICO DE WEIBULL AJUSTADO EM DIFERENTES TEMPERATURAS (CULTIVAR IPR AFRODITE)

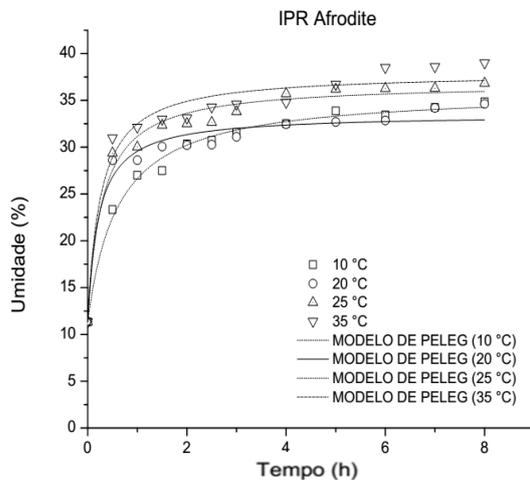
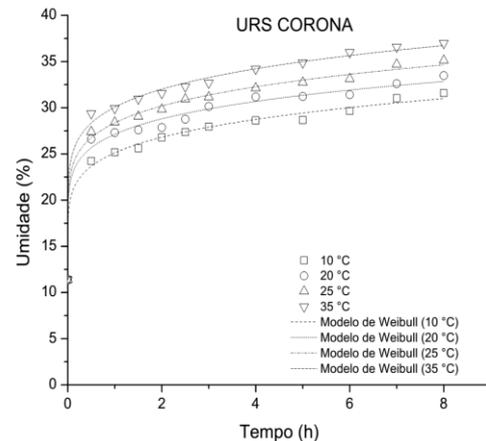


FIGURA 19 - MODELO CINÉTICO DE WEIBULL AJUSTADO EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO (CULTIVAR URS CORONA)



Com relação aos comportamentos cinéticos, verificou-se que em ambos cultivares o nível de umidade atingida aumentou com o acréscimo da temperatura do processo, como mostra as Figura 16 - 19. Esse comportamento também foi encontrado por Montanucci et al. (2014), verificando a influência do aumento da temperatura na absorção de água durante o processo de hidratação do grão cevada.

De acordo com a modelagem, adquiriram-se os parâmetros cinéticos do processo de hidratação para cada temperatura (TABELA 11). Observa-se que ambos os modelos empíricos tiveram ajustes satisfatórios para os cultivares de aveia Afrodite e CORONA, no qual obteve coeficiente de determinação superiores a 95%, valores de P menores 4 % e valores de RMSE inferiores a 3 %. De acordo com Khazaei, Mohammadi (2009) e Shafei, Mosoumi e Roshan (2014) os ajustes matemáticos são representativos quando os valores de P (%) são menores que 10% e RMSE inferior a 5 %.

TABELA 11- PARÂMETROS CINÉTICOS DOS AJUSTES PELOS MODELOS EMPÍRICOS

MODELO DE PELEG									
Cultivar	Temperatura (°C)	Constantes				U_s	R ²	P(%)	RMSE (%)
		K_1 (h ⁻¹ %)	Erro	K_2 (% ⁻¹)	Erro				
IPR Afrodite	10	0,0248	0,0018	0,0405	7,17E-04	34,85	0,9910	1,501	2,038
	20	0,0112	0,0018	0,0392	9,09E-04	34,62	0,9639	2,038	3,409
	25	0,0097	0,0023	0,0451	0,0012	36,82	0,9764	2,751	4,767
	35	0,0096	0,0022	0,0376	0,0011	39,00	0,9573	3,409	3,957
URS CORONA	10	0,0192	0,0038	0,0518	0,0019	31,58	0,9567	2,307	3,172
	20	0,0138	0,0032	0,0477	0,0016	33,48	0,9519	2,532	4,195
	25	0,0134	0,0026	0,0438	0,0012	35,12	0,9639	3,038	3,647
	35	0,0116	0,0025	0,0403	0,0012	36,98	0,9599	3,516	3,999
MODELO DE WEIBULL									
Cultivar	Temperatura (°C)	Constantes				U_s	R ²	P(%)	RMSE (%)
		α	Erro	B	Erro				
IPR Afrodite	10	0,1361	0,0112	3,004	0,1847	35,93	0,9841	2,234	2,734
	20	0,0760	0,0064	2,274	0,1648	34,62	0,9927	0,9079	1,561
	25	0,0839	0,0058	1,022	0,1026	36,82	0,9938	0,8944	1,237
	35	0,0826	0,0069	0,6804	0,1032	39,00	0,9910	1,432	1,826
URS CORONA	10	0,1130	0,0069	7,822	0,5157	31,58	0,9933	0,8876	1,305
	20	0,0954	0,0082	4,324	0,2881	33,48	0,9896	1,853	2,052
	25	0,9510	0,0050	2,574	0,1091	35,12	0,9953	1,156	1,266
	35	0,09011	0,0052	1,367	0,0947	36,98	0,9954	1,139	1,474

Onde, U_s : umidade de saturação; K_1 : constante de velocidade de transferência de massa (h⁻¹ %); K_2 : constante máxima de absorção de umidade; β : parâmetro de escala; define a velocidade do processo de absorção de umidade; α : parâmetro de forma índice de comportamento (absorção); R²: coeficiente de determinação ajustado; RMSE: raiz quadrada média do erro; P%: erro relativo.

A constante de velocidade de transferência de massa (k_1) (TABELA 11) reduziu à medida que houve o aumento da temperatura do processo aumentou. Esse resultado corroborou ao processo de hidratação de outros cereais, como o do arroz parboilizado (BOTELHO et al., 2010) em 10 h de hidratação, para o milho (BOTELHO et al., 2013) em 12 h de imersão em água e para o grão de cevada em 32 h de maceração (MONTANUCI; JORGE; JORGE, 2013).

Os valores de k_1 encontrados para ambos cultivares deste estudo foram inferiores ao da cevada (cultivar BRS CAUE) ($k_1= 6,03 \text{ h } \%^{-1}$) a temperatura de 10 °C (MONTANUCI; JORGE; JORGE, 2013), menor ao encontrado para hidratação do arroz ($k_1= 11,04 \text{ h } \%^{-1}$) (PEREZ et al., 2011) hidratado a 25 °C, e para o arroz parboilizado ($k_1= 20,3 \text{ h } \%^{-1}$) (BOTELHO et al., 2010) imerso em água por 10 h a 25 °C. A diferença do comportamento cinéticos desses cereais pode ser correlacionada com a estrutura dos grãos e também o a composição química do mesmo. Os cereais, cevada e arroz, apresentam uma estrutura e teores de micronutrientes diferentes da aveia. O grão cevada possui uma geometria visualmente menor ao da aveia, enquanto o arroz constitui-se de um pericarpo menos rígido ao da aveia, tornando a absorção de água desses cereais mais rápida quando comparado ao grão aveia.

A constante máxima de absorção de água (K_2) (TABELA 11) também apresentou decréscimo com o aumento da temperatura, para o Cultivar CORONA semelhante ao que ocorre no processo de hidratação com o trigo (MASKAN, 2002). A capacidade de absorção pode reduzir com o aumento da temperatura de hidratação em virtude as mudanças na estrutura dos constituintes presentes no grão, como as proteínas e o amido, pois quanto maior o valor de K_2 maior é a capacidade de absorção no equilíbrio, como mostra a Figura 16 e 17. No entanto, esse comportamento não foi observado para o cultivar Afrodite.

Ao analisar a composição centesimal dos cereais, foi possível verificar que cereais como cevada por apresentar teor amiláceo médio de 58,24 % (cevada BRS CAUE) (MONTANUCI; JORGE; JORGE, 2013) e o arroz (77%) (SERNA-SADIVAR, 2010) apresentaram maior capacidade de absorção de água. Sendo assim, esses teores de amido podem ser correlacionados ao

comportamento cinético de absorção de água pelos grãos. Em estudo de Botelho et al., (2010) para o arroz, e cevada, cereal estudado por Montanucci, Jorge, Jorge (2013) apresentaram teores de amido superiores ao deste estudo e os valores para constante K_2 do modelo de Peleg foi superior ao encontrado nesse estudo.

A constante α (parâmetro de forma índice de comportamento de absorção) para o cultivar IPR Afrodite manteve-se constante com o aumento da temperatura, enquanto para CORONA foi inversamente proporcional, apresentando uma tendência linear com a temperatura. Esse resultado pode ser justificado pela estrutura do grão, pois o cultivar IPR Afrodite é constituído por um revestimento mais rígido quando comparado ao pericarpo da URS CORONA, e essa estrutura mais rígida pode ter promovido resistência na entrada no grão, e por consequência, um comportamento atípico quando comparado ao outro cultivar desse estudo. No entanto, os valores de β (velocidade do processo de absorção de umidade) obtidos demonstraram uma influência da temperatura, pois para ambos cultivares o valor decresceu com o aumento de energia no sistema.

- Modelo Generalizado

Como o ajuste do modelo de Peleg e Weibull foram satisfatórios, as constantes K_1 e β foram relacionadas com a Equação de Arrhenius, pois as respectivas constantes apresentaram decréscimo com aumento da temperatura (TABELA 12).

TABELA 12 - EQUAÇÕES DOS PARÂMETROS DOS MODELOS PELA LEI DE ARRHENIUS

Cultivar	Modelo	Parâmetro	Equação de Arrhenius	R ²	P(%)
IPR Afrodite	Peleg	K_1	$\frac{1}{K_1} = 1,81 \times 10^9 e^{\frac{-41433}{R.T}}$ (16)	0,9177	8,869
IPR Afrodite	Weibull	β	$\frac{1}{\beta} = 5,40 \times 10^6 e^{\frac{-39168}{R.T}}$ (17)	0,8324	10,563
URS CORONA	Peleg	K_1	$\frac{1}{K_1} = 3,78 \times 10^5 e^{\frac{-15449}{R.T}}$ (18)	0,9049	9,053
URS CORONA	Weibull	β	$\frac{1}{\beta} = 9,50 \times 10^7 e^{\frac{-48122}{R.T}}$ (19)	0,98478	1,935

* K_1 : constante de velocidade de transferência de massa (h^{-1} %); β : parâmetro de escala; define a velocidade do processo de absorção de umidade; R²: coeficiente de determinação ajustado; P%: erro relativo.

A Tabela 12 exibe a relação das constantes dos modelos empíricos com a Equação de Arrhenius, esta por sua vez, forneceu a energia de ativação do processo de hidratação para cada cultivar dos modelos estudados.

As energias de ativação obtidas no processo de hidratação de Montanucci, Jorge e Jorge (2013) para a cevada e de Marques, Jorge e Jorge (2016) para o grão de milho foram menores quando comparadas a deste estudo para aveia, exceto a energia de ativação obtida para o cultivar URS CORONA para o modelo de Peleg. Esse resultado justifica os maiores valores da constante de velocidade de transferência de massa para IPR AFRODITE, pois como foi verificado, pois quanto menor for o valor da energia de ativação maior será a difusividade efetiva de água no produto (RESENDE; CORRÊA, 2007)

Como os valores de K_2 e α do cultivar IPR Afrodite mantiveram-se constantes com o aumento da temperatura, não apresentando uma tendência linear, então por isso, obtiveram-se o valor médio dessas constantes. Enquanto para o cultivar URS CORONA foi obtida regressões lineares, tanto para K_2 e quanto para α . Esse decréscimo linear com o aumento da temperatura também foi observado por Botelho et al. (2010) na hidratação do o arroz parboilizado.

Obtendo-se a média das constantes K_2 e α para Afrodite mais as equações de dependência linear dessas constantes para URS CORONA e as

relações dos parâmetros cinéticos K_1 e β com a Equação de Arrhenius presente na Tabela 13, adquiriram-se modelos generalizados para os modelos empíricos, Peleg e Weibull (Equações 20-23) os quais estão expostos na Tabela 13.

TABELA 13 – MODELOS GENERALIZADOS PARA O CULTIVARES IPR AFRODITE E URS CORONA

MODELO GENERALIZADO DE PELEG	
IPR AFRODITE	
$U(t) = U_0 + \frac{t}{\frac{1}{1,81 \times 10^9 e^{\frac{-41433}{R.T}}} + (0,0406 \times t)}$	(20)
URS CORONA	
$U(t) = U_0 \frac{t}{\frac{1}{3,78 \times 10^5 e^{\frac{-15449}{R.T}}} + (-0,0006T + 0,2145T) \times t}$	(21)
MODELO GENERALIZADO DE WEIBULL	
IPR AFRODITE	
$U(t) = \left(e^{\left(\frac{t}{5,40 \times 10^6 e^{\frac{-39168}{R.T}}} \right)^{0,09465}} \right) (U_0 - U_s) + U_s$	(22)
URS CORONA	
$U(t) = \left(e^{\left(\frac{t}{9,50 \times 10^7 e^{\frac{-48122}{R.T}}} \right)^{-0,0009T + 0,35965}} \right) (U_0 - U_s) + U_s$	(23)

FONTE: À AUTORA (2016).

Os respectivos modelos representados pela Equação 20, 21, 22 e 23 e são capazes de estimar a absorção de umidade na etapa de hidratação da aveia de ambos cultivares, por meio da interpolação de temperaturas que não foram estudadas. Estas, por sua vez, fornecem informações sobre a umidade do grão durante o processamento, sendo de interesse para a indústria de amido, malte e farinha.

- Modelos Fenomenológicos

As Figuras 20- 23 exibem os ajustes matemáticos dos modelos teóricos empregados nesse estudo. Com esses ajustes foi possível adquirir parâmetros

de impropriedade ao processo de maceração da aveia, bem como o coeficiente convectivo e a coeficiente difusivo.

FIGURA 20 - MODELO PARÂMETROS CONCENTRADOS (CULTIVAR IPR AFRODITE)

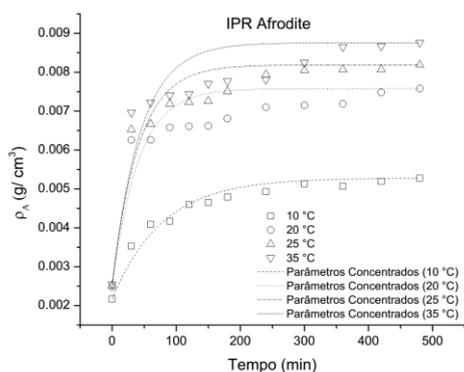


FIGURA 21 - MODELO PARÂMETROS CONCENTRADOS (CULTIVAR URS CORONA)

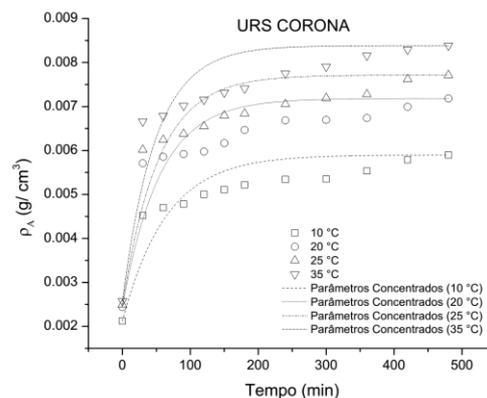


FIGURA 22 - MODELO DE DIFUSÃO (CULTIVAR IPR AFRODITE)

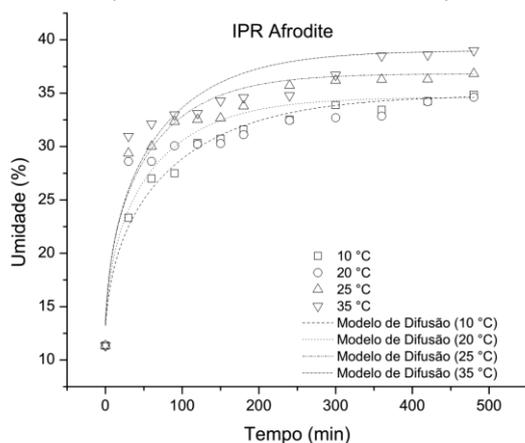
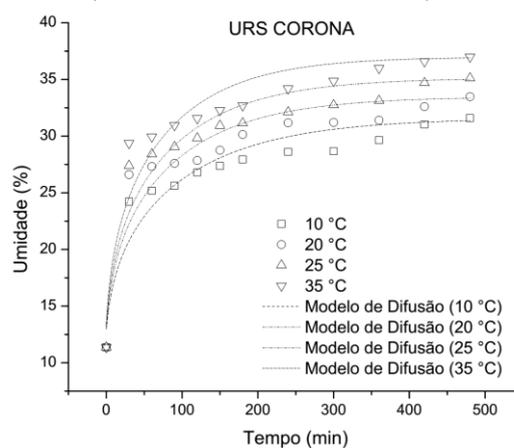


FIGURA 23 - MODELO DE DIFUSÃO (CULTIVAR URS CORONA)



A Tabela 14 apresenta os parâmetros cinéticos obtidos por meio dos ajustes matemáticos e também apresenta a qualidade do ajuste frente aos dados experimentais.

TABELA 14 – AJUSTES MATEMÁTICOS POR MODELOS FENOMENOLOGICOS

Cultivares	Temperatura (°C)	Modelo Parâmetros Concentrados				
		K_s (cm/ min)	ρ_{eq} (g/ cm ³)	R ²	P (%)	RMSE (%)
IPR Afrodite	10	0,00087 ± 0,00062	0,00528	0,957	3,331	4,404
	20	0,00169 ± 0,00037	0,00758	0,813	7,241	8,763
	25	0,00154 ± 0,00029	0,00819	0,892	5,477	7,236
	35	0,00168 ± 0,00026	0,00876	0,813	7,465	9,531
URS CORONA	10	0,00101 ± 0,00067	0,00589	0,894	3,904	5,188
	20	0,00108 ± 0,00021	0,00710	0,890	4,442	5,946
	25	0,00122 ± 0,00025	0,00771	0,907	2,422	5,984
	35	0,00134 ± 0,00023	0,00838	0,852	5,908	7,452
Temperatura (°C)		MODELO DE DIFUSÃO				
		D_e (m ² /s)	R ²	P (%)	RMSE (%)	
IPR Afrodite	10	2,8x10 ⁻⁹ ± 1,7x10 ⁻¹⁰	0,984	3,173	5,468	
	20	3,9x10 ⁻⁹ ± 6,5x10 ⁻¹⁰	0,896	8,601	8,057	
	25	4,3x10 ⁻⁹ ± 5,4x10 ⁻¹⁰	0,948	4,722	7,218	
	35	3,6x10 ⁻⁹ ± 5,7x10 ⁻¹⁰	0,902	6,683	8,948	
URS CORONA	10	2,4x10 ⁻⁹ ± 3,1x10 ⁻¹⁰	0,916	5,224	7,051	
	20	2,8x10 ⁻⁹ ± 4,1x10 ⁻¹⁰	0,899	6,203	7,869	
	25	2,9x10 ⁻⁹ ± 3,9x10 ⁻¹⁰	0,915	5,958	7,775	
	35	3,1x10 ⁻⁹ ± 4,4 x10 ⁻¹⁰	0,915	6,067	8,206	

Onde, K_s : coeficiente convectivo de transferência de massa (cm/ min) ; ρ_{eq} : concentração de água no grão no equilíbrio (g.cm⁻³); D_e : Coeficiente de difusão (m².s⁻¹); R²: coeficiente de determinação ajustado; RMSE: raiz quadrada media do erro; P%: erro relativo.

A Tabela 14 expõe os resultados da modelagem do processo de imersão em água dos grãos de aveia. Com os resultados estatísticos avaliou-se que os valores de P foram menores que 10%, mas a raiz quadrada do erro médio foram superiores a 5%.

Ao analisar os ajustes matemáticos dos modelos teóricos pode-se constatar que o modelo de difusão, por ser um modelo de parâmetros distribuídos apresentou menores valores nos erros e melhor coeficiente de determinação. Esse resultado pode ser correlacionado com o regime de hidratação da aveia, como foi visto, o mesmo tem uma absorção de água de forma distribuída pelo grão, dessa maneira o modelo de difusão realmente tem melhor representatividade para esse processo.

Ao analisar os valores dos parâmetros (K_s e D_e) verificou que o coeficiente convectivo de transferência de massa e o coeficiente difusivo para o cultivar Afrodite teve um decréscimo com aumento da temperatura até a temperatura de 25 °C, mas na última temperatura (35 °C) o valor apresentou um leve aumento. De acordo com estudo de Quicazá, Caicedo e Cuenca (2012) o aumento da temperatura pode ocasionar a desnaturação das proteínas reduzindo a capacidade de hidratação inicial dos grãos. Quanto maior o valor de K_s , maior é a transferência de massa por convecção, essa pode ter influência da temperatura, pois pode aumentar com o acréscimo de energia no sistema.

Em contrapartida, esses parâmetros de processo para o cultivar URS CORONA aumentou com a elevação da temperatura de hidratação, constando uma dependência linear com a variável temperatura.

Demais estudos que determinaram o coeficiente difusivo para cereais verificaram que o arroz Kashaninejad et al. (2007) apresentou um D_e de $5,6 \times 10^{-9}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) (25 °C) valor maior ao encontrado nesse estudo, enquanto Ouloahna et al. (2012) obteve para o grão de trigo um coeficiente de $1,2 \times 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) (25 °C) e Pineda-Gómez, Rosales-Rivera, Rodríguez-García (2012) verificou em seu estudo com o grão de milho, hidratado a 92,5 °C um coeficiente difusivo de $1,45 \times 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). O coeficiente de difusão está relacionado com a mobilidade das moléculas de água, sendo assim, alimentos de maior porosidade podem apresentar um maior coeficiente, uma vez que a maior porosidade favorece a permeabilidade da água no interior do grão.

4.2.3 Considerações Gerais

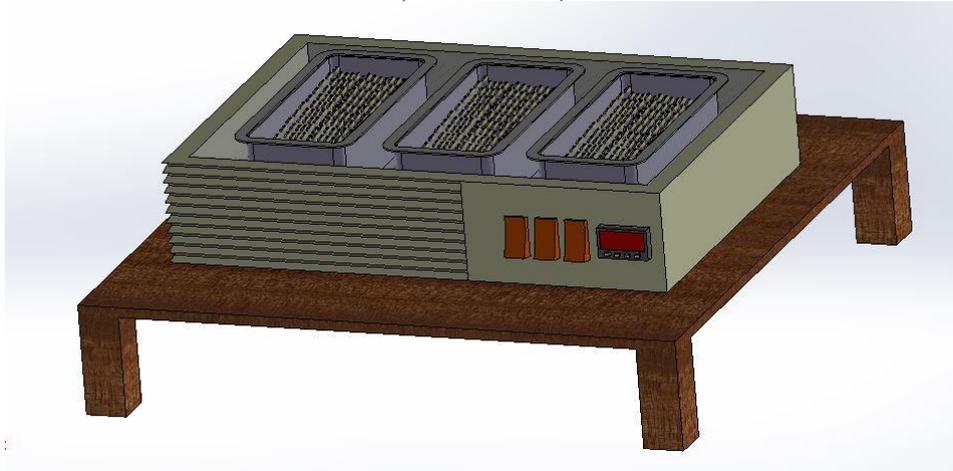
O item 4.2 abordou o comportamento cinéticos de absorção pelos grão de aveia de dois cultivares, IPR Afrodite e URS CORONA, com isso, vale ressaltar alguns dos resultados obtidos:

- Diante as propriedades cinéticas de absorção, constatou-se que o processo de hidratação foi separado em fases de absorção pelo grão caracterizado pelos fenômenos de transferência de massa, forças capilares e difusão;
- Os parâmetros cinéticos obtidos mostraram que a aveia apresenta maior capacidade de absorção quando comparada com cereais que contem maior teor de amido;
- Os parâmetros cinéticos, tanto para modelos empíricos e teóricos estudados, tiveram relação com a temperatura do processo de hidratação, exceto para o cultivar IPR Afrodite.

4.3 OBTENÇÃO DOS MALTES DE AVEIA

Apartir do compartimento cinético de hidratação da aveia foram selecionados cinco temperaturas, sendo estas 10, 15, 20, 25 e 35 °C. As temperaturas mais baixas foram escolhidas em virtude da característica do grão, pois a Aveia é um grão de inverno, como trigo, centeio e cevada, e por esse motivo, esse cereal apresenta uma alta atividade biológica. Pelo comportamento cinético de absorção de água pelo grão, notou-se que nas temperaturas maiores a capacidade do grão em absorver água foi maior, teve-se como propósito avaliar também essas temperaturas mais elevadas, como a de 25°C e de 35 °C.

FIGURA 24 - ILUSTRAÇÃO DO ESQUEMA DE MACERAÇÃO (HIDRATAÇÃO) DO GRÃO DE AVEIA (*Avena sativa*)



FONTE: A AUTORA (2016).

4.3.1 Germinação

Os grãos de aveia foram submetidos ao processo de germinação e durante os cinco dias obteve-se foram obtidos os resultados do potencial germinativo e poder de germinação do grão de aveia, como mostra a Tabela 15.

TABELA 15 – RESULTADO DO POTENCIAL GERMINATIVO E PODER GERMINATIVO DOS CULTIVARES IPR AFRODITE E URS CORONA

Amostras	Potencial Germinativo	Poder Germinativo
Aveia Afrodite (10 °C)	63,2 ± 2,0	95,2 % ± 2,2
Aveia Afrodite (15 °C)	65,3% ± 3,0	96,36 % ± 3,4
Aveia Afrodite (20 °C)	66,7% ± 3,1	98,4% ± 2,6
Aveia Afrodite (25 °C)	68,5% ± 3,6	99,3% ± 1,3
Aveia Afrodite (35 °C)	65,2% ± 2,6	98,6% ± 2,2
Aveia CORONA (10 °C)	64,2% ± 2,8	96,3% ± 2,1
Aveia CORONA (15 °C)	69,2% ± 2,6	95,7% ± 2,2
Aveia CORONA (20 °C)	73,1% ± 1,9	99,5% ± 1,8
Aveia CORONA (25 °C)	74,3% ± 1,7	98,6% ± 2,3
Aveia CORONA (35 °C)	77,6% ± 2,2	97,4% ± 1,4

Os resultados expostos na Tabela 15 mostram que os grãos de aveia apresentam pontencial e poder germinativo condizente ao requerido para o processo de maltagem, sendo assim, todos os grãos que germinaram seguiram para o processo de secagem.

4.3.2 Secagem dos grãos germinados

Após secagem determinou-se a umidade final dos maltes de aveia obtidos e do malte cevada comercial, e renomearam as amostras para as demais análises, conforme a Tabela 16.

TABELA 16 – NOMENCLATURA DOS MALTES E TEOR DE UMIDADE(%)

Amostras	Códigos das Amostras	Umidade (%)
Aveia Corona	1	11,7 ± 0,001
Malte Corona (10 °C)	2	11,3 ± 0,003
Malte Corona (15 °C)	3	12,2 ± 0,005
Malte Corona (20 °C)	4	11,1 ± 0,012
Malte Corona (25°C)	5	11,9 ± 0,017
Malte Corona (35 °C)	6	11,6 ± 0,023
Aveia Afrodite	7	12,4 ± 0,066
Malte Afrodite (10 °C)	8	11,5 ± 0,011
Malte Afrodite (15 °C)	9	12,0 ± 0,013
Malte Afrodite (20 °C)	10	11,6 ± 0,051
Malte Afrodite (25 °C)	11	11,2 ± 0,023
Malte Afrodite (35 °C)	12	11,9 ± 0,045
Malte Cevada Comercial	13	10,4 ± 0,032

Como mostra a Tabela 16, os teores de umidade final após a secagem do grão germinado são semelhantes aos teores de água do grão de aveia *in natura*. A representação desse processo pode ser visualizada pela Figura 25.

FIGURA - 25 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DOS GRÃOS GERMINADOS



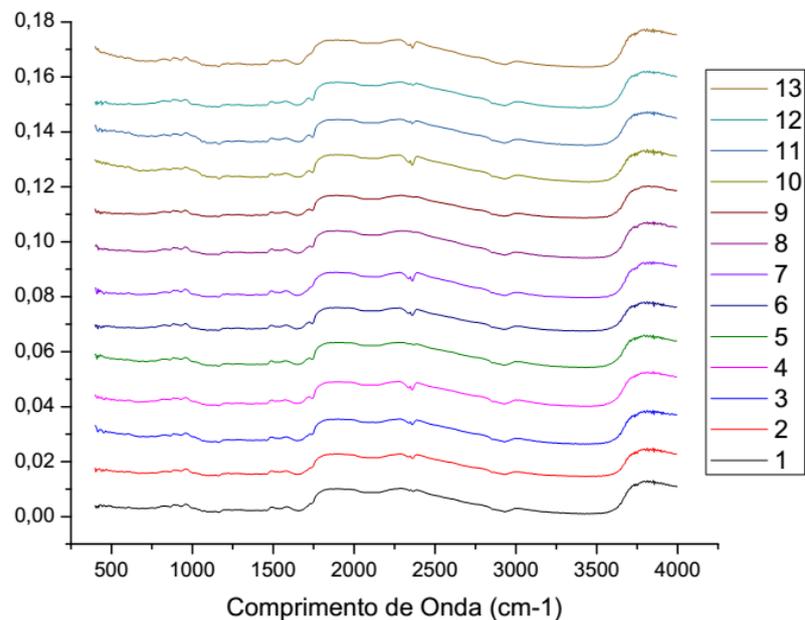
FONTE: À AUTORA (2017).

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO MALTE DE AVEIA

4.4.1 Análises de Espectroscopia FTIR

A análise de espectroscopia de FTIR representada pela Figura 26 foi realizada a fim de detectar diferenças na estrutura química dos maltes, e comparar com a aveia *in natura* e o malte cevada comercial.

FIGURA 26 - ESPECTROS FTIR DAS AMOSTRAS DE MALTE E AVEIA *in natura*



NOTA: [1] Aveia *in natura* URS CORONA; [2] Malte Corona 10 °C; [3] Malte URS CORONA 15 °C; [4] Malte URS CORONA 20 °C; [5] Malte URS CORONA 25 °C; [6] Malte URS CORONA 35 °C; [7] Aveia *in natura* IPR Afrodite; [8] Malte IPR Afrodite 10 °C; [9] Malte IPR Afrodite 15 °C; [10] Malte IPR Afrodite 20 °C; [11] Malte IPR Afrodite 25 °C; [12] Malte IPR Afrodite 35 °C; [13] Malte cevada comercial.

Os cereais apresentaram em sua composição química macromoléculas como amido, lipídios, fibras e proteínas, que são moléculas orgânicas de fácil detecção pelas técnicas FTIR, mas que para o grão de aveia tem sido pouco explorada (AMIR et al. 2013).

Similarmente ao encontrado por Sujka e colaboradores (2017) na caracterização da farinha de trigo, o espectro das amostras de malte apresentaram bandas características em 3600-3200 cm^{-1} há uma banda formada pelo estiramento da vibração da ligação O-H, como pode ser visto na Figura 25. Enquanto as bandas

formadas no intervalo 3000-2800 cm^{-1} ocorreram devido as vibrações de estiramento da ligação C-H.

A região que varia 1720 a 1650 cm^{-1} representaram o alongamento do grupo amida I (C=O) das proteínas. Os picos formados na região de 1500 cm^{-1} evidenciam a inflexão das ligações (N-H) do grupo amida II das proteínas da aveia e outro estiramento localizado na região 1249 cm^{-1} é o grupo amida III das proteínas. Segundo dados da literatura, a região desse grupo pode varia de 1350 a 1200 cm^{-1} , como foi observado por Sujka et al (2017) para o trigo, que apresenta composição semelhante ao da aveia. Czaca, Mazurek e Szostak (2016) encontraram, para farinha de trigo, região característica da Amida I (1600-1690 cm^{-1}) e amida II (1480-1580 cm^{-1}). Enquanto isso, no comprimento de onda de 900 e 852 cm^{-1} encontram - se o alongamento da molécula β -glicose e α -glicose (AMIR et al., 2013).

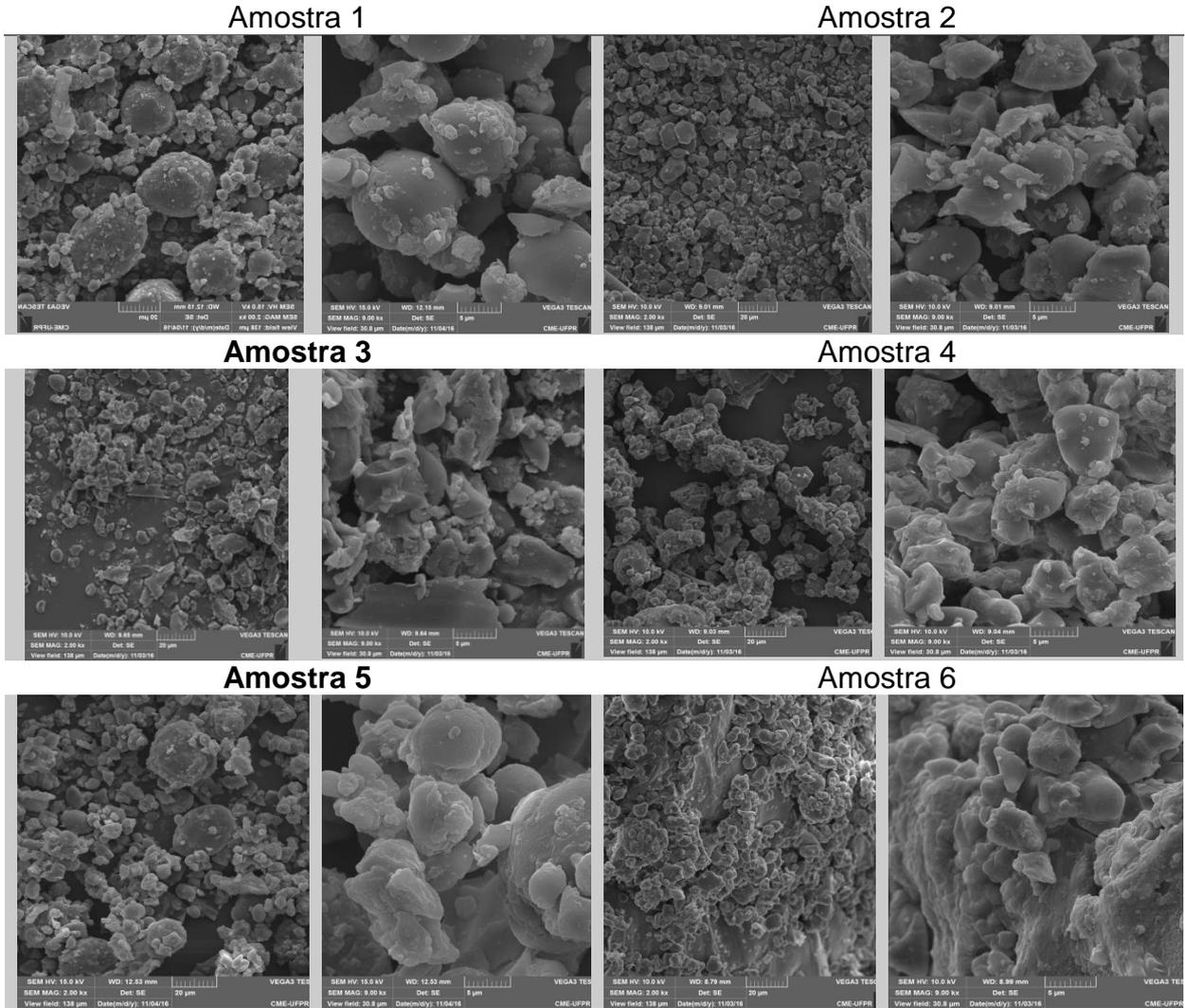
A diferença observada no presente estudo está no malte de aveia corona *in natura*, no malte de aveia corona hidratado a temperatura de 10 °C e no malte de cevada comercial, pela banda que não foi formada na região de 1750 cm^{-1} característica do grupo éster. Tal comportamento pode ser justificado por hidrólise realizada pelas lipases durante a germinação, sendo assim, com o malte Corona hidratado a temperatura de 10 °C a atividade enzimática pode ter sido menor, gerando menos compostos os quais são ficaram no limite de detecção do equipamento.

4.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com a finalidade de avaliar a estrutura dos grânulos dos maltes obtidos por diferentes temperaturas de hidratação e verificar possíveis mudanças morfológicas, realizou-se análise de MEV.

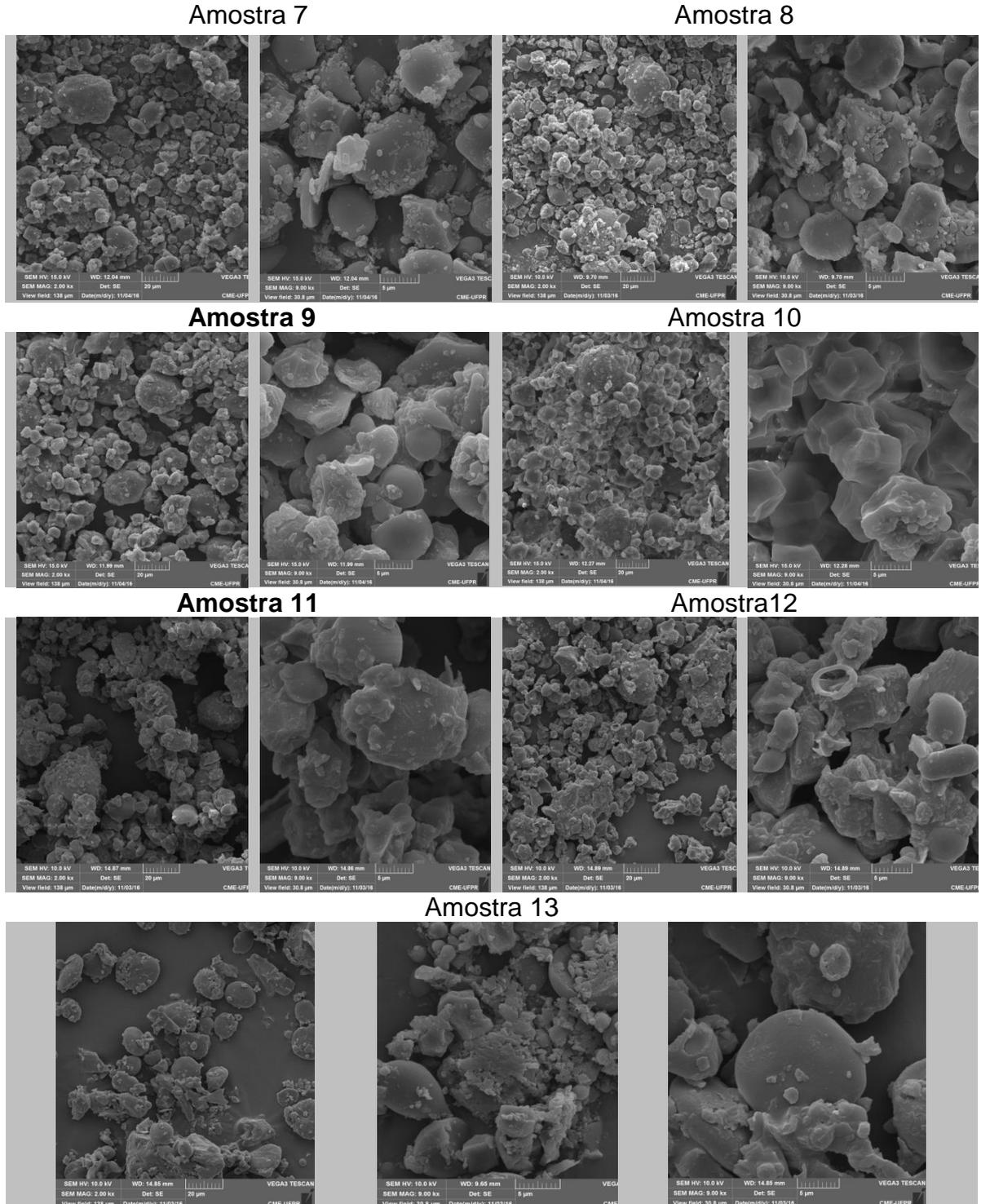
As Figuras 27 e 28 apresentam as micrografias realizadas para os maltes de aveia obtidas por diferentes temperaturas de maceração, malte cevada comercial e aveia *in natura* dos cultivares URS CORONA e IPR Afrodite.

FIGURA 27 - IMAGENS MICROSCÓPICAS DOS MALTES DE AVEIA, AVEIA IN NATURA E PARA O CULTIVAR URS CORONA. AMPLIAÇÕES DE 2 Kx e 9.00 kx DA ESQUERDA PARA DIREITA.



NOTA: [1] Aveia *in natura* URS CORONA; [2] Malte Corona 10 °C; [3] Malte URS CORONA 15 °C; [4] Malte URS CORONA 20 °C; [5] Malte URS CORONA 25 °C; [6] Malte URS CORONA 35 °C.

FIGURA 28 - IMAGENS MICROSCÓPICAS DOS MALTES DE AVEIA, AVEIA IN NATURA PARA O CULTIVAR IPR AFRODITE E O MALTE CEVADA COMERCIAL. AMPLIAÇÕES DE 2 Kx e 9.00 kx DA ESQUERDA PARA DIREITA.



NOTA: [7] Aveia in natura IPR Afrodite; [8] Malte IPR Afrodite 10 °C; [9] Malte IPR Afrodite 15 °C; [10] Malte IPR Afrodite 20 °C; [11] Malte IPR Afrodite 25 °C; [12] Malte IPR Afrodite 35 °C; [13] Malte cevada comercial.

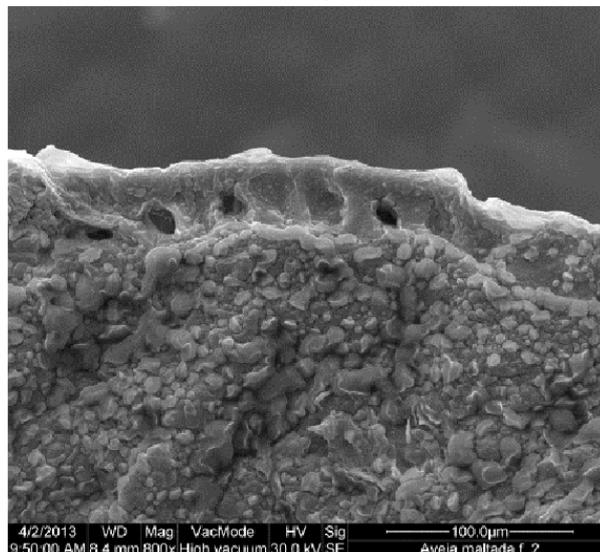
Com as análises da morfologia dos maltes e grão *in natura* pode-se observar leves mudanças estruturais na amostra 4 e, modificações nítidas na amostra 5 e 6. Enquanto para o cultivar IPR Afrodite houve alterações leves nas amostras 9, 11 e 12, a amostra 10 apresentou modificações morfológicas acentuadas, quando comparada ao grão de aveia *in natura*.

Segundo Sandrin (2013), o processo de malteação promove mudanças estruturais no grão de aveia, no qual as enzimas proteolíticas e amilolíticas hidrolisam moléculas de proteínas e amido, resultando em alterações na parede celular do grão, como pode ser visualizada na Figura 29.

Essas modificações são decorrentes da ação enzimática de amilases e proteases, estas por sua vez, atuam no processo de germinação do grão. No entanto, a temperatura do processo de maceração teve contribuição, como foi visto nas análises morfológicas. Para o cultivar CORONA a temperatura de maceração que promoveu uma mudança visível foram as de 25 e 35 °C., e o cultivar IPR Afrodite foi a temperatura de 20 °C. A germinação é um processo biológico que além da atividade enzimática, é influenciado por vários fatores como, a temperatura ambiente, umidade e composição química do grão. Por isso, os cultivares apresentaram comportamentos germinativos diferentes entre si, conforme observado nas Figuras 27 e 28.

Ao comparar as imagens do malte de aveia com o malte de cevada nota-se que a respectiva amostra também apresenta alterações em sua morfologia.

FIGURA 29 - CAMADA DA ALEURONA DA AVEIA MALTADA



FONTE: SANDRIN (2013).

Cho e Lim (2016) reportaram em seu estudo com o grão de arroz germinado que os grânulos de amido apresentaram mudanças em sua forma (FIGURA 30). Os autores afirmaram que ocorreu degradação de proteínas associadas ao amido também hidrólise nos grânulos de amido por amilases e proteases, enzimas ativadas durante a germinação.

FIGURA 30 - GRÂNULOS DE AMIDO DE ARROZ GERMINADO



FONTE: CHO E LIM (2016).

4.4.3 Teor de açúcares redutores

A determinação de açúcares redutores teve como princípio avaliar quantitativamente a atividade enzimática das amostras. Com isso, obteve-se o teores (mg.L^{-1} de extrato de malte), como mostra a Tabela 17.

TABELA 17 – AÇÚCARES REDUTORES (mg.L⁻¹)

Amostras	Teores de Açúcares redutores (mg.L ⁻¹)
1	2649,10 ^k ± 37,18
2	4642,25 ^j ± 22,50
3	3671,59 ^f ± 48,68
4	3724,712 ⁱ ± 92,13
5	15184,20 ^c ± 77,048
6	10709,29 ^d ± 83,27
7	3708,74 ^f ± 44,32
8	5812,98 ^g ± 97,70
9	6530,61 ^h ± 42,78
10	9021,92 ^e ± 50,49
11	13922,72 ^b ± 66,39
12	12827,23 ^b ± 98,36
13	43886,22 ^a ± 59,17

Letras minúscula iguais na mesma coluna indicam médias iguais pelo teste de Tukey (p<0,05).

*NOTA: [1] Aveia *in natura* URS CORONA; [2] Malte Corona 10 °C; [3] Malte URS CORONA 15 °C; [4] Malte URS CORONA 20 °C; [5] Malte URS CORONA 25 °C; [6] Malte URS CORONA 35 °C; [7] Aveia *in natura* IPR Afrodite; [8] Malte IPR Afrodite 10 °C; [9] Malte IPR Afrodite 15 °C; [10] Malte IPR Afrodite 20 °C; [11] Malte IPR Afrodite 25 °C; [12] Malte IPR Afrodite 35 °C; [13] Malte cevada comercial.

Ao analisar a Tabela 17, verificou-se que as amostras continham maiores teores de açúcares redutores (Amostras: 5, 6, 10, 11, 12 e 13) foram as mesmas amostras que tiveram mudanças morfológicas notáveis na análise de MEV (seção 4.4.2).

A quantidade de açúcares redutores do malte de cevada foi significativamente (p<0,05) superiores às demais amostras. Este resultado condiz com o poder diastásico da cevada, que foi notadamente superior ao da aveia. O poder diastásico do grão consiste na conversão da molécula de amido em moléculas de açúcares (SERNA-SALDIVAR, 2010).

As amostras 5 e 6, (malte CORONA) obtidas pela maceração a temperatura de 25 e 35 °C, respectivamente e os maltes IPR Afrodite, 10, 11 e 12, macerados a temperatura de 20, 25 e 35 °C, nessa ordem, apresentaram maiores teores de açúcares redutores que as demais amostras, exceto quando comparados ao malte cevada comercial.

A presença de açúcares redutores nas amostras evidencia a ação enzimática das amilases na hidrólise de amido durante o processo de germinação que foi influenciado pela temperatura de maceração. As temperaturas mais elevadas, como a de 25 e 25 °C foram eficazes para amostra IPR Afrodite e para o cultivar

CORONA, uma vez que, além de atingirem maior teor de umidade no grão tal variável não promoveu dormência no grão durante o processo de germinação.

Cabe ressaltar que os teores de açúcares da amostra de aveia *in natura* são cinco vezes menores quando comparado aos maltes que tiveram melhor atividade enzimática durante a germinação.

Esses resultados apontam que os extratos das amostras 5, 6, 10, 11 e 12 apresentaram maior atividade enzimática, pois a presença de açúcares redutores aumentou de forma significativa durante a germinação. Sendo assim, esses extratos podem ser testados em produtos de panificação e fermentados, como aditivos que podem melhorar as características tecnológicas dos produtos.

4.4.4 Análise de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

Muitos dos compostos fenólicos encontrados na natureza são substâncias bioativas que podem apresentar capacidade antioxidante (VERMERRIS; NICHOLSON, 2006). Com o objetivo de quantificar alguns compostos contidos nas amostras de malte de aveia, aveia *in natura* e malte cevada, foi realizada a análise de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Para que a análise cromatográfica seja possível, foi necessária uma etapa prévia de extração desses compostos fenólicos que foi realizada por ultrassom (40 KHz).

Inicialmente, curvas analíticas externas foram construídas para avaliar a faixa linear de respostas dos compostos fenólicos avaliados. A equação das curvas de calibração realizada para os padrões podem ser vistas na Tabela 18.

TABELA 18- EQUAÇÕES DA CURVA DE CALIBRAÇÃO DOS COMPOSTOS PADRÕES PAR QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS.

Compostos Padrões	Tempo Médio de Retenção (min)	Equação de Calibração	R²
Ácido Gálico	7,5	116292x – 864,1	0,9995
Ácido Clorogênico	21,5	102458x – 4616,7	0,9998
Acido Vanílico	24,1	104561x – 6873,3	0,9985
Ácido Caféico	25,2	199437x - 15562	0,9976
Acido Siríngico	27,6	141603x – 5439,1	0,9994
Acido p- Cumárico	35,7	228406x + 6356	0,9997
Acido Ferrúlico	39,5	195518x - 58015	0,9943

As equações da curva de calibração para os padrões foram consideradas linear na faixa de concentração estudada uma vez que com altos valores no coeficiente de determinação foram obtidos.

Com as equações foi possível determinar o teor dos compostos presente nas amostras, com o propósito foi de avaliar o efeito da temperatura do processo de maceração sobre o teor dos compostos fenólicos presentes nos cereais.

Os teores dessas substâncias encontram-se na Tabela 19.

TABELA 19 – TEORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS QUANTIFICADOS POR CLAE (CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA)

Teores de Compostos Fenólicos (mg.g ⁻¹)							
Amostras	Ácido Gálico	Ácido Clorogênico	Ácido Vanílico	Ácido Caféico	Ácido Siríngico	Ácido Cumárico	Ácido Ferrúlico
1		-	0,187 ± 0,015	0,210 ± 0,011	0,081 ± 0,006	0,326 ± 0,023	0,634 ± 0,056
2		-	0,069 ± 0,023	0,128 ± 0,003	0,066 ± 0,0057	0,193 ± 0,103	0,660 ± 0,043
3		-	0,056 ± 0,0016	0,142 ± 0,0013	0,062 ± 0,0236	0,318 ± 0,025	0,613 ± 0,012
4		-	0,032 ± 0,005	0,116 ± 0,063	0,065 ± 0,0213	0,274 ± 0,0123	0,677 ± 0,069
5		-	0,020 ± 0,0018	0,174 ± 0,0013	0,055 ± 0,0123	0,236 ± 0,136	0,814 ± 0,0013
6		-	0,114 ± 0,061	0,129 ± 0,056	0,055 ± 0,0179	0,170 ± 0,169	0,708 ± 0,012
7	0,095 ± 0,006	-	0,190 ± 0,0130	0,275 ± 0,076	0,075 ± 0,006	0,366 ± 0,179	0,722 ± 0,011
8	0,151 ± 0,015	-	0,111 ± 0,0098	0,118 ± 0,0235	0,066 ± 0,006	0,147 ± 0,013	0,581 ± 0,006
9	0,198 ± 0,007	-	0,148 ± 0,0021	0,130 ± 0,119	0,059 ± 0,0123	0,630 ± 0,0021	0,751 ± 0,004
10	0,194 ± 0,0012	-	0,116 ± 0,013	0,130 ± 0,0147	0,055 ± 0,0145	0,419 ± 0,0013	0,776 ± 0,0023
11	0,447 ± 0,003	-	0,129 ± 0,012	0,117 ± 0,0136	0,065 ± 0,0123	0,164 ± 0,0146	0,701 ± 0,0113
12	1,183 ± 0,0046	-	0,134 ± 0,022	0,177 ± 0,0666	0,065 ± 0,011	0,166 ± 0,012	0,765 ± 0,0025
13	0,891 ± 0,023	-	0,089 ± 0,036			0,055 ± 0,004	0,648 ± 0,0036

NOTA: [1] Aveia *in natura* URS CORONA; [2] Malte Corona 10 °C; [3] Malte URS CORONA 15 °C; [4] Malte URS CORONA 20 °C; [5] Malte URS CORONA 25 °C; [6] Malte URS CORONA 35 °C; [7] Aveia *in natura* IPR Afrodite; [8] Malte IPR Afrodite 10 °C; [9] Malte IPR Afrodite 15 °C; [10] Malte IPR Afrodite 20 °C; [11] Malte IPR Afrodite 25 °C; [12] Malte IPR Afrodite 35 °C; [13] Malte cevada comercial.

Os resultados observados na Tabela 19 evidenciam algumas diferenças entre as amostras analisadas. Pelo exposto, a presença do composto ácido gálico foi identificada nas amostras 7-13, ou seja, o maltes da aveia IPR Afrodite apresentaram um ligeiro aumento dessa substância com a germinação dos grãos macerados a temperatura mais elevada.

No entanto, o ácido clorogênico não foi determinado para as amostras deste estudo. Como em demais estudos realizados, Irakli et al. (2012) e Hiteazu et al (2015), também não encontraram tal composto na aveia, sendo assim, pode ser que não haja concentrações detectáveis pelo método proposto.

Outra observação foi que o ácido vanílico, o ácido caféico e o ácido siríngico apresentam redução em termos de concentração à medida que a temperatura de maceração do processo de malteação. A hipótese para esse fenômeno pode ser atribuído a sensibilidade deste composto à temperatura.

O malte de cevada comercial apresentou altos valores de ácido ferrúlico, como visto em estudo de Leitão et al. (2012), e a aveia maltada também. Os maltes de aveia tiveram ligeiro aumento desse composto, o qual variou de 0,630 a 0,814 (mg.g⁻¹), quando comparado a amostra de aveia *in natura*, comportamento semelhante foi encontrado para os maltes de ambos cultivares.

No estudo de Leitão et al (2012) foi constatado que o malte de cevada também não apresentou teores de ácido caféico e do ácido siríngico, mas o respectivo malte apresentou flavonóides, como a catequina.

Cho e Lim (2016) constataram em estudo do processo de germinação do arroz, pode induzir a formação de compostos fenólicos, fibras dietéticas e fitosteróis, e por isso, os grãos que sofrem germinação podem ser investigados para uso como ingrediente em alimentos.

4.4.5 Compostos Fenólicos Totais e Capacidade Antioxidantes

A aveia é um cereal que apresenta benefícios à saúde em função da sua composição, pois apresentam compostos como fitoquímicos. Esses compostos estão presente na forma livre e ligado. Os grupos mais importantes da aveia

são fenólicos, ligninas, avenantramidas, carotenóides, Vitamina E, e fitoesteróis (MEYDANI, 2014).

O teor de fenólicos e a ação antioxidante desses componentes no grão de aveia, e dos maltes foram mensurados e os resultados obtidos estão presentes nos gráficos representados pelas Figuras 30, 31, 32 E 33.

FIGURA 31 - COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

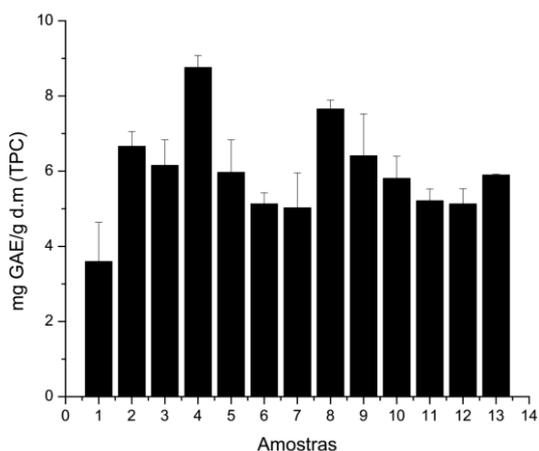


FIGURA 32 - ANÁLISE DE DPPH

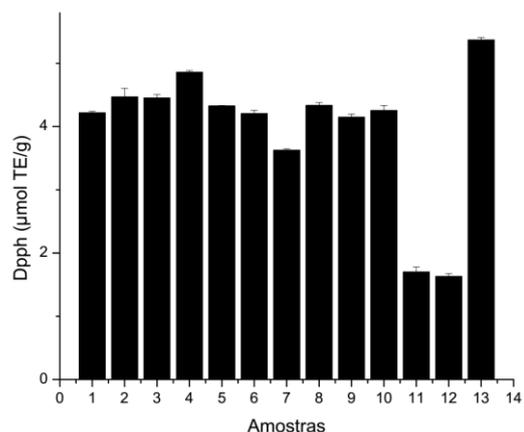


FIGURA 33 - ANÁLISE DE ABTS

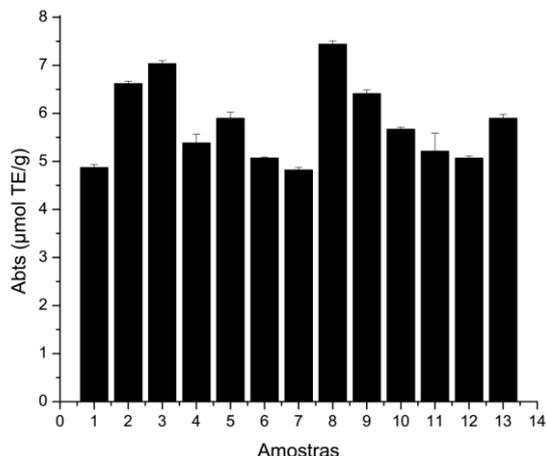
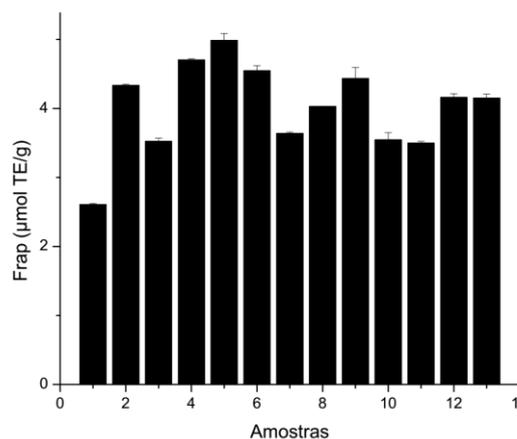


FIGURA 34 - ANÁLISE DE FRAP



NOTA: [1] Aveia *in natura* URS CORONA; [2] Malte Corona 10 °C; [3] Malte URS CORONA 15 °C; [4] Malte URS CORONA 20 °C; [5] Malte URS CORONA 25 °C; [6] Malte URS CORONA 35 °C; [7] Aveia *in natura* IPR Afrodite; [8] Malte IPR Afrodite 10 °C; [9] Malte IPR Afrodite 15 °C; [10] Malte IPR Afrodite 20 °C; [11] Malte IPR Afrodite 25 °C; [12] Malte IPR Afrodite 35 °C; [13] Malte cevada comercial.

Os resultados expressam o comportamento das amostras frente ao tratamento diferenciado realizado no processo de malteação.

Ao analisar a Figura 30 observou-se que o teor de fenólicos totais da amostra de aveia é notadamente inferior aos maltes, para ambos cultivares, e também os valores encontrados menores do que a amostra de malte comercial.

Em estudo realizado por Irakli et al (2012) foi verificado um teor de compostos fenólicos de 2,908 (mg EAG. g⁻¹ de amostra), valor semelhante ao encontrado para a aveia URS CORONA (3,59 mg EAG.g⁻¹ d.m), mas inferior ao da amostra IPR Afrodite (5,01 mg EAG.g⁻¹ d.m). Resultados expressos no trabalho de Alfieri e Readelli (2015) mostraram que os teores de compostos fenólicos da aveia nativa de diferentes variedades apresentaram menor valor, quando comparado ao deste estudo, sendo o maior teor para variedade Wir 5287.

Ao comparar o efeito da malteação no teor de compostos fenólicos notou-se que os maltes tiveram resultados ligeiramente superiores ao da aveia na forma *in natura*, tanto para o cultivar CORONA quanto para Afrodite. O teor de compostos fenólicos do malte de cevada foi próximo ao encontrado para os maltes de aveia, sendo assim, se comparmos a quantidade de compostos bioativos os maltes de aveia ao de cevada ambos apresentam propriedades bioativas semelhantes.

Nelson et al. (2016) constatou que amostras de trigo malteadas apresentaram maiores teores de fenólicos frente ao trigo *in natura*. E relacionou tal valor com a atividade antioxidante *in vitro* por DPPH e esse resultado foi semelhante, maior atividade antioxidante foi encontrado para o cereal maltado.

Durante a germinação, além da síntese de enzimas, hidrólise de macromoléculas também pode haver formação de compostos bioativos, por esse motivo cereais maltados tende a apresenta maior teor de compostos fenólicos e conseqüentemente maior atividade antioxidante (CHO; LIM, 2016).

Nesse trabalho, ao avaliar os maltes de aveia verificou-se que os maltes tiveram alta capacidade antioxidantes pelos métodos de DPPH, ABTS E FRAP, exceto para as amostras 11 e 12 que tiveram menores atividades mensuradas pelo método do DPPH.

A atividade antioxidante para os maltes IPR Afrodite (25 °C) e (35 °C) foram diferentes, ao comparar os métodos utilizados, DPPH, ABTS e FRAP. A variação dos resultados encontrados para as atividades antioxidantes *in vitro*

foi devido aos mecanismos diferentes que estão envolvidos na determinação da capacidade antioxidantes, uma vez que ABTS e DPPH são radicais livres estáveis e podem doar um átomo de hidrogênio e podem transferir elétrons. Enquanto o FRAP tem a capacidade de transferir elétrons resultando na redução dos íons ferro na presença de compostos antioxidantes (ZIELINSKI; HAMINIUKI; BETA, 2016).

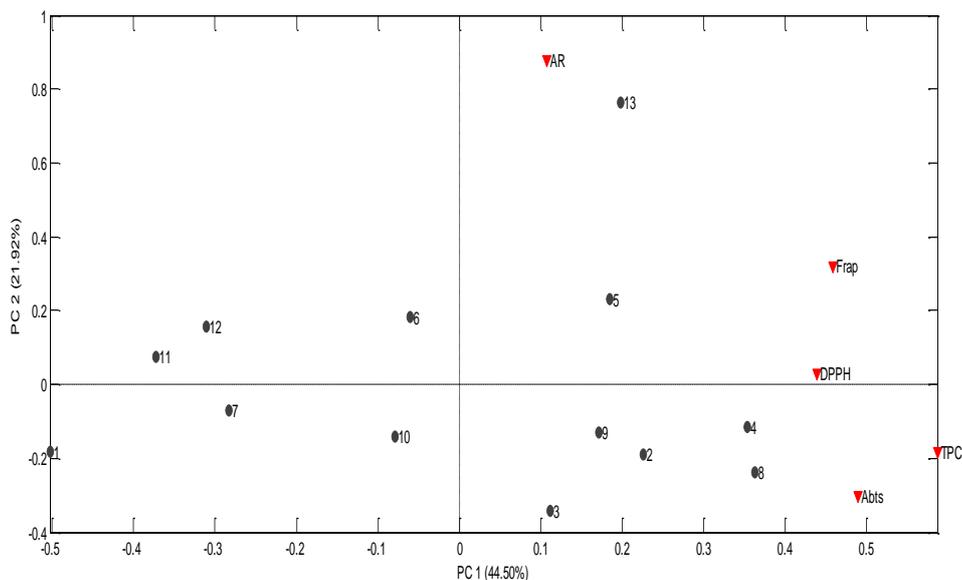
Os resultados obtidos evidenciaram que os maltes de aveia apresentaram ligeiro aumento no teor de fenólicos após o processo de germinação, e por consequência apresentaram ação antioxidante em teste *in vitro*. Pois, acredita-se que no grão de aveia houve hidrólise também de lignina, as quais formaram outras moléculas fenólicas de menor peso molecular, mas que tiveram ação antioxidante (VERMERRIS; NICHOLSON, 2006).

A vantagem dos maltes com altos teores de compostos fenólicos e potenciais antioxidantes está no apelo pelo consumo dessas substâncias biotivas pelos possíveis benefícios que podem promover a saúde. Com isso, pode-se dizer que os maltes obtidos neste estudo tiveram aumento no teor de fenólicos durante a germinação e por consequência apresentaram ação antioxidante em teste *in vitro*. Mais análises poderiam ser realizadas para avaliar a capacidade antioxidante *in vivo* para potencializar a produção e consumo da aveia na forma de malte.

4.4.6 Análise de Componentes Principais (ACP)

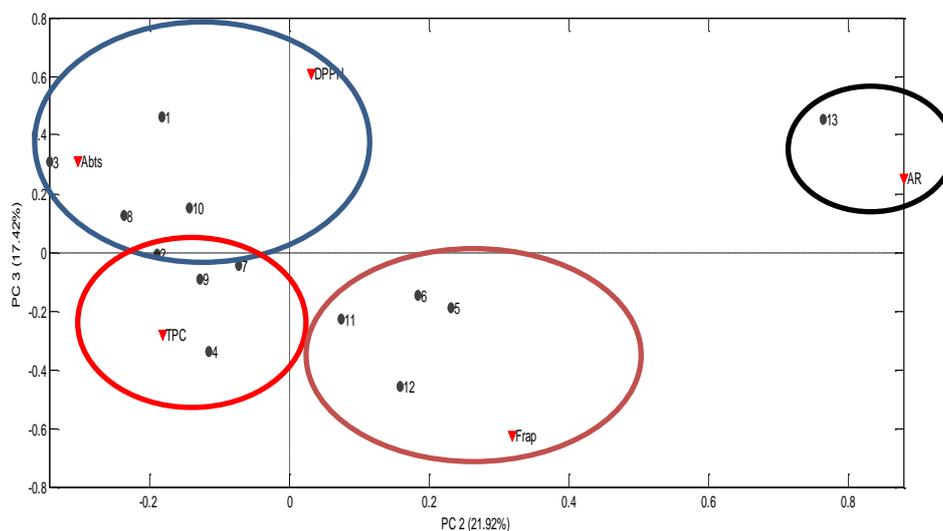
Buscando uma correlação do efeito da temperatura com as propriedades biotivas e ação enzimática dos maltes produzidos realizou-se análise de PCA (Análise de Componentes Principais), como mostra a Figura 33 e 34.

FIGURA 33 - ANÁLISE DE PCA- GRÁFICO BIPLLOT DE SCORES E LOADINGS PARA PC1 E PC2.



NOTA: [1] Aveia *in natura* URS CORONA; [2] Malte Corona 10 °C; [3] Malte URS CORONA 15 °C; [4] Malte URS CORONA 20 °C; [5] Malte URS CORONA 25 °C; [6] Malte URS CORONA 35 °C; [7] Aveia *in natura* IPR Afrodite; [8] Malte IPR Afrodite 10 °C; [9] Malte IPR Afrodite 15 °C; [10] Malte IPR Afrodite 20 °C; [11] Malte IPR Afrodite 25 °C; [12] Malte IPR Afrodite 35 °C; [13] Malte cevada comercial. Onde, os triângulos representam os Loadings (FRA, DPPH, AR- Açúcares redutores, TPC- Teor de Compostos fenólicos) e os círculos são as amostras enumeradas de 1 a 13.

FIGURA 33 - ANÁLISE DE PCA- GRÁFICO BIPLLOT DE SCORES E LOADINGS PARA PC2 E PC3.



NOTA: [1] Aveia *in natura* URS CORONA; [2] Malte Corona 10 °C; [3] Malte URS CORONA 15 °C; [4] Malte URS CORONA 20 °C; [5] Malte URS CORONA 25 °C; [6] Malte URS CORONA 35 °C; [7] Aveia *in natura* IPR Afrodite; [8] Malte IPR Afrodite 10 °C; [9] Malte IPR Afrodite 15 °C; [10] Malte IPR Afrodite 20 °C; [11] Malte IPR Afrodite 25 °C; [12] Malte IPR Afrodite 35 °C; [13] Malte cevada comercial. Onde, os triângulos representam os Loadings (FRA, DPPH, AR- Açúcares redutores, TPC- Teor de Compostos fenólicos) e os círculos são as amostras enumeradas de 1 a 13.

A analisando o primeiro gráfico representado pela Figura 33, verifica-se que a componente 1 e 2 são capazes de explicar a maior parte da variabilidade dos dados (66,42 %). No entanto, nenhum agrupamento claro pode ser observado em PC1 x PC2. Por outro lado, quando PC2 x PC3 foram analisadas, correlações mais claras entre os scores e loadings obtidos puderam ser levantadas. Apesar da PC3 explicar apenas 17,42% da variância dos dados, a avaliação do comportamento das amostras foi investigada.

A Figura 33 mostrou que as amostras 1, 8, 10 e 2 foram separadas por apresentarem atividade antioxidante por Abts e DPPH semelhante, resultado esperado uma vez que tal método apresenta o mesmo mecanismo de ação. Por outro lado, as amostras 2, 9, 7 e 4 tiveram semelhanças quanto ao teor de fenólicos. O grupo III, separado pela atividade antioxidante por FRAP agrupou as amostra 5, 6, 11 e 12. E por fim, a amostra 13, do malte cevada comercial apresentou diferença significativa entre as demais amostras por apresentar maior teor de açúcares redutores.

Diante o exposto vale ressaltar que a temperatura de hidratação influenciou nas características do malte de aveia, de modo que, estas tivessem comportamento diferente frente as análises estudadas.

Contudo, as componentes PC1, PC2 e PC3 conseguem explicar 83, 84% das respostas das análises de antioxidantes, fenólicos e determinação de açúcares redutores realizada neste estudo.

4.4.7 Considerações Gerais

O tópico 4.4 abordou os resultados referentes à caracterização dos maltes de aveia obtidos por diferenças em seu tratamento de maceração. Com isso, foi possível destacar algumas informações relevantes, tais como:

- Os maltes de aveia URS CORONA e IPR Afrodite apresentaram diferenças estruturais e morfológicas quando comparadas a aveia na forma *in natura*;

- Ao avaliar os compostos bioativos, constatou-se que o malte de cevada apresenta diferença na composição química dessas substâncias, uma vez que não foi detectado a presença do ácido fenólico siríngico;
- Verificou-se que as amostras de maior teor de açúcares redutores apresentaram diferenças em sua morfologia, evidenciando a ação enzimática resultante do processo de germinação;
- A aveia é um cereal com teores consideráveis de compostos bioativos, e como observados neste Item 4.4.6 a mesma na forma de malte tem valores ligeiramente superiores de fenólicos e atividade antioxidante pelos métodos testado.
- As temperaturas de 25 e 35 °C utilizadas no processo de hidratação promoveram mudanças morfológicas, aumento no teor de compostos fenólicos e na capacidade antioxidantes.

5 CONCLUSÃO-

De acordo com os resultados obtidos, os cultivares estudados mostraram-se ricos em amido e proteína, macronutrientes de importância nutricional e tecnológica para o processo de hidratação.

As cinéticas de absorção mostraram-se dependentes do binômio tempo e temperatura. Estas, por sua vez, resultaram em um comportamento dividido em duas fases, sendo a primeira regida pelas forças capilares e a segunda pela difusão, fases observadas pela taxa de absorção de água.

O modelo de Peleg apresentou um ajuste satisfatório e, os parâmetros k_1 e k_2 evidenciaram que o processo de hidratação da aveia ocorre de forma diferente quando comparado a outros cereais reportados na literatura, justificando a importância de conhecer as propriedades cinéticas para a operação de maceração do cereal aveia.

Os valores de K_1 decresceram com o aumento da temperatura e, a partir da Equação de Arrhenius foi observada a relação da constante de velocidade de transferência de massa com o acréscimo de energia no processo, pois a capacidade de absorção dos grãos tende a diminuir a medida que estes atingem a umidade de equilíbrio. Enquanto que o coeficiente de difusão teve aumento com o acréscimo da temperatura.

Verificou-se que, quanto maior a energia de ativação menor o valor observado da constante de velocidade de transferência de massa no processo de hidratação.

A análise de PCA possibilitou agrupar os maltes de aveia que apresentaram comportamento semelhante quanto suas características químicas, morfológicas, teor de compostos fenólicos e capacidade antioxidante baseada no efeito da temperatura de maceração. Os maltes IPR Afrodite hidratados a 25 e 35 °C apresentaram diferenças nas análises realizadas.

O processo de malteação realizado mostrou-se promissor na obtenção de produtos com potencial aplicação em alimentos, pois o malte de aveia IPR Afrodite hidratado a 25 °C e URS CORONA hidratado a 20 °C podem ser utilizados como aditivos na elaboração de bolos, biscoitos, pães além de bebidas fermentadas, uma vez que, para as amostras de aveia na forma de

malte foram encontrados teores consideráveis de açúcares redutores, compostos bioativos com capacidade antioxidante.

.

REFERÊNCIAS

Adolfo Lutz Institute, Physical-chemical methods for food analysis, fourth ed. Anvisa, Brasília. 2008.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists,. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington, v. 39, p. 21. 1995

AMERINE, M.A; OUGH, C.S. **Análisis de vinos y mostos**, Zaragoza: Acribia, 1976.

AMIR, R. M., ANJUM, F. M., KHAN, M. I., KHAN, M. R. PASHA, I., NADEEM, M., 2013. application of fourier transform infrared (ftir) spectroscopy for the identification of wheat varieties. **Journal food science technology**, v.50, 1018-1023.

ANDREW, W. **Diffusion Processes in Advanced Technological Materials**, Springer. 529p., 2005.

BAKALIS, S.; KYRITSI, A.; KARATHANOS, V. T.; YANNIOTIS, S. Modeling of rice hydration using finite elements. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3-4, p. 321– 325, 2009.

BECKER, H. A., 1960. On the absorption of liquid water by the wheat kernel. **Cereal Chemistry**, v.37, 309–323.

BRASIL- Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 1978. Resolução - CNNPA nº 12, de 1978. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78.pdf > Acesso em: 14 de Julho de 2016.

BRASIL- Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. Portaria nº 325, de 6 de dezembro de 2012. Disponível em< <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=200909848>>. Acesso em: 13 de Abril de 2016.

BRASIL- Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. Portaria nº 325, de 6 de dezembro de 1978. Disponível em:<http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_cereais.htm. Acesso em: 13 abr. 2016.

BOTELHO, F. M.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, M. A.; BAPTESTINI, F. M. Análise da hidratação do arroz na parboilização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 713-718, 2010.

BOTELHO, F. M.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, M. A.; BOTELHO, S. C. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Effects of the mechanical damage on the water absorption process by corn kernel. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 2, p. 282-288, 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento.2015. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf> Acesso em: 15 abr. 2016.

CHEN, D.; LI, Y.; FANG, T.; SHI, X.; CHEN, X. Specific roles of tocopherols and tocotrienols in seed longevity and germination tolerance to abiotic stress in transgenic rice. **Plant science**. v. 244, p,31–39, 2016.

CHU, Y. Oats nutrition and technology. In: GULVADAY, A. A.; BROWN, R. C.; BELL, J. A. **Nutritional Comparison of Oats and Other Commonly Consumed Whole Grains**.Wiley Blackwell, p.73-91, 2014.

CHU, Y. Oats nutrition and technology. In: AMES, N.; RHYMER, C.; STORLEY, J. **Food Oat Quality Throughout the Value Chain**. Wiley Blackwell, p.33-60, 2014.

CHU, Y. Oats nutrition and technology. In: YAN, W.; FRÉGEAU- REID, FETCH, J. M. **Food Oat Quality Throughout the Value Chain**. Wiley Blackwell, p.9-32, 2014.

COUTINHO, M. R.; CONCEIÇÃO, W. A. S.; OMOTO, E. S.; ANDRADE, C. M. G.; JORGE, L. M. M. Novo modelo de parâmetros concentrados aplicado à hidratação de grãos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, 2007.

COUTINHO, M. R.; CONCEIÇÃO, V. A. S.; PARAÍSO, P. R.; ANDRADE, C. M. G.; OMOTO, E.S.; JORGE, R. M. M. J.; FILHO, R. M.; Aplicação do modelo de Hsu à hidratação de grãos de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 19-29, 2010.

COUTINHO, M. R.; OMOTO, E. S. ANDRADE, C. M. G. e JORGE, L M. M. Modelagem e Validação da Hidratação de Grãos de Soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 603-610, 2005.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. London: Oxford University Press, 1975.

CZAJA, T.; MAZUREK,S.; SZOSTAK, R.Quantification of gluten in wheat flour by FT-Raman spectroscopy. **Food Chemistry**, v.211, 560–563.2016

DAOU, Z.; ZHANG, H. Oat Beta-Glucan: Its Role in Health Promotion and Prevention of Diseases. **Compreh. Rev. Food. Sci. Food Saf**. v. 11, p.355-365. 2012.

DERYCKEA, V.; VANDEPUTTEA, G. E.; VERMEYLENA, R.; MANB, DE W.;ODERISC, B.; KOCHD, M. H. J.; DELCOUR, J. A. Starch gelatinization and amylose–lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. **Journal of Cereal Science**, v. 42, p. 334–343, 2005.

DOEHLERT, D. C.; McMULLEN, M. S. Genotypic and environmental effects on oat milling characteristics and groat hardness. **Cereal Chemistry**, v.77, p.148–154, 2010.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa, 2014. Disponível em <Agropecuária http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/economia/2014_04_AV_EIA%20numeros.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa, 2016. Disponível em <<https://www.embrapa.br/produtos-e-mercado/cultivares>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa, 2012. Disponível em <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139_5.htm>. Acesso em: 20 abr. 2016.

FARIAS, D.; MARGARITES, A. C.; REINEHR, C. O.; COLLA, L. M.; COSTA, J. A. V.; BERTOLIN, T. E. Potencial amilolítico do grão de milho maltado no processo de sacarificação do mesmo cereal. **Ciênc. Agrotec**, v.33, n.3, 2009.

FAO/ WHO Report. **Diet, nutrition and prevention of chronic diseases:** report of a joint WHO/FAO expert consultation. Geneve. (WHO Technical Report Series 916), p.73-78, 2003.

FRACASSO, A. F.; PERUSSELLO, C. A.; HAMINIUKI, C. W. I.; JORGE, L. M. M.; JORGE, R. M. M. Hydration kinetics of soybeans: Transgenic and Conventional cultivars. **Journal of Cereal Scienc**, v.60., p. 584-588., 2014.

FUJITA, A. H.; FIGUEROA, M. O. R.; Composição Centesimal e Teor de β - Glucanas em Cereais e Derivados. **Ciênc. e Tecn. em Alim.**, v.23, n.2. p.116-120, 2003.

GEANKOPLIS, C.J. **Transport Processes: Momentum, Heat and Mass**, Series in engineering. 350p, 1983.

GHAFOOR M.; MISRA, N. N.; MAHADEVAN, K.; TIWARI, B. K. Ultrasound assisted hydration of navy beans (*Phaseolus vulgaris*). **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 21, p. 409–414, 2014

GOWEN, A.; ABU-GHANNAM, N.; FRIAS, J.; OLIVEIRA, J. Influence of preblanching on the water absorption kinetics of soybeans. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 965–971, 2007.

GUTKOSKI, L. C.; MAZZUTTI, S.; DURIGON, A.; COLUSSI, R.; CEZARE, K.; COLLA, L. M. Efeito do extrato de malte de aveia nas características físicas de pão de fôrma. **Braz. J. Food Technol.**, III SSA, 2010.

Cereal grain quality. R J Henry and P S Kettlewell (eds) Chapman and Hall, London 1996.

HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology – A General Reference on Cereal Science**. American Association of Cereal Chemistry. 1986.

HSU, K. H. A diffusion model with a concentration-dependent diffusion coefficient for describing water movement in legumes during soaking. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 2, p. 618–622, 1983.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201309.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em : <http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201611.pdf > Acesso em: 28 nov. 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – Normas Analíticas; métodos químicos e físicos para a análise de alimentos. 4ª ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 2008.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 182–188, 2009.

KALETUNÇ, G.; BRESLAUER, K. J. Characterization of Cereal Flours: Properties, Analysis and Applications. In: AUTIO, K, SALMENKALLIO-MARTTILA, M. **Understanding Microstructural Changes in Biopolymers Using Light and Electron Microscopy**, Marcel Dekker, 22p., 2003.

KANNENBERG, J. R.; FULAYTER, B., **Processo for drying malt**. U.S. Patente.US: 5637336, 1997

KAPTSO, K. G.; NJINTANG, Y. N.; KOMNEK, A. E. Physical properties and rehydration kinetics of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*) and bambara groundnuts (*Voandzeia subterranea*) seeds. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 1, p. 91–99, 2008.

KARMOWSKI, J.; HINTZE, V.; KSCHONSEK, J.; KILLENBERG, M.; BÖHM, V. Antioxidant activities of tocopherols/tocotrienols and lipophilic antioxidant capacity of wheat, vegetable oils, milk and milk cream by using photochemiluminescence. **Food Chemistry**, v.175, p.593–600, 2015.

KHAZAEI, J. MOHAMMADI, N. Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). **Journal of Food Engineering** v.91 p. 542–552. 2009.

KLAJN, V. M.; GUTSOSKI, L. C.; FIORENTINI, A. M.; ELIAS, M. C. Compostos Antioxidantes em Aveia. **R. Bras. Agrociência**, v.18, n.4, p.292-303, 2012.

LÂNGARO, N.C.; CARVALHO, I.Q. **Indicações técnicas para cultura da aveia**: XXXIV Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia Fundação ABC. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo. 136p. 2014.

LISBÔA, J. F.; SILVA, J. N.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, E. M. C. A.; GONÇALVES, M. C. Análise da hidratação de grãos de alpiste. **Rev.Bras. de Eng. Agrícola e Amb.** v.19, n.3, p.218-223, 2015.

LÓPEZ , O.V., VERSINO, F.; VILLAR, M.A , GARCÍA, M.A., Agro-industrial residue from starch extraction of *Pachyrhizus ahipa* as filler of thermoplastic corn starch films. **Carbohydrate Polymers**,134, 324–332.2015.

MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B.; FERREIRA, N. A.; MOULIN, B. S. F. **Protocolo para determinação de açúcares redutores pelo método de Somogyi-Nelson**. Comunicado Técnico 86. Embrapa Hortaliças. 2013.

MASKAN, M. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 337-341, 2002.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **Histórias da agricultura no mundo do neolítico até à crise contemporânea**. Editora UNESP. 568p. 2010.

MIANO, A. C.; AUGUSTO, P. E. D. From the sigmoidal to the downward concave shape behavior during the hydration of grains: Effect of the initial moisture content on Adzuki beans (*Vigna angularis*). **Food and bioproducts processing**, v.96., p.43–51., 2015.

MODÓNES, A. N.; SILVA, A. M.; TRIGUEIROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.29, n.3.,p. 508-512, 2009.

MONTANUCI, F.; D.; JORGE, L. M. de M.; JORGE, R. M. M. Kinetic, thermodynamic properties, and optimization of barley hydration. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 4, p.690-698, 2013.

MONTANUCI, F. D. ; PERUSSELLO, C. A. ; JORGE, L. M. M. ; JORGE, R. M. M. Experimental analysis and finite element simulation of the hydration process of barley grains. **Journal of Food Engineering**, v. 131, p. 44-49, 2014.

MUÑOZ-INSA, A.; GASTL,M.; ZARNKOW, M.; BECKER, T. Optmization of the malting processo f oat (*Avena sativa* L.) as a raw material for fermented beverages. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.9, 510-523, 2011.

BARBOSA NETO, J. F.; MATIELLO, R. R.; CARVALHO, F. C.; OLIVEIRA, J. M. S.; PEGORARO6, D. C; SCHNEIDER, F. SORDI, M. E. B.; VACARO, E. Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no sul do Brasil. **Pesq. agropec. Bras**, v.35, n.8, 2000.

- NICOLIN, D. J.; COUTINHO, M. R.; ANDRADE, C. M. G.; JORGE, L. M. M. Hsu model analysis considering grain volume variation during soybean hydration. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 3, p. 496–504, 2012.
- NICOLIN, D. J.; JORGE, R. M. M.; JORGE, L. M. M. Stefan Problem Approach Applied to the Diffusion Process in Grain Hydration. **Transport in Porous Media**, v. 102, p. 387-402, 2014.
- NITZKE, J. A.; THYS, R. C. S. **Avaliação da qualidade tecnológica/nutricional da farinha de trigo**. [ca. 2010]. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/avaliacao-farinha-trigo/item3.php>. Acesso em 9 de maio de 2016.
- OMOTO, E. S.; ANDRADE, C. M. G.; JORGE, R. M. M. J.; COUTINHO, M. R.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M. Modelagem matemática e análise da hidratação de grãos de ervilha. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 12-18, 2009.
- OWENS, G. Cereal processing technology. In: EVANS, E. J. **Cereal production methods**. CRC Press. 2001.
- OWENS, G. Cereal processing technology. In: GIBSON, G. CONSULTANT. **Cereal production methods**. CRC Press. 2001.
- PALMER, G. H. **Cereal Science and Technology** – Aberdeen University Press, Grã-Bretanha. 1989.
- PAQUET-DURAND, O.; ZETTEL, V.; KOHLUS, R.; HITZMANN, B. Optimal design of experiments and measurements of the water sorption process of wheat grains using a modified Peleg model. **Journal of Food Engineering** 165 p.166–171. 2015.
- PATERO, T.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound (US) enhances the hydration of sorghum (*Sorghum bicolor*) grains. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.23., p.11–15., 2015.
- PEDÓ, I. **Caracterização Química e Nutricional de novos cultivares de Aveia (*Avena sativa* L.)**. Tese (Mestre em Ciências da Nutrição). Universidade Estadual de Campinas- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 1996.
- PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 1216-1217, 1988.
- PEREZ, J. H.; TANAKA, F.; UCHINO, T. Comparative 3D simulation on water absorption and hygroscopic swelling in japonica rice grains under various isothermal soaking conditions. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2615–2623, 2011.

PETERSON, D. M.; HAHN, M. J.; EMMONS, C.L. Oat avenanthramides exhibit antioxidant activities in vitro. **Food Chemistry**. v. 79, p. 473–478. 2002.

PETERSON, D. M. Oat Antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v. 33, p. 115–129. 2001.

PETERSON, D. M.; QURESHI, A. A. Genotype and environment effects on tocols of barley and oats. **Cereal Chemistry** p.157–162. 1993.

PIMENTEL, C. V. M. L.; FRANCKI, K. M.; BOIAGO, A. P. **Alimentos Funcionais –Introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. 1ª ed., Metha, p. 95. 2005.

PINEDA-GÓMEZ, P.; ROSALES-RIVEIRA, A.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Modeling calcium and water intake in threshed corn grain during thermo-alkaline treatment. **Journal of Food Engineering**, v..113, p. 434–441. 2012.

PNAN - Política Nacional de Alimentação e Nutrição. Disponível em < <http://dab.saude.gov.br/portaldab/pnan.php>> Acesso em: < 16 de Out. de 2016. PRAMIU, P. V.; RIZZI, R. L.; PRADO, N. V.; COELHO, S. R. M.; BASSINELLO, P. Z. Numerical modeling of chickpea (*Cicer arietinum*) hydration: The effects of temperature and low pressure. *Journal of Food Engineering*.v.165., p.112–123., 2015.

PRASAD, K.; VAIRAGAR, P. R.; BERA, M. B. Temperature dependent hydration kinetics of *Cicer arietinum* splits. **Food Research International**, v. 43, p. 483–488, 2010.

PRIMAVESI, O.; GODOY, R.; SOUZA, F. H. D. de. **Avaliação de genótipos e recomendação de cultivares de aveia para cobertura de solo, na região Sudeste, para o ano de 2007**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado técnico, 66., 4p. 2006.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 373–378, 2007.

QUICAZÁN, M. C.; CAICEDO, L. A.; CUENCA, M. Applying Peleg's equation to modelling the kinetics of solid hydration and migration during soybean soaking. **Ingeniería e Investigación**, v. 32, n. 3, p. 53-57, 2012.

SÁ. R. M.; FRANCISCO, A.; SOARES, F. C. T. Composição Química Cultivar e Aveia (*Avena Sativa L.*) Iac 7 e Influência do Processamento Térmico sobre suas Características . **Bras. J. Food Techol.** v.1, n.2, p.53-58. 1998.

SHAF AEI, S. M., MASOUMI, A. A.; ROSHAN, H. Analysis of water absorption of bean and chickpea during soaking using Peleg model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, xxx, xxx–xxx, 2014.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Phenolics in food and nutraceuticals. In: **Biosynthesis, Classification, and Nomenclature of Phenolics in Food and Nutraceuticals**, 16p., 2003.

SANDRIN, R. **Caracterização Físico-química de diferentes frações da aveia (*Avena sativa* L) e atividade antioxidante de seus extratos**. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), 167p. 2013.

SERNA-SALDIVAR, S. O. **Cereal Grains Properties, Processing and Nutritional Attributes**. CRC Press. 796p. 2010.

SOPADE, P.A., AJISEGIRI, E.S., OKONMAH, G.N., Modelling water absorption characteristics of some Nigerian varieties of cowpea during soaking. **Tropical Science**, v. 34, p. 297– 305, 1994.

THOMSON, W. J. **Introduction to transport phenomena**. Prentice Hall PTR. 509p. 2000.

TIWARI, U.; CUMMINS, E. Nutritional importance and effect of processing on tocopherols in cereals. **Trends in Food Science & Technology**, v.20, p.511- 520, 2009.

TONG, L. T.; LIU, L. Y.; ZHONG, K.; WANG, Y.; GUO, L.; ZHOU, S. Effects of Cultivar on Phenolic Content and Antioxidant Activity of Naked Oat in China. **Journal of Integrative Agriculture**, v.13, n.8, p. 1809-1816 , 2014.

TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of Food Engineering**, v. 53, n. 2, p. 153–159, 2002.

WANG, T.; HE, F.; CHEN, G.; Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. **Journal of functional foods**, v.7, p. 101-111, 2014.

WEBER, F. H.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. **Caracterização Química de cariopses de aveia (*Avena sativa* L) da cultivar upf 18**. Ciênc. Tecnol. Aliment., v.22, n.1, p.39-44, 2002.

WEIBULL, W. A statistical theory of the strength of materials. **Ingeniors Vetenskaps Akademien**, v. 151-3, p. 45–55, 1939.