

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

ANDRÉIA IBIAPINA

**OTIMIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROCESSAMENTO DE
CEREAL MATINAL HIDRATADO COM LEITE SEM
LACTOSE**

PALMAS - TO
2018

ANDRÉIA IBIAPINA

**OTIMIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROCESSAMENTO DE
CEREAL MATINAL HIDRATADO COM LEITE SEM
LACTOSE**

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: Prof.^a Dra. Glêndara Aparecida de Souza Martins.

Co-Orientador: Prof.^a Dr. Tarso Costa Alvim

Linha de pesquisa: Desenvolvimento de Novos Produtos.

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

- 112o Ibiapina, Andréia .
OTIMIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROCESSAMENTO DE CEREAL
MATINAL HIDRATADO COM LEITE SEM LACTOSE. / Andréia Ibiapina. –
Palmas, TO, 2018.
60 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2018.
Orientadora : Glêndara Aparecida De Souza Martins
Coorientador: Tarso Costa Alvim

1. Cinética de hidratação. 2. Modelagem. 3. Hidratação. 4. Hidrólise. 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.

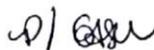
Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

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

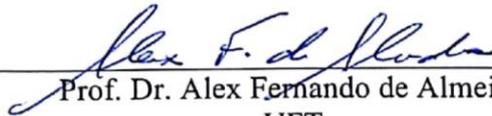
ANDREIA IBIAPINA

**OTIMIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROCESSAMENTO DE
CEREAL MATINAL HIDRATADO COM LEITE SEM
LACTOSE**

Dissertação DEFENDIDA em 01/08/2018, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof.^a Dr.^a Márcia Cavalcante Labegalini
IFTM



Prof. Dr. Alex Fernando de Almeida
UFT



Prof.^a Dr.^a Glêndara Aparecida de Souza Martins
Orientadora – UFT

“Temos de fazer o melhor que podemos. Esta é a nossa sagrada responsabilidade humana.”
(Albert Einstein)

À minha filha, Ana Cecilia, meu maior e mais
lindo amor. A razão dos meus melhores sorrisos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Gostaria de agradecer à minha família que, com muito carinho e apoio, não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Por toda a ajuda e paciência que tiveram comigo durante este período. Minha mãe, Desterro, meu exemplo de mulher, por me apoiar sempre que precisei, sem medir esforços e por me amar independente de qualquer coisa. Meu pai, Nilson, por ser o primeiro homem da minha vida, por ser minha base e mesmo de longe torcer pelo meu melhor. Minha irmã, Andressa, por ser minha melhor amiga, por me ajudar em tudo que precisei e pelo incentivo de sempre e meu cunhado, Rogério por sempre está pronto pra ajudar. Minha avó, Amparo, a base da nossa família, por ser exemplo para mim e pelos conselhos sempre sábios. Minha “primã”, Andryenne, por sempre me fazer rir mesmo nas dificuldades.

À minha filha, Ana Cecília, a quem dedico este trabalho, por ser o melhor presente que o Senhor Deus poderia me dar. Por me fazer mais madura e por, mesmo tão pequena e sem entender, ser a minha maior força para nunca desistir e sempre alcançar meus objetivos de vida.

Ao meu noivo, Evandro, por todo o companheirismo, compreensão, carinho, força, apoio, paciência, pelas palavras positivas quando eu me via desanimada e por todo o amor que tem me dado. Aos meus sogros Alvina e Amarildo e minha cunhada Amanda, por me acolherem e me fazerem sentir parte da família sempre, pelas palavras positivas e por sempre tentarem estar presentes nos momentos importantes da minha vida.

Às minhas “companheirinhas” desde o início da graduação até aqui, Camila e Aynaran, que nunca mediram esforços para me ajudar sempre que precisei, não tenho palavras para agradecer à essas amigas que a vida e Deus me deram. Ao meu “orientando” Eduardo, pela ajuda durante a realização do trabalho e pela parceria que deu certo.

À minha orientadora, professora Glêndara, por ter me acolhido, acreditado e aceitado continuar a parceria iniciada ainda na graduação. Pela pessoa e profissional que a senhora é e que se tornou um grande exemplo o qual quero seguir. Pelas palavras de ânimo e pelo coração enorme e a sensibilidade que tem, sabendo ser a orientadora rígida e a pessoa amável nos momentos certos. Não tenho palavras para expressar minha gratidão por me deixar fazer parte do time LaCiMP e por me ensinar tanto.

A todos os amigos que contribuíram, torceram e/ou acreditaram em mim, minha eterna gratidão.

RESUMO

Cereais matinais são produtos extrusados e possuem a crocância como um atributo sensorial importante. Usualmente é consumido na forma hidratada com leite o que pode ocasionar grande absorção de umidade e alteração de suas características. Com o intuito de conhecer a cinética de hidratação e alteração na qualidade do produto pós processamento realizou-se um delineamento 2^3 com 3 pontos centrais tendo como variáveis independente o tempo, a temperatura de hidratação e a proporção cereal/leite. Os dados foram tratados com auxílio da metodologia de superfície de resposta, modelos empíricos e da rede neural artificial. Foram realizadas análises físico-químicas durante a hidratação para acompanhar a perda de qualidade e analisar as possíveis alterações na composição tanto do leite quanto do cereal. As condições de processamento causaram efeito significativo ($p < 0,05$) nas análises de umidade e cinzas no cereal e de cinzas e açúcares redutores no leite. Onde constatou-se que as melhores condições, no geral, para uma hidratação com melhores teores de nutrientes e conservação da crocância do cereal seria maiores temperaturas e maiores proporções de hidratação. A superfície de resposta representou de maneira satisfatória a cinética de hidratação. A modelagem matemática foi utilizada para analisar a cinética de absorção do leite no cereal. Para isso foram utilizados os modelos de Peleg e exponencial, onde o modelo de Peleg mostrou parâmetros mais satisfatórios quando comparado ao exponencial. A rede neural artificial (RNA) também foi aplicada aos dados experimentais e apresentou melhores ajustes e maior capacidade de predição do comportamento das variáveis respostas do que o modelo de Peleg, o qual é um modelo bastante utilizado na literatura.

Palavras-Chave: Cinética, Transferência de massa, Hidrólise.

ABSTRACT

Morning cereals are extruded products and have crispness as an important sensory attribute. Usually it is consumed in the hydrated form with milk which can cause great absorption of humidity and alteration of its characteristics. In order to know a hydration kinetics and a change in product quality, a 2^3 design with 3 central points was performed, with time, hydration temperature and cereal / milk ratio as independent variables. The data were treated using the response surface methodology, empirical models and the artificial neural network. Physicochemical analyzes were performed during hydration to monitor the loss of quality and to analyze possible changes in the composition of both milk and cereal. The processing conditions caused a significant effect ($p < 0.05$) on the moisture and ash analyzes in the cereal and of ash and reducing sugars in the milk. When compared to the response surface and with empirical models of the literature, the neural network presented better adjustments and greater capacity to predict the behavior of the response variables.

Key words: Kinetics, Mass transference, Hydrolysis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Utilização dos modelos empíricos de Peleg e Exponencial e da Rede Neural Artificial (RNA) na área de alimentos.....	19
Tabela 2: Condições de testes as quais o leite foi submetido para testar a eficiência da hidrólise.	30
Tabela 3: Dados das soluções padrões.	31
Tabela 4: Delineamento experimental para os ensaios de hidratação.	31
Tabela 5: Dados da hidrólise através de análise pelo HPLC.....	32
Tabela 6: Características do cereal e leite antes de submetido ao processo de hidratação.	34
Tabela 7: Valores de R^2 e equações dos gráficos de superfície de resposta de análises do cereal.....	38
Tabela 8: Parâmetros dos modelos de Peleg e Exponencial aplicados à cinética de absorção de umidade em cereal matinal.	48
Tabela 9: Índices estatísticos para a modelagem de hidratação de cereal matinal.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de curva padrão para cálculo de concentração de lactose nas amostras.	31
Figura 2: Comportamento da umidade do cereal durante a hidratação. (a) Diagrama de Pareto (b) Superfície de resposta.	34
Figura 3: Comportamento do teor de cinzas do cereal durante a hidratação. (a) Diagrama de Pareto para interação tempo x proporção (b) Superfície de resposta para tempo x proporção (c) Diagrama de Pareto para interação tempo x temperatura (d) Superfície de resposta para tempo x temperatura.	35
Figura 4: Diagrama de Pareto (a) e gráfico de superfície de resposta (b) para a interação temperatura x tempo para a análise de cinzas no leite.	36
Figura 5: Comportamento dos açúcares redutores do leite. (a) Diagrama de Pareto (b) Superfície de resposta.	36
Figura 6: Esquema de construção da RNA para absorção do cereal.	46
Figura 7: Cinética de absorção de leite desnatado hidrolisado no cereal. (a) Teor de leite x Tempo de hidratação para proporção de 1/10. (b) Teor de leite x Tempo de hidratação para proporção de 1/12,5. (c) Teor de leite x Tempo de hidratação para a proporção de 1/15.	47
Figura 8: Correspondência entre os valores experimentais e estimados para os modelos de Peleg e Exponencial, em diferentes temperaturas, durante a hidratação do cereal matinal com leite desnatado e hidrolisado, para (a) proporção de 1/10, (b) proporção 1/12,5 e (c) proporção 1/15.	49
Figura 9: Correspondência entre os valores experimentais e estimados por RNA para absorção do leite no cereal matinal.	50

SUMÁRIO

PARTE 1.....	12
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 CEREAL MATINAL	15
2.2 HIDRATAÇÃO.....	16
2.2.1 Fluido de Hidratação: leite.....	16
2.3 MODELAGEM E CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO	18
3 OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GERAL.....	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
PARTE 2.....	27
5 ARTIGO 1: OTIMIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO CEREAL MATINAL DURANTE O PROCESSO DE HIDRATAÇÃO COM LEITE DESNATADO SEM LACTOSE	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT	28
5.1 INTRODUÇÃO.....	29
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
5.2.1 Obtenção do leite hidrolisado	30
5.2.2 Hidratação do cereal matinal.....	31
5.2.3 Caracterização físico-química do cereal matinal.....	32
5.2.4 Caracterização físico-química do leite	32
5.2.5 Análise estatística	32
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.3.1 Hidrólise do leite desnatado	32
5.3.2 Análises físico-químicas do cereal e do leite	33
5.4 CONCLUSÃO.....	38
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
6 ARTIGO 2: MODELAGEM DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE CEREAL MATINAL COM LEITE DESNATADO SEM LACTOSE.....	42
RESUMO.....	42
ABSTRACT	42
6.1 INTRODUÇÃO.....	43
6.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
6.2.1 Hidratação do cereal matinal.....	44
6.2.2 Modelagem matemática	44
6.2.2.1 Modelo de Peleg.....	45
6.2.2.2 Modelo Exponencial.....	45
6.2.2.3 Redes Neurais Artificiais (RNA)	45
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46

6.3.1	Modelagem da Cinética de Hidratação pelos modelos de Peleg e Exponencial	47
6.3.2	Modelagem da Cinética de Hidratação por Rede Neural Artificial	49
6.4	CONCLUSÃO	50
6.5	REFERÊNCIAS	50
7	CONCLUSÃO GERAL	53
	ANEXOS	54

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A alimentação é primordial para a manutenção saudável do corpo humano por causa do fornecimento de energia e de todos os nutrientes necessários para o seu funcionamento. O consumo de alimentos de fácil preparo aumentou consideravelmente ao decorrer dos anos em razão da sua praticidade e ao sabor agradável que é oferecido. Os hábitos alimentares nos dias atuais passaram por uma grande modificação, decorrente do modo de vida e da influência da sociedade atual, chamada, sociedade de consumo. Este fato culmina na necessidade da inovação e busca de produtos que obtenham melhor aceitação de mercado (MOREIRA et al., 2017; PEREIRA & MAIA, 2017; BEZERRA et al., 2017; ALVES et al., 2017).

Pensando em alimentos de fácil preparo direcionados ao pouco tempo do dia-a-dia, foram desenvolvidos os cereais matinais, que são produtos extrusados com alto teor de proteína, carboidratos e fibras, fabricados a base de milho ou de outras matérias-primas e consumidos, em sua maioria, através da hidratação com leite (TAKEUCHI et al., 2005; SANTOS et al., 2017). Por ser um alimento muito nutritivo é considerado um alimento completo para uma refeição matinal (LEORO, 2007).

O leite é um dos alimentos mais completos nutricionalmente, por ser rico em proteínas e sais minerais, além de ser rico em cálcio também. Entretanto, o aumento da população intolerante a lactose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), ou seja, de indivíduos os quais o organismo possui dificuldades de hidrolisar esse açúcar presente no leite, é evidente e preocupante. A dificuldade que as pessoas têm de digerir a lactose se dá pela quantidade inadequada ou deficiência da enzima lactase (MATTAR & MAZO, 2010; MACHADO et al., 2014; SCHANLER et al., 2015; CUNHA et al., 2015).

O setor lácteo é de suma importância para a indústria brasileira, sendo que, apesar do grande aumento do número de pessoas com intolerância à proteína do leite e à lactose, várias medidas vêm sendo tomadas para promover o acesso a esse produto sem danos à saúde do consumidor, tais como os processos de hidrólise da lactose que consiste na quebra desse carboidrato, tornando o leite próprio para o consumo dos indivíduos intolerantes (FAEDO et al., 2013; RAMALHO & GANECO, 2016).

A hidratação do cereal é um processo de extrema importância, uma vez que quando utilizada como pré tratamento reduz o tempo do cozimento de alguns tipos de grãos e cereais além de melhorar a digestibilidade e a qualidade do produto final (CECCHIN, 2016). Assim, hidratação de cereal com o leite já hidrolisado pode provocar modificações físico-químicas na

estrutura e composição do cereal, o que requer modelagem e acompanhamento para a predição de alterações significativas ao processo.

Nesse sentido, a otimização de processos visa solucionar aqueles problemas que chegam a afetar o desempenho em algum setor durante o processamento, como rendimento, custo e tempo de produção, por exemplo. Para isso, pode-se utilizar modelos matemáticos dos tipos empíricos ou teóricos para otimizar processos de hidratação (ALMEIDA et al., 2013; ANSARI et al., 2015).

Diante dos expostos o objetivo do presente trabalho foi a otimização e modelagem do processamento de um cereal hidratado com leite destinado a intolerantes a lactose, sendo este um alimento dietético, otimizando o processamento com o uso de modelagem matemática.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CEREAL MATINAL

Os cereais matinais são alimentos prontos para o consumo considerados alternativas saudáveis para a alimentação tanto de crianças como de adultos. No intuito de facilitar a aquisição de nutrientes, a indústria desenvolveu um alimento rico em nutrientes e de fácil acesso para as pessoas. É um alimento obtido a partir da extrusão do amido e possuem baixos teores de gordura, fazendo com que ocorra redução dos riscos de obesidade e o aumento da aceitação pelo consumidor por fatores como valor, aparência atraente e textura agradável (SANTOS, 2014; SINGH et al., 2014; CORRAL et al., 2016).

Cereal matinal pode ser definido como “grãos para o consumo humano”, os quais podem, ainda, ser enriquecidos com alguma vitamina ou sais minerais aumentando assim seu valor nutritivo. Os cereais matinais mais consumidos são produzidos a partir do grão de milho, o qual passa por um processo de moagem e além disso, o milho utilizado para esse processamento deve ser limpo e germinado. Após isso, o milho é submetido a um processo de extrusão, que consiste em um processo com emprego de calor em que, além de atribuir características sensoriais desejáveis ao produto, produzindo alimentos ricos em nutrientes, também prolonga sua vida de prateleira (OLIVEIRA, 2015; MIKALOUSKI et al., 2014; GODOY, 2013; SANTOS, 2014).

Os cereais matinais apresentam grande diversidade sendo encontrados em diversas formas, o que é permitido durante o processo de extrusão de farinhas. O desenvolvimento de novas formulações de cereais tem sido estudado afim de oferecer produtos com sabores agradáveis além de poder enriquece-lo com vitaminas, fibras e outros nutrientes elevando o valor nutricional do produto. Sendo assim, diversos estudos com produção de cereais matinais vêm sendo desenvolvidos adicionando diferentes produtos e subprodutos em sua formulação como, por exemplo, a produção de cereais com adição de torta de amêndoa de castanha-do-brasil semi desengordurada (SOUZA & MENESES, 2006), o qual apresentaram aceitabilidade maior do que o cereal tradicional. A adição de farinha de pupunha à farinha de mandioca, afim de elevar o teor de ácido fólico, foi estudado por Carvalho et al. (2009) e além disso, aumentou os teores de proteínas, fibras, lipídeos e carotenoides em relação ao produzido somente com farinha de mandioca, sendo aceitos sensorialmente. Casca de noz pecã e okara foram utilizadas na formulação de cereais matinais visando a utilização de subprodutos das indústrias e

obtiveram aceitação sensorial semelhante a do cereais convencionais (SILVA et al., 2015). A adição de café na formulação de cereais matinais também foi estudada e observou uma composição centesimal satisfatória além de uma boa aceitação sensorial (LOPES et al., 2005).

2.2 HIDRATAÇÃO

2.2.1 Fluido de Hidratação: leite

A produção e consumo de leite e produtos lácteos é importante na economia nacional, assim como é uma atividade praticada por muitos anos. Isso culminou uma evolução nas etapas necessárias para obtenção e industrialização do leite e também nas análises utilizadas atualmente (GARVES & LEITE, 2013).

O Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) diz que:

“Entende-se por leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas (BRASIL, 1997).”

O leite é composto por água, carboidratos, gordura, proteína, minerais e vitaminas. A quantidade de água se apresenta em um nível de 87-88% e a variação nessa quantidade está relacionada com a raça do gato, assim como o tempo de lactação do animal. As vitaminas essenciais presentes no leite se dividem em pelo menos doze vitaminas hidrossolúveis e quatro lipossolúveis. A gordura presente no leite determina o seu tipo (integral, semidesnatado, desnatado) e é formada de glóbulos de diversos tamanhos que se encontram em suspensão no líquido, dando-lhe aspecto emulsivo e opaco e por ser menos densa, essa matéria gorda flutua quando o leite está em repouso formando a conhecida nata-creme. As proteínas apresentam valor biológico elevado e dividem-se em caseína (80%) e proteínas do soro (20%). Os carboidratos têm como a lactose sua maioria, porém, muitas pessoas possuem dificuldade de digerir esse carboidrato e por isso há algumas alternativas para conversão desse carboidrato em outros constituintes. A propriedade nutricional mais importante dos produtos lácteos é o conteúdo mineral fornecido por ele, principalmente a quantidade de cálcio, uma vez que fornece

grande parte da necessidade diária desse mineral e a lactose contribui com a absorção e retenção deste mineral. (PAIVA, 2007; ROCHA, 2004; VACLAVIK, 2002; SPADOTI et al., 2015).

Durante o primeiro ano de vida, a lactose é a fonte de energia mais importante para a vida dos mamíferos, não é à toa que é recomendado o aleitamento materno exclusivo até os seis meses de vida de um bebê. Esse açúcar, chamado lactose, fornece quase metade de toda a energia necessária para o desenvolvimento do organismo. Algumas pessoas podem ser intolerantes à lactose, mesmo o leite sendo um alimento muito importante quanto às suas características nutricionais. Essa intolerância se dá devido à deficiência dos níveis da enzima beta-galactosidase na parede intestinal. Sendo assim, são criados alimentos que sejam isentos desse açúcar, que são os produtos chamados “zero lactose” ou com “baixo teor de lactose”, que são produtos produzidos com o leite após sofrer um processo de hidrólise. Essa hidrólise pode ser química ou enzimática, sendo que essa última utiliza a enzima beta-galactosidase (caracterizada como hidrolase), que pode ser extraída de fontes vegetais e animais ou produzidas por fungos filamentosos, bactérias e leveduras, e é considerado um dos principais processos biotecnológicos na indústria de alimentos, devido aos efeitos benéficos para consumidores intolerantes a este carboidrato. Essa hidrólise acontece quando há quebra do dissacarídeo (lactose) em dois monossacarídeos (glicose e galactose) (RAMALHO & GANECO, 2016; OLIVEIRA et al., 2016; SANDIM et al., 2016).

A dificuldade na digestão da lactose se dá pela quantidade inadequada ou deficiência da enzima lactase. Esse processo se denomina por intolerância à lactose (CUNHA et al., 2015). A enzima lactase quebra os dissacarídeos em monossacarídeos contidos na borda das células epiteliais do intestino delgado (RAMALHO & GANECO, 2016). A quantidade de lactose presente no leite depende da espécie do mamífero. Segundo Torres (2016), há 4,5% (m/m) no leite de vaca e 6,8% (m/m) no leite humano. A intolerância à lactose é uma doença que conta com diagnóstico tardio por ter pouca divulgação apesar de o número de pessoas que apresenta a deficiência dessa enzima ter aumentado de 10 a 15% nos últimos anos, atingindo principalmente crianças (CASAGRANDE et al., 2015). A ingestão de alimentos probióticos podem aumentar a atividade da lactase diminuindo, assim, os sintomas da intolerância à lactose (CUNHA et al., 2015).

De acordo com Faedo et al. (2013), o setor lácteo é um carro chefe da indústria brasileira, onde a cada ano que passa o consumo de alimentos derivados de leite aumenta conseqüentemente. Por causa do grande aumento de pessoas intolerantes à lactose, várias medidas vêm sendo tomadas, onde a indústria realiza processos de hidrólise da lactose tornando o leite e produtos lácteos próprios para o consumo por essas pessoas.

A intolerância à lactose pode ser adquirida através de herança dos pais, o qual é uma condição rara e grave, acarretando diarreia osmótica, cólicas, flatulência, dor e distensão abdominal e caso não haja diagnóstico precoce, pode levar o paciente a óbito (SPADOTI et al., 2015; VUORISALO et al., 2012).

2.3 MODELAGEM E CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO

Os modelos matemáticos, aplicados ao estudo de fenômenos de transportes, podem ser divididos em modelos empíricos e fenomenológicos. Segundo Nicolin et al. (2015), os modelos empíricos, são aqueles que descrevem processos baseado em correlações matemáticas mais simples que originam de experimentos e dados experimentais onde seus parâmetros não possuem um significado físico. Já o modelo matemático fenomenológico, descreve o perfil dinâmico, teoricamente, envolvendo parâmetros não adequados para a prática computacional na maioria das vezes, utilizando como base muitas vezes a lei de Fick (teoria da difusão) (ARAÚJO et al., 2016).

Empregar modelos empíricos é uma excelente alternativa visando a redução do tempo e de custos laboratoriais para uma aplicação precisa e rápida desses valores nos projetos. As equações empíricas são ajustáveis levando em consideração os dados experimentais sem a necessidade de considerar as leis fundamentais dos fenômenos como transferência de calor e massa, tendo então uma solução imediata. Esses modelos fornecem dados consideráveis sobre a qualidade do produto e, conseqüentemente, do processo, sendo necessário o monitoramento dos efeitos que a temperatura, a umidade e o tempo de processo provocam sobre a estrutura morfológica do produto em questão (VOLPE et al., 2015). Os modelos teóricos são baseados em leis e teorias e apresentam-se mais complexos, além de envolverem parâmetros não adequados para práticas computacionais na maioria das situações. Os empíricos normalmente não possuem fundamentação teórica, porém, geralmente são mais simples e de mais fácil aplicação. Dentre os modelos propostos para descrever a cinética de hidratação, os modelos empíricos são utilizados com mais frequência por serem mais simples matematicamente (ANSARI et al., 2015).

Alguns dos modelos utilizados normalmente são os de Peleg e o modelo exponencial. O modelo de Peleg é frequentemente utilizado no processamento de alimentos, já tendo sido utilizado para otimização do processo de hidratação de grãos, e tem como principal vantagem sua simplicidade em relação aos outros modelos teóricos e empíricos (VOLPE et al., 2015;

PELEG, 1988; BROUSSE et al., 2012). Esse modelo foi utilizado otimizar o processo de hidratação do arroz na parbolização (MENDES et al., 2010), grãos de alpiste (LISBOA et al., 2015), soja (NICOLIN et al., 2015) e milho (MARQUES et al., 2015). O exponencial também é utilizado no processamento de alimentos, segundo alguns estudos. Esse modelo foi utilizado no estudo de degradação de concentrados proteicos de farelo de soja (TEIXEIRA et al., 2016) e no estudo das propriedades reológicas e físicas de produtos à base de frutas (MOURA et al., 2016).

As Redes Neurais Artificiais (RNA's) são modelos matemáticos, inspirados na estrutura do cérebro com objetivo de simular o comportamento humano (aprendizagem, associação, generalização e abstração) quando submetidas ao treinamento. São constituídos por chamados neurônios artificiais (unidades de processamento simples), os quais calculam funções matemáticas. São eficientes para o mapeamento entrada/saída de sistemas não lineares e para realizar processamento paralelo. Tem capacidade de obter sucesso mesmo com dados incompletos ou sujeitos a falhas. Geralmente, em um sistema computacional, se uma parte falha, o sistema se deteriora, diferentemente da RNA a qual há uma tolerância a falhas. 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 (CAMPOS et al., 2016; LIMA et al., 2016; MARTINIANO et al., 2016).

A tabela 1 apresenta alguns casos onde podem ser utilizados os modelos empíricos de Peleg e Exponencial e a Rede Neural Artificial (RNA) na área de alimentos nos últimos ano.

Tabela 1: Utilização dos modelos empíricos de Peleg e Exponencial e da Rede Neural Artificial (RNA) na área de alimentos.

MODELO DE PELEG		MODELO EXPONENCIAL		REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)	
Uso	Autor	Uso	Autor	Uso	Autor
Absorção de água em feijão e grão de bico	DURAND et al., (2015)	Cinética de secagem de fatias de abóbora	ONWUDE et al., (2016)	Fenotipagem de alta eficiência para vitamina A em banana	AQUINO et al., (2016)
Sorção de água em grãos de trigo	SHAFAEI et al., (2016)	Secagem e reidratação de secagem de	ERGÜN et al., (2016)	Estudo da atividade antioxidante e compostos	GUINÉ et al., (2015)

		kiwi liofilizado		fenólicos de bananeiras submetidas à secagem	
Desidratação de cubos de pera em Solução de sacrose	PAVELKIĆ et al., (2015)	Cinética de desidratação de banana prata	RIBEIRO et al., (2014)	Produção de bioetanol a partir do hidrolisado de amido de fruta-pão	BETIKU & TAIWO, (2015)
Cinética de hidratação de grãos de sorgo	PATERO & AUGUSTO, (2015)	Desidratação de banana prata anã saborizada com canela	OLIVEIRA et al., (2017)	Classificação de frutas	ZHANG et al., (2014)

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste presente trabalho é a otimização e modelagem do processo de transferência de massa durante a hidratação de cereal matinal com leite desnatado destinado a intolerantes a lactose.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a hidratação do cereal matinal, avaliando a influência das fontes de variação que serão: a proporção leite/cereal, o tempo de hidratação, e a temperatura de imersão;
- Promover a caracterização físico-química do cereal matinal: umidade, cinzas, proteína, lipídeos e fibra bruta;
- Realizar a análise do fluido de hidratação após a hidrólise da lactose: Análise de gordura, sólidos solúveis totais, açúcares redutores, densidade e cinzas;
- Analisar estatisticamente, utilizando a metodologia de superfície de resposta, a influência da hidratação sobre as características físico-químicas do cereal e do leite;
- Modelar o fenômeno de transferência de massa, bem como a cinética de hidratação utilizando modelagem matemática e Redes Neurais Artificiais.

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, E.O.; BALEM, T. A.; COELHO, J. C. & MELLO, A. L. P. Alimentação, consumo e saúde: dilemas da sociedade moderna. **Revista interdisciplinar de ensino, pesquisa e extensão**, 4(1). 2017.

ANSARI, S.; HOSSEINI, E.; ASADI, G. H.; MAFTOON-AZAD, N.; FARAHNAKY, A. Modeling the Rehydration Behavior of Dried Figs. **J. Agric. Sci. Technol.**, v. 17: 133-144, 2015.

AQUINO, C. F., SALOMÃO, L. C. C., & AZEVEDO, A. M. Fenotipagem de alta eficiência para vitamina A em banana utilizando redes neurais artificiais e dados colorimétricos. **Bragantia**, 75, 268-274. 2016.

ARAÚJO, M. N.; PINHEIRO, O. S.; DA COSTA JUNIOR, E. F. & DA COSTA, A. O. S. Modelagem fenomenológica do comportamento dinâmico de evaporadores de múltiplo efeito. **O papel**, 77(6), 77-81. 2016.

BETIKU, E., & TAIWO, A. E. Modeling and optimization of bioethanol production from breadfruit starch hydrolyzate vis-à-vis response surface methodology and artificial neural network. **Renewable Energy**, 74, 87-94. 2015.

BEZERRA, I. N.; MOREIRA, T. M. V.; CAVALCANTE, J. B.; SOUZA, A. D. M. & SICHIERI, R. Food consumed outside the home in Brazil according to places of purchase. **Revista de saude publica**, 51. 2017.

BRASIL, Leis. **Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal-RIISPOA**. Aprovado pelo decreto, v. 30. 1997.

BROUSSE, M. M.; LINARES, R. A; NIETO, A. B; VERGARA, M. L. Cinética de adsorción de água em purés desidratados 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.

CARVALHO, A. V., DE VASCONCELOS, M. A. M., SILVA, P. A., & ASCHERI, J. L. R. Production of third generation snacks by extrusion-cooking of pupunha and cassava flour mixtures. **Brazilian Journal of Food Technology**, 12(1/4), 277-284. 2009.

CASAGRANDE, M.; PISTORELLO, R. I.; BISI, B. **Intolerância a lactose**. Mostra IFTEC em Resumos, n. 3, 2015.

CECCHIN, G. **Avaliação comparativa e modelagem matemática da hidratação convencional e periódica de diferentes cultivares de feijão**. 2016.

CORRAL, J. L.; RAMOS, A. Q.; DÁVILA, A. C.; JESÚS, J. Z. M.; AGUILAR, E. P.; RUIZ, M. G. G., & JESÚS, T. R. A. Polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. **LWT-Food Science and Technology**, 65, 228-236. 2016.

CUNHA, M. E. T.; SUGUIMOTO, H. H.; DE OLIVEIRA, A. N.; SIVIERI, K. & COSTA, M. R. Intolerância à lactose e alternativas tecnológicas. **Journal of Health Sciences**, 10(2). 2015.

DURAND, O.P, 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, 166-171. 2015.

ERGÜN, K., ÇALIŞKAN, G., & DIRIM, S. N. Determination of the drying and rehydration kinetics of freeze dried kiwi (*Actinidia deliciosa*) slices. **Heat and Mass Transfer**, 52(12), 2697-2705. 2016.

FAEDO, R.; BRIÃO, V. B.; CASTOLDI, S.; GIRARDELLI, L. & MILANI, A. Obtenção de leite com baixo teor de lactose por processos de separação por membranas associados à hidrólise enzimática. **Revista CIATEC-UPF**, 5(1), 44-54. 2013.

GARVES, F.; LEITE, N. M. **Avaliação do efeito do ultra-som na análise físico-química do leite**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

GODOY, R. C. D. **Cereal extrusado, free glúten, formulado com subprodutos de arroz e quinoa**. 2013.

GUINÉ, R. P., BARROCA, M. J., GONÇALVES, F. J., ALVES, M., OLIVEIRA, S., & MENDES, M. Artificial neural network modelling of the antioxidant activity and phenolic compounds of bananas submitted to different drying treatments. **Food Chemistry**, 168, 454-459. 2015.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 2007.

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., & GONÇALVES, M. C. Analysis of hydration of grains of birdseed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(3), 218-223. 2015.

LOPES, G. S., RODRIGUES, M. D. A. A., FRANÇA, A. S., & MOTTA, S. D. **Desenvolvimento de formulações de cereais matinais contendo café**. 2005.

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.

- MARQUES, B., JORGE, L., & JORGE, R. Cinética de hidratação e da liberação de sólidos solúveis do milho geneticamente modificado e de sua isolinha. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 1(2), 2958-2965. 2015.
- MARTINIANO, A., FERREIRA, R. P., FERREIRA, A., FERREIRA, A., & SASSI, R. J. Utilizando uma rede neural artificial para aproximação da função de evolução do sistema de Lorentz. **Revista Produção e Desenvolvimento**, 2(1), 26-38. 2016.
- MATTAR, R. & MAZO, D. F. D. C. Intolerância à lactose: mudança de paradigmas com a biologia molecular. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 56(2), 230-236. 2010.
- MENDES, F. B, CORRÊA, P. C., DUARTE GONELI, A. L., AREDES MARTINS, M., & MACHADO BAPTESTINI, F. Análise da hidratação do arroz na parboilização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 30(3). 2010.
- MIKALOUSKI, F. B. S, MONTEIRO, A. R. G., MARQUES, D. R., MONTEIRO, C. C. F., & BENOSSE, L. Influência da granulometria da matéria-prima na expansão de extrusados de milho/Influence of raw material particle size on the expansion of extruded corn. **Brazilian Journal of Food Technology**, 17(1), 28. 2014.
- MOREIRA, J. P.; ALVES, E. O.; BALEM, T. A.; MELLO, A. L. P.; COELHO, J. C.. Alimentação, consumo e saúde: Dilemas da sociedade moderna. **Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão** vol. 4 n°1. 2017.
- MOURA, S. C. S. R., VISSOTTO, F. Z., RUFFI, C. R. G., & JÚNIOR, P. A. Propriedades físicas e reológicas de produtos à base de frutas. **Braz. J. Food Technol**, 19, e2015086. 2016.
- NICOLIN, D., NETO, R. M., JORGE, R., & JORGE, L. Solução analítica e validação experimental de um modelo para hidratação de soja com coeficiente de transferência de massa variável. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 1(2), 6441-6448. 2015.
- OLIVEIRA, J. P., ARAÚJO, C. I. A., ALVES, É. E., DE SOUZA, T. I. M., CHAUCA, M. N. C., & CARELI, R. T. Desidratação de banana Prata Anã saborizada com canela/Dehydration of banana Prata Anã tempered with cinnamon. **Caderno de Ciências Agrárias**, 9(3, supl. 1), 17-23. 2017.
- OLIVEIRA, L. C. **Antioxidant properties and physical, sensory and nutritional characteristics of extruded corn-based breakfast cereal elaborated with whole grain wheat flour and jabuticaba (Myrciaria cauliflora) peel powder**.. 2015.
- OLIVEIRA, M. S.; OLIVEIRA, R. M.; BONINI, M. P.; MORAES, C. C. & MANERA, A. P. **Hidrólise da Lactose pela Enzima Beta-galactosidase de Aspergillus oryzae**. 13ª Mostra de Iniciação Científica, 1. 2016.
- ONWUDE, D. I., HASHIM, N., JANUS, R. B., NAWI, N., & ABDAN, K. Evaluation of a suitable thin layer model for drying of pumpkin under forced air convection. **International Food Research Journal**, 23(3), 1173. 2016.
- PATERO, T., & AUGUSTO, P. E. Ultrasound (US) enhances the hydration of sorghum (Sorghum bicolor) grains. **Ultrasonics sonochemistry**, 23, 11-15. 2015.

PAVELKIĆ, V. M., BRDARIĆ, T. P., PETROVIĆ, M. P., ŠEKULARAC, G. M., KOŠEVIĆ, M. G., PEZO, L. L., & ILIĆ, M. A. Application of Peleg model on mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pear cubes in sucrose solution. **Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly**, 21(4), 485-492. 2015.

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**, London, v. 52, p. 1216-1219, 1988.

PEREIRA, L. B. M.; MAIA, S. G. C. Hábitos alimentares entre escolares: um estudo de caso em uma escola estadual no município de ponta porã–ms. **Caderno Magsul de Ciências Biológicas**, v. 4, n. 01, p. 10, 2017.

RAMALHO, M. E. O.; GANECO, A. G. Intolerância a lactose e o processamento dos produtos zero lactose. **Revista Interface Tecnológica**, v. 13, n. 1, p. 15, 2016.

RIBEIRO, T., MATTOS, R., MUNIZ, J., & BORGES, S. Descrição da cinética de secagem de frutos de banana Prata e D'Água por modelos de regressão não linear (pp. 333-337). **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, 3(3). 2014.

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.

SANDIM, R. S.; ALMEIDA, L.; MORAES, C. C. & MANERA, A. P. **Hidrólise da Lactose Utilizando beta-galactosidase de Kluyveromyces lactis**. 13^a Mostra de Iniciação Científica, 1. 2016.

SANTOS, I. L., STEEL, C. J., AGUIAR, J. P. L., SCHMIELE, M., DE SALES FERREIRA, J. E. C., & DO AMARAL SOUZA, F. D. C. Sensory analysis of extruded corn-based breakfast cereals with whole peach palm fruit (*Bactris gasipaes*, kunth) powder. **African Journal of Food Science**, 11(9), 310-317. 2017.

SANTOS, I. L. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado à base de farinha de milho (*Zea mays*), e pupunha (*Bactris gasipaes*, Kunth)**. 2014.

SCHANLER, R. J.; ABRAMS, S. A.; KIM, M. S. **Nutritional composition of human milk for full-term infants**. 2015.

SHAFAEI, 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**, 15(2), 135-144. 2016.

SILVA, M. O., BAPTISTA, A., CAMACHO, F., BERGAMASCO, R., VIEIRA, A., & AMBROSIO-UGRI, M. Elaboração de barra de cereal utilizando resíduo de extrato de soja com adição de pó de casca de noz-pecã. **Revista Tecnológica**, 247-255. 2015.

SINGH, R. K.; MAJUMDAR, R. K.; VENKATESHWARLU, G. Effect of Process Conditions on Physico-Chemical and Sensory Properties of Fish-Cereal-Based Extruded Snack-Like Products. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 1, p. 68-82, 2014.

SOUZA, M. L., & de MENEZES, H. C. Avaliação sensorial de cereais matinais de castanha-do-brasil com mandioca extrusados. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, 26(4), 950-955. 2006.

SPADOTI, L. M.; SILVA, A. T.; ANTUNES, A. E. C.; DE SÁ, P. B. Z. R.; LISERRE, A. M.; VAN DENDER, A. G. F., & GALLINA, D. A. Vida Útil de Leite Desnatado Pasteurizado Lactose-Hidrolisado Microfiltrado. **Journal of Health Sciences**, 12(1). 2015.

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. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 25, n. 1, p. 78-85, 2005.

TEIXEIRA, U. H. G., ADRIANO SIMIONI, T., PINHO BEZERRA, R., AUGUSTO RIBEIRO CAVALINI SOARES, K., GOMES ROMUALDO, T., DE NAZARÉ SANTOS TORRES, R., & DOS SANTOS PINA, D. Modelos matemáticos para estimação dos parâmetros da cinética de degradação ruminal de concentrados protéicos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 17(1). 2016.

TORRES, J. K. F. **Caracterização e secagem em spray dryer de leite em pó integral com lactose hidrolisada**. 2016.

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

VOLPE, T., SANTOS, A., JORGE, L., & JORGE, R. Estudo da cinética de hidratação e propriedades do grão de arroz durante o processo de parboilização. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 1(2), 2950-2957. 2015.

VUORISALO, T.; ARJAMAA, O.; VASEMÄGI, A.; TAAVITSAINEN, J. P.; TOURUNEN, A.; & SALONIEMI, I. High lactose tolerance in North Europeans: a result of migration, not in situ milk consumption. **Perspectives in biology and medicine**, 55(2), 163-174. 2012.

ZHANG, Y., WANG, S., JI, G., & PHILLIPS, P. Fruit classification using computer vision and feedforward neural network. **Journal of Food Engineering**, 143, 167-177. 2014.

PARTE 2

5 ARTIGO 1: OTIMIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO CEREAL MATINAL DURANTE O PROCESSO DE HIDRATAÇÃO COM LEITE DESNATADO SEM LACTOSE

RESUMO

Cereais matinais são produtos extrusados e possuem a crocância como um atributo sensorial importante. Geralmente é consumido na forma hidratada com leite e essa hidratação pode ocasionar grande absorção de umidade o que pode alterar algumas de suas características. Com o intuito de conhecer a cinética de hidratação deste produto, assim como a influência de condições de processo (Proporção, tempo e temperatura), sobre sua taxa, realizou-se o seguinte trabalho que estuda o comportamento através de um delineamento 2^3 com 3 pontos centrais através da metodologia de superfície de resposta. Foram realizadas análises físico-químicas durante a hidratação para analisar se houve ou não alterações nas suas propriedades. Para o cereal foram realizadas análises de umidade, cinzas, proteínas, fibras e lipídeos e para o leite foram feitas análises de sólidos solúveis, lipídeos, cinzas, açúcares redutores e densidade. As condições de processamento causaram efeito significativo ($p < 0,05$) nas análises de umidade e cinzas no cereal e de cinzas e açúcares redutores no leite.

Palavras-Chave: Cinética, Transferência de massa, Hidrólise.

ABSTRACT

Morning cereals are extruded products and have crispness as an important sensory attribute. Generally it is consumed in the form hydrated with milk and this hydration can cause great absorption of humidity which can alter some of its characteristics. With the intuition of knowing the kinetics of hydration of this product, as well as the influences of process conditions (Proportion, time and temperature), on its rate, the following work was carried out that studies the behavior through a 2^3 delineation with 3 points through surface response methodology. Physicochemical analyzes were performed during hydration to analyze whether or not there were changes in its properties. For the cereal, moisture, ash, protein, fiber and lipid analyzes were performed, and analyzes of soluble solids, lipids, ashes, reducing sugars and density were done for the milk. The processing conditions had a significant effect ($p < 0.05$) on the moisture and ash analyzes in the cereal and of ash and reducing sugars in the milk.

Key words: Cinética, Transferência de massa, Hidrólise.

5.1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de leite, o qual é um alimento nutritivo e por isso é bastante consumido no mundo. Grande parte da população consome o leite UHT pela facilidade da compra do produto. A compra e consumo de produtos de rápido e fácil preparo aumenta gradativamente. Por ter em sua composição proteínas de alta qualidade além de sais minerais e vitaminas os quais auxiliam na construção de tecidos, a ingestão do leite é considerada muito importante, porém, muitas pessoas apresentam uma dificuldade em ingerir um componente importante nesse alimento, a lactose. Essa dificuldade é conhecida como “intolerância à lactose”, o que se dá pela deficiência ou ausência da enzima que hidrolisa a lactose, a lactase (ALMEIDA & OZELIN, 2017; BASSAN et al., 2015; IBGE, 2016; FERNANDES, 2015).

Levando em consideração a importância do consumo do leite e a intolerância à lactose que muitas pessoas apresentam, passou-se a pensar em produtos sem lactose ou com teor reduzido de lactose. Para isso, utiliza-se enzimas lactase produzidas por microrganismos como bactérias, leveduras e fungos para hidrolisar a lactose do leite antes da ingestão pelo consumidor (RAMALHO & GANECO, 2016).

Os cereais matinais são alimentos extrusados, consumidos há bastante tempo. São altamente nutritivos sendo na maioria de milho com adição ou não de outros ingredientes durante seu processamento. Além de ser considerado um alimento extremamente energético, apresenta baixa umidade, o que diminui a possibilidade de proliferação de microrganismos assim como uma crocância satisfatória (SIQUEIRA et al., 2018).

Descrever o comportamento de alimentos secos durante sua hidratação é importante para observar suas propriedades durante o processo e estimar a qualidade do produto final quanto a suas características fisiológicas, extração de algum constituinte, cozimento, redução de fatores antinutricionais e melhora de digestibilidade (LISBOA et al., 2015).

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da hidratação sobre as propriedades físico-químicas do cereal matinal hidratado com leite em diferentes proporções, temperaturas e tempos de hidratação aplicando a metodologia de superfície de resposta como tratamento de dados para o delineamento experimental das análises físico-químicas do cereal e do leite durante o processamento.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Obtenção do leite hidrolisado

O leite utilizado foi do tipo desnatado, adquirido em comércio local, na sua forma engarrafada e pronto para consumo. Foram utilizadas enzimas β -galactosidase (lactase) comerciais provenientes de leveduras *Kluyveromyces lactis* (Maxilact® LX-5000), conforme especificação da legislação (BRASIL, 2003). As enzimas foram refrigeradas e armazenadas, visando a manutenção de sua viabilidade.

Para o processo de hidrólise, a enzima foi testada quanto às melhores condições de hidrólise. Para isso, foram realizados testes com um delineamento fatorial de 3x3 (Proporção (enzima:leite) x Tempo) pré-determinados através de levantamento bibliográfico (Tabela 2), todos a uma temperatura de 37 °C. Após o tempo determinado para cada amostra, ela foi retirada do banho-maria e submetida à imersão em 100 °C por 10 minutos para inativação da enzima. Cada amostra foi submetida à filtragem em filtro de seringa, pré-limpo, soldado, com membrana de PTFE Hidrofílico, diâmetro do filtro de 25mm e diâmetro do poro de 0,22microm. Após filtragem, a eficiência da hidrolise em cada amostra foi medida através de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). As soluções padrões foram feitas utilizando Lactose PA e água ultrafiltrada em concentrações pré-estabelecidas de quantidade de lactose normalmente presentes no leite. As melhores condições de hidrolise foram, então, estabelecidas e uma quantidade maior de leite foi submetido ao processo de hidrolise para utilização nas próximas etapas do trabalho. Após a hidrolise, o leite foi imediatamente utilizado no processo de hidratação do cereal matinal.

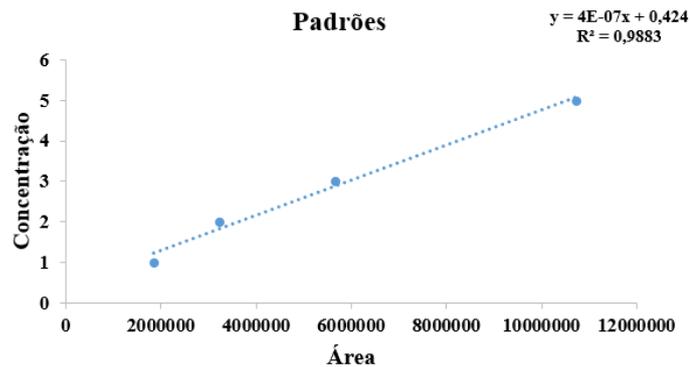
Tabela 2: Condições de testes as quais o leite foi submetido para testar a eficiência da hidrólise.

Amostra	% de enzima	% de leite	Tempo (min)
1	0,2	99,8	30
2	0,7	99,3	30
3	1	99	30
4	0,2	99,8	60
5	0,7	99,3	60
6	1	99	60
7	0,2	99,8	90
8	0,7	99,3	90
9	1	99	90
10	0	100	0

A tabela 3 contém os dados das soluções padrões para a curva padrão obtida para a hidrólise. Na figura 1 está representada a curva padrão encontrada e utilizada.

Tabela 3: Dados das soluções padrões.

Padrões	Solução (mL)	Água (mL)	Concentração (mg/mL)	Área
1	0,2	0,8	1	1836805
2	0,4	0,6	2	3215769
3	0,6	0,4	3	5961800
4	0,8	0,2	4	6667324
5	1,0	0	5	10730416

Figura 1: Gráfico de curva padrão para cálculo de concentração de lactose nas amostras.

5.2.2 Hidratação do cereal matinal

O cereal matinal utilizado foi o de milho (sem açúcar), adquirido em comércio local e o fluido hidratante foi o leite UHT desnatado hidrolisado.

Nessa etapa foi utilizado um planejamento fatorial 2^3 completo (níveis ± 1) com adição de 3 pontos centrais (nível 0), totalizando 11 ensaios (Tabela 4).

Tabela 4: Delineamento experimental para os ensaios de hidratação.

Ensaio	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais		
	X1	X2	X3	Proporção (%)	Temperatura (°C)	Tempo (min)
1	+1	+1	+1	1/10	55	90
2	+1	+1	-1	1/10	55	30
3	+1	-1	+1	1/10	45	90
4	+1	-1	-1	1/10	45	30
5	-1	+1	+1	1/15	55	90
6	-1	+1	-1	1/15	55	30
7	-1	-1	+1	1/15	45	90
8	-1	-1	-1	1/15	45	30
9	0	0	0	1/12,5	50	60
10	0	0	0	1/12,5	50	60
11	0	0	0	1/12,5	50	60

5.2.3 Caracterização físico-química do cereal matinal

As análises de umidade, cinzas, proteína, fibra bruta e lipídeos foram realizadas no cereal durante a hidratação, assim como do cereal antes do processo de hidratação, seguindo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

5.2.4 Caracterização físico-química do leite

As análises de sólidos solúveis, açúcares redutores, densidade e lipídeos do fluido hidratante leite foram realizadas durante o processo de hidratação, assim como do fluido antes de submetido ao processo de hidratação, seguindo a metodologia do Instituto Adolf Lutz (2008).

5.2.5 Análise estatística

Para avaliação do efeito do tempo de hidratação, da temperatura e da proporção de fluido hidratante (variáveis independentes), sobre as variáveis resposta umidade, cinzas, proteína, lipídeos e fibra bruta do cereal, bem como os teores de sólidos solúveis, açúcares redutores, densidade, cinzas e lipídeos do fluido hidratante foi utilizada a metodologia de superfície de resposta para tratamento dos dados, conforme descrito por Box & Draper (1987).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 Hidrólise do leite desnatado

A concentração final de lactose em cada amostra hidrolisada está descrita na Tabela 5.

Tabela 5: Dados da hidrólise através de análise pelo HPLC.

Amostra	Área (y)	Concentração de lactose (%)
1	4995045	2,9491975
2	2011504	1,457427
3	1148577	1,0259635
4	3260320	2,081835
5	1076512	0,989931
6	521441	0,7123955
7	739176	0,821263
8	317158	0,610254
9	212898	0,458124
10	7425626	4,164488

A Portaria 29/98 (BRASIL, 1998) estabelece o teor de 0,5% como sendo considerado um nível seguro de lactose para a ingestão por pessoas com intolerância a este nutriente. Ou seja, qualquer área do pico referente à lactose que se apresentar abaixo da área da curva padrão da concentração de 500 µg/ml que representa 0,5% de lactose em 100 mL de permeado é considerado apto para o consumo por sujeitos intolerantes a esse açúcar.

Através dos resultados obtidos, pode-se observar que a amostra 9, onde utiliza-se para hidrólise 1% de b-galactosidase durante um tempo de 90 minutos e uma temperatura de 37 °C foi o mais adequado e seguro para ingestão por pessoas com intolerância à lactose. Condições semelhantes foram encontradas durante testes de hidrólise de leite utilizando a mesma enzima (CAMPOS et al., 2015; DAS et al., 2015). Essa eficiência pode depender de diversas variáveis como tempo de hidrólise, temperatura, concentração de enzima, assim como da origem da enzima, do pH ótimo da mesma e também da composição do produto a ser hidrolisado (FEIJOO et al., 2017).

5.3.2 Análises físico-químicas do cereal e do leite

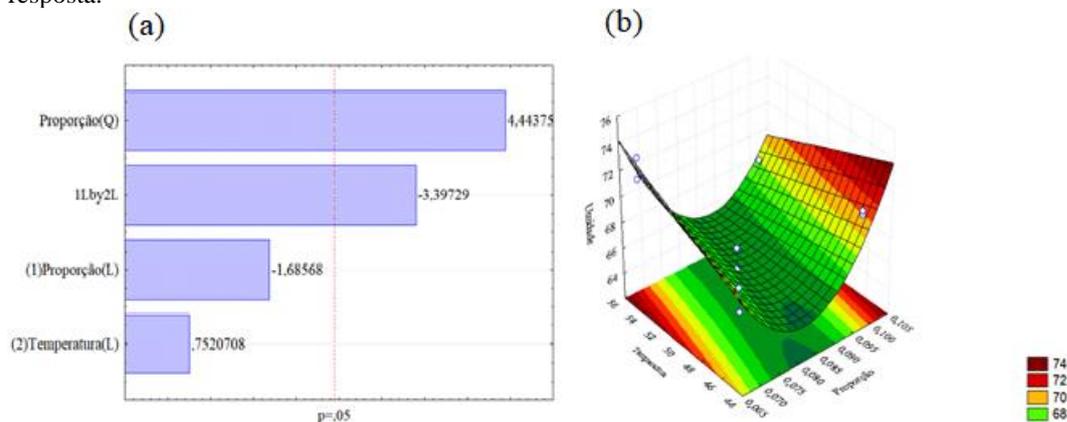
Na Tabela 6 estão apresentadas as características estudadas para o cereal antes do processo de hidratação, assim como a composição do leite desnatado antes do processo de hidrólise da lactose e do leite desnatado já hidrolisado, antes de submetido ao processo de hidratação, respectivamente. Os dados obtidos estão de acordo com o estabelecido pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) para cereais matinais de milho sem açúcar e leite.

O leite possui em sua composição cerca de 4,5 % de lactose. A redução ou eliminação dessa porcentagem é essencial para que indivíduos com deficiência de ingerir esse açúcar consigam consumir produtos lácteos. A hidrólise da lactose pode ser realizada utilizando lactase produzidas por alguns microrganismos (CAMPOS et al., 2014). Na Tabela 5 pode-se observar a redução do teor de açúcares redutores em lactose visando utilizar o leite desnatado hidrolisado para hidratação do cereal, assim como pode-se observar que os valores encontrados são semelhantes aos fornecidos pela TACO (2011). Observa-se também que não houve grandes alterações nas demais características do leite após o processo de hidrólise, o que já era esperado de acordo com Czarnobay et al. (2017).

Tabela 6: Características do cereal e leite antes de submetido ao processo de hidratação.

CEREAL		LEITE DESNATADO		LEITE DESNATADO HIDROLISADO	
Característica	Média/Desvio Padrão	Característica	Média/Desvio Padrão	Característica	Média ± Desvio Padrão
Umidade (%)	3,02 ± 0,12	Sólidos Solúveis (°Brix)	10,750 ± 0,25	Sólidos Solúveis (°Brix)	10,9 ± 0,29
Lipídeos (%)	0,37 ± 0,12	Cinzas (%)	0,790 ± 0,04	Cinzas (%)	0,73 ± 0,09
Proteínas (%)	7,28 ± 0,36	Lipídeos (%)	0,400 ± 0,01	Lipídeos (%)	0,37 ± 0,06
Cinzas (%)	2,22 ± 0,15	Açúcares redutores em lactose (%)	4,133 ± 0,04	Açúcares redutores em lactose (%)	0,44 ± 0,008
Fibra Bruta (%)	0,52 ± 0,11	Densidade (g/cm ³)	1,032 ± 0,003	Densidade (g/cm ³)	1,031 ± 0,001

A figura 2 contém o diagrama de pareto (Figura 2a) e o gráfico de superfície de resposta (Figura 2b) para os resultados de umidade obtidos durante o processo de hidratação. Observa-se que o aumento da temperatura e uma maior quantidade de fluido disponível aumentou a absorção de leite no cereal. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de a temperatura mais alta influenciar na difusão de líquidos no interior de grãos e cereais, aumentando a área disponível dentro do alimento e facilitando a entrada do fluido. Isso pode ser preocupante com o aumento do tempo de hidratação, pois pode ocasionar rompimento das barreiras do cereal, expandindo-o, e fazendo com que o teor de umidade caia, consideravelmente (MIANO et al., 2015; BORGES et al., 2017). Resultado semelhante já foi observado com alguns tipos de grãos como o grão de bico e o de soja, porém, como se trata de grãos mais resistentes e com camadas externas mais extensas, o aumento do tempo de hidratação não fez com que a umidade decrescesse e sim, aumentou o teor de fluido no interior do grão. Quando analisada a influência da temperatura, os autores apresentam comportamento semelhante aos observados no cereal hidratado com leite uma vez que o aumento da temperatura ocasionou um aumento na umidade dos grãos (FRACASSO et al., 2014; PRAMIU et al., 2015).

Figura 2: Comportamento da umidade do cereal durante a hidratação. (a) Diagrama de Pareto (b) Superfície de resposta.

Nas Figuras 3 e 4 podemos observar o comportamento das cinzas durante o processo de hidratação no cereal.

O gráfico de superfície de resposta para a interação Tempo x Proporção do cereal durante a hidratação (Figura 3b) mostra que o teor de cinzas é maior quando o tempo de hidratação é maior e a quantidade de fluido disponível no processo é menor. A transferência de massa tende a diminuir com o aumento da quantidade de fluido no processo, pois o sistema tende a entrar em equilíbrio, porém, com o maior tempo de hidratação, o cereal tende a tentar absorver o máximo de fluido para seu interior, incorporando os minerais disponíveis no fluido de hidratação (DAS et al., 2015). Na Figura 3(d), pode-se observar que na interação Temperatura x Tempo durante a hidratação o aumento da temperatura também influencia no aumento de cinzas presentes no cereal.

A Figura 4 contém o diagrama de pareto (Figura 4a) e o gráfico de superfície de resposta (Figura 4b) da interação Temperatura x Tempo para o fluido hidratante durante o processo de hidratação. É possível observar que em tempo e temperatura de hidratação menores, há uma maior quantidade de cinzas presentes no leite. Esse comportamento foi o inverso encontrado pra análises de cinzas do cereal, indicando uma transferência de cinzas do leite para o cereal confirmando o fato de que a transferência de massa é maior com o aumento da temperatura durante a cinética de hidratação de grãos e cereais. Comportamento semelhante foi observado durante a cinética de hidratação de grãos de soja e grãos de feijão, respectivamente (COUTINHO et al., 2007; SOMAVILLA et al., 2016).

Figura 3: Comportamento do teor de cinzas do cereal durante a hidratação. (a) Diagrama de Pareto para interação tempo x proporção (b) Superfície de resposta para tempo x proporção (c) Diagrama de Pareto para interação tempo x temperatura (d) Superfície de resposta para tempo x temperatura.

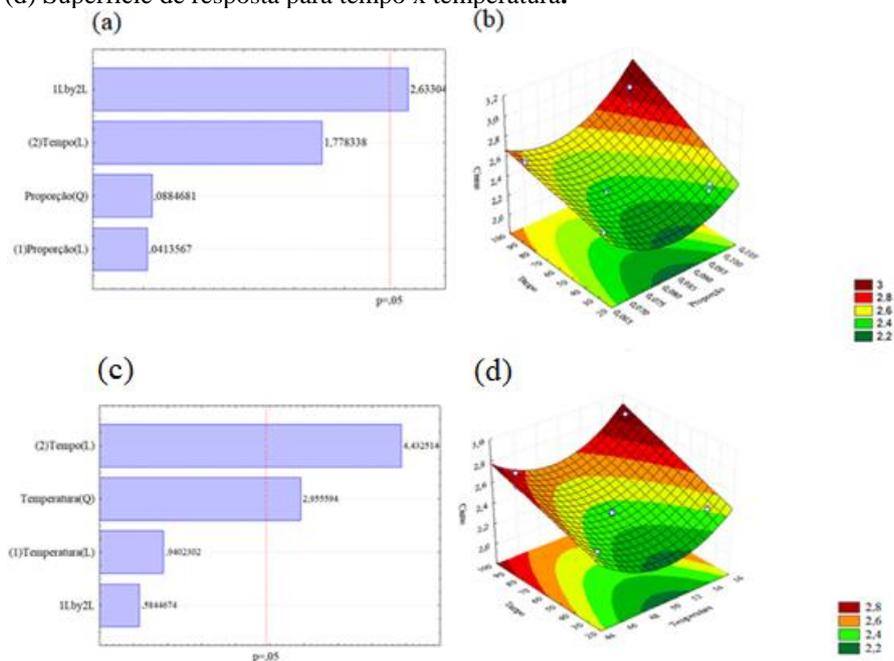
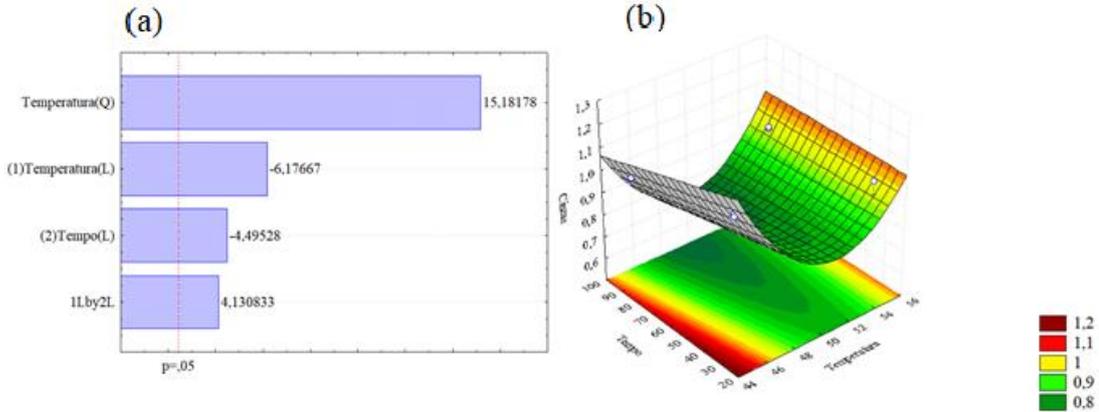
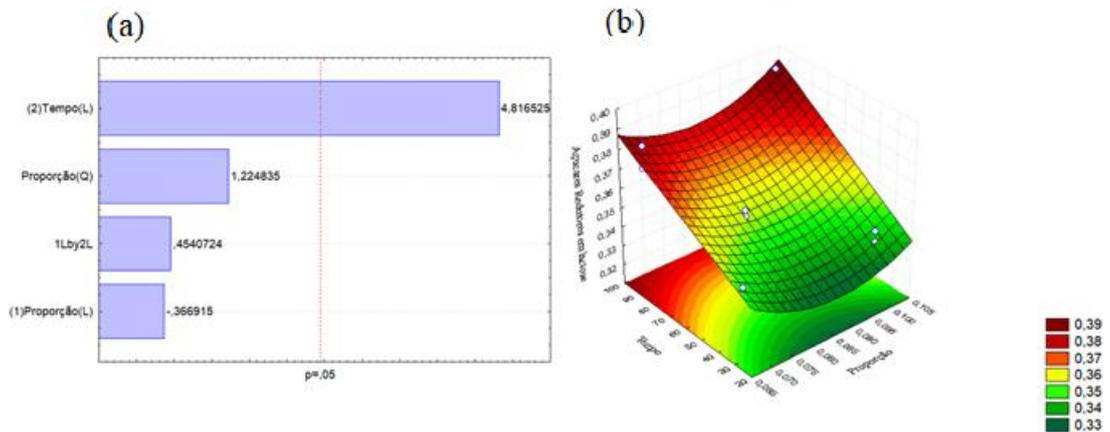


Figura 4: Diagrama de pareto (a) e gráfico de superfície de resposta (b) para a interação temperatura x tempo para a análise de cinzas no leite.



A Figura 5 apresenta o diagrama de pareto (Figura 5a) e o gráfico de superfície de resposta (Figura 5b) que mostram o comportamento do teor de açúcares redutores no leite durante o processo de hidratação do cereal. A hidratação, durante um maior período de tempo apresentou maiores índices de açúcares redutores em lactose, o que é vantajoso, uma vez que pretende-se obter um cereal hidratado destinado para intolerante a lactose e se a quantidade de açúcares estiver em maior concentração no leite e ainda com quantidade próxima ao mostrado na Tabela 6, supõe-se que nessas condições a cinética de hidratação apresenta uma menor transferência desse açúcar para o interior do cereal, permanecendo concentrada no fluido.

Figura 5: Comportamento dos açúcares redutores do leite. (a) Diagrama de Pareto (b) Superfície de resposta.



Os grãos e cereais, de maneira geral, apresentam baixos teores de lipídeos. O leite desnatado e o leite desnatado hidrolisado utilizados no estudo não apresentaram resultados superiores a 0,4% de lipídeos, estando de acordo com a Normativa IN nº 62/2011 que estabelece um máximo de 0,5% de teor de gordura em leite desnatado (BRASIL, 2011). Durante o processo de

hidratação, o teor de lipídeos no cereal pode aumentar significativamente, quando o fluido de hidratação e o grão ou cereal possuem um teor mais elevado de gordura. No entanto, não foi observado efeito significativo da proporção, tempo e temperatura sobre essa característica, comportamento esse que já era esperado, uma vez que o leite utilizado para o processo de hidratação possui valores baixos deste constituinte, assim como o cereal (SOUSA et al., 2016).

A densidade durante o processo de hidratação não apresentou diferença significativa. O fluido de todos os ensaios apresentou densidade entre 1,028 g/ml a 1,034 g/ml, encontrando-se nos padrões estabelecidos. Resultados semelhantes foram encontrados em análises de leite utilizados para a produção de queijo muçarela (COPATTI & PFULLER, 2015). Também foram encontrados valores dentro do instituído pela Legislação Brasileira ao analisar várias marcas de leite UHT integral (CAMARA & WESCHENFELDER, 2014). Estudos durante hidratação de grãos de soja corroboram com os resultados encontrados uma vez que mostram que não há alteração nessas características durante o processo de hidratação (MIANO et al., 2015).

Em estudos durante a hidratação de grãos de milho observou-se que a liberação de sólidos para o fluido durante a hidratação de grãos de milho comum e transgênicos ocorrem, significativamente, somente após os 120 minutos de hidratação e que essa perda de sólidos durante a hidratação pode ser explicada pela interação de água com moléculas hidrofílicas dentro da matriz do grão, liberando algumas delas na água do processo (MARQUES et al., 2015). Esse resultado corrobora com o encontrado para proteínas, que também não apresentou alterações significativas entre uma amostra e outra, uma vez que o ganho de sólidos solúveis no fluido hidratante pode estar diretamente relacionado à desnaturação de proteínas nos grãos. A desnaturação desse constituinte, pode alterar negativamente na velocidade de absorção de grãos e cereais (VOLPE et al., 2015). Vale ressaltar que isso não significa que não houve liberação de sólidos solúveis e desnaturação de proteínas, havendo diferença dos teores encontrados nos mesmos antes do processo de hidratação e sim que não houve diferença durante o tratamento utilizado, sobre as condições estabelecidas.

O teor de fibra bruta não mostrou alteração significativa durante o processo de hidratação. Isso pode ser explicado pelo fato de o leite não possuir teores de fibras em sua composição (TACO, 2011), não tendo, portanto, transferência desse constituinte no sistema.

A tabela 7 apresenta os valores de R^2 e as equações estimadas pela superfície de resposta. As equações mostram um bom ajuste dos gráficos uma vez que apresentam um coeficiente de correlação acima de 0,69 (SILVA et al., 2017).

Tabela 7: Valores de R² e equações dos gráficos de superfície de resposta de análises do cereal.

	ANÁLISE	INTERAÇÃO	R ²	EQUAÇÃO
CEREAL	Umidade	Proporção x Temperatura	0,80	$Z=151,24-2039,48x+13423,66x^2+0,184y-4,39xy$
	Cinzas	Proporção x Tempo	0,94	$Z=7,43-123,85x+712,71x^2-0,005y+0,13xy$
		Temperatura x Tempo	0,83	$Z=21,62-0,78x+0,01x^2-0,002y+0,00013xy$
LEITE	Açucares Redutores	Proporção x Tempo	0,94	$Z=0,57-5,84x+33,26x^2+0,0003y+0,003xy$
	Cinzas	Temperatura x Tempo	0,98	$Z=24,82-0,94x+0,01x^2-0,01y+0,0002xy$

5.4 CONCLUSÃO

A melhor condição para hidrólise do leite desnatado foi de concentração de 1% de b-galactosidase, em uma temperatura de 37°C durante 90 minutos.

As condições de tratamento (proporção, tempo e temperatura) utilizados durante a cinética de hidratação do cereal com leite desnatado e hidrolisado, causaram efeito significativo na umidade e no teor de cinzas presentes no cereal e também na quantidade de açúcares redutores em lactose e no teor de cinzas presentes no leite de hidratação. Quanto a umidade, uma proporção de 1/12,5 sob temperaturas menores são mais satisfatórias, pois umidades muito altas podem afetar a crocância do cereal. Para cinzas, as melhores condições são uma proporção menor (1/10) durante um período de tempo maior (90 minutos), uma vez que nessas condições o teor de cinzas aumentou. Para as análises de açúcares redutores, menores proporções durante um maior período de tempo foram as condições ideais por ser um constituinte que deve aparecer em menores concentrações.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.J., & OZELIN, S. D. Fundamentos de controle de qualidade na produção, beneficiamento e industrialização do leite bovino. **Investigação**, 16(8). 2017.

BASSAN, J. C., FABRICIO, L. F., PAVARINA, L. C., ROSELINO, M. N., ROSSI, E. A., & CELIBERTO, L. S. Consumo de leite informal na cidade de Araraquara-SP. Raw milk consumption in the city of Araraquara, São Paulo, Brazil. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, 24(4), 403-408. 2015.

BORGES CWC, JORGE LMDM, JORGE RMM. Kinetic modeling and thermodynamic properties of soybean cultivar (BRS257) during hydration process. **Journal of Food Process Engineering**, 40(6), e12579. 2017.

BOX, G. E., & DRAPER, N. R.. Empirical model-building and response surfaces (Vol. 424). New York: Wiley. 1987.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 62, de 20 de setembro de 2011**. Seção 3, p.19. Diário Oficial da União, 30 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos, para controle de leite e produtos lácteos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2003.

BRASIL, Secretária De Vigilância Sanitária. **Portaria Nº 29, de 13 de Janeiro de 1998**. Aprova o Regulamento Técnico Referente a Alimentos Para Fins Especiais, Brasília, DF: Anvisa, 1998. Disponível Em: <<<http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>>> acessado em: 12/05/2017.

CAMARA, F. A., & WESCHENFELDER, S. Leite UHT integral: avaliação da rotulagem nutricional e dos padrões de identidade e qualidade. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, 69(4), 268-279. 2014.

CAMPOS, N. S., STEPHANI, R., DE SOUSA, R. A., PERRONE, Í. T., DE CARVALHO, A. F., & DE OLIVEIRA, L. F. C. Utilização do Glicosímetro Accu-Chek® Para a Determinação de Lactose em Produtos Lácteos. **Revista Virtual de Química**, 6(6), 1677-1686. 2014.

CAMPOS, T. C. Á. S, D'ALMEIDA, W. K., ALEGRO, L. C. A., ROIG, S. M., & SUGUIMOTO, H. H. Utilização da β -galactosidase na Hidrólise da Lactose do Leite em Baixa Temperatura. **Journal of Health Sciences**, 11(4). 2015.

COPATTI, N., & PFULLER, E. E. Acompanhamento da recepção, análise físico-química do leite recebido e da produção do queijo mussarela na indústria de Laticínios Cotrigo Ltda, Getúlio Vargas/RS. **Ágora: revista de divulgação científica**, 19(2), 118-145. 2015.

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, p. 451-455, 2007.

CZARNOBAY, M.; BRIÃO, V. B.; RODRIGUES, V. M.; MILANI, A. & CASTOLDI, V. Hidrólise de lactose em leite de ovelha e leite de vaca. **Revista CIATEC-UPF**, 9(1), 15-24. 2017.

DAS, B.; ROY, A.P; BHATTACHARJEE, S.; CHAKRABORTY, S.; BHATTACHARJEE C. Lactose hydrolysis by β -galactosidase enzyme: optimization using response surface methodology. **Ecotoxicology and environmental safety**, 121, 244-252. 2015.

FEIJOO, S.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; LEMA, J. M.; MOREIRA, M. T. Life cycle assessment of β -Galactosidase enzyme production. **Journal of Cleaner Production**, 165, 204-212. 2017.

FERNANDES, T. F. Intolerância à lactose. **Revista ABCFARMA**, 40-45. 2015.

FRACASSO, A. F.; PERUSSELLO, C. A.; HAMINIUK, C. W. I.; JORGE, L. M. M.; JORGE, R. M. M. Hydration kinetics of soybeans: Transgenic and conventional cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 60, p. 584–588, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Pecuária Municipal. 2016. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=94&z=p&o=29>>. Acesso em 05 de janeiro de 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. V. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 2008.

LISBÔA, J. F., SILVA, J. N., CAVALCANTI, M. T., SILVA, E. M., & GONÇALVES, M. C. Analysis of hydration of grains of birdseed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(3), 218-223. 2015.

MARQUES, B. C.; JORGE, LMM; JORGE, RMM. Cinética de hidratação e da liberação de sólidos solúveis do milho geneticamente modificado e de sua isolinha. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 2958-2965, 2015.

MIANO, A. C.; GARCÍA, J. A.; AUGUSTO, P. E. D. Correlation between morphology, hydration kinetics and mathematical models on Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) grains. **LWT-Food Science and Technology**, 61(2), 290-298. 2015.

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.

RAMALHO, M. E. O.; GANECO, A. G. Intolerância a lactose e o processamento dos produtos zero lactose. **Revista Interface Tecnológica**, v. 13, n. 1, p. 15, 2016.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L.; Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@ mbiente On-line**, 10(4), 317-325. 2017.

SIQUEIRA, A. P. S.; SILVA, T.; AMORIM, F.; PEREIRA, T.; SANTOS, J. & LOURENÇO, M. F. Aproveitamento tecnológico de pericarpo de milho para a produção de snacks. **Agrarian**, 11(39), 79-88. 2018.

SOMAVILLA, M.; DE OLIVEIRA, V. R. & STORCK, C. R. Composição centesimal e de minerais no congelamento e uso associado de micro-ondas para descongelamento de feijão. **Disciplinarum Scientia| Saúde**, 12(1), 103-114. 2016.

SOUSA, L. C.; SILVA, N. A.; BOULHOSA, R. B.. Avaliação da composição nutricional através da rotulagem de shakes utilizados como substitutos de refeições. **Revista Eletrônica Estácio Saúde**, v. 5, n. 2, p. 78-90, 2016.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO. 4ª edição revisada e ampliada. UNICAMP- Campinas – SP – 2011.

VOLPE, T., SANTOS, A., JORGE, L., & JORGE, R. Estudo da cinética de hidratação e propriedades do grão de arroz durante o processo de parboilização. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 1(2), 2950-2957. 2015.

6 ARTIGO 2: MODELAGEM DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE CEREAL MATINAL COM LEITE DESNATADO SEM LACTOSE

RESUMO

A crocância do cereal matinal está associada a qualidade do produto e é de suma importância dentre suas características sensoriais. O processo de hidratação o qual ele geralmente sofre antes de ser ingerido, pode ocasionar alterações nesta característica e alguns fatores como, quantidade de fluido disponível, temperatura e tempo de hidratação afetam diretamente esse processo. O objetivo do trabalho foi utilizar modelos empíricos (Exponencial e de Peleg) e também as Redes Neurais Artificiais, afim de avaliar os parâmetros de hidratação de um cereal matinal hidratado com leite. A hidratação ocorreu em 3 proporções, 3 temperaturas e durante 2 horas, sendo analisadas amostras desse cereal e do leite a cada 15 minutos de hidratação. Dos modelos empíricos, o modelo de Peleg foi o que melhor descreveu a cinética de hidratação, porém, ao utilizar a Rede Neural Artificial, essa apresentou parâmetros de ajuste melhores que o modelo de Peleg, tornando esta metodologia satisfatória para esse tipo de tratamento.

Palavras Chave: Ajustes, Parâmetros, Absorção.

ABSTRACT

The crunchiness of the morning cereal is associated with product quality and is of paramount importance among its sensorial characteristics. The process of hydration which it usually suffers before being ingested may cause changes in this characteristic and some factors such as amount of available fluid, temperature and time of hydration directly affect this process. The objective of this work was to use empirical models (Exponential and Peleg) and also the Artificial Neural Networks, in order to evaluate the hydration parameters of a milk cereal hydrated with milk. The hydration occurred in 3 proportions, 3 temperatures and during 2 hours, being analyzed samples of this cereal and the milk every 15 minutes of hydration. From the empirical models, the Peleg model was the one that best described a hydration kinetics, however, when using an Artificial Neural Network, which had the Peleg models as the best fit parameters, which is an essential condition for this type of treatment.

Key words: Data adjustment, Parameters, Absorption.

6.1 INTRODUÇÃO

O cereal matinal é considerado um alimento pronto para o consumo com altos teores de proteínas, fibras e carboidratos podendo ser encontrados, também, na forma enriquecida por algum tipo de vitamina ou mineral aumentando assim seu valor nutritivo. Outra forma de aumentar o seu valor nutricional é a adição de leite antes do consumo o tornando uma boa escolha para a primeira e mais importante refeição do dia. Essa prática é bem comum e por isso o leite é considerado o fluido auxiliar no consumo de cereais matinais (MIKALOUSKI et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2015).

O leite vem sendo utilizado na alimentação há muito tempo por se tratar de um alimento com composição equilibrada de nutrientes essenciais como proteínas, lipídeos, carboidratos, minerais e vitaminas. A oferta de produtos com alta qualidade é de suma importância para a garantia de contribuição à saúde dos consumidores. Além disso, a atividade leiteira gera empregos em amplos aspectos e a geração econômica em torno disso cresce de forma gradativa acompanhando o desenvolvimento da qualidade do produto (COPATTI & PFULLER, 2015; SOARES et al., 2016).

A umidificação de grãos e cereais depende de variáveis como a temperatura e o teor de fluido inicial. A variação do teor de umidade nos grãos e cereais durante certo tempo de hidratação podem ser utilizadas para a descrição do comportamento dos dados de hidratação através da modelagem matemática usando modelos empíricos ou fenomenológicos, o que permite simular o comportamento de parâmetros e processos. Os modelos empíricos são considerados simples e de fácil aplicação, fundamentados na análise de dados experimentais, análise dimensional e análise estatística (LISBÔA et al., 2015; BALBINOTI et al., 2018; MIANO et al., 2018).

A Rede Neural Artificial (RNA) é um modelo computacional constituído por elementos de processamento simples (neurônios artificiais) os quais aplicam determinada função matemática aos dados (função de ativação) gerando uma resposta única. A rede neural é usada com variações no número de neurônios por camadas, no tipo de função de ativação, no número de camadas ocultas e no tipo de conexão entre os neurônios. Os algoritmos usados e os parâmetros e coeficientes interferem significativamente no tempo e na eficiência de uma rede neural (BINOTI et al., 2014).

O objetivo desse trabalho foi estudar a cinética de hidratação de cereal matinal com leite através da aplicação dos modelos empíricos de Peleg e Exponencial, e da aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNA's) nos parâmetros de hidratação do cereal matinal com leite.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Hidratação do cereal matinal

Para hidratação foi utilizado o cereal matinal de milho (sem açúcar) e o leite UHT desnatado e hidrolisado para a redução do teor de lactose. Ambos foram adquiridos em comércio local, e levados ao Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LaCiMP) da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

A hidratação foi conduzida nas seguintes condições: 3 proporções de cereal/leite (1/10, 1/12,5 e 1/15) e 3 temperaturas de imersão (45 °C, 50 °C e 55 °C). O procedimento foi realizado em banho maria (TECNAL, modelo TE-0541-1), com controle de temperatura. A hidratação foi realizada em triplicata (com 2 repetições), e ocorreu durante 2 horas, com retirada do cereal em diferentes tempos de imersão (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 minutos) para análise da cinética de absorção do leite. O cereal foi retirado da imersão em cada tempo e colocado em papel filtro para eliminar o excesso de leite, e então pesado. Em seguida, retornou para imersão para continuidade do processo.

6.2.2 Modelagem matemática

Com base no aumento de massa das amostras em relação à massa inicial foi calculado o teor de leite para um dado instante. Utilizou-se, então, dois modelos empíricos citados na literatura: Modelo de Peleg e Modelo Exponencial.

Os parâmetros dos modelos foram estimados realizando uma regressão não linear pelo método dos mínimos quadrados, utilizando-se o programa computacional STATISTICA 7.0®. O grau de ajuste de cada modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), a magnitude do erro médio relativo (Equação 1) e do erro padrão da estimativa (Equação 2) que foram calculados pelas seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (1)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (2)$$

Onde Y é o valor observado experimentalmente, \hat{Y} é o valor estimado pelo modelo, n é o número de observações experimentais e GLR representa o grau de liberdade do modelo (número de parâmetros do modelo subtraído do número de observações).

6.2.2.1 Modelo de Peleg

A equação 3 representa o Modelo de Peleg. C_1 e C_2 representam as constantes do modelo (PELEG, 1988):

$$U_t = U_0 + \frac{t}{(C_1 + C_2 t)} \quad (3)$$

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).

Por um tempo suficientemente longo de hidratação, a umidade de equilíbrio (U_{eq}) pode ser obtida pela Equação 3 quando o tempo tende ao infinito, resultando na Equação 4:

$$U_{eq} = U_0 + \frac{1}{C_2} \quad (4)$$

6.2.2.2 Modelo Exponencial

O modelo Exponencial é representado pela Equação 5, no qual k_2 é a constante do modelo (COX et al., 2012):

$$U_t = U_{eq}(1 - \exp(-k_2 t)) \quad (5)$$

Onde U_t é a umidade no tempo t e U_{eq} é a umidade de equilíbrio.

6.2.2.3 Redes Neurais Artificiais (RNA)

Os resultados e parâmetros cinéticos do processo de hidratação foram também submetidos a modelagem e simulação através de Redes Neurais Artificiais.

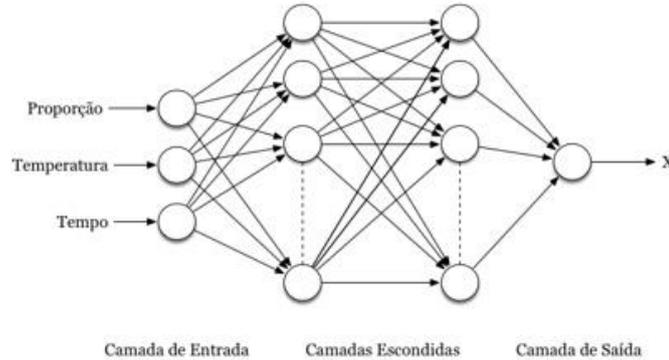
Para a construção da rede neural, um pré-tratamento nos dados foi necessário. Tanto os dados de entrada quanto os de saída foram normalizados antes da alimentação na rede, de acordo com a Equação 6:

$$x_{i,norma} = \frac{x_i - \text{mínimo}(x_i)}{\text{máximo}(x_i) - \text{mínimo}(x_i)} \quad (6)$$

Onde x_i é o i -ésimo caso.

O desempenho da rede foi medido pelo coeficiente de correlação linear (R^2), erro médio relativo (P) e erro padrão da estimativa (SE).

Figura 6: Esquema de construção da RNA para absorção do cereal.

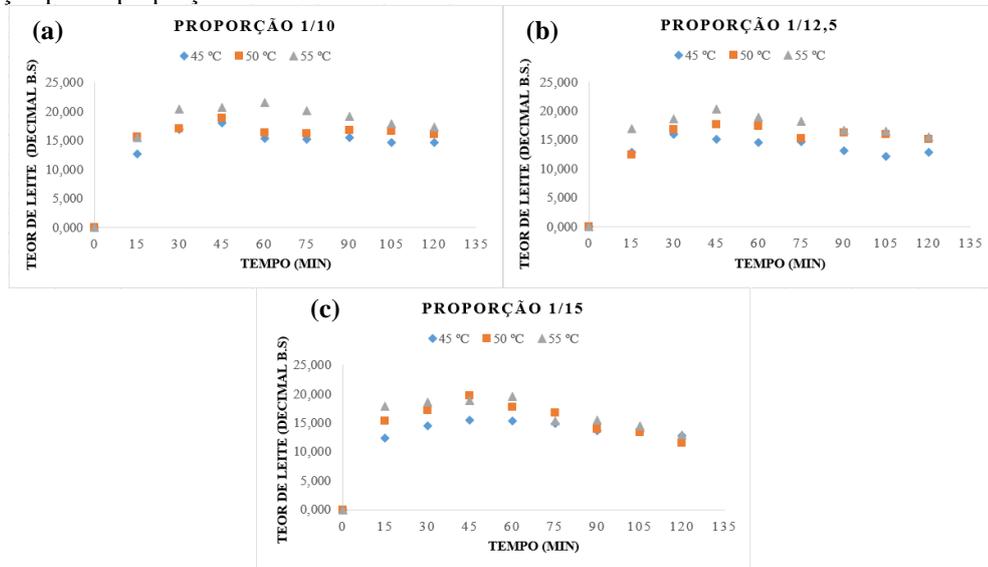


6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 7 pode-se observar os resultados da cinética de absorção para cada proporção, temperatura e tempo. Em todas as proporções é possível notar comportamento semelhante, uma vez que há um alto índice de absorção em torno dos primeiros 45 minutos e depois o alimento vai perdendo líquido para o meio. A alta e rápida absorção pode ocorrer pela alta capacidade de absorção de umidade que é causada pela gelatinização do amido, o qual ocorre durante o processo de extrusão do cereal matinal (MIANO et al., 2015). Já a perda de umidade nos demais tempos pode ocorrer pelo fato de o cereal absorver o líquido muito rápido, ocorrendo rompimento de sua estrutura interna e liberando umidade para o meio. Isso pode acontecer com grãos e cereais que possuem estruturas externas menos resistentes. (MIANO et al., 2018). Este mesmo tipo de comportamento foi observado na hidratação de cereal matinal com leite semidesnatado (SACCHETTI et al., 2003). Testes de absorção utilizando grãos de feijão mostraram absorção crescente com o aumento de tempo de hidratação (PAIXÃO et al., 2017).

Estudos sobre a hidratação de grãos de alpiste encontraram semelhanças nos resultados uma vez que os grãos e cereais absorvem o fluido muito rapidamente, tendendo a diminuir a medida que o teor de água se aproxima do equilíbrio (LISBOA et al., 2015). A taxa de absorção de água está relacionada com a diferença entre o teor de água de saturação e o teor de água em um determinado tempo (força motriz). Por isso, ao longo do tempo, ocorre o aumento do teor de água associado a esta força motriz e assim há redução da taxa de absorção do fluido hidratante (RESENDE & CORRÊA, 2007).

Figura 7: Cinética de absorção de leite desnatado hidrolisado no cereal. (a) Teor de leite x Tempo de hidratação para proporção de 1/10. (b) Teor de leite x Tempo de hidratação para proporção de 1/12,5. (c) Teor de leite x Tempo de hidratação para a proporção de 1/15.



6.3.1 Modelagem da Cinética de Hidratação pelos modelos de Peleg e Exponencial

Na Tabela 8 estão apresentados os parâmetros dos modelos utilizados aplicados à cinética de absorção de umidade no cereal matinal. Percebe-se que, no geral, há um decréscimo das constantes C_1 e C_2 do modelo de Peleg com o aumento da temperatura no processo ocorrendo assim o aumento da umidade de equilíbrio (U_{eq}). Esse comportamento também foi observado em estudo de hidratação de grãos de alpiste e feijão, respectivamente (LISBÔA et al., 2015; PRAMIU et al., 2015). A constante C_1 do modelo de Peleg está relacionada com a taxa de transferência de massa, e quanto menores os seus valores, maiores são as taxas iniciais de absorção de água e a constante C_2 está relacionada com a capacidade máxima de absorção de água, e quanto menor o seu valor, maior será a absorção de água do produto (GALDEADO et al., 2014).

No modelo exponencial, a constante k_2 está relacionada com a velocidade de absorção. Na Tabela 7, estão descritos os valores de k_2 durante a absorção. É possível observar que em temperaturas mais elevadas a velocidade de absorção é maior. Resultados semelhantes são reportados pela literatura para hidratação de grãos de milho transgênico, onde os autores observaram rápida absorção de água pelos grãos e posterior redução desse fenômeno ao aproximar-se de condições de equilíbrio (MARQUES et al., 2015).

Tabela 8: Parâmetros dos modelos de Peleg e Exponencial aplicados à cinética de absorção de umidade em cereal matinal.

Proporção	T (°C)	Peleg			Exponencial	
		C1	C2	Ueq	k2	Ueq
1/10	45	0,125414	0,062340	21,14	22,69422	20,46075
	50	0,040645	0,059065	21,96	25,02503	21,70000
	55	0,020786	0,049750	25,23	25,08771	24,21150
1/12,5	45	-0,018795	0,072333	18,86	23,62215	18,93900
	50	0,200371	0,058785	22,07	21,76316	20,89787
	55	-0,028822	0,057188	22,62	27,34224	22,82150
1/15	45	0,101807	0,069068	19,57	21,77156	19,10637
	50	-0,107796	0,066422	20,08	26,73078	20,67088
	55	-0,173454	0,064279	20,65	29,44897	21,70762

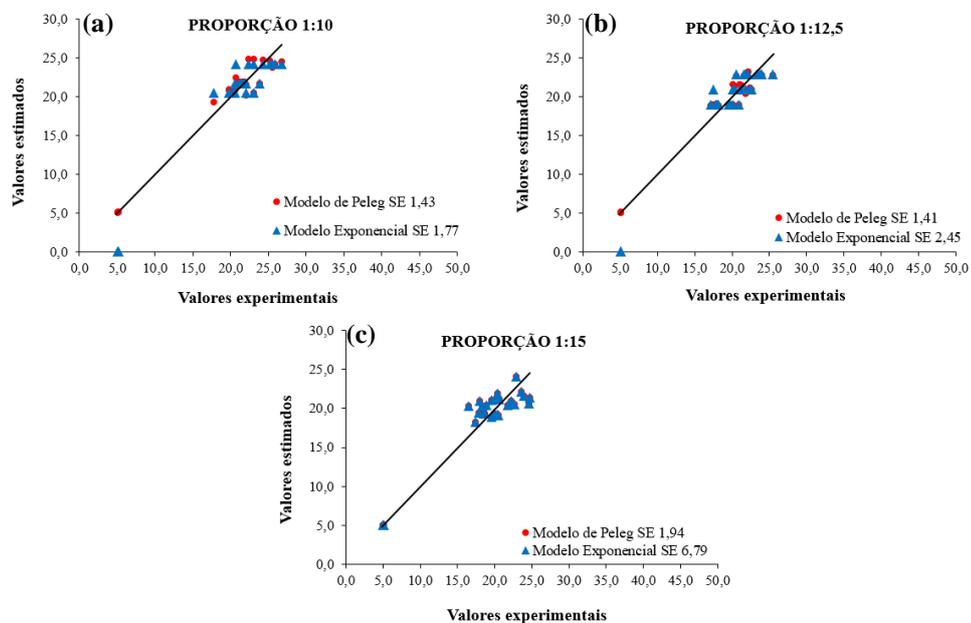
Os valores dos coeficientes de determinação (R^2), erro médio relativo (SE) e erro padrão da estimativa (P) para os modelos de Peleg e Exponencial, ajustados durante a hidratação do cereal, estão apresentados na Tabela 9. Quanto mais próximo de 100% for o coeficiente de determinação e menor o erro médio relativo, melhor o ajuste do modelo. Sendo assim, o modelo de Peleg apresentou os melhores resultados em comparação ao modelo Exponencial, uma vez que o coeficiente de determinação do modelo de Peleg chegou a 99% e o erro médio relativo não ultrapassou 2,58, assim como o erro padrão da estimativa apresentou-se abaixo de 10%. Sendo assim, o modelo que mais se ajustou a hidratação de cereal matinal com leite foi o modelo de Peleg. Este comportamento também pode ser observado na Figura 8 que contém a correspondência entre os valores experimentais e estimados para os modelos. A combinação dos valores do coeficiente de determinação, erro médio relativo e erro padrão da estimativa satisfatórios demonstra o melhor modelo de ajuste (PAIXÃO et al., 2017).

Tabela 9: Índices estatísticos para a modelagem de hidratação de cereal matinal.

Proporção	T °C	Peleg			Exponencial		
		R^2	SE	P (%)	R^2	SE	P (%)
P1	45	0,97	1,48	4,84	0,90	2,50	15,82
	50	0,99	0,95	2,61	0,93	2,14	13,73
	55	0,97	1,85	5,91	0,92	2,81	17,29
P2	45	0,97	1,33	5,46	0,89	2,32	16,54
	50	0,97	1,32	4,83	0,90	2,52	16,29
	55	0,97	1,58	5,16	0,92	2,51	16,23
P3	45	0,98	1,11	4,61	0,90	2,26	15,83
	50	0,91	2,58	9,6	0,85	15,06	20,60
	55	0,94	2,12	7,19	0,88	3,07	19,74

Na Figura 8 estão apresentados os gráficos de correspondência entre os teores de leite experimentais e estimados pelos modelos de Peleg e Exponencial nas proporções de 1/10 (Figura 7a), 1/12,5 (Figura 7b) e 1/15 (Figura 7c), com seus coeficientes variando em função das temperaturas (45; 50 e 55 °C) e proporções estudadas (1/10; 1/12,5 e 1/15), bem como os valores de erro padrão da estimativa. O modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou ao processo, como já citado acima, por causa de seus parâmetros mais satisfatórios apresentados na Tabela 9. O modelo de Peleg é considerado satisfatório em relação aos outros modelos matemáticos em estudos de cinética de absorção para grãos de alpiste e pimenta-de-macaco, respectivamente (LISBÔA et al., 2015; SILVA et al., 2015).

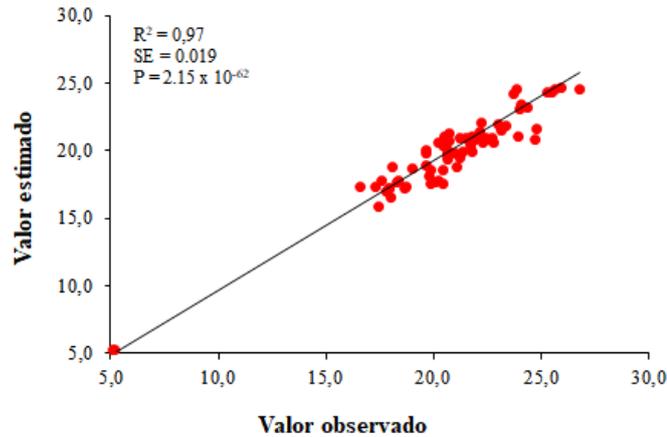
Figura 8: Correspondência entre os valores experimentais e estimados para os modelos de Peleg e Exponencial, em diferentes temperaturas, durante a hidratação do cereal matinal com leite desnatado e hidrolisado, para (a) proporção de 1/10, (b) proporção 1/12,5 e (c) proporção 1/15.



6.3.2 Modelagem da Cinética de Hidratação por Rede Neural Artificial

Na figura 9 estão apresentados os dados de absorção do leite no cereal matinal através do ajuste por RNA e o comparando com o modelo de Peleg (que comparado ao modelo exponencial apresentou melhor ajuste) a Rede Neural Artificial obteve melhores valores de SE e P e valores de R^2 satisfatórios (0,97) que é semelhante ao observado pelo modelo de Peleg. Essa ferramenta tem sido utilizada por muitos autores devido a sua eficácia no ajuste de dados e a possibilidade de análise conjunta dos dados de entrada (Variáveis independentes) e dos dados de saída (variável dependente), mostrando a correlação geral de todos os parâmetros estudados (LIMA et al., 2016).

Figura 9: Correspondência entre os valores experimentais e estimados por RNA para absorção do leite no cereal matinal.



Para definir o modelo que indica o melhor ajuste aos dados experimentais, observa-se o coeficiente de determinação (R^2), que deve ser o mais próximo de 100%, o valor do erro padrão da estimativa, que se considera o melhor o mais próximo de zero, e o erro médio relativo que deve estar inferior a 10% (REIS et al., 2015; VIDAL et al., 2016). Considerando esses parâmetros a rede neural apresentou ajuste dos dados superior aos modelos empíricos abundantemente estudados pela literatura (OSUNKANMIBI et al., 2015; VÁSQUEZ et al., 2018).

6.4 CONCLUSÃO

A cinética de hidratação do cereal com leite foi melhor descrita, dentre os modelos empíricos pelo modelo de Peleg nas proporções, tempos e temperaturas utilizadas obtivendo melhores ajustes aos dados experimentais. Nos parâmetros de tal modelo, conclui-se que a absorção é maior em maiores temperaturas e quando a proporção cereal/leite é menor. Ao aplicar-se a Rede Neural Artificial (RNA), este apresentou ajustes dos dados experimentais melhores que o modelo de Peleg representando de forma mais satisfatória a cinética de absorção do leite pelo cereal nas condições estabelecidas.

6.5 REFERÊNCIAS

BALBINOTI, T. C. V.; JORGE, L. M. M.; JORGE, R. M. M. Mathematical modeling of paddy (*Oryza sativa*) hydration in different thermal conditions assisted by Raman spectroscopy. **Journal of Cereal Science**, 79, 390-398. 2018.

BINOTI, D. H. B.; DA SILVA BINOTI, M. L. M. & LEITE, H. G. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, 5(1), 10-12953. 2014.

COPATTI, N., & PFULLER, E. E. Acompanhamento da recepção, análise físico-química do leite recebido e da produção do queijo mussarela na indústria de Laticínios Cotrigo Ltda, Getúlio Vargas/RS. **Ágora: revista de divulgação científica**, 19(2), 118-145. 2015.

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.

GALDEANO, M. C.; WILHELM, A. E.; EIRAS GROSSMANN, M. V.; & MALI, S. Efeito do processamento e das condições ambientais nas propriedades de materiais biodegradáveis de amido de aveia. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 24(1). 2014.

LIMA, M. A.; FERREIRA, G. G.; OLIVEIRA, L. L. C.; SILVA, R. F., & DINIZ, C. B. F. 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)**, 6(2), x58-65. 2016.

LISBÔA, J. F.; SILVA, J. N.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, E. M., & GONÇALVES, M. C. Análise da hidratação de grãos de alpiste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, 19(3). 2015.

MARQUES, B. C.; JORGE, LMM; JORGE, R. M. M. Cinética de hidratação e da liberação de sólidos solúveis do milho geneticamente modificado e de sua isolinha. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 2958-2965, 2015.

MIANO, A. C.; GARCÍA, J. A; AUGUSTO, P. E. D. Correlation between morphology, hydration kinetics and mathematical models on Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) grains. **LWT-Food Science and Technology**, 61(2), 290-298. 2015.

MIANO, A. C.; SABADOTI, V. D.; PEREIRA, J. D. C.; AUGUSTO, P. E. D. Hydration kinetics of cereal and pulses: new data and hypothesis evaluation. **Journal of food process engineering**, 41(1), E12617. 2018.

MIKALOUSKI, F. B. S.; MONTEIRO, A. R. G.; MARQUES, D. R.; MONTEIRO, C. C. F. & BENOSSE, L. Influência da granulometria da matéria-prima na expansão de extrusados de milho/Influence of raw material particle size on the expansion of extruded corn. **Brazilian Journal of Food Technology**, 17(1), 28. 2014.

OSUNKANMIBI, O. B.; OWOLABI, T. O.; BETIKU, E. Comparison of artificial neural network and response surface methodology performance on fermentation parameters optimization of bioconversion of cashew apple juice to gluconic acid. **International journal of food engineering**, 11(3), 393-403. 2015.

PAIXÃO, A. A.; CORRÊA, P. C.; MACHADO BAPTESTINI, F.; LOPES DONZELES, S. M.; MARTINS SILVA DINIZ, M. D. & LEITE DE FREITAS, R. Modeling the hydration process of bean grains coated with carnauba wax. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4). 2017.

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. E. 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.

REIS, D. R. D.; SANTOS, P. D.; SILVA, F. S. D. & PORTO, A. G. Influence of air characteristics on drying kinetics of beak pepper. *Brazilian Journal of Food Technology*, 18(2), 146-154. 2015.

RESENDE, O., & CORRÊA, P. C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 29(3). 2007.

SACCHETTI, G.; PITTIA, P.; BISERNI, M.; PINNAVAIA, G. G.; ROSA, M. D. Kinetic modelling of textural changes in ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi skimmed milk. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 38, p. 135–143, 2003.

SILVA, C. L.; DE FARIA, L. J. & COSTA, C. M. Comportamento higroscópico de partes aéreas de pimenta-de-macaco (*Piper aduncum L.*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 19(4). 2015.

SOARES, L. F.; PERACINI, L. C.; DE FREITAS, S.; FERREIRA, F. P.; DOS SANTOS, L. F.; MANHANI, L. C. & MANOCHIO-PINA, M. G. Aspectos nutricionais e metabólicos da intolerância à lactose. *Investigação*, 15(4). 2016.

TEIXEIRA, G. L. S.; DE OLIVEIRA, C. P. M.; MARIA DE FÁTIMA, G.; DE MELO, C. M. L.; DE AL NEVES, J. K.; DE OLIVEIRA, D. C. & GALVÃO, G. K. C. Alimentação Escolar: Cenário em uma escola na Região Metropolitana do Recife. *Revista Eletrônica da Estácio Recife*, 1(1). 2015.

VÁSQUEZ, N.; MAGÁN, C.; OBLITAS, J.; CHUQUIZUTA, T.; AVILA-GEORGE, H.; CASTRO, W. Comparison between artificial neural network and partial least squares regression models for hardness modeling during the ripening process of Swiss-type cheese using spectral profiles. *Journal of Food Engineering*, 219, 8-15. 2018.

VIDAL, V. M.; RESENDE, O.; BESSA, J. F. V.; MORAIS, W. A.; SILVA, L. A. & VIRGOLINO, Z. Z. Ajuste de modelos e difusividade efetiva na secagem de folhas de *Azadirachta indica* A. Juss. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(4). 2016.

7 CONCLUSÃO GERAL

A melhor condição para hidrólise do leite desnatado foi de concentração de 1% de b-galactosidase, em uma temperatura de 37 °C durante 90 minutos.

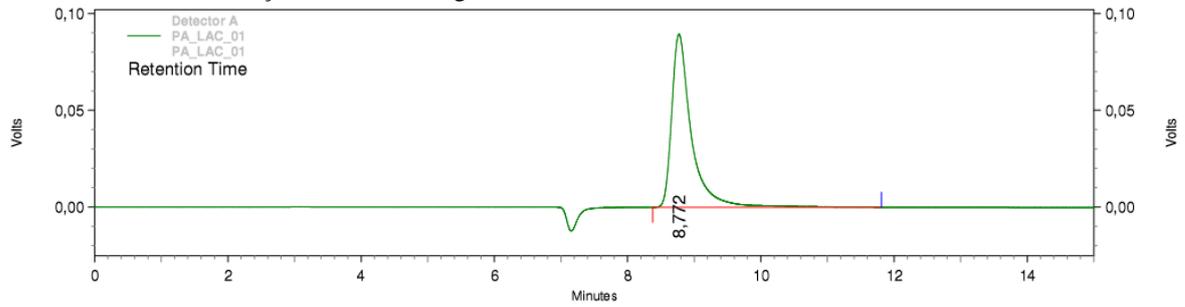
As condições de tratamento (proporção, tempo e temperatura) utilizados durante a cinética de hidratação do cereal com leite desnatado e hidrolisado, causaram efeito significativo nas características tanto do cereal quanto do leite durante o processo.

A cinética de hidratação do cereal com leite foi explicada satisfatoriamente pela superfície de resposta. Dentre os modelos empíricos o modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. No entanto, a Rede Neural Artificial (RNA), apresentou ajustes melhores que o modelo de Peleg representando de forma mais satisfatória o fenômeno de transferência de massa.

ANEXOS

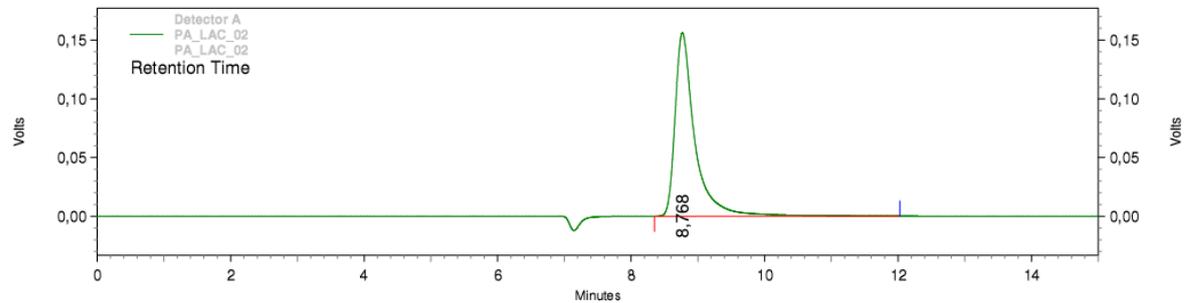
GRÁFICOS DE DADOS DE SOLUÇÕES PADRÕES PARA FORMULAÇÃO DA RETA PADRÃO, OBTIDOS ATRAVÉS DE CROMATOGRAFIA LIQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (HPLC).

Padrão 1: 0,2 mL de solução e 0,8 mL de água.



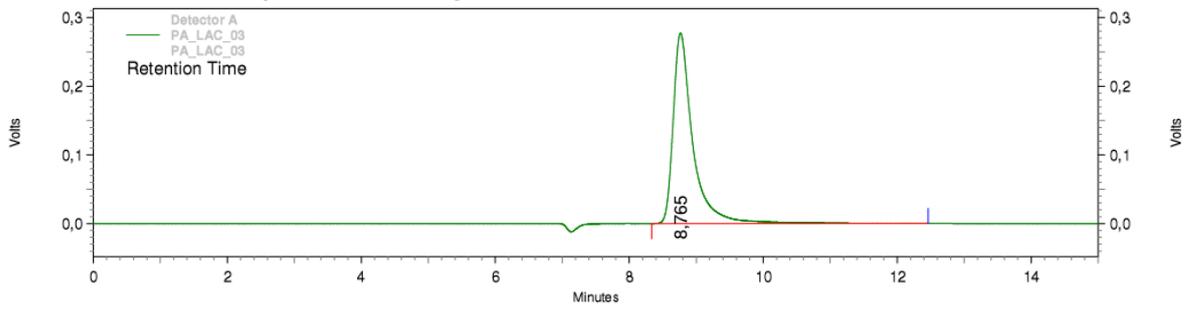
Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,772	1836805	100,000	89521	100,000
Totals		1836805	100,000	89521	100,000

Padrão 2: 0,4 mL de solução e 0,6 mL de água.



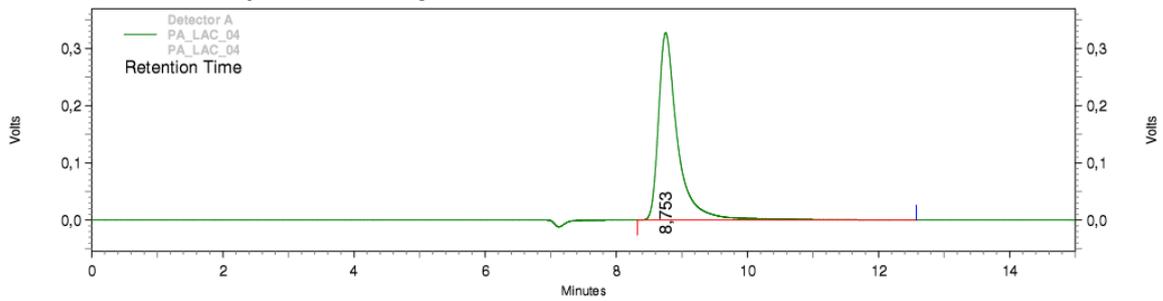
Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,768	3215769	100,000	156252	100,000
Totals		3215769	100,000	156252	100,000

Padrão 3: 0,6 mL de solução e 0,4 mL de água.



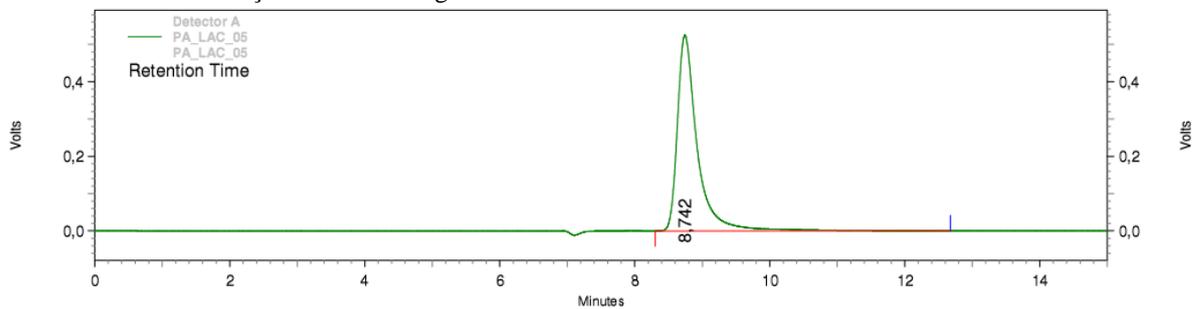
Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,765	5661800	100,000	277048	100,000
Totals		5661800	100,000	277048	100,000

Padrão 4: 0,2 mL de solução 0,8 mL de água:



Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,753	6667324	100,000	327329	100,000
Totals		6667324	100,000	327329	100,000

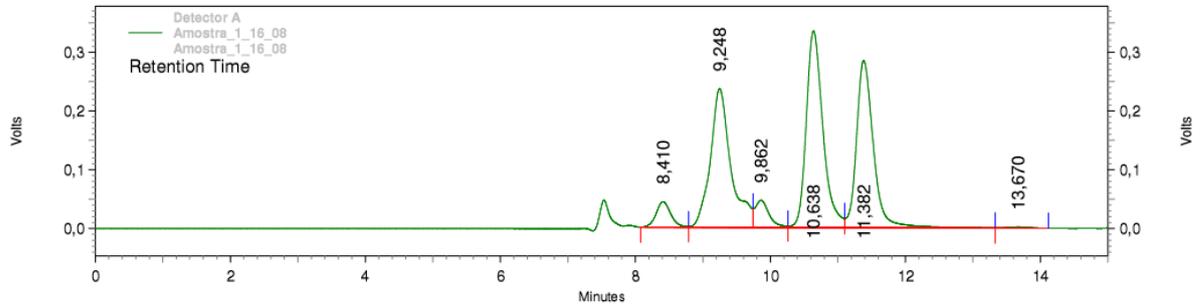
Padrão 5: 5 mL de solução e 10 mL de água.



Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,742	10730416	100,000	525232	100,000
Totals		10730416	100,000	525232	100,000

GRÁFICOS DE HIDRÓLISE DA LACTOSE DAS AMOSTRAS, OBTIDAS ATRAVÉS DE CROMATOGRAFIA LIQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA

Amostra 1: 0,2% de enzima, 99,8% de leite. Hidrólise durante 30 minutos a uma temperatura de 37 °C.

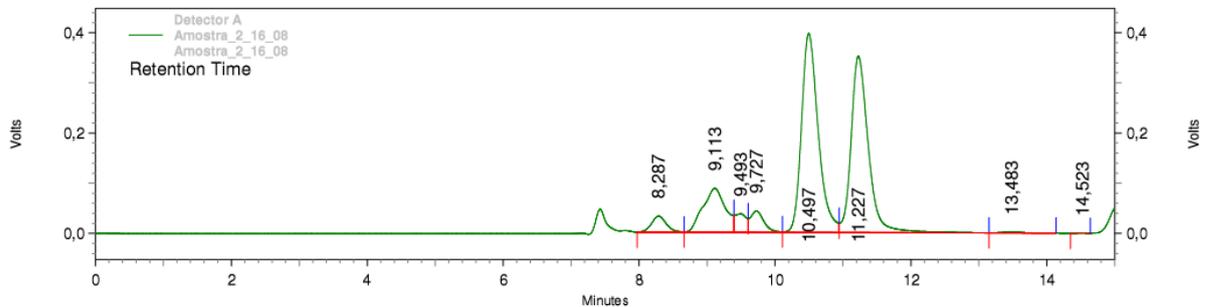


Detector A

Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,410	659581	3,854	43519	4,593
2	9,248	4995045	29,187	236040	24,914
3	9,862	666700	3,896	46404	4,898
4	10,638	5748507	33,590	334548	35,311
5	11,382	4999027	29,210	284857	30,066
6	13,670	45048	0,263	2070	0,218

Totals		17113908	100,000	947438	100,000
--------	--	----------	---------	--------	---------

Amostra 2: 0,7% de enzima, 99,3% de leite. Hidrólise durante 30 minutos a uma temperatura de 37 °C.

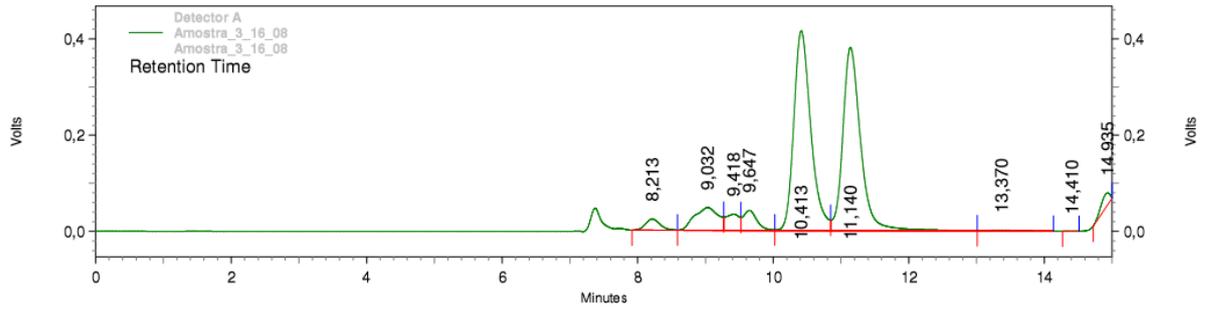


Detector A

Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,287	487503	2,938	32076	3,373
2	9,113	2011504	12,123	87665	9,217
3	9,493	429235	2,587	36982	3,888
4	9,727	590701	3,560	42838	4,504
5	10,497	6794909	40,951	397074	41,750
6	11,227	6231275	37,554	352368	37,049
7	13,483	47053	0,284	2002	0,210
8	14,523	710	0,004	78	0,008

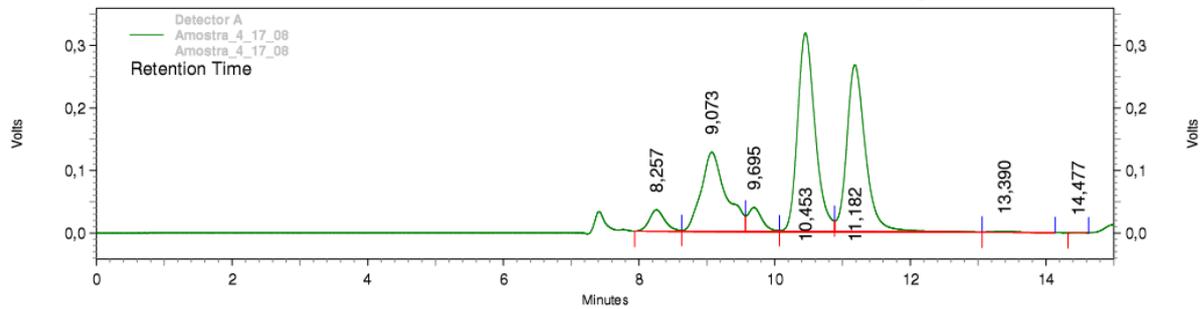
Totals		16592890	100,000	951083	100,000
--------	--	----------	---------	--------	---------

Amostra 3: 1% de enzima, 99% de leite. Hidrólise durante 30 minutos a uma temperatura de 37 °C.



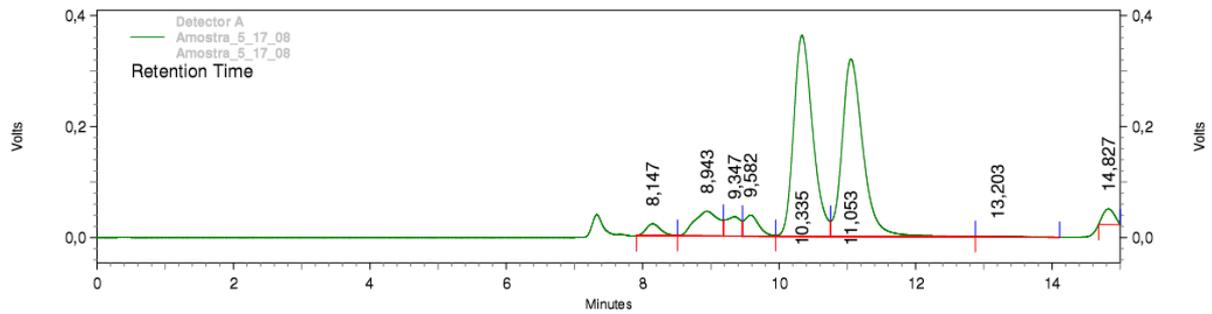
Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,213	349351	2,046	23366	2,410
2	9,032	1148577	6,727	47577	4,908
3	9,418	466641	2,733	33933	3,500
4	9,647	582288	3,410	41739	4,306
5	10,413	7242960	42,422	414910	42,800
6	11,140	6975919	40,858	381030	39,305
7	13,370	57371	0,336	2112	0,218
8	14,410	441	0,003	55	0,006
9	14,935	249854	1,463	24697	2,548
Totals		17073402	100,000	969419	100,000

Amostra 4: 0,2% de enzima, 99,8% de leite. Hidrólise durante 60 minutos a uma temperatura de 37 °C.



Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,257	552114	3,600	34354	4,366
2	9,073	3260320	21,256	127016	16,143
3	9,695	564228	3,679	38557	4,900
4	10,453	5748903	37,481	317858	40,397
5	11,182	5173353	33,729	267566	34,005
6	13,390	38199	0,249	1388	0,176
7	14,477	938	0,006	97	0,012
Totals		15338055	100,000	786836	100,000

Amostra 5: 0,7% de enzima, 99,3% de leite. Hidrólise durante 60 minutos a uma temperatura de 37 °C.

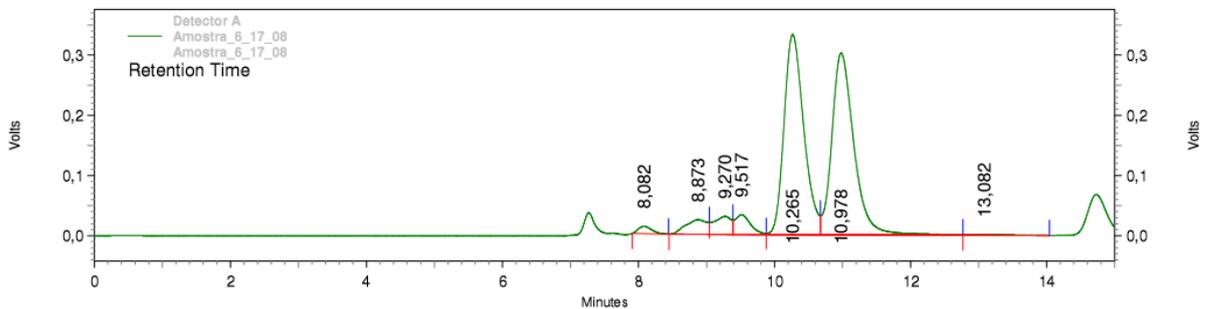


Detector A

Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,147	317941	1,910	21285	2,506
2	8,943	1076512	6,467	44391	5,227
3	9,347	527058	3,166	34788	4,096
4	9,582	552706	3,320	37659	4,434
5	10,335	6997279	42,036	362007	42,622
6	11,053	6804676	40,879	319666	37,637
7	13,203	46122	0,277	1450	0,171
8	14,827	323674	1,944	28097	3,308

Totals		16645968	100,000	849343	100,000
--------	--	----------	---------	--------	---------

Amostra 6: 1% de enzima, 99% de leite. Hidrólise durante 60 minutos a uma temperatura de 37 °C.

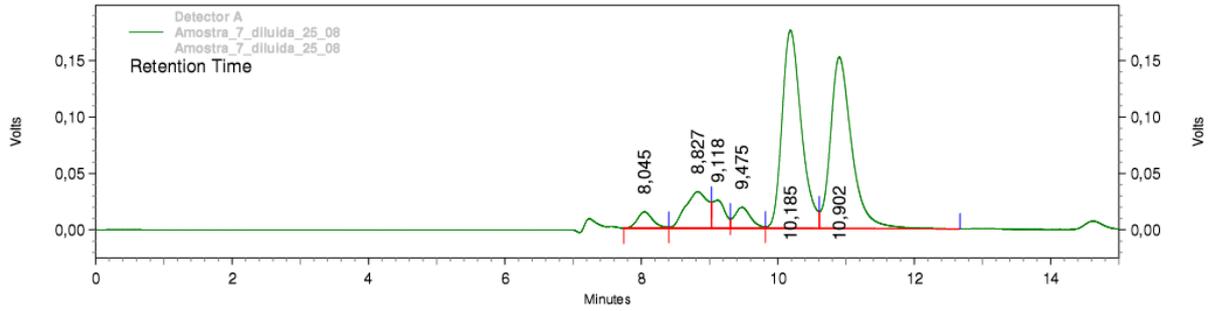


Detector A

Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,082	166484	1,091	12193	1,661
2	8,873	521441	3,417	23966	3,264
3	9,270	518337	3,397	29697	4,045
4	9,517	509066	3,336	32578	4,438
5	10,265	6701491	43,915	332416	45,279
6	10,978	6795925	44,534	301924	41,126
7	13,082	47256	0,310	1375	0,187

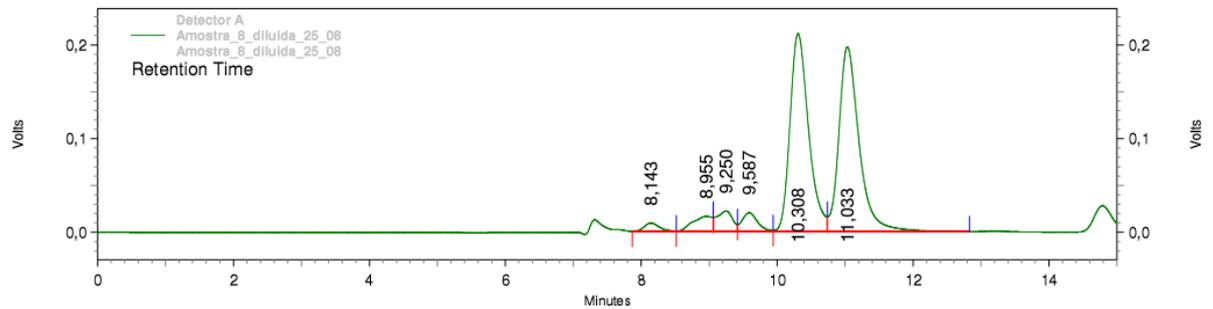
Totals		15260000	100,000	734149	100,000
--------	--	----------	---------	--------	---------

Amostra 7: 0,2% de enzima, 99,8% de leite. Hidrólise durante 90 minutos a uma temperatura de 37 °C.



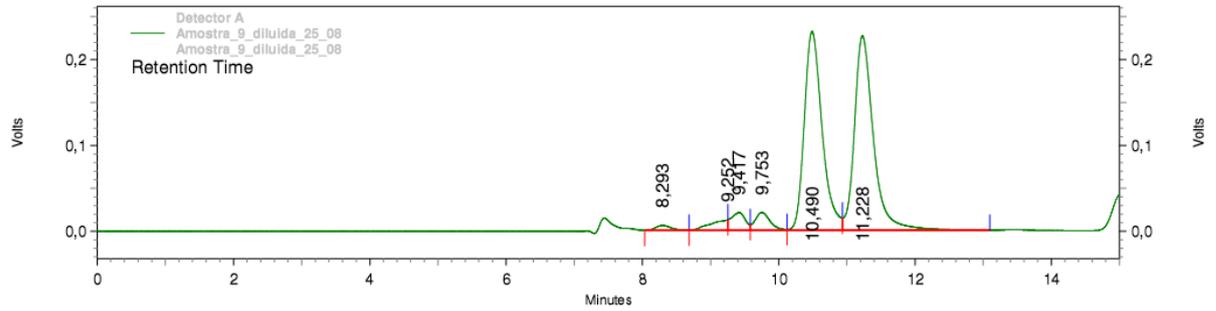
Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,045	230180	2,756	14531	3,473
2	8,827	739176	8,850	32456	7,756
3	9,118	319722	3,828	24989	5,972
4	9,475	308472	3,693	18782	4,489
5	10,185	3444626	41,243	175629	41,972
6	10,902	3309888	39,630	152054	36,338
Totals		8352064	100,000	418441	100,000

Amostra 8: 0,7% de enzima, 99,3% de leite. Hidrólise durante 90 minutos a uma temperatura de 37 °C.



Detector A					
Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,143	137208	1,490	8851	1,863
2	8,955	317158	3,444	16050	3,378
3	9,250	351143	3,814	21809	4,590
4	9,587	313391	3,404	20022	4,214
5	10,308	4004671	43,492	211277	44,467
6	11,033	4084205	44,356	197126	41,488
Totals		9207776	100,000	475135	100,000

Amostra 9: 1% de enzima, 99% de leite. Hidrólise durante 90 minutos a uma temperatura de 37 °C.

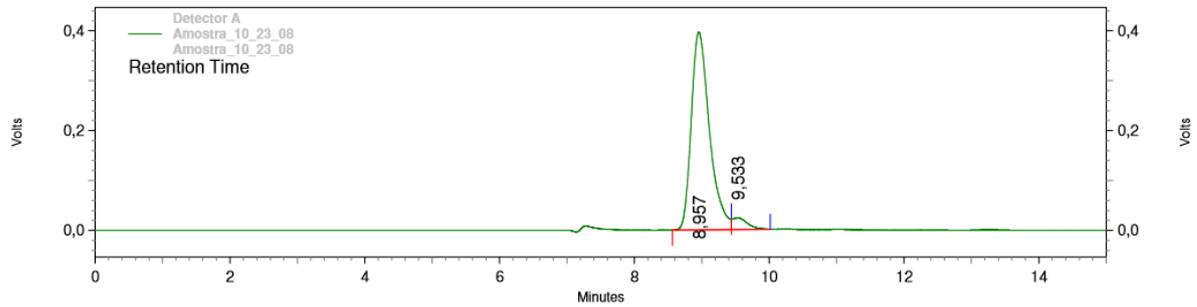


Detector A

Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,293	88863	0,934	5721	1,106
2	9,252	212898	2,239	12226	2,363
3	9,417	298739	3,142	20719	4,005
4	9,753	316509	3,328	20755	4,012
5	10,490	4203981	44,209	231521	44,748
6	11,228	4388268	46,147	226443	43,767

Totals		9509258	100,000	517385	100,000
--------	--	---------	---------	--------	---------

Amostra 10: 0% de enzima, 100% de leite.



Detector A

Pk #	Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
1	8,957	7425626	95,287	396096	94,400
2	9,533	367283	4,713	23496	5,600

Totals		7792909	100,000	419592	100,000
--------	--	---------	---------	--------	---------