

## RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 22/08/2020.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de São José do Rio Preto

BIANCA GUIMARÃES

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM DE POTÊNCIA PARA A PRODUÇÃO  
DE MALTE DE TRIGO**

São José do Rio Preto

2019

BIANCA GUIMARÃES

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM DE POTÊNCIA PARA A PRODUÇÃO  
DE MALTE DE TRIGO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

São José do Rio Preto  
2019

G963a      Guimarães, Bianca  
Aplicação de ultrassom de potência para a produção de malte de trigo / Bianca Guimarães. -- São José do Rio Preto, 2019  
82 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto  
Orientador: Javier Telis Romero

1. Tecnologia de alimentos. 2. Ultrassom. 3. Malte. 4. Trigo.  
5. Modelos matemáticos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BIANCA GUIMARÃES

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM DE POTÊNCIA PARA A PRODUÇÃO  
DE MALTE DE TRIGO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

**Comissão Examinadora**

Prof. Dr. Javier Telis Romero  
UNESP – São José do Rio Preto  
Orientador

Prof. Dr. Maurício Bonatto Machado de Castilhos  
UEMG – Frutal

Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi  
UNESP – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto  
22 de fevereiro de 2019

Dedico este trabalho...

...A Deus por me manter firme e estar sempre me dando sabedoria.

...Aos meus pais, Miguel e Maria Luiza, que sempre me inundaram de amor e  
dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por ter me dado força e foco durante esses anos.

Aos meus pais, Maria Luiza e Miguel, por terem sido sempre a base de tudo, pois sem eles nada disso aconteceria.

À minha irmã Tatiane e sobrinhos Pedro Miguel e Arthur por todo o carinho e momentos de descontração quando mais precisei.

Ao meu namorado, Michel, por todo amor, apoio e dedicação durante esses anos.

Ao Prof. Dr. Javier Telis Romero que aceitou fazer parte desse desafio comigo e por toda a calma e paciência.

Ao Gisandro e ao Tiago que me ajudaram em algumas etapas e sempre se disponibilizaram em tirar minhas dúvidas.

A todos os amigos e outros professores que me apoiaram em cada momento e me ajudaram com uma palavra amiga, algum ensinamento e até mesmo por me ouvir.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação, pois toda a nossa formação não seria possível se não os houvesse.

À Malteria Blumenau por ter disponibilizado a matéria-prima para que essa pesquisa acontecesse.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) e ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Nada te perturbe,  
nada te amedronte.  
Tudo passa,  
a paciência tudo alcança.  
A quem tem Deus nada falta.  
Só Deus basta!”  
(Santa Tereza D'avila)*



## RESUMO

O grão de trigo é considerado uma das principais fontes de energia (importância nutricional), principal insumo de vários alimentos (pães, bolos, farinhas, entre outros) e, vem sendo cada vez mais utilizado na indústria cervejeira. O malte de trigo está ganhando maior destaque no setor cervejeiro por caracterizar cervejas com gostos, aromas e cores diferentes das cervejas feitas com os outros tipos de maltes. A maltagem é a embebição dos grãos com água seguida de uma germinação e secagem controlada. O ultrassom é uma nova tecnologia que vem sendo utilizada no processo de alimentos e sua utilização pode apresentar melhorias no controle de parâmetros de produtos alimentícios ou processos, influenciando na cinética dos mesmos. Nesse contexto, foram analisadas as propriedades físicas do grão de trigo de acordo com a variação do teor de umidade (14,4 até 90,9 % b.s.) e a potência ultrassônica real transmitida pelo método calorimétrico. Além disso, foi investigada a influência da aplicação do ultrassom de potência (0, 500, 1000, 1500 W) e da temperatura (15, 20, 25 °C) no processo de hidratação do grão de trigo, assim como os efeitos dessa aplicação na germinação. Os modelos matemáticos (Peleg e exponencial) foram utilizados para descrever a cinética de maceração. Foi verificado que a maioria das propriedades físicas variou significativamente ( $p < 0,05$ ) com o aumento da umidade e correlacionaram por meio de um ajuste polinomial de segunda ordem com exceção da área superficial. Os valores iniciais e finais de cada propriedade física foram de  $6,46 \pm 0,04$  até  $6,55 \pm 0,05$  mm para o comprimento; de  $3,29 \pm 0,04$  até  $3,50 \pm 0,02$  mm para a largura; de  $2,62 \pm 0,02$  até  $2,73 \pm 0,06$  mm para a espessura; de  $4,13 \pm 0,02$  até  $4,27 \pm 0,03$  mm para o diâmetro médio aritmético; de  $3,92 \pm 0,01$  até  $3,97 \pm 0,04$  mm para o diâmetro médio geométrico; de  $3,55 \pm 0,03$  até  $4,48 \pm 0,04$  mm para o diâmetro equivalente a uma esfera; de  $58,18 \pm 0,16$  até  $60,63 \pm 0,11$  % para a esfericidade; de  $38,61 \pm 0,05$  até  $59,57 \pm 1,73$  g para a massa de 1000 grãos; de  $45,91 \pm 0,34$  até  $48,55 \pm 0,91$  mm<sup>2</sup> para a área superficial; de  $815,13 \pm 7,80$  até  $678,13 \pm 5,93$  Kg/m<sup>3</sup> para a densidade bulk; de  $1600,11 \pm 33,13$  até  $1267,70 \pm 0,50$  Kg/m<sup>3</sup> para a densidade real e de  $49,04 \pm 1,46$  até  $46,51 \pm 0,45$  % para a porosidade. A potência real é sempre menor que a potência nominal do equipamento e o aumento da potência nominal resultou em menores rendimentos de conversão, mas em maiores valores absolutos. Assim, para a potência nominal de 500, 1000 e 1500 W, tem-se uma potência real transmitida de

60,45±4,11; 76,55±3,15 e 101,23±4,24 W, respectivamente. A taxa de hidratação aumentou com o aumento da potência do ultrassom e da temperatura e, o modelo exponencial foi o que melhor representou a cinética de hidratação com R<sup>2</sup> acima de 0,992 e NRMSE abaixo de 2,221. Já o poder germinativo e o tempo médio de germinação não sofreram influência da variação da temperatura e da potência. Assim, esse aumento da taxa de absorção de água e, conseqüentemente, a diminuição do tempo de maceração faz do ultrassom de potência uma possível tecnologia para melhorar o processo de produção de malte de trigo.

Palavras-chave: Trigo, ultrassom, propriedades físicas, hidratação, germinação

## ABSTRACT

*Wheat is considered one of the main sources of energy (nutritional importance), the main input of various foods (breads, cakes, flour, among others). It has, currently, been more used in the brewing industry. Wheat malt is becoming more prominence in the brewing sector because it characterizes beers with different tastes, aromas and colors differently from beers made with other types of malts. Malting is the imbibition of the grains with water followed by a controlled germination and drying. Ultrasound is a new technology that has been used in food process and its use may present improvements in the control of food product parameters or process, influencing their kinetics. In this context, the physical properties of the wheat grain were determined as a function of moisture content (14,4 to 90,9 % b.s.) and the real power transmitted was estimated by the calorimetric method. In addition, the influence of the application of power ultrasound (0, 500, 1000, 1500 W) and temperature (15, 20 e 25 °C) during steeping of wheat grain was investigated, as well as some effects of this application in the germination step of malt. Mathematical models (Peleg and exponential) were used to describe the steeping process. It was verified that most of physical properties varied significantly ( $p < 0,05$ ) with increasing moisture content and they were correlated by a second order polynomial fit with the exception of surface area. The initial and final values of each physical properties were from  $6,46 \pm 0,04$  to  $6,55 \pm 0,05$  mm for the length; from  $3,29 \pm 0,04$  to  $3,50 \pm 0,02$  mm for the width; from  $2,62 \pm 0,02$  to  $2,73 \pm 0,06$  mm for the thickness; from  $4,13 \pm 0,02$  to  $4,27 \pm 0,03$  mm for the arithmetic mean diameter; from  $3,92 \pm 0,01$  to  $3,97 \pm 0,04$  mm for the geometric mean diameter; from  $3,55 \pm 0,03$  to  $4,48 \pm 0,04$  mm for the equivalent diameter of a sphere; from  $58,18 \pm 0,16$  to  $60,63 \pm 0,11$  % for the sphericity; from  $38,61 \pm 0,05$  to  $59,57 \pm 1,73$  g for the mass of 1000 grains; from  $45,91 \pm 0,34$  to  $48,55 \pm 0,91$  mm<sup>2</sup> for the surface area; from  $815,13 \pm 7,80$  to  $678,13 \pm 5,93$  Kg/m<sup>3</sup> for the bulk density; from  $1600,11 \pm 33,13$  to  $1267,70 \pm 0,50$  Kg/m<sup>3</sup> for the real density and from  $49,04 \pm 1,46$  to  $46,51 \pm 0,45$  % for the porosity. The equipment real power is always lower than the nominal power of the equipment and the increase of the nominal power resulted in lower conversion yields, but higher absolute values. Thus, for the nominal power of 500, 1000 and 1500 W,*

*there is a real power transmitted from  $60,45 \pm 4,11$ ;  $76,55 \pm 3,15$  and  $101,23 \pm 4,24$  W, respectively. The water uptake increased with increasing power ultrasound and temperature and the exponential model was the one that best represented the kinetics of hydration hidratação with  $R^2$  above 0,992 and NRMSE bellow 2,221. The germination power and the mean germination time weren't influenced by the temperature and power variation. Thus, this water uptake increases and, consequently, maceration time decrease makes the power ultrasound a possible technology to improve the process of wheat malt production.*

*Keywords: Wheat, ultrasound, physical properties, hydration, germination.*

## LISTA DE FIGURAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1-  | Corte longitudinal de um grão de trigo  | 17 |
| Figura 2-  | Fluxograma do processo de malteação   | 22 |
| Figura 3-  | Espectro do som   | 27 |
| Figura 4-  | Sistema de sonda  | 30 |
| Figura 5-  | Estrutura de um transdutor ligado a uma sonda tipo prato  | 31 |
| Figura 6-  | Cavitação ultrassônica  | 32 |
| Figura 7-  | Eixos para se avaliar o tamanho   | 34 |
| Figura 8-  | Equipamentos utilizados para a aplicação de ultrassom de potência   | 37 |
| Figura 9-  | Disposição e controle da temperatura dos 19 termopares  | 38 |
| Figura 10- | Disposição dos termopares na etapa de maceração   | 41 |
| Figura 11- | Bandeja retangular de alumínio com os grãos de trigo após a etapa de maceração  | 43 |
| Figura 12- | Comprimento ( $x$ ), largura ( $y$ ) e espessura ( $z$ ) em função do teor de umidade (média $\pm$ desvio padrão)   | 47 |
| Figura 13- | Diâmetro médio aritmético ( $D_a$ ), diâmetro médio geométrico ( $D_g$ ) e diâmetro equivalente a uma esfera ( $D_{esf}$ ) em função do teor de umidade (média $\pm$ desvio padrão) | 49 |
| Figura 14- | Esfericidade ( $\phi$ ), massa de 1000 grãos ( $M_{1000}$ ) e área superficial ( $S$ ) versus teor de umidade (média $\pm$ desvio padrão)   | 51 |
| Figura 15- | Densidade aparente ( $\rho_b$ ), densidade real ( $\rho_t$ ) e da porosidade ( $\varepsilon$ ) em relação ao teor de umidade (média $\pm$ desvio padrão)                            | 53 |
| Figura 16- | Variação da temperatura em função da posição para 500 W   | 54 |
| Figura 17- | Variação da temperatura em função da posição para 1000 W  | 55 |
| Figura 18- | Variação da temperatura em função da posição para 1500 W  | 55 |
| Figura 19- | Variação da temperatura (média volumétrica) em relação ao tempo durante aplicação do ultrassom (média $\pm$ desvio padrão)  | 56 |
| Figura 20- | Cinética de maceração do grão de trigo para diferentes temperaturas e potências (média $\pm$ desvio padrão)   | 59 |
| Figura 21- | Valores experimentais em função dos valores preditos pelo modelo de Peleg   | 64 |
| Figura 22- | Valores experimentais em função dos valores preditos pelo modelo exponencial  | 68 |

## LISTA DE TABELAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabela 1-  | Dados da produção mundial de trigo   | 19 |
| Tabela 2-  | Dados do consumo mundial de trigo  | 20 |
| Tabela 3-  | Valores de temperatura e potência utilizadas nos experimentos  | 40 |
| Tabela 4-  | Propriedades físicas do grão de trigo para diferentes teores de umidades (médias $\pm$ desvio padrão)                      | 46 |
| Tabela 5-  | Relação entre as dimensões ( $x$ , $y$ e $z$ ) com o teor de umidade ( $X$ )   | 48 |
| Tabela 6-  | Relação entre os diâmetros ( $D_a$ , $D_g$ e $D_{esf}$ ) com o teor de umidade ( $X$ )                                     | 50 |
| Tabela 7-  | Relação entre esfericidade ( $\phi$ ), massa de 1000 grãos ( $M_{1000}$ ) e área superficial ( $S$ ) com o teor de umidade | 52 |
| Tabela 8-  | Ajuste das densidades real e aparente em relação ao teor de umidade  | 53 |
| Tabela 9-  | Variação da temperatura (média volumétrica) em relação ao tempo (médias $\pm$ desvio padrão)                               | 57 |
| Tabela 10- | Ajustes dos dados da variação de temperatura versus tempo e $R^2$  | 58 |
| Tabela 11- | Potência real transmitida ao meio durante aplicação do ultrassom de potência (média $\pm$ desvio padrão)                   | 58 |
| Tabela 12- | Tempo de hidratação para cada condição experimental (média $\pm$ desvio padrão)  | 61 |
| Tabela 13- | Valores de $k_1$ (média $\pm$ desvio padrão)   | 62 |
| Tabela 14- | Valores de $k_2$ (média $\pm$ desvio padrão)   | 62 |
| Tabela 15- | Valores de $R_0$ (média $\pm$ desvio padrão)   | 62 |
| Tabela 16- | Valores de $X_{eq}$ (média $\pm$ desvio padrão)  | 63 |
| Tabela 17- | Valores dos parâmetros estatísticos do ajuste  | 63 |
| Tabela 18- | Valores de $\alpha$ (média $\pm$ desvio padrão)  | 66 |
| Tabela 19- | Valores de $\beta$ (média $\pm$ desvio padrão)   | 67 |
| Tabela 20- | Valores de $X_{eq}$ (média $\pm$ desvio padrão)  | 67 |
| Tabela 21- | Valores dos parâmetros estatísticos do ajuste  | 67 |
| Tabela 22- | Tempo médio de germinação e poder germinativo (média $\pm$ desvio padrão)  | 71 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....   | <b>16</b> |
| 2.1 Objetivo Geral.....   | 16        |
| 2.2 Objetivos Específicos .....   | 16        |
| <b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | <b>16</b> |
| 3.1 Trigo .....   | 16        |
| 3.2 Produção de malte de trigo .....  | 21        |
| 3.2.1 Maceração.....  | 22        |
| 3.2.2 Germinação.....   | 23        |
| 3.2.3 Secagem.....  | 24        |
| 3.2.4 Remoção da radícula .....   | 25        |
| 3.3 Ultrassom.....  | 25        |
| 3.3.1 Classificação do ultrassom .....  | 27        |
| 3.3.2 Ultrassom de potência.....  | 27        |
| 3.3.3 Constituição do ultrassom de potência .....   | 29        |
| 3.3.4 Sistemas de sonda.....  | 29        |
| 3.3.5 Mecanismos de atuação de efeitos do ultrassom .....   | 31        |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>33</b> |
| 4.1 Matéria-prima.....  | 33        |
| 4.2 Determinação da umidade.....  | 33        |
| 4.3 Propriedades físicas .....  | 33        |
| 4.3.1 Preparo das amostras.....   | 33        |
| 4.3.2 Comprimento (x), largura (y) e espessura (z) .....  | 34        |
| 4.3.3 Diâmetro médio aritmético ( $D_a$ ), diâmetro médio geométrico ( $D_g$ ) e diâmetro equivalente de uma esfera ( $D_{esf}$ ) ..... | 34        |
| 4.3.4 Esfericidade ( $\phi$ ), alongamento (Al), massa de 1000 grãos ( $M_{1000}$ ) e área superficial (S).....                         | 35        |
| 4.3.5 Densidade bulk (aparente) ( $\rho_b$ ), densidade real ( $\rho_t$ ) e porosidade ( $\varepsilon$ ).....                           | 36        |
| 4.3.6 Análises estatísticas .....   | 36        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.4 Potência ultrassônica transmitida .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>4.4.1 Descrição dos equipamentos.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>4.4.2 Condições experimentais .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>4.4.3 Método calorimétrico .....</b>   | <b>39</b> |
| <b>4.4.4 Análises estatísticas .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>4.5 Maceração do grão de trigo.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>4.5.1 Experimentos da maceração .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>4.5.2 Modelagem matemática e análise estatística .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>4.5.2.1 Modelo de Peleg .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>4.5.2.2 Modelo exponencial .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>4.6 Germinação do grão de trigo .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>4.6.1 Poder germinativo .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>5.1 Propriedades físicas do grão de trigo .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>5.1.1 Comprimento (x), largura (y) e espessura (z) .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>5.1.2 Diâmetro médio aritmético (<math>D_a</math>), diâmetro médio geométrico (<math>D_g</math>) e diâmetro equivalente de uma esfera (<math>D_{esf}</math>) .....</b> | <b>48</b> |
| <b>5.1.3 Esfericidade (<math>\phi</math>), alongamento (AI), massa de 1000 grãos (<math>M_{1000}</math>) e área superficial (S).....</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>5.1.4 Densidade bulk (aparente) (<math>\rho_b</math>), densidade real (<math>\rho_t</math>) e porosidade (<math>\varepsilon</math>) .....</b>                          | <b>52</b> |
| <b>5.2 Potência ultrassônica transmitida .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>5.3 Maceração.....</b>   | <b>59</b> |
| <b>5.3.1 Experimentos da maceração .....</b>  | <b>59</b> |
| <b>5.3.2 Modelagem matemática .....</b>   | <b>62</b> |
| <b>5.3.2.1 Modelo de Peleg .....</b>  | <b>62</b> |
| <b>5.3.2.2 Modelo exponencial .....</b>   | <b>66</b> |
| <b>5.4 Germinação do grão de trigo .....</b>  | <b>70</b> |
| <b>5.4.1 Poder germinativo .....</b>  | <b>70</b> |



|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| <b>6. CONCLUSÃO .....</b>        | <b>71</b> |
| <b>7. TRABALHOS FUTUROS.....</b> | <b>72</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS.....</b>       | <b>73</b> |
| <b>APÊNDICE A .....</b>          | <b>80</b> |
| <b>APÊNDICE B .....</b>          | <b>81</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais mais antigos e cultivados no mundo que ocupa seu espaço entre os produtores rurais brasileiros principalmente no Paraná e Rio Grande do Sul, mas também está sendo adaptado para as regiões de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, sendo o principal insumo de vários alimentos e preparos de consumo humano e animal (HOFFMANN, 2014).

Assim, o trigo está entre os cereais mais utilizados na produção de malte, pois apenas a cevada, o trigo e o centeio são usados em escala industrial, isto porque estes desenvolvem alfa e beta-amilases durante a germinação, além de pequena quantidade de glicosidase, enquanto os demais produzem essencialmente apenas alfa-amilase (REGULY, 1996; BAMFORTH, 1993).

O malte é a principal matéria prima para a produção de cerveja, sendo ele o responsável pela cor, aroma e o sabor da cerveja. A maltagem (processo de produção do malte) do trigo garante mudanças físicas e químicas no grão. Três etapas são necessárias para garantir que estas mudanças ocorram. Inicialmente, o trigo é hidratado até atingir em torno de 75% de umidade (b.s.). Após a hidratação, os grãos são mantidos com alta umidade a uma temperatura de aproximadamente 16 °C para que aconteça a germinação. É na germinação que ocorre o crescimento do embrião, a síntese de enzimas e uma degradação limitada do endosperma e, finalmente, a secagem, para garantir a estabilidade do malte (PIRES, 2012).

Nesse contexto, o conhecimento da morfologia e das dimensões do grão é essencial para o projeto de equipamentos de limpeza, classificação e separação, assim como as dimensões características que permitem o cálculo de parâmetros necessários para o projeto de hidratação, secagem e aeração (AL-MAHASNEH; RABABAH, 2007).

Além disso, novas tecnologias vêm sendo utilizadas no processo de alimentos e o ultrassom é uma delas. Seu uso pode apresentar melhorias em duas áreas: por um lado como uma ferramenta de diagnóstico para controlar parâmetros, produtos alimentícios ou processos e, por outro lado, ser utilizado para melhorar processos, influenciando na cinética dos mesmos (CÁRCEL et al., 2012).

As principais aplicações do ultrassom no processamento de alimentos estão ligadas aos efeitos que exerce sobre os fenômenos de transferência de calor ou massa. Grande parte das aplicações estudadas estão relacionadas com sistemas

Tabela 22- Tempo médio de germinação e poder germinativo (média  $\pm$  desvio padrão)

| Temperatura (°C) | Potência (W) | TMG (dia)       | %GER- 4° dia (%) | %GER- 8° dia (%) |
|------------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|
| 15               | 0            | 4,56 $\pm$ 0,02 | 85,17 $\pm$ 2,47 | 85,67 $\pm$ 0,02 |
|                  | 1500         | 4,58 $\pm$ 0,03 | 82,67 $\pm$ 1,19 | 85,34 $\pm$ 1,17 |
| 20               | 0            | 4,65 $\pm$ 0,04 | 82,67 $\pm$ 3,25 | 85,50 $\pm$ 2,68 |
|                  | 1500         | 4,75 $\pm$ 0,11 | 83,78 $\pm$ 3,97 | 86,05 $\pm$ 3,97 |
| 25               | 0            | 4,91 $\pm$ 0,04 | 83,08 $\pm$ 2,34 | 85,97 $\pm$ 2,15 |
|                  | 1500         | 4,62 $\pm$ 0,06 | 84,46 $\pm$ 3,56 | 85,89 $\pm$ 3,23 |

Fonte: Autora (2019)

Pela Tabela 22 observou-se que o tempo médio de germinação do grão de trigo é em torno de 5 dias. A temperatura de maceração e a potência aplicada não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para o tempo médio de germinação. No entanto, Bamforth (1993) relata que a germinação é mais rápida em temperaturas mais elevadas devido a formação de enzimas de forma mais acelerada, porém em temperaturas menores a germinação ocorre de modo mais devagar, assim, a quantidade de enzimas que se forma é maior.

Os valores do poder germinativo foram baixos (85 - 86 %) quando comparado com outros trabalhos como o de Lima, Medina e Fanan (2006) que encontraram valores de poder germinativo para o grão de trigo acima de 90% e o de Lizarazo (2003) com germinação acima de 95 % para cevada. Esse baixo poder germinativo pode ser justificado pela dificuldade de se controlar a umidade dos grãos na incubadora durante o processo de germinação. Ainda é possível observar que os valores do poder germinativo não sofreram influência da temperatura ( $p > 0,05$ ) e da potência ( $p > 0,05$ ), fato esse também observado por Miano et al. (2015).

## 6. CONCLUSÃO

As propriedades físicas dos grãos de trigo apresentaram variação na faixa de umidade estudada (14,4 – 90,9% (b.s.)). Todas as propriedades físicas se ajustaram com a umidade por meio de um ajuste polinomial de ordem 2 com exceção da área superficial que se ajustou por um polinômio de ordem 3. Isso mostra que as propriedades físicas, em algumas faixas de umidades, podem ser proporcionais ou não com o teor de umidade demonstrando uma capacidade máxima de expansão. Assim, por meio desses ajustes é possível calcular as propriedades físicas do grão de

trigo em diferentes umidades com o intuito de se projetar os equipamentos para a produção de malte, de cerveja, entre outros.

A aplicação do ultrassom de potência provocou variação na temperatura em relação ao tempo e ao local de aplicação. Para as potências nominais aplicadas, a média volumétrica de variação de temperatura apresentou uma tendência linear. Além disso, o rendimento de conversão diminuiu com o aumento da potência nominal aplicada, mas a potência real transmitida aumenta. Dessa forma, o valor real da potência ultrassônica absorvida é importante para o dimensionamento correto de processos e melhor avaliação de como essa tecnologia age sobre os mesmos.

Para a cinética de hidratação foi possível observar que, no início do processo de maceração, houve maiores taxas de absorção de água. Já em tempos mais longos, essa taxa foi diminuindo tendendo a uma absorção máxima que corresponderia à umidade de equilíbrio. Além disso, o aumento da potência nominal e o aumento da temperatura diminuíram o tempo de hidratação.

A taxa de absorção de água e a umidade de equilíbrio aumentaram com a aplicação do ultrassom, como mostrou o Peleg e o modelo exponencial. Ambos os modelos apresentaram bons ajustes, no entanto o modelo exponencial se destacou pelo elevado  $R^2$  e baixo NRMSE.

A variação de temperatura e de potência nominal aplicada na maceração não apresentaram influência no tempo médio de germinação (5 dias) e nem no poder germinativo (85 – 86 %).

Assim, aplicação de ultrassom reduziu o tempo para atingir a umidade necessária no processo de maceração, podendo ser uma tecnologia viável para melhorar a produção de malte.

## **7. TRABALHOS FUTUROS**

Outros estudos podem ser realizados tendo como base o trabalho apresentado. Alguns aprofundamentos como utilizar potências diferentes e/ou banho ultrassônico para verificar a influência no processo de hidratação.

Além disso, deve-se fazer um estudo de como a atividade enzimática se comporta nos tratamentos com aplicação do ultrassom e sem aplicação do ultrassom, para isso, deve-se conseguir controlar a umidade de forma homogênea dentro da incubadora como uma tentativa de aumentar o poder germinativo.

A partir desses estudos que envolvem a produção do malte, é necessário investigar a aplicabilidade desse tipo de produto. Um exemplo, é produzir cervejas com esses maltes e, por meio da análise sensorial, verificar atributos como aparência, odor, sabor e aceitação global e até mesmo intenção de compra.

## 8. REFERÊNCIAS

ABITRIGO. **Associação Brasileira das Indústrias de Trigo, Estatísticas**. 2018. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/estatisticas-trigo.php>. Acesso em: 07 de maio de 2018.

AGROV. **Gestão Agrícola Inteligente**, 2017. Página inicial. Disponível em: <http://www.agrov.com/>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

AGUILAR, G.; MORLON-GUYOT, J.; TREJO-AGUILAR, B.; GUYOT, J. P. Purification and characterization of an extracellular  $\alpha$ -amylase produced by *Lactobacillus manihotivorans* LMG 18010T, an amylolytic lactic acid bacterium. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 27, n. 6, p. 406-413, 2000.

AL-MAHASNEH, M. A.; RABABAH, T. M. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1467-1473, 2007.

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**, Arlington, 2010.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L.; SOUZA, C.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. Physical properties of peanut kernels during drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 279-287, 2014.

BAMFORTH, C. W.; BARCLAY, A. H. P. Malting technology and the uses of malt. **Barley: chemistry and technology**, p. 297-354, 1993.

BANDE, Y. M.; ADAM, N. M.; AZMI, Y.; JAMAREI, O. Moisture dependent physical and compression of bitter melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seeds. **International Journal of Agricultural Research**, v. 7, p. 243-254, 2012.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; RODRÍGUEZ, J. J. Update on nonthermal food processing technologies: pulsed electric field, high hydrostatic pressure, irradiation and ultrasound. **Food Australia**, v. 54, n. 11, p. 513-520, 2002.

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

BRIGGS, D. E. Malt modification—a century of evolving views. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 108, n. 4, p. 395-405, 2002.

BROOKES, P. A.; LOVETT, D. A.; MACWILLIAM, I. C. The steeping of barley. A review of the metabolic consequences of water uptake, and their practical implications. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 82, n. 1, p. 14-26, 1976.

CAPOTE, F. P.; DE CASTRO, D. L. **Analytical applications of ultrasound**. Salt Lake City:Elsevier Science, 2007.

CÁRCEL, J. A. C. **Influencia de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de materia**. 2003. 318 f. Tesis (PhD). Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2003.

CÁRCEL, J. A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; BENEDITO, J.; MULET, A. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 200-207, 2012.

CARLIN, B. **Ultrasonica**. Bilbao: Ediciones Urmo, 1972.

CARVALHO, B. D; CARVALHO, N. I. R. Qualidade fisiológica de sementes de guaxuma em influência do envelhecimento acelerado e da luz. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 489-494, 2009.

CARVALHO, G. R.; POLACHINI, T. C.; DARROS-BARBOSA, R.; CORBÍN, J. B.; TELIS-ROMERO, J. Effect of intermittent high-intensity sonication and temperature on barley steeping for malt production. **Journal of Cereal Science**, v. 82, p. 138-145, 2018.

CHAVAN, J. K.; KADAM, S. S.; BEUCHAT, L. R. Nutritional improvement of cereals by fermentation. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 28, n. 5, p. 349-400, 1989.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 665-670, 2006.

COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M. D.; BASTOS, I. T. Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 61-68, 1999.

CUNHA, L. M; OLIVEIRA, F. A. R.; ABOIM, A. P.; FRÍAS, J. M.; PINHEIRO-TORRES, A. Stochastic approach to the modelling of water losses during osmotic dehydration and improved parameter estimation. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 36, p. 600-607, 2007.

CUNNINGHAM, S. E.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A.; RICHARDSON, P. S. Modelling water absorption of pasta during soaking. **Journal of food Engineering**, v. 82, n. 4, p. 600-607, 2007

EBC, **Analytica-EBC**. Real Degree of Fermentation of Beer. 9.5, 2000.

EMBRAPA. **A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira**. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23416523/artigo---a-importancia-do-trigo-para-a-sustentabilidade-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 29 de maio de 2017.

FENG, H.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; WEISS, J. **Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing**. Oxford: Springer, 2010.

FORTES, M.; OKOS, M. R. Changes physical properties of corn during drying. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 1004-1008, 1980.

GALLEGO-JUÁREZ, J. A. Macrosonics: phenomena, transducers and applications. **Revista de Acústica**, Madrid, v. 33, n. 3-4, p. 36-42, 2002.

GEORGET, D. M. R.; UNDERWOOD-TOSCANO, C.; POWERS, S. J.; SHEWRY, P. R.; GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 1, p. 12-30, 2005

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.

GIBSON, T. S.; SOLAH, V.; HOLMES, M. G.; TAYLOR, H. R. Diastatic power in malted barley: contributions of malt parameters to its development and the potential of barley grain beta-amylase to predict malt diastatic power. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 101, n. 4, p. 277-280, 1995.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. D.; SANTOS, E. D. S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 33, p. 148-155, 2008.

HOFFMANN, R. A agricultura familiar produz 70% dos alimentos consumidos no Brasil. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 21, n. 1, p. 417-421, 2014.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 327.

IAPAR. **Recomendações técnicas para cultura do trigo no Paraná**. 2017. Disponível em: [www.iapar.br](http://www.iapar.br). Acesso em: 07 de maio de 2017.

ILINCANU, L. A.; OLIVEIRA, F. A.; DRUMOND, M. C.; MACHADO, M. F.; GEKAS, V. Modelling moisture uptake and soluble solids losses during rehydration of dried apple pieces. **Process Optimisation and Minimal Processing of Foods, Drying**, v. 3, p. 64-70, 1995.

INSUMOS. **Farinhas: de trigo, de outros cereais, de outras origens**. 2013. Disponível em: [http://insumos.com.br/aditivos\\_e\\_ingredientes/materias/98.pdf](http://insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/98.pdf). Acesso em: 07 de maio de 2017.

KIBAR, H.; OZTURK, T. Physical and mechanical properties of soybean. **International Agrophysics**, v. 22, p. 239-244. 2008.

KUNZE, W. Brewing and Malting. **Berlin: Vlb**, p. 18-152, 2004.

KUTTRUFF, H. **Ultrasonics Fundamentals and Applications**. Elsevier Science Publishers Limited, Oxford, 1991.

LIANG, H. **Modeling of ultrasound assisted and osmotically induced diffusion in plant tissue**. 1995. Thesis (PhD). Purdue University, Lafayette, 1995.

LIMA, T. C.; MEDINA, P. F.; FANAN, S. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de sementes**, v. 28, n. 1, p. 106-113, 2006.

LIZARAZO, D. X. C. **Parâmetros físico-químicos, germinativos e microestruturais de qualidade em cultivares brasileiros de cevada cervejeira**. 2003. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)- Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MARGULIS, M. A.; MARGULIS, I. M. Calorimetric method for measurement of acoustic power absorbed in a volume of a liquid. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 10, n. 6, p. 343-345, 2003.

MASON, T. J.; LORIMER, J. P. Applied sonochemistry: uses of power ultrasound in chemistry and processing. **Betz-Druck, Darmstadt**, p. 3-4, 2002.

MASON, T. Power ultrasound in food processing—the way. **Ultrasound in food processing**, v. 105, 1998.

MENEZES BIAZUS, J. P.; CURVELO SANTANA, J. C.; RODRIGUES DE SOUZA, R.; BASILE TAMBOURGI, E. Caracterização da atividade amilásica do malte de milho (*Zea mays* L.). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 28, n. 1, 2006.

MEREDITH, P.; POMERANZ, Y. Sprouted grain. In: POMERANZ, Y. (Ed.). **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul, v. 7, p. 239-320, 1994.

MIANO, A. C.; FORTI, V. A.; ABUD, H. F.; GOMES-JUNIOR, F. G.; CICERO, S. M.; AUGUSTO, P. E. D. Effect of ultrasound technology on barley seed germination and vigour. **Seed Science and Technology**, v. 43, n. 2, p. 297-302, 2015.

MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 29, p. 413-419, 2016.

MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound technology enhances the hydration of corn kernels without affecting their starch properties. **Journal of Food Engineering**, v. 197, p. 34-43, 2017.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986.



MONTANUCI, F. D.; JORGE, L. M. M.; JORGE, R. M. M. Effect of time and temperature on the hydration process of barley grains. **Heat and Mass Transfer**, v. 51, n. 3, p. 363-372, 2015.

MULET, A.; CÁRCEL, J. A.; SANJUÁN, N.; BOM, J. New food drying Technologies. Use of ultrasound. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 215-221, 2003.

PATERO, T.; AUGUSTO, P. Ultrasound (US) enhances the hydration of sorghum (Sorghum bicolor) grains. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 23, p. 11-15, 2015.

PATIST, A.; BATES, D. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 9, n. 2, p. 147-154, 2008.

PEÇANHA, R. P.; MASSARANI, G. Dimensão característica e forma de partículas. **Anais XIV ENEMP**, 1986.

PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p.1216-1217 e 1219, 1988.

PINJARI, D. V.; PANDIT, A. B. Cavitation milling of natural cellulose to nanofibrils. **Ultrasonics Sonochemistry**, Coventry, v. 17, p. 845-852, 2010.

PIRES, M. J. A importância nutricional do trigo. **Web artigos**, 2012.

PIZZINATTO, A. Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle. **Centro de tecnologia de cereais e chocolate. ITAL, Campinas-SP**, 1999.

POMERANZ, Y.; MUNCK, L. Cereals, a renewable resource: theory and practice. In: **International Symposium on Cereals, a Renewable Resource, Theory and Practice, Copenhagen (Denmark), 1981**. American Association of Cereal Chemists, 1981.

PRIEST, G. **In contradiction**. Oxford University Press, 2006.

QUAGLIA, G.; MATEOS-NEVADO A., D.; MATEOS-NEVADO, B. **Ciencia y tecnología de la panificación**. Acibia, p. 485, 1991.

REGULY, J.C. **Biotecnologia de Processos Fermentativos e suas Matérias Primas**. Pelotas: UFPEL, 1996. p. 321

RESENDE, O., CORRÊA, P. C., GONELI, A. L. D., & CECON, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, p. 15-24, 2005.

SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M; LAURINDO, J.B. Application of diffusive and empirical models to hydration, dehydration and salt gain during osmotic treatment of chicken breast cuts. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 4, p. 553-559, 2009.

SHUKLA, T. P. Microwave ultrasonics in food processing. **Cereal foods world (USA)**, 1992.

SILVA, F.; NOGUEIRA, L. C.; GONCALVES, C.; FERREIRA, A. A.; FERREIRA, I. M.; TEIXEIRA, N. Electrophoretic and HPLC methods for comparative study of the protein fractions of malts, worts and beers produced from Scarlett and Prestige barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. **Food Chemistry**, v. 106, n. 2, p. 820-829, 2008.

SISTEMA EEL. **Produção de cerveja**. [S.l.] [2018?]. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/ProducaodeCervejas20150rerves.pdf> . Acesso em: 10 jan. 2019

SOLOGUBIK, C. A.; CAMPAÑONE, L. A.; PAGANO, A. M.; GELY, M. C. Effect of moisture content on some physical properties of barley. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 762-767, 2013.

SOPADE, P. A.; OBEKPA, J.A. Modelling Water Absorption in Soybean, Cowpea and Peanuts at Three Temperatures Using Peleg's Equation. **Journal of Food Science.**, v. 55, n. 4, p. 1085-1087, 1990.

SORIA, A. C; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in food science & technology**, v. 21, n. 7, p. 323-331, 2010.

TSCHOPE, E. C.; NOHEL, F. A malteação da cevada. **Vassouras: Senai-RJ**, p. 272, 1999.

ULLOA, J. A.; Enríquez López, K. V.; Contreras Morales, Y. B.; Rosas Ulloa, P.; Ramírez Ramírez, J. C.; Ulloa Rangel, B. E. Effect of ultrasound treatment on the hydration kinetics and cooking times of dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **CyTA-Journal of Food**, v. 13, n. 4, p. 588-596, 2015.

VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E. Physical properties of quinoa seeds. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 1, p. 59-65, 2003.

WANTANG, F.; YANGZENG, Z.; XIAOKUI, H. Resistance of a high nitrogen austenitic steel to cavitation erosion. **Wear**, v. 249, n. 9, p. 788-791, 2001.

WHITAKER, S. The role of the volume-averaged temperature in the analysis of nonisothermal, multiphase transport phenomena. **Chemical Engineering Communications**, v. 58, n. 1-6, p. 171-183, 1987.

YILDIRIM, A.; ÖNER, M. D.; BAYRAM, M. Modeling of water absorption of ultrasound applied chickpeas (*Cicer arietinum* L.) using Peleg's equation. **The Journal of Agricultural Science**, v.6, p. 278-286, 2010.

YU, L.; GIURGIUTIU, V. Multi-mode Damage Detection Methods with Piezoelectric Wafer Active Sensors. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, Michigan, v. 20, n. 11, p. 1329-1341, 2009.

ZSCHOERPER, O. P. **Apostila curso cervejeiro e malteador – AMBEV.** Porto Alegre: 2009