

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

LUARA DE JESUS ALMEIDA

**MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE
HIDRATAÇÃO DE CEREAL MATINAL COM LEITE**

PALMAS – TO

2017

LUARA DE JESUS ALMEIDA

**MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE
HIDRATAÇÃO DE CEREAL MATINAL COM LEITE**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Glêndara Aparecida de Souza Martins.

Co-Orientador: Prof. Dr. Warley Gramacho da Silva.

Linha de pesquisa: Desenvolvimento de Novos Produtos.

PALMAS – TO

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A447m Almeida, Luara de Jesus.

Modelagem e otimização do processo de hidratação de cereal matinal com leite. / Luara de Jesus Almeida. – Palmas, TO, 2017.

57 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2017.

Orientadora : Glêndara Aparecida de Souza Martins

Coorientador: Warley Gramacho da Silva

1. Cereal Matinal. 2. Hidratação. 3. Modelagem matemática. 4. Redes Neurais Artificiais. I. Título

CDD 664

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

LUARA DE JESUS ALMEIDA

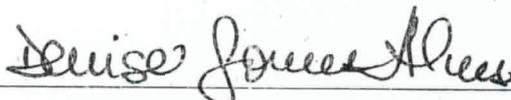
**MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE
HIDRATAÇÃO DE CEREAL MATINAL COM LEITE**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 06 de julho de 2017, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Dra. Adriana Régia Marques de Souza

UFG



Prof. Dra. Denise Gomes Alves

UFT



Prof. Dra. Glêndara Aparecida de Souza Martins

Orientadora – UFT

Não foi fácil, mas aqui estou. Não teria conseguido sem vocês. À minha família, eu dedico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha família, a quem dediquei esse projeto, e sem os quais não teria tido ânimo para terminar. Vocês são o meu melhor, meu orgulho!

Agradeço ao meu companheiro, que está comigo desde o início dessa jornada, e me deu apoio incondicional desde então. Te amo!

Aos professores do programa, com os quais pude aprender uma infinidade de assuntos novos e interessantes sobre a ciência e tecnologia de alimentos. Vocês são demais!

Aos técnicos dos laboratórios de análise: Carla Francisca, Douglas, Gabriela Eustáquio, Maurício e Rachel, que me ajudaram demais no decorrer da parte prática desse projeto.

Aos amigos que a UFT me presenteou: Khaiston, Hermann, Patrícia Meurer e Mariana Carvalho que me ajudaram e trouxeram palavras amigas e de ânimo quando achei que nada ia dar certo (várias vezes rs)! Aos amigos da vida Ricardo Lima, Carolina Oliveira, Heitor Júlio e Leticia Melo: obrigada por todo apoio. Eu amo vocês!

Aos colegas do mestrado, com os quais passei boa parte do meu tempo nessa jornada, e que compartilharam comigo seu conhecimento, e me deram apoio no que precisei.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

À banca avaliadora, por disporem do seu tempo para contribuir com esse projeto.

Agradeço em especial Bruna Moura, Lorena Brito, Josineide Pereira, professora Denise Alves, e professores Thiago Lucas, Joenes Mucci e Warley Gramacho, que me ajudaram muito no projeto, esclarecendo dúvidas, dando dicas e palavras de confiança. Obrigada pela generosidade!!

Por último e não menos importante, gostaria de agradecer imensamente à minha orientadora, professora Glêndara, que depositou sua confiança em mim em 2012, e desde então mudou minha vida acadêmica completamente. Tenho muito orgulho de fazer parte do seu time, e de ter aprendido tantas coisas com você não só do ponto de vista acadêmico, mas principalmente como pessoa. Obrigada pela sua generosidade e dedicação. Sou grata a Deus pela oportunidade de ter passado esse tempo com você e com toda família LaCiMP, a qual deixo também meu agradecimento por terem me acolhido tão bem.

À Deus, que é soberano em todas as coisas!

“Sozinhos não somos nada. Juntos podemos muito!”

RESUMO

Os cereais matinais são produtos extrusados de alto teor de proteína, carboidratos e fibras, que são consumidos com leite. A modelagem matemática é essencial para predizer e simular o comportamento dos materiais submetidos à hidratação, com o intuito de descobrir as melhores condições de temperatura e de tempo de hidratação do processo. Esse trabalho teve como objetivo modelar e otimizar o processo de hidratação de cereal matinal com leite, visando encontrar as variáveis ideais de tempo e temperatura de hidratação, bem como a proporção de leite e cereal para obtenção de um produto pronto para o consumo, além de utilizar dois modelos matemáticos e rede neural artificial para simular a cinética de absorção de leite. A hidratação foi conduzida em 3 proporções de cereal/leite e 3 temperaturas de imersão durante duas horas, com cereal de milho (sem açúcar) e leite UHT integral. Os tratamentos utilizados na hidratação (proporção, temperatura e tempo) causaram efeito significativo ($p < 0.05$) em todas as propriedades físico-químicas do cereal matinal hidratado com leite. Dos modelos matemáticos, o modelo de Peleg foi o que melhor descreveu a cinética de absorção de leite no cereal nas temperaturas e proporções investigadas, e obteve bons ajustes aos dados experimentais. A aplicação da rede neural artificial representou de forma satisfatória a cinética de absorção do leite.

Palavras-Chave: cereais matinais, modelagem matemática, hidratação.

MODELING AND OPTIMIZATION OF HYDRATION PROCESS OF BREAKFAST CEREAL WITH MILK

ABSTRACT

Breakfast cereals are extruded products with a high content of protein, carbohydrates and fibers, which are consumed with milk. The mathematical modeling is essential to predict and simulate the behavior of the materials submitted to hydration, in order to discover the best conditions of temperature and hydration time in the process. The objective of this work was to model and optimize the process of breakfast cereal hydration with milk, aiming to find the ideal variables of time and temperature of hydration, as well as the proportion of milk and cereal to obtain a product ready for consumption, besides using two mathematical models and Artificial Neural Network to simulate the kinetics of milk absorption. Hydration was conducted in 3 cereal/milk proportions and 3 immersion temperatures for two hours, with corn cereal (without sugar) and integral UHT milk. The treatments used in hydration (proportion, temperature and time) had a significant effect ($p < 0.05$) on all physical-chemical properties of breakfast cereal hydrated with milk. About mathematical models, the Peleg's model best described the kinetics of milk absorption in the cereal at the temperatures and proportions investigated, and obtained good adjustments to the experimental data. The application of Artificial Neural Network satisfactorily represented the kinetics of milk absorption.

Key words: breakfast cereals, mathematical modeling, hydration.

SUMÁRIO

PARTE 1	9
1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 CEREAL MATINAL	10
2.2 HIDRATAÇÃO.....	11
2.2.1 Fluido de Hidratação: leite	12
2.3 MODELAGEM MATEMÁTICA	14
2.3.1 Modelo de Peleg	15
2.3.2 Modelo Exponencial	16
2.4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNA'S)	16
3 OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GERAL.....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
PARTE 2	23
5 ARTIGO 1: EFEITO DA HIDRATAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE CEREAL MATINAL HIDRATADO COM LEITE	24
5.1 INTRODUÇÃO.....	25
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
5.2.1 Hidratação do cereal matinal	26
5.2.2 Caracterização físico-química do cereal matinal	26
5.2.3 Caracterização físico-química do leite	26
5.2.4 Análise Estatística	27
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.4 CONCLUSÃO.....	35
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
6 ARTIGO 2: MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE CEREAL MATINAL COM LEITE	37
6.1 INTRODUÇÃO.....	38
6.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
6.2.1 Hidratação do cereal matinal	39
6.2.2 Modelagem Matemática	40
6.2.3 Redes neurais artificiais	41
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42

6.4 CONCLUSÃO	52
6.5 REFERÊNCIAS	53
7. CONCLUSÃO GERAL	56

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os alimentos derivados de cereais contribuem em grande parte para a ingestão calórica da população de todas as faixas etárias, além de serem frequentemente usados como matéria-prima para a indústria alimentícia. Os cereais matinais são produtos extrusados de alto teor de proteína, carboidratos e fibras, podendo ser enriquecidos com vitaminas e sais minerais aumentando seu valor nutritivo. Seu consumo tem aumentado muito nos últimos anos por ser um produto de rápido preparo (TERRA et al., 2010; SANTOS, 2014).

O leite é considerado um dos alimentos mais completos do ponto de vista nutricional, pelo seu alto teor de proteínas (principalmente caseína e albumina) e sais minerais, além de ser importante fonte de cálcio. Também é composto por água, carboidrato (basicamente lactose), gordura, e vitaminas (MACHADO et al., 2014).

A otimização de processos é uma ferramenta que visa solucionar problemas que afetam o desempenho de algum setor. Diversos problemas podem ser resolvidos, como por exemplo os que abordam rendimento e lucro, bem como os custos e o tempo de produção de um processo (ALMEIDA et al., 2013).

Os modelos matemáticos são ferramentas importantes na concepção e otimização de processos de desidratação e hidratação (ANSARI et al., 2015). Segundo Resende e Corrêa (2007), essas ferramentas são essenciais para simular o comportamento dos materiais submetidos ao processo de hidratação, podendo-se utilizar os modelos empíricos e fenomenológicos.

Nesse contexto, uma rede neural artificial é um sistema computacional constituído por unidades conhecidas como neurônios. Os modelos de redes neurais artificiais constituem uma técnica estatística não-linear capaz de resolver uma gama de problemas de grande complexidade no âmbito da otimização de processos (VELLASCO, 2007; LERTWORASIRIKUL; SAETAN, 2010).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CEREAL MATINAL

O cereal matinal é definido como um grão processado para o consumo humano. É um produto que teve início no começo do século XX nos Estados Unidos, e tem valor nutricional comprovado e alta aceitação face a rapidez no seu preparo (LEORO, 2007).

Takeuchi et al. (2005) explicam que o processo de produção do cereal matinal consiste na extrusão desses cereais, envolvendo ingredientes que sob a influência de calor, umidade, pressão e cisalhamento são transformados em uma massa visco elástica que emerge do extrusor. A queda súbita de pressão permite a vaporização de água e conseqüentemente a expansão da massa de cereal. Esta massa tem uma estrutura celular formada por bolsões de ar envoltos por paredes de amido gelatinizado, o que contribui para sua textura quebradiça. Porém, essa textura é perdida quando o produto é emergido em líquido (geralmente leite), devido ao aumento da umidade do mesmo. Nesse sentido, Leoro (2007) afirma que a extrusão é uma tecnologia de cocção alternativa que opera em base contínua para a conversão de formulações densas, à base de grãos, em produtos leves e crocantes. É uma técnica que tem sido bastante utilizada com matérias primas como milho, trigo, arroz e, especialmente nos últimos anos, com soja.

A extrusão é uma operação unitária altamente versátil que pode ser aplicada a uma variedade de processos alimentícios. O uso dessa operação tem se expandido rapidamente nas indústrias de alimentos e rações nos últimos anos. Dentre as funções de uma extrusora, temos: cozimento, aglomeração de ingredientes em pedaços compactos, desgaseificação, desidratação, expansão, gelatinização, trituração, homogeneização, pasteurização, esterilização, desnaturação de proteínas, alterar forma e textura (RIAZ, 2002).

Segundo Louie et al. (2012) os indivíduos que consomem regularmente (mais de três dias por semana) cereal matinal no café da manhã têm as proporções da gordura total, da gordura saturada e do colesterol mais baixas que os não consumidores. Apresentam ainda, as proporções de fibra, cálcio, ferro, zinco, e das vitaminas A, B, C e E mais elevadas. Outro benefício do consumo de cereal matinal é um menor peso corporal: em uma pesquisa com crianças e adolescentes americanos, os que consumiam cereal matinal regularmente obtiveram menor massa corporal, menor circunferência da cintura, e menor prevalência de obesidade em relação a crianças que não consumiam no café da manhã. Fernandes et al. (2009) avaliaram o

efeito da educação nutricional no consumo alimentar de alunos do ensino fundamental, e consideraram o cereal matinal como uma alternativa adequada para o consumo no lanche escolar. Para as turmas que passaram pelo programa de educação nutricional, houve aumento no consumo desse alimento.

A demanda por alimentos nutritivos e práticos está crescendo mundialmente, e a ingestão desses alimentos contribui para corrigir problemas de saúde, como: obesidade, diabetes, desnutrição, cardiopatias, entre outros que têm origem, em grande parte, nos erros alimentares. Esses alimentos práticos chamados de “prontos para o consumo” podem servir como veículos para importantes nutrientes, e são facilmente aceitos pelos consumidores. Têm sido constantemente estudadas a produção de cereais matinais, *snacks* e alimentos saudáveis de uma gama de diferentes fontes de cereais (GUTKOSKI et al., 2007; MARANGONI, 2007). Leoro (2007) desenvolveu um cereal matinal orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá. Já Santos (2014) desenvolveu cereal matinal à base de farinha de milho e pupunha. Silva et al. (2011) produziram cereal matinal de mandioca enriquecido com concentrado proteico, e obtiveram boa aceitação do produto.

2.2 HIDRATAÇÃO

A hidratação é um processo físico que está diretamente ligado a características como: temperatura do fluido de hidratação, tempo de hidratação, e permeabilidade do alimento, que por sua vez é influenciada pela morfologia, composição, estrutura, e conteúdo de umidade inicial. É um processo importante na indústria de alimentos em setores como grãos enlatados e arroz parboilizado, por exemplo. A hidratação como um pré-tratamento promove a redução do tempo de cozimento de grãos, mantém a qualidade nutricional do alimento, além de melhorar a digestibilidade das proteínas e a qualidade sensorial do produto final (VOLPE, 2014; MARQUES, 2014; PRAMIU et al., 2015).

No caso do milho, a hidratação melhora a difusão de solutos e ativação de enzimas, além de favorecer o processo da moagem úmida (MARQUES et al., 2014). No processamento da soja, a hidratação é uma parte importante na extração das proteínas, visto que altera as características de textura do grão e facilita a extração (NICOLIN et al., 2014).

A hidratação é um processo complexo que tem por objetivo restaurar as propriedades do produto fresco, quando ele na forma desidratada entra em contato com o fluido de hidratação. Cox et al. (2012) explicam o processo de hidratação em 3 etapas simultâneas:

absorção de água dentro do material seco, aumento do produto hidratado, e a perda ou difusão de componentes solúveis. Geralmente a taxa de absorção de água é maior na fase inicial, e declina quando o equilíbrio é alcançado. Os autores afirmam ainda, que o fator mais importante na hidratação é a temperatura do fluido, e que geralmente temperaturas mais elevadas aceleram o processo de hidratação.

Nesse contexto, estudos sobre a hidratação de cereais matinais são importantes pois permitem controlar a perda da crocância. Há a necessidade de melhorar a caracterização do processo de hidratação, tanto para aumentar, como para limitar a absorção de fluidos e a perda de solutos. Essa caracterização é realizada separando a fase a ser hidratada da fase de imersão, e pesando-a para avaliar o aumento de massa, repetindo-se essa operação em diferentes tempos de contato do alimento com o fluido de hidratação. O passo de separação é muito delicado, pois pode haver possível arraste da fase de imersão na superfície do produto a ser hidratado, bem como alguma perda do fluido absorvido durante o processo (LUCAS et al., 2007).

No processo de hidratação podem ocorrer perdas nutricionais no alimento, seja por transferência de massa entre o sistema, ou pela temperatura utilizada no processo, que acarreta na perda de alguns nutrientes como minerais, vitaminas, e outros componentes solúveis em água. As perdas de vitaminas geralmente são devidas à lixiviação, destruição térmica e raramente por oxidação. O próprio contato do alimento com o líquido de imersão altera a estrutura do mesmo, facilitando a difusão de compostos (LUCAS et al., 2007; FELLOWS, 2000).

2.2.1 Fluido de Hidratação: leite

O leite é definido como o produto oriundo da ordenha completa e ininterrupta, em condições de higiene, de vacas saudáveis, bem alimentadas e descansadas. É considerado um dos alimentos mais completos do ponto de vista nutricional, porém, esta composição pode ser influenciada por diversos fatores, tais como a genética bovina, fatores fisiológicos e alimentação, condições de lactação e exercícios. Estes fatores também podem estar correlacionados com outros parâmetros, como a região de produção ou estação do ano (MACHADO et al., 2014).

O leite é composto por uma série de nutrientes sintetizados nas glândulas mamárias, a partir de precursores derivados da alimentação e metabolismo. Os componentes incluem água, carboidratos, gordura, proteína, minerais e vitaminas. As proteínas têm elevado valor biológico e todas as vitaminas essenciais estão presentes no leite fluido fresco, que possui

pelo menos doze vitaminas hidrossolúveis e quatro lipossolúveis. O conteúdo mineral presente no leite, mais especificamente o cálcio, é a propriedade nutricional mais importante dos produtos lácteos. Ele fornece grande parte da necessidade diária de cálcio da dieta humana, e a lactose contribui aumentando a absorção e retenção deste mineral. A gordura é o componente mais caro do leite, e o seu nível determina como ele será comercializado: integral, semidesnatado ou desnatado (VACLAVIK, 2002; PAIVA, 2007).

O leite é composto principalmente de água, que está presente a um nível de 87-88%. A variação na quantidade de água do leite está relacionada com a raça do gado, e o tempo de lactação do animal. A matéria gorda do leite é formada de glóbulos de diversos tamanhos, que se encontram em suspensão no líquido, dando-lhe aspecto emulsivo e opaco. Por ser menos densa, a matéria gorda flutua quando o leite está em repouso, constituindo em grande parte o que se chama nata-creme. Os carboidratos estão presentes na fase aquosa do leite, tendo a lactose como majoritária. Porém, ela não é facilmente digerida por uma parte da população, e como alternativa, quando feita a acidificação do leite, ou maturação de queijos, a lactose se converte em ácido lático, e pode ser consumida por quem tem intolerância à lactose (ROCHA, 2004).

As proteínas do leite dividem-se em caseína (80%) e proteínas do soro (20%), que são as albuminas e globulinas. Os minerais e sais do leite são constituídos principalmente por bicarbonatos de cálcio, magnésio, potássio e sódio. O leite é fonte de vitaminas lipossolúveis (A, D, E, K) e hidrossolúveis (C, B1, B2, B6, B12, ácido pantotênico, niacina, biotina e ácido fólico). Quando o leite é desnatado ou semidesnatado, ele é fortificado com as vitaminas A e D, visto que o teor de gordura (onde ocorre a predominância dessas vitaminas) é reduzido ou ausente. A vitamina A tem grande importância para a saúde da pele e visão, e a D age na fixação do cálcio nos ossos (PAIVA, 2007).

O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais de leite, atingindo aproximadamente 35 bilhões de litros anuais, e consumo *per capita* estimado em 172,6 L/hab/ano, segundo dados de 2014. Ele pode ser desidratado, fortificado, homogeneizado, pasteurizado, ou adicionado micro-organismos para criar produtos com diferentes sabores, texturas, valor nutricional e vida útil (ALVES et al., 2015).

Devido a sua riqueza em nutrientes, o leite se torna susceptível ao ataque de um grande número de micro-organismos que são provenientes do próprio animal, do homem, assim como também dos utensílios usados no momento da ordenha. Desse modo, o leite cru deve ser submetido à pasteurização: processamento que destrói os micro-organismos patogênicos (causadores de doenças transmitidas por alimentos), leveduras e bolores, e 95-

99% de bactérias não patogênicas. As temperaturas de pasteurização não alteram os componentes do leite de forma significativa: a destruição de vitaminas e proteínas são mínimas, e o resultado é um leite seguro para o consumo (LUZ et al., 2011; ALVES et al., 2015; VACLAVIK, 2002).

Os derivados lácteos correspondem a 43% do mercado de alimentos. Além do produto fluido, há uma multiplicidade de derivados consumidos no mercado interno, do qual, o público infantil é o maior apreciador (SILVA, 2014). O leite pode ser consumido em sua forma fluida natural, em pó, creme de leite, manteiga, leite condensado, doces, chocolates, iogurte ou outros produtos fermentados, queijos, sorvetes, e como acompanhante de outros alimentos, como é o caso do leite consumido com cereal.

2.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

A absorção de água de produtos submetidos ao processo de hidratação geralmente aumenta com a elevação da temperatura e do tempo de embebição. A modelagem matemática é essencial para prever e simular o comportamento dos materiais submetidos a esse processo, contemplando as principais características do processo de imersão, com o intuito de descobrir as melhores condições de temperatura e de tempo de embebição para alcançar o teor de umidade desejado (OMOTO et al., 2009).

Existem os modelos empíricos e os fenomenológicos. Os modelos fenomenológicos são baseados em fundamentos teóricos e, de maneira geral, são mais complexos e envolvem parâmetros que não são adequados para práticas computacionais na maioria das situações (MASKAN, 2002). Normalmente baseiam-se na segunda lei de Fick, também conhecida como teoria da difusão (BOTELHO, 2009). Esses modelos consideram as etapas elementares de transferência de massa por difusão em meio poroso e/ou convecção, e podem ser de parâmetros concentrados ou distribuídos e, geralmente, representam as principais tendências do processo, mesmo fora das condições experimentais em que foram validados (FRACASSO, 2011).

Já os modelos empíricos são mais frequentemente utilizados para descrever a cinética de hidratação de alimentos devido à sua simplicidade matemática e utilidade (ANSARI et al., 2015). Nicolin (2012) explica que os modelos empíricos descrevem um processo baseado em correlações matemáticas mais simples, oriundas de dados experimentais observados. Estes modelos são frequentemente preferidos frente aos modelos fenomenológicos devido à

facilidade nos cálculos e na interpretação (FRACASSO, 2011). O emprego desses modelos é uma alternativa para a redução do tempo e do custo das análises laboratoriais, especialmente para aplicação rápida e precisa desses valores em projetos (VOLPE, 2014). Dois dos modelos empíricos mais utilizados são: modelo de Peleg e modelo exponencial.

2.3.1 Modelo de Peleg

Entre os modelos empíricos, o modelo proposto por Peleg (1988) vem sendo frequentemente utilizado para a representação da hidratação em produtos. Ele propôs uma equação não exponencial, e utilizou o modelo pela primeira vez para descrever a cinética de umidade em arroz e leite em pó, alcançando coeficientes de determinação da ordem de 0,95 a 0,99. O modelo de Peleg avalia os dados através da relação entre o inverso da razão da umidade em relação ao tempo, conforme mostra a equação (FRACASSO, 2011):

$$U_t = U_0 + \frac{t}{(C_1 + C_2 t)}$$

Onde U_t é o teor de umidade no tempo t (decimal b.s.), U_0 é teor de umidade inicial (decimal b.s.), t é o tempo de hidratação (min), C_1 é a taxa constante de Peleg (min decimal b.s.⁻¹), e C_2 é a capacidade constante de Peleg (decimal b.s.⁻¹).

É um modelo cujos parâmetros de C_1 e C_2 são inversamente relacionados à taxa inicial de absorção de água e capacidade máxima de absorção de água (umidade de equilíbrio), respectivamente. A equação é uma soma quando o processo envolve absorção, e uma subtração quando o processo envolve dessorção (FRACASSO, 2011).

A maior vantagem deste modelo é sua simplicidade em relação aos outros, e por isso tem sido o modelo empírico mais utilizado nos últimos anos para modelar o comportamento de diferentes grãos e alimentos durante a hidratação (LISBÔA, 2015; MASKAN, 2002). De acordo com Turhan et al. (2002), o modelo de Peleg, com base nos dados de hidratação e nas condições dadas, pode prever a cinética dos grãos em imersão até a condição de equilíbrio.

Maskan (2002) estudou a absorção de água em três tipos de cereais imersos em três temperaturas diferentes, e o modelo representou adequadamente os dados experimentais. Botelho et al. (2010), utilizaram o modelo de Peleg em seu estudo de absorção de água em grãos de arroz e obtiveram coeficientes de determinação acima de 0.97. Wardhani et al. (2008), Fracasso (2011) e Quicazán et al. (2012) analisaram a hidratação de grãos de soja, e o modelo de Peleg se ajustou bem aos dados experimentais.

2.3.2 Modelo Exponencial

Khazaei (2008) estudou as características de resistência mecânica e absorção de água de amêndoas utilizando o modelo exponencial para descrever a cinética de hidratação a 27 °C, e o modelo representou adequadamente os dados experimentais. Prieto (2012) avaliou a adsorção de cereais por meio de modelos matemáticos e conseguiu obter excelentes ajustes aos dados experimentais. De acordo com Brousse (2012), o modelo exponencial descreveu adequadamente a cinética de adsorção de água das duas variedades de mandioca estudadas. Prasad et al. (2010) também utilizou o modelo exponencial ao avaliar a hidratação de grãos de bico. O modelo Exponencial é representado pela equação abaixo, na qual k_2 é a constante do modelo e representa a velocidade de hidratação (COX et al., 2012).

$$U_t = U_{eq}(1 - \exp(-k_2 t))$$

Cox et al. (2012) avaliaram o efeito de diferentes temperaturas na hidratação de algas marinhas, e obtiveram excelente ajuste para o modelo exponencial, com coeficientes de determinação de 0.99. Já Ansari et al. (2015) estudaram o comportamento de hidratação de figos secos, e também obtiveram bons ajustes ao utilizar o modelo exponencial.

2.4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNA'S)

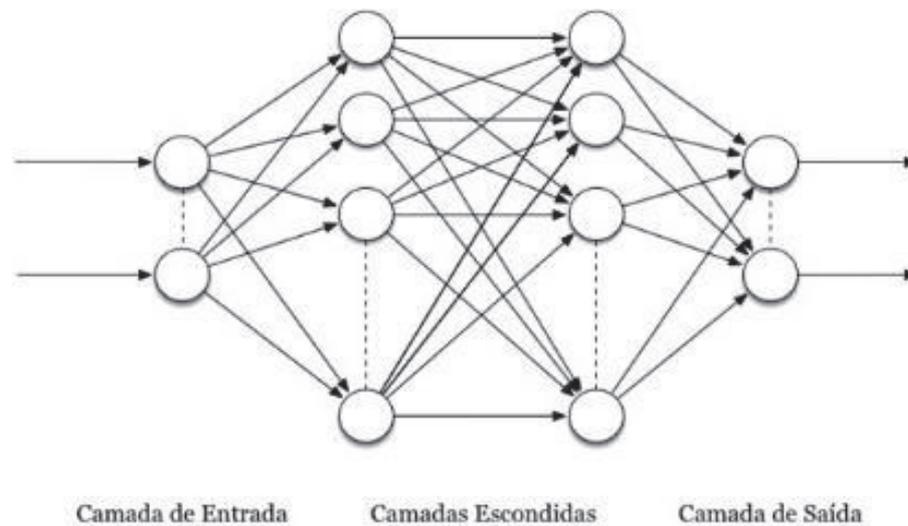
No âmbito da modelagem de processos, a rede neural artificial (RNA) faz parte de uma grande variedade de ferramentas da área de inteligência artificial (IA), e é um modelo matemático baseado no funcionamento do sistema nervoso biológico, sendo composta por unidades simples chamadas de neurônios artificiais, ou *perceptrons*. Em uma RNA, a camada inicial consiste na camada de entrada (onde os dados iniciais são inseridos), e a camada final é a camada de saída da resposta da rede, ou seja, onde o erro de saída é determinado. Em um processo de treinamento de uma RNA (chamado de aprendizado), as conexões entre as unidades neuronais são modificadas a fim de que a resposta final calculada pela rede seja semelhante às respostas desejadas. Após um processo de aprendizado, uma RNA pode correlacionar dados complexos de uma equação e prever seu resultado final corretamente pela minimização do erro entre a saída e o valor desejado no treinamento (LIMA et al., 2016; CAMPOS et al., 2016).

Lima et al. (2016) explicam que o desempenho das RNA's é superior em relação aos modelos de regressão por terem a habilidade de aprender e generalizar, o que as tornam

capazes de resolver problemas complexos, bem como de modelar diversas variáveis e suas relações não lineares, além de modelar tanto variáveis qualitativas quanto quantitativas.

Existem muitos modelos de redes neurais artificiais (RNA's). Um modelo de RNA amplamente utilizado para previsão e controle de operações de processamento de alimentos é uma rede neural *multilayer perceptron* (MLP). Uma RNA do tipo MLP é constituída por um conjunto de entrada, os quais formam a camada de entrada da rede (*input layer*), uma ou mais camadas escondidas (*hidden layers*) e uma camada de saída (*output layer*). A Fig. 1 mostra a arquitetura de uma rede neural MLP com uma camada de entrada, duas camadas escondidas e uma camada de saída (LERTWORASIRIKUL; SAETAN, 2010).

Figura 1. Arquitetura de uma rede neural *multilayer perceptron* com duas camadas escondidas.



3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho teve como objetivo modelar e otimizar o processo de hidratação de cereal matinal com leite, visando encontrar as variáveis ideais de tempo e temperatura de hidratação, bem como a proporção de leite e cereal, para obtenção de um produto pronto para o consumo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar o processo de hidratação de cereal matinal com leite em três proporções de leite e cereal diferentes, nas temperaturas de 35, 45 e 55°C durante 2 horas de imersão, retirando o cereal a cada 15 minutos para observar o aumento de massa;

Fazer a caracterização físico-química do cereal hidratado;

Fazer a caracterização físico-química do leite usado na hidratação;

Indicar quais fatores foram melhores no processo da hidratação;

Ajustar dois modelos matemáticos empíricos aos dados experimentais;

Comparar os parâmetros de ajuste dos modelos estudados;

Indicar o modelo matemático que melhor reproduz a cinética de hidratação;

Aplicar a rede neural artificial aos dados experimentais do processo de hidratação, bem como nas análises físico-químicas do cereal e do leite utilizados no processo.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. J.; MARTINS, G. A. S.; SILVA, W. G. Otimização de processos utilizando a programação linear. **Enciclopédia Biosfera**. v.9, n.16, p. 1641-1653, 2013.

ALVES, T. S.; SIQUEIRA, A. K.; FERRAZ, M. M. G.; LEITE, D. S. Identificação e perfil de sensibilidade de *Enterobacter* spp. Isolados de leite bovino cru. **Veterinária e Zootecnia**. v.22, n.1, p. 114-122, 2015.

ANSARI, S.; HOSSEINI, E.; ASADI, G. H.; MAFTOON-AZAD, N.; FARAHNAKY, A. Modeling the Rehydration Behavior of Dried Figs. **Journal of Agricultural Science and Technology**. v. 17, p. 133-144, 2015.

BOTELHO, F.M. **Absorção de água por grãos de milho com diferentes níveis de danificação mecânica**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.

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.

BROUSSE, M. M.; LINARES, R. A; NIETO, A. B; VERGARA, M. L. Cinética de adsorción de água en purés deshidratados de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos**. v. 3, n. 1, p. 80-96, 2012.

CAMPOS, B. P. F.; SILVA, G. F.; BINOTI, D. H. B.; MENDONÇA, A. R.; LEITE, H. G. Predição da altura total de árvores em plantios de diferentes espécies por meio de redes neurais artificiais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 36, n. 88, p. 375-385, 2016.

COX, S.; GUPTA, S.; ABU-GHANNAM, N. Effect of Different Rehydration Temperatures on the Moisture, Content of Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Textural Properties of Edible Irish Brown Seaweed. **LWT - Food Science and Technology**. v. 47, p. 300-307, 2012.

FELLOWS, P. Processing by application of heat. In: **Food Processing Technology: principles and practice**. 2^a ed. CRC Press LLC, 2000. Cap. 10, p. 238-239.

FERNANDES, P. S.; BERNARDO, C. O.; CAMPOS, R. M. M. B.; VASCONCELOS, F. A. G. Avaliação do efeito da educação nutricional na prevalência de sobrepeso/obesidade e no consumo alimentar de escolares do ensino fundamental. **Jornal de Pediatria**. v. 85, n. 4, p. 315-321, 2009.

FRACASSO, A. R. **Cinética de hidratação de soja: estudo comparativo entre soja transgênica e convencional**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2011.

GUTKOSKI, L. C.; BONAMIGO, J. M. A.; TEIXEIRA, D. M. F.; PEDÓ, I. Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveia com alto teor de fibra alimentar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 27, n. 2, p. 355-363, 2007.

KHAZAEI, J. Characteristics of Mechanical Strength and Water Absorption in Almond and Its Kernel. **Cercetări Agronomice în Moldova**. v. XLI, n.1 (133), 2008.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP), Campinas – SP, 2007.

LERTWORASIRIKUL, S.; SAETAN, S. Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaf- fir lime peel. **Journal of Food Engineering**. v. 98, n. 2, p. 214–223, 2010.

LIMA, M. A.; FERREIRA, G. G.; OLIVEIRA, L. L. C.; DINIZ, R. F. S.; FERREIRA, C. B. Uso de Redes Neurais Artificiais (RNA) do tipo Multilayer Perceptrons (MLP) modificado com processamento estatístico em paralelo para estudo do problema de classificação da origem de vinho tinto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**. v.6, n.2, p.58-65, 2016.

LISBÔA, J. F.; SILVA, J. N.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, E. M. C.; GONÇALVES, M. C. Análise da hidratação de grãos de alpiste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v.19, n.3, p.218–223, 2015.

LOUIE, J. C. Y.; DUNFORD, E. K.; WALKER, K. Z.; GILL, T. P. Nutritional quality of Australian breakfast cereals. Are they improving?. **Appetite**. v. 59, p. 464–470, 2012.

LUCAS, T.; LE RAY, D.; MARIETTE, F. Kinetics of water absorption and solute leaching during soaking of breakfast cereals. **Journal of Food Engineering**. v. 80, p. 377–384, 2007.

LUZ, D. F.; BICALHO, F. A.; OLIVEIRA, M. V. M.; SIMÕES, A. R. P. Avaliação microbiológica em leite pasteurizado e cru refrigerado de produtores da região do Alto Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Dourados**. v.4, n.14, p.367-374, 2011.

MACHADO, A. R. T.; CAMPOS, J. E. C.; CLARETO, S. S.; MORAES, A. L. L. Características físico-químicas e sensoriais de três marcas de leite de vaca pasteurizado e comercializado na cidade de Alfenas-MG. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**. v. 12, n. 2, p. 93-99, 2014.

MARANGONI, A. L. **Potencialidade de aplicação de farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) em produtos à base de cereais**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP), Campinas – SP, 2007.

MARQUES, B. C. **Cinética de hidratação de grãos de milho transgênico e convencional e estudo de suas propriedades físico-químicas e tecnológicas**. 2014. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2014.

MARQUES, B. C.; JORGE, L. M. M.; JORGE, R. M. M. **Cinética de hidratação e da liberação de sólidos solúveis do milho geneticamente modificado e de sua isolinha.** *XX COBEQ* (Congresso Brasileiro de Engenharia Química), Florianópolis – SC, 2014.

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

NICOLIN, D. J. **Hidratação de grãos de soja: influência das condições de contorno e da variação de volume sobre modelos matemáticos.** 2012. 109 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR, 2012.

NICOLIN, D. J.; MENECHINI NETO, R.; JORGE, R. M. M.; JORGE, L. M. M. **Solução analítica e validação experimental de um modelo para hidratação de soja com coeficiente de transferência de massa variável.** *XX COBEQ* (Congresso Brasileiro de Engenharia Química), Florianópolis – SC, 2014.

OMOTO, E. S.; ANDRADE, C. M.G.; JORGE, R. M. M.; COUTINHO, M. R.; PARAÍSO, P.R.; JORGE, 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.

PAIVA, R. M. B. **Avaliação físico-química e microbiológica de leite pasteurizado tipo C distribuído em programa social governamental.** 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2007.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Engineering*. v. 52, p. 1216-1219, 1988.

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.

PRIETO, J.; PRIETO, F.; ROMÁN, A. D.; OTAZO, E. M.; MARÍA A. M. Correlación de modelos matemáticos de adsorción de humedad en cereales para desayuno. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. v. 3, n.1, p. 137-150, 2012.

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.

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.

RIAZ, M. N. Introduction to Extruders and their applications. In: **Extruders in food applications**. 1st ed. Florida: CRC Press, 2002. Chapter 1, p. 1-4.

ROCHA, G. L. **Influência do tratamento térmico no valor nutricional do leite fluido.** 2004. 53 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia – GO, 2004.

SANTOS, I. L. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado à base de farinha de milho (*Zea mays*), e pupunha (*Bactris gasipaes*, Kunth).** 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM, 2014.

SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; CARVALHO, A. V.; SIMÕES, M. G. Desenvolvimento e caracterização de cereal matinal extrudado de mandioca enriquecido com concentrado proteico de soro de leite. **Brazilian Journal of Food Technology.** v. 14, n. 4, p. 260-266, 2011.

SILVA, D. C. **Produtos lácteos funcionais: perfil do consumidor e entendimento das informações constantes nos rótulos destes alimentos.** 2014. 74 f. Monografia (Tecnólogo em Tecnologia de Alimentos) – Medianeira – PR, 2014.

TAKEUCHI, K. P.; SABADINI, E.; CUNHA, R. L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos.** v. 25, n. 1, p. 78-85, 2005.

TERRA, J.; ANTUNES, A. M.; BUENO, M. I. M. S. Um método verde, rápido e simples para determinar o valor energético de farinhas e cereais matinais. **Química Nova.** v. 33, n. 5, p. 1098-1103, 2010.

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

VACLAVICK, V. A. Leche y productos lácteos. In: **Fundamentos de ciência de los alimentos.** 1ª ed. Zaragoza: editorial ACRIBIA, S.A., 2002. Cap. 11, p. 219-247.

VELLASCO, M. M. B. R. Redes Neurais Artificiais. 2007. Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www2.ica.ele.puc-rio.br/Downloads/33/ICA-introdu%C3%A7%C3%A3o%20RNs.pdf>>. Acesso em: 23 de abril de 2017.

VOLPE, T. C. **Cinética da hidratação do grão de arroz no processo de parboilização.** 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2014.

WARDHANI, D. H.; VÁZQUEZ, J. A.; PANDIELLA, S. S. Kinetics of daidzin and genistin transformations and water absorption during soybean soaking at different temperatures. **Food Chemistry.** v. 111, p. 13–19, 2008.