

# CHIPS DE QUEIJO COALHO E DO REINO: MODELAGEM COMPUTACIONAL E ANÁLISE DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO EM FORNO ELÉTRICO

## CHEESE CHIPS COALHO AND DO REINO: COMPUTATIONAL MODELING AND ANALYSIS OF THE DEHYDRATION PROCESS IN NA ELETRIC OVEN

DOI:10.65747/conali2025v1c01

Thamires dos Anjos Lopes<sup>1</sup>; Jara Nicácio de Araújo Gomes<sup>2</sup>; Linderlanio de Almeida Araújo<sup>3</sup>; Gerla Castello Branco Chinelate<sup>4</sup>; Alberto Ainstein Pereira de Araújo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; <sup>2</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos – UFAPE; <sup>3</sup>Pós Doutorando do Depto de Engenharia de Alimentos – UFAPE;

<sup>4</sup>Docente do Depto de Engenharia de Alimentos – UFAPE; <sup>5</sup>Docente do Depto de Engenharia de Alimentos – UFAPE

Contato: thamiresanjos616@gmail.com

**Resumo:** O queijo é um alimento de relevância nutricional, cultural e econômica, sendo o coalho um dos mais tradicionais e consumidos no Nordeste brasileiro e o do reino um queijo fino de origem europeia, valorizado pelo sabor intenso e pelo potencial de mercado. A necessidade de ampliar a vida útil desses produtos e diversificar sua forma de consumo tem estimulado pesquisas com técnicas de secagem, capazes de gerar derivados práticos e inovadores, como os chips de queijo. Nesse contexto, este estudo investigou a produção de chips de queijo coalho e do reino submetidos à desidratação em forno elétrico, associando ensaios experimentais a simulações computacionais no software Energy2D, com o objetivo de compreender a cinética de secagem e os mecanismos de transferência de calor envolvidos. As análises físico-químicas realizadas em triplicata permitiram avaliar parâmetros como atividade de água, umidade e teor de gordura, enquanto a modelagem computacional possibilitou visualizar a propagação do calor no processo. Os resultados evidenciaram que o queijo coalho apresentou secagem mais intensa, resultando em menor teor de umidade (2,19%) e aumento relativo da fração lipídica (25,34%), o que lhe conferiu maior crocância e concentração de sabor. Já o queijo do reino apresentou menor atividade de água (0,578), favorecendo maior estabilidade microbiológica e vida útil prolongada, além de coloração e textura mais uniformes. Conclui-se, assim, que ambos os queijos possuem potencial para a produção de chips, com atributos distintos que os qualificam tanto para atender à demanda por crocância e sabor marcante quanto para garantir estabilidade e conservação, representando alternativas promissoras de inovação no setor de laticínios.

**Palavras-chave:** chips de queijo; cinética de secagem; modelagem computacional; queijo coalho; queijo do reino

**Abstract:** Cheese is a food of high nutritional, cultural, and economic relevance, with coalho cheese being one of the most traditional and widely consumed in Northeastern Brazil, while reino cheese, of European origin, is regarded as a fine variety, valued for its intense flavor and market potential. The need to extend the shelf life of these products and diversify their consumption formats has driven research into drying techniques capable of generating practical and innovative derivatives, such as cheese chips. In this context, the present study investigated the production of coalho and reino cheese chips subjected to dehydration in an electric oven, combining experimental trials with

computational simulations using the Energy2D software to analyze drying kinetics and heat transfer mechanisms. Physicochemical analyses performed in triplicate evaluated parameters such as water activity, moisture, and fat content, while computational modeling enabled visualization of heat propagation throughout the process. The results indicated that coalho cheese underwent more intense drying, with lower final moisture content (2.19%) and a relative increase in lipid fraction (25.34%), conferring greater crispness and flavor concentration. Conversely, reino cheese exhibited lower water activity (0.578), favoring microbiological stability and extended shelf life, in addition to more uniform texture and color after drying. These findings demonstrate that both cheeses have potential for chip production, each with distinct advantages: coalho for crispness and sensory intensity, and reino for stability and preservation, thus representing promising alternatives for innovation in the dairy sector.

**Keywords:** cheese chips; coalho cheese; drying kinetics; computational modeling; reino cheese

## INTRODUÇÃO

O queijo é um dos derivados lácteos mais antigos e consumidos do mundo, com grande importância nutricional, econômica e cultural (1). No Brasil, destaca-se o queijo Coalho, especialmente na região Nordeste, onde é produzido artesanal e industrialmente, sendo valorizado por sua versatilidade gastronômica e sabor marcante. Queijos finos, como o tipo Reino também estão ganhando reconhecimento e se consolidando como uma das variedades mais apreciadas, devido ao seu sabor único e potencial para ser inserido no mercado internacional (2).

O queijo do Reino, originado na Holanda, tradicionalmente caracterizado por sua textura firme e casca fina, apresenta uma coloração externa vermelha ou rósea, e uma tonalidade interna alaranjada e com pequenas olhaduras. Seu sabor picante e aroma acentuado são características marcantes, assim como a embalagem geralmente sendo latas herméticas (2).

Apesar de sua ampla aceitação, a conservação do queijo Coalho ainda representa um desafio, tornando necessárias tecnologias que aumentem sua vida útil sem comprometer suas características sensoriais, bem como os queijos finos necessitem de tecnologias que ampliem sua forma de apresentação ao mercado, diversificando o consumo desses produtos, tradicionalmente associados a tábuas de frios e preparações sofisticadas, e transformando-os em produtos inovadores, práticos e de maior durabilidade, sem perder o caráter de produtos nobres (3).

Entre as alternativas disponíveis, a secagem se apresenta como uma das técnicas mais antigas e eficazes de preservação de alimentos. Ao reduzir a atividade de água, ela inibe o crescimento microbológico, facilita o armazenamento e transporte, e possibilita a criação de novos produtos, como os chips de queijo, que atendem à crescente demanda por alimentos práticos e prontos para consumo (4).

A eficiência do processo de secagem depende diretamente do método de aquecimento utilizado. O método de secagem por forno elétrico atua por mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) afetando diretamente a textura, cor, aroma e composição nutricional do alimento. Dessa forma, o controle adequado das variáveis de processo são fundamentais para garantir um produto final de qualidade (5).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar o processo de secagem do queijo coalho e do reino na forma de chips, analisando-os nas condições de calor do forno elétrico e modelando matematicamente a cinética do processo. Para isso, além dos ensaios experimentais, empregou-se a modelagem computacional por meio do software Energy2D (2012), com o intuito de analisar o comportamento da transferência de calor no forno elétrico. A integração entre experimentação e simulação visa compreender e otimizar o processo, contribuindo para o desenvolvimento de um produto inovador, com maior valor agregado e qualidade sensorial aprimorada.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A presente pesquisa foi dividida em dois processos metodológicos distintos: computacional e experimental. O processo computacional envolveu a utilização do software Energy 2D a fim de realizar a simulação do processo de secagem dos queijos coalho e do reino no forno elétrico, realizando-se uma análise detalhada dos mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação). O processo experimental inclui experimentos com secagem dos queijos no forno elétrico. Esta abordagem integrada visa fornecer uma compreensão abrangente do comportamento térmico durante a secagem, em ambiente computacional e em condições experimentais reais.

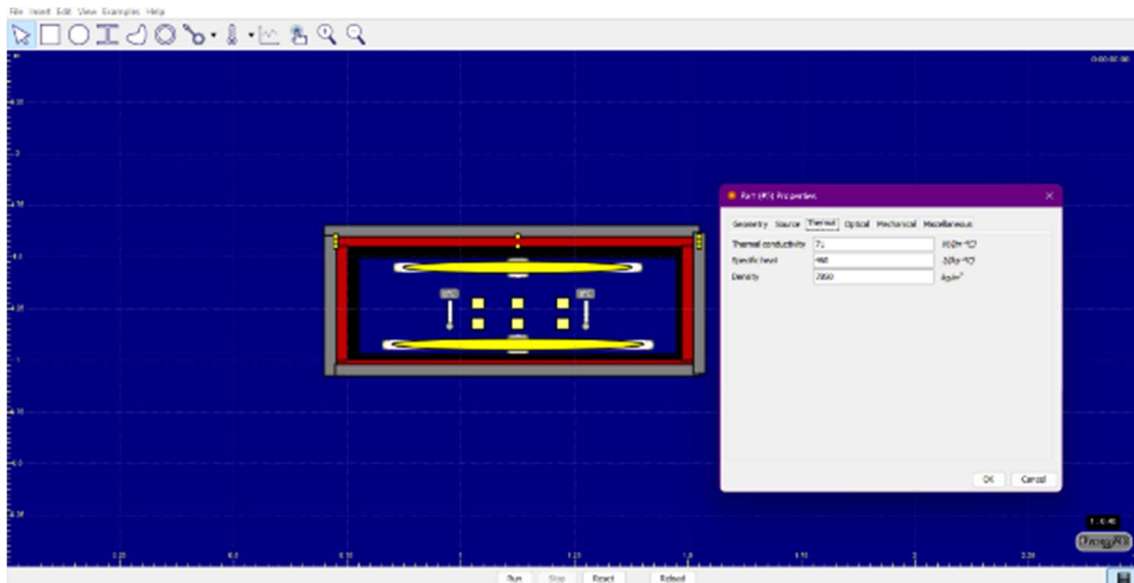
### **MÉTODO COMPUTACIONAL**

A simulação da transferência de calor no processo de secagem foi realizada com o aplicativo Energy 2D o qual modela de forma interativa os três modos de transferência de calor — condução, convecção e radiação.

Essa ferramenta de modelagem computacional foi escolhida devido sua capacidade de integrar esses três mecanismos de forma eficiente e visual, possibilitando uma análise detalhada das condições térmicas do forno durante a secagem dos queijos coalho, do reino e provolone, além de ser uma abordagem gratuita, o que representa uma importante vantagem, especialmente em projetos acadêmicos com recursos limitados.

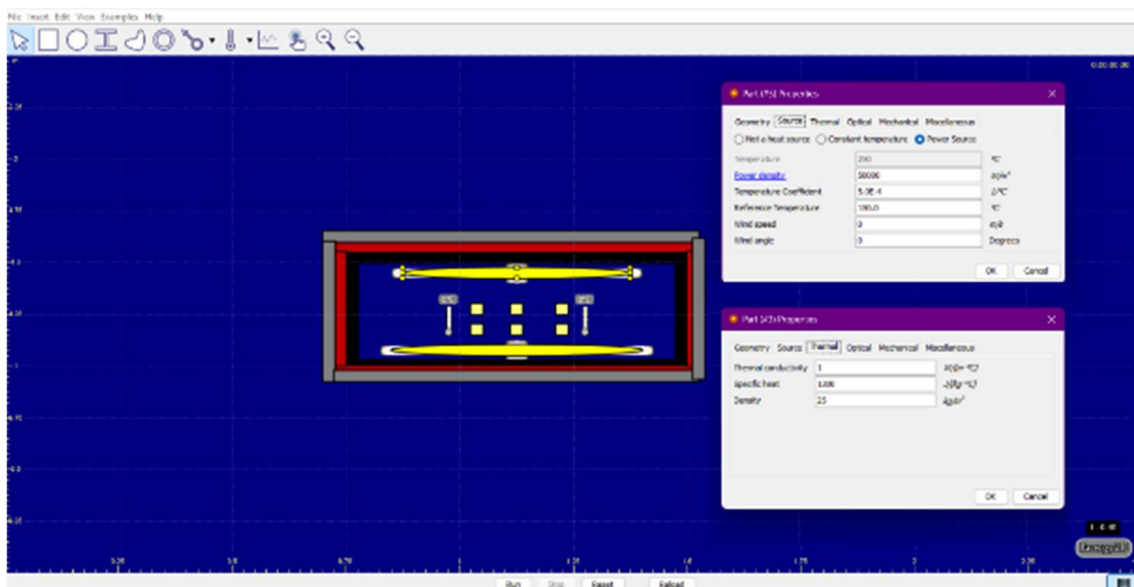
Para a montagem das simulações do forno elétrico, é inicialmente adicionado as paredes dos fornos, em seguida suas fontes de calor e demais elementos, e por fim as fatias de queijo em seu centro, juntamente com seus respectivos parâmetros como condutividade térmica, calor específico, densidade, coeficiente de temperatura e temperatura de referência, como apresentados nas Figuras 1, 2 e 3.

Figura 1: Determinação dos parâmetros das paredes do forno elétrico.



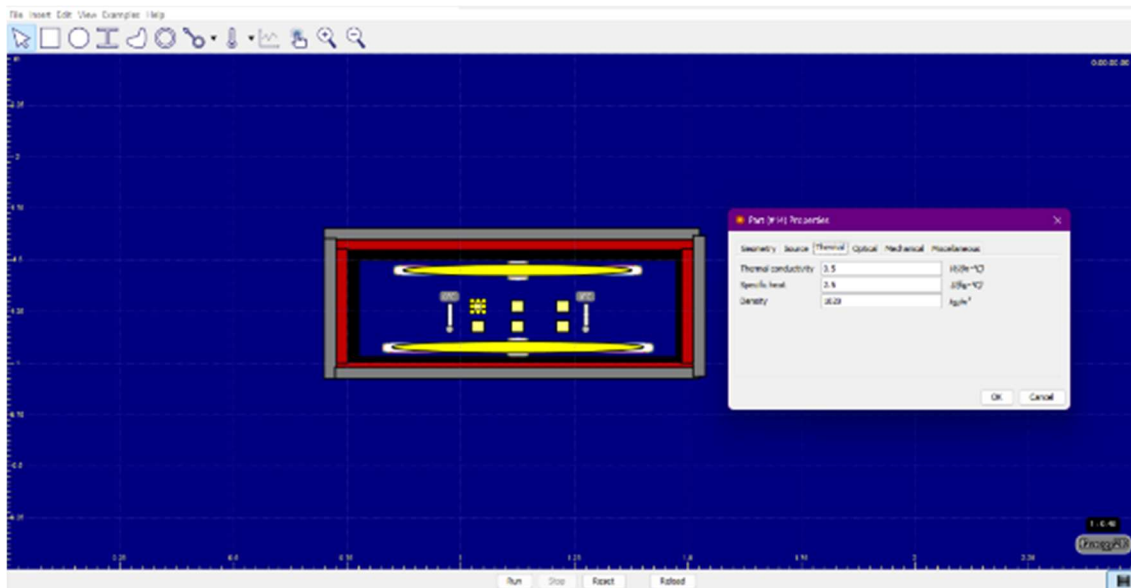
Fonte: Autora, 2025.

Figura 2: Determinação dos parâmetros das resistências do forno elétrico.



Fonte: Autora, 2025.

Figura 3: Determinação dos parâmetros dos queijos dentro do forno elétrico.



Fonte: Autora, 2025.

Onde, as paredes do forno elétrico são feitas de aço, e apresentam condutividade térmica de  $\sim 71 \text{ W}/(\text{m}\times^\circ\text{C})$ , calor específico de  $\sim 460 \text{ J}/(\text{kg}\times^\circ\text{C})$  e densidade de  $\sim 7850 \text{ kg}/\text{m}^3$ . A fonte de calor adicionada - resistência elétrica - tem densidade de potência de  $\sim 50.000 \text{ W}/\text{m}^3$ , coeficiente de temperatura de  $\sim 5,0 \times 10^{-4} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ , temperatura de referência de  $250^\circ\text{C}$ , condutividade térmica de  $\sim 1 \text{ W}/(\text{m}\times^\circ\text{C})$  calor específico de  $\sim 1300 \text{ J}/(\text{kg}\times^\circ\text{C})$  e densidade de  $\sim 25 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Os queijos, adicionados ao final, tem como valores de condutividade térmica de  $\sim 0,5 \text{ W}/(\text{m}\times^\circ\text{C})$ , calor específico de  $\sim 2,5 \text{ J}/(\text{kg}\times^\circ\text{C})$  e densidade de  $\sim 1020 \text{ kg}/\text{m}^3$ , para o queijo coalho; e por fim, condutividade térmica:  $\sim 0,40 \text{ W}/(\text{m}\times^\circ\text{C})$ , calor específico:  $\sim 2.600 \text{ J}/(\text{kg}\times^\circ\text{C})$  e densidade:  $\sim 1.010 \text{ kg}/\text{m}^3$ , para queijo do reino.

## MÉTODO EXPERIMENTAL

Os insumos utilizados para a realização das atividades foram adquiridos no comércio local de Garanhuns – PE, sendo os queijos coalho, do reino e provolone os ingredientes principais para a produção dos chips.

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios Multiusuários de Ciência e Tecnologia de Alimentos – LACTAL, da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), em Garanhuns/PE. Inicialmente, os queijos foram fatiados com auxílio de um fatiador com espessuras de 3mm, e uma forma quadrada,  $3\text{cm}^2$  de diâmetro, exclusivamente para o queijo coalho, para análise visual das temperaturas ideais, análise de perda de massa, cinética de secagem e demais análises físico-químicas.

Para que fosse feita a determinação da cinética de secagem, realizou-se o planejamento experimental, onde as fatias de queijo foram distribuídas em bandejas e submetidas à secagem no forno elétrico. Cada tratamento foi realizado em triplicata, sendo representado na Tabela 1.

Tabela 1: Planejamento experimental dos queijos no forno elétrico.

Tratamento	QUEIJO COALHO		QUEIJO DO REINO	
	Temp. °C	Temp o (min.)	Temp. °C	Temp o (min.)
T1	200	4	200	4
T2	250	8	250	4
T3	250	4	250	8
T4	200	8	200	8
T5	225	6	225	6
T6	225	6	225	6
T7	225	6	255	6

Fonte: Autora, 2025.

## AVALIAÇÃO DA QUALIDADE VISUAL

A seleção dos melhores tratamentos encontrados no planejamento experimental foi feita por meio de avaliação visual. A aparência dos chips foi avaliada com um índice de qualidade com valores entre 1 (maior qualidade) e 5 (menor qualidade), como apresenta a Tabela 2, sendo realizada por 6 observadores, servindo como uma referência nos testes experimentais. Este tipo de avaliação também foi utilizado em diferentes estudos de secagem de frutas por micro-ondas (6, 7, 8). Embora não seja preciso como um estudo de análise sensorial, traz a informação da impressão visual que o operador tem de sua amostra fresca.

Tabela 2: Índices de avaliação de qualidade visual.

ÍNDICE	QUALIDADE	DESCRIÇÃO
1	Excelente	Muito boa aparência geral, secagem e cor uniformes
2	Boa	Boa aparência, secagem menos uniforme, cor uniforme
3	Satisfatória	Aparência satisfatória, algumas amostras estão sobre ou sub secas, escurecimento torna-se visível
4	Pobre	Aparência pobre, várias amostras estão sobre ou sub secas, mais intenso escurecimento de algumas amostras
5	Sem condições de uso	Aparência ruim, várias amostras estão sobre ou sub secas, excessivo escurecimento das amostras

Fonte: Autora, 2025.

## **CINÉTICA DE SECAGEM**

Após os testes, foram determinadas as melhores temperaturas e tempos do forno e com isso, realizada a cinética de secagem, também em triplicata, seguindo esses parâmetros. A partir disso também foi possível determinar o tipo de queijo que teve a secagem para produção de chips mais eficiente no forno elétrico.

## **ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

Após os experimentos, e com os melhores chips devidamente secos, foram realizadas análises físico-químicas a fim de determinar a atividade de água ( $A_w$ ), umidade e gordura dos mesmos, bem como dos queijos *in natura* para comparação. Todas as análises foram realizadas em triplicata, utilizando os métodos do Instituto Adolf Lutz (9).

Para a análise de gordura com o método de butirômetro, foram utilizados 3g de cada chips e queijos *in natura macerados*, aos quais foram adicionados ácido sulfúrico concentrado para destruir as proteínas e liberar a gordura, seguida da adição de álcool para facilitar a separação da fase gordurosa. Em seguida colocado em um butirômetro, centrifugado e posto em banho-maria para melhor visualização da porcentagem de gordura presente.

Para a atividade de água ( $A_w$ ) foram macerados algumas gramas dos chips e dos queijos *in natura*, uma quantidade suficiente para cobrir o fundo do recipiente utilizado no equipamento Aqualab.

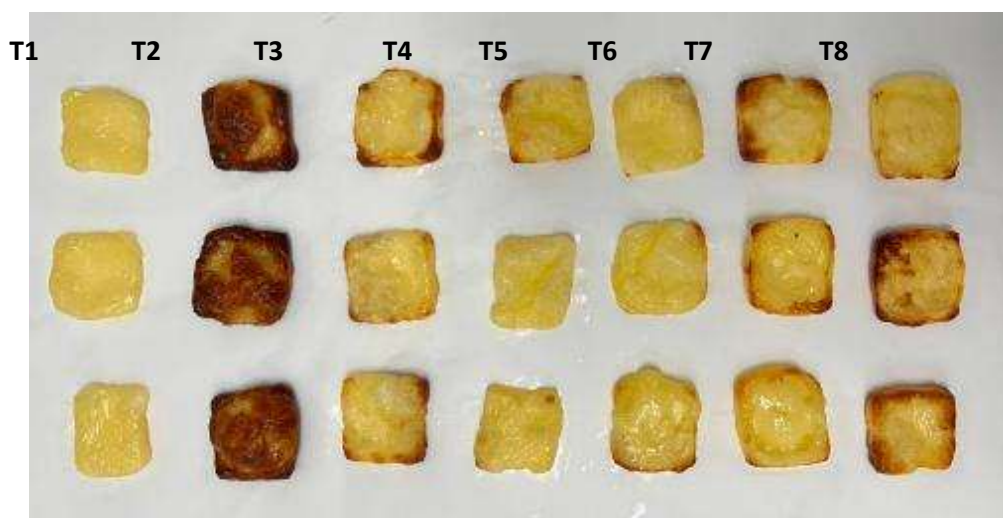
Finalmente, para análise de umidade, foi utilizado a estufa a 105°C, onde foram secos e pesados os cadinhos a serem utilizados, em seguida adicionados a eles 2g de cada chips e também dos queijos *in natura*, os quais foram postos novamente na estufa e após 24h retirados e novamente pesados.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL**

O planejamento experimental foi realizado para que fossem determinados os melhores tempo x temperatura de cada queijo na secagem em forno elétrico. Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 4 e 5.

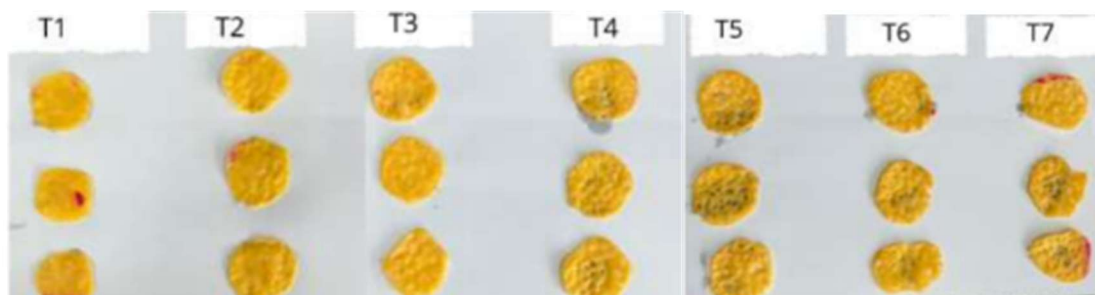
Figura 4: Planejamento experimental do queijo coalho após a secagem no forno elétrico.



Fonte: Autora, 2025.

Notou-se que no forno elétrico o tratamento T2 (250°C por 8 min de secagem) foi o melhor visivelmente, por apresentar maior crocância dentre os demais, apesar de não se apresentar uniforme nem seco totalmente, contendo uma média de  $A_w = 0,65$ , bem como umidade de 2,1969% e gordura de 25,34%.

Figura 5: Planejamento experimental do queijo do reino após a secagem no forno elétrico.



Fonte: Autora, 2025.

Nota-se que o tratamento que mais se destacou foi o T3 (250°C por 8 min de secagem), proporcionando um equilíbrio entre crocância e coloração, com formação superficial adequada e sem sinais de degradação ou escurecimento acentuado, contendo uma média de  $A_w = 0,578$ , bem como umidade de 5,934% e gordura de 39,0%.

Para confirmação, houve a avaliação visual das características dos chips desenvolvidos considerando os padrões sensoriais dos consumidos, presentes na Tabela 3.

Tabela 3: Média aritmética da análise visual de qualidade dos chips de queijo coalho e do reino submetidos a secagem em forno elétrico.

QUALIDADE		
QUEIJO	Coalho	Do Reino
<b>TRATAMENTO</b>	T2	T3
<b>NOTA</b>	2,6	2,4

Fonte: Autora, 2025.

Os resultados das análises físico-químicas citados acima são melhores visualizados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultado médio das análises físico-químicas realizadas em triplicata em cada queijo.

TRATAMENTO	AW	UMIDADE	GORDURA
Coalho <i>In natura</i>	0,94	41,1333%	16,66%
Chips de queijo Coalho (T2)	0,65	2,1969%	25,34%
Do Reino <i>In natura</i>	0,881	39,653%	35,33%
Chips de queijo do Reino (T3)	0,578	5,934%	35,0%

Fonte: Autora, 2025.

A atividade de água mais baixa foi observada nos chips de queijo do reino ( $A_w=0,578$ ), indicando maior eficiência na remoção de água e, conseqüentemente, maior estabilidade microbiológica e maior *shelf life*. Entretanto, o queijo coalho não deixou a desejar, tendo, ainda que menor, uma boa remoção de água através da secagem. Valores de  $A_w$  inferiores a 0,6 são essenciais para a estabilidade de alimentos desidratados, pois dificultam o crescimento de microorganismos (10). Em estudo sobre maturação de queijo do reino, observou-se valores de  $A_w$  entre 0,55 e 0,65, e associou os valores mais baixos a melhor aceitação sensorial, maior firmeza e estabilidade (2).

Já em relação a umidade, a diferença chega a ser um pouco mais destacada, tendo o queijo coalho a menor umidade apresentada após a secagem (2,1969%), visto que possui maior teor de umidade e estrutura menos densa, facilitando a difusão e a evaporação da água durante a secagem. Queijos de alta umidade, como o coalho, apresentam maior susceptibilidade à desidratação em comparação a queijos semiduros, como o do reino (11). Em concordância, é verificado que processos de secagem em queijos frescos resultam em perdas de umidade mais acentuadas, justamente pela maior quantidade de água livre presente na estrutura, corroborando os resultados observados neste estudo (12).

Por fim, os chips que apresentou maior aumento de teor de gordura foi o queijo do coalho (25,34%), sugerindo uma menor perda lipídica durante a secagem. Esse resultado pode estar relacionado à distribuição homogênea de calor nesse tipo de equipamento, o que reduz a degradação oxidativa dos lipídios. Resultados semelhantes foram observados em estudos que

reportaram aumento do teor de gordura aparente em queijos submetidos à desidratação, atribuídos à redução da umidade e consequente concentração de sólidos (13). Além disso, a retenção de lipídios em queijos submetidos a secagem controlada é fator determinante para manutenção do sabor e da textura característica, o que reforça a importância desses achados (14).

Sendo assim, no forno elétrico, o queijo coalho apresentou maior intensidade de secagem, evidenciada por sua menor umidade final (2,1969%) e pelo aumento relativo do teor de gordura (25,34%), não significando que há mais gordura absoluta, mas sim que a proporção de gordura em relação à massa total aumentou devido a secagem mais intensa, o que indica concentração de sólidos e maior crocância. Já o queijo do reino, apesar de manter umidade superior (5,934%), destacou-se pela menor atividade de água ( $A_w = 0,578$ ), parâmetro fundamental para a estabilidade microbiológica, além de apresentar melhor uniformidade na textura e coloração após a secagem. Esses resultados demonstram que ambos os queijos possuem potencial para a produção de chips, mas por diferentes razões: o coalho, pela secagem mais intensa e perfil mais crocante, e o do reino, pela estabilidade e equilíbrio sensorial. Assim, a escolha entre um ou outro dependerá do objetivo do processo, seja maximizar a crocância e concentração de sabor, ou priorizar maior estabilidade de conservação.

## CINÉTICA DE SECAGEM

A cinética de secagem foi realizada utilizando os melhores tempo e temperatura encontrada para produção dos chips de cada queijo no forno elétrico, sendo eles o queijo coalho e o queijo do reino, ambos na temperatura de 250°C por 8 minutos.

Foi então realizado a cinética de secagem, de cada queijo, em triplicata, baseada nos parâmetros definidos, onde se observa a perda de massa a cada minuto. Cada triplicata foi sendo inserida nos fornos e retiradas conforme os tempos indicados, então por exemplo, as primeiras triplicatas foram inseridas e retiradas após 1 minuto, as próximas inseridas e retiradas após 2 minutos e assim consecutivamente. Os tempos e temperaturas utilizados para as cinéticas são mostradas nas Tabelas 5 e 7. A partir disso, foram determinados os pesos inicial e final de cada amostra bem como suas médias, para enfim plotar a curva de secagem de cada método.

Tabela 5: Tempo e Temperatura do forno elétrico para realização de cinética de secagem do queijo coalho.

QUEIJO COALHO		
Tratamento	Temp. °C	Tempo (min.)
Qe1	250	1'
Qe2	250	2'
Qe3	250	3'
Qe4	250	4'
Qe5	250	5'
Qe6	250	6'
Qe7	250	7'
Qe8	250	8'

Fonte: Autora, 2025.

Neste caso, as amostras demonstraram uma gradual perda de peso, resultante da perda de umidade presente no queijo como mostra a Tabela 6. Nos primeiros minutos os queijos apenas derretem, porém a partir do 4º minuto, há o início da formação de crostas na parte de baixo dos queijos e com o aumento do tempo, essa crosta toma o queijo por inteiro, apesar de no último minuto ainda não haver uniformidade.

A seguir, são apresentados os valores médios e o desvio padrão do peso das amostras de queijo coalho, em triplicata, antes e depois da secagem em forno elétrico. Para o queijo do Reino, as condições trabalhadas se deram de acordo com a tabela 7:

Tabela 6: médias e desvio padrão das amostras de queijo coalho analisadas em forno elétrico, em triplicata.

<b>TEMPO</b>	<b>MÉDIA DO PESO INICIAL (ANTES DA SECAGEM)</b>	<b>MÉDIA DA PERDA DE MASSA (APÓS A SECAGEM)</b>
Qe1 (1 min.)	2,99±0,12	2,75±0,13
Qe2 (2 min.)	3,18±0,43	2,72±0,42
Qe3 (3 min.)	2,93±0,34	2,40±0,32
Qe4 (4 min.)	2,81±0,29	1,99±0,26
Qe5 (5 min.)	2,91±0,30	1,97±0,33
Qe6 (6 min.)	2,56±0,37	1,50±0,29
Qe7 (7 min.)	2,76±0,22	1,48±0,14
Qe8 (8 min.)	2,96±0,04	1,61±0,01

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 7: Tempo e Temperatura do forno elétrico para realização de cinética de secagem do queijo do reino.

<b>QUEIJO DO REINO</b>		
<b>Tratamento</b>	<b>Potencia (%)</b>	<b>Tempo (min.)</b>
Qr1	250	1'
Qr2	250	2'
Qr3	250	3'
Qr4	250	4'
Qr5	250	5'
Qr6	250	6'
Qr7	250	7'
Qr8	250	8'

Fonte: Autora, 2025.

Observa-se que até os 3 minutos, o queijo do reino permanece praticamente in natura, e a partir deste momento, inicia-se a secagem do mesmo, chegando, no último minuto a um chips uniforme, crocante e de coloração agradável.

Abaixo, na Tabela 8, estão dispostas as médias dos pesos antes e após a secagem dos chips de queijo do reino no método do forno elétrico.

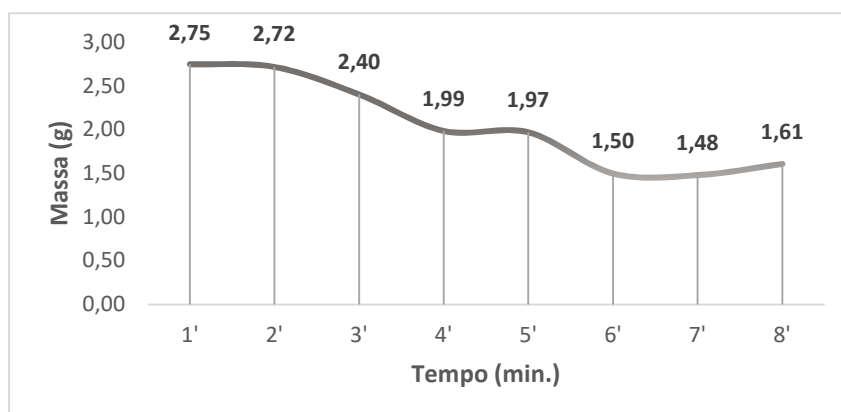
Tabela 8: médias e desvio padrão das amostras de queijo do reino analisadas em forno elétrico, em triplicata.

TEMPO	MÉDIA DO PESO INICIAL (ANTES DA SECAGEM)	MÉDIA DA PERDA DE MASSA (APÓS A SECAGEM)
Qr1 (1 min.)	3,083±0,012	2,003±0,032
Qr2 (2 min.)	3,091±0,004	1,988±0,149
Qr3 (3 min.)	3,083±0,006	2,037±0,296
Qr4 (4 min.)	3,090±0,003	2,506±0,103
Qr5 (5 min.)	3,089±0,006	2,756±0,107
Qr6 (6 min.)	3,085±0,007	2,907±0,052
Qr7 (7 min.)	3,061±0,004	2,889±0,100
Qr8 (8 min.)	3,055±0,008	2,983±0,021

Fonte: Autora, 2025.

Com base nos resultados de perda de massa durante a secagem no forno elétrico, apresentados nas Tabelas 4 e 6 do queijo coalho e queijo do reino respectivamente, as Figuras 6 e 7 demonstram essa variação de peso das amostras ao longo do tempo.

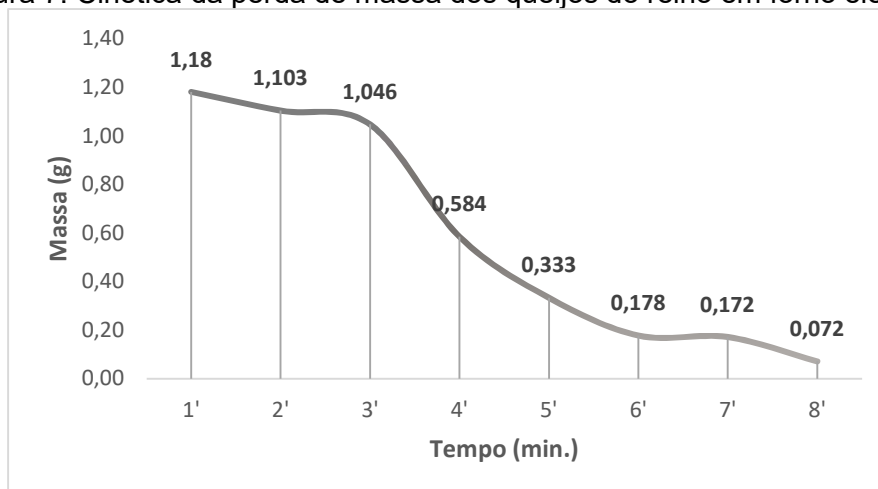
Figura 6: Cinética da perda de massa dos queijos coalho em forno elétrico.



Fonte: Autora, 2025.

Como esperado, há visivelmente uma redução da massa ao decorrer de cada minuto de secagem onde o queijo coalho se inicia com 2,75g e finaliza a secagem com 1,61g.

Figura 7: Cinética da perda de massa dos queijos do reino em forno elétrico.



Fonte: Autora, 2025.

Assim como no queijo coalho, nota-se um gradual declínio de massa já esperada, a qual se inicia com 1,18g e após a secagem completa, finaliza com 0,072g de queijo. Esse perfil indica uma eficiente remoção inicial da umidade superficial, com posterior liberação mais lenta da umidade interna, refletindo um processo de secagem equilibrado e controlado.

A cinética de secagem de ambos os queijos apresentou do início do processo, nos primeiros minutos, até o fim, um aumento gradual de perda de massa esperada, como também, pequenas oscilações. Possíveis explicações para essas variações são a absorção de umidade do ambiente, já que os queijos eram colocados no forno apenas quando os outros eram retirados ou pequenas variações na pesagem.

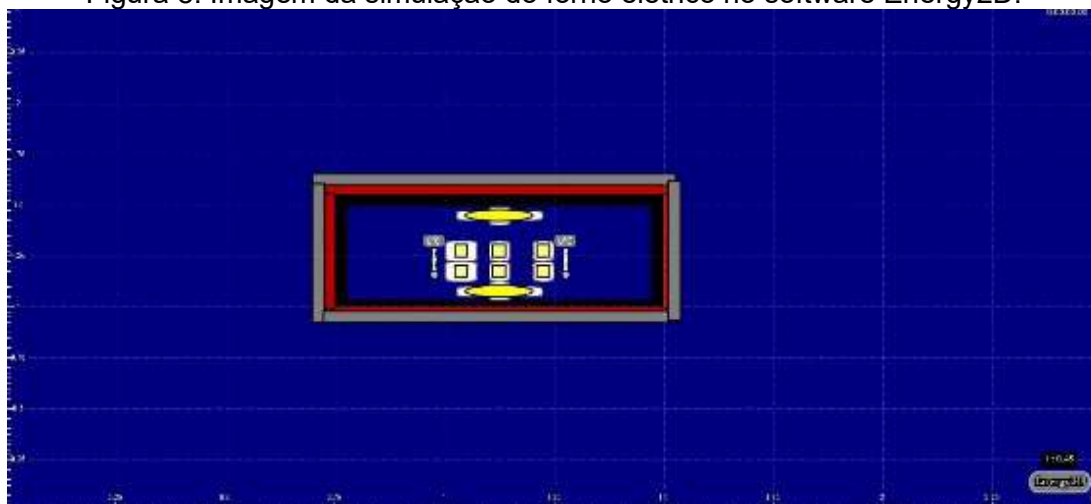
Para que haja uma melhor compreensão do processo, a aplicação de modelos matemáticos pode ajudar a descrever a cinética de secagem e prever o comportamento do produto ao longo do tempo.

## SIMULAÇÃO DO ENERGY 2D

Partindo para a simulação de fato, os elementos quadrados amarelos representam as fatias de queijo distribuídas dentro dos fornos.

No forno elétrico as áreas amarelas comprimidas na parte superior e inferior correspondem às resistências que irão gerar calor. O fundo azul indica a ausência de transferência térmica significativa nesse instante. O primeiro momento é demonstrado na Figura 8.

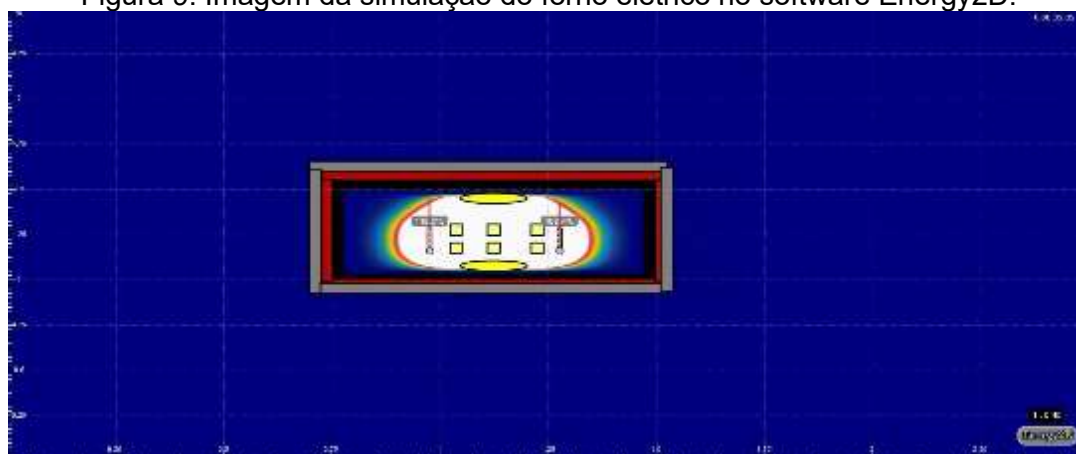
Figura 8: Imagem da simulação do forno elétrico no software Energy2D.



Fonte: Autora, 2025.

Em primeiro momento, a temperatura do sistema ainda está em  $0^{\circ}\text{C}$ , indicando que o aquecimento do queijo e do ambiente do forno ainda não iniciou. Com o aquecimento inicial do forno, representado na Figura 9, inicia-se a propagação do calor dentro do forno.

Figura 9: Imagem da simulação do forno elétrico no software Energy2D.



Fonte: Autora, 2025.

A propagação do calor pode ser visualizada pelas zonas coloridas ao redor do queijo, com gradientes térmicos indicados por contornos concêntricos. Nota-se que o calor se distribui a partir das resistências laterais, aquecendo primeiro as superfícies externas do queijo, enquanto seu núcleo ainda mantém temperaturas relativamente mais baixas. Na simulação, é possível observar a propagação do calor no interior do queijo, com regiões de maior temperatura concentradas na superfície e uma distribuição gradativa para o centro do produto.

## CONCLUSÕES

Com isso, o presente estudo permitiu compreender, de forma integrada, o comportamento do queijo coalho e do queijo do reino durante o processo de secagem em forno elétrico,

evidenciando como suas características físico-químicas influenciam diretamente nos resultados finais. Observou-se que o queijo coalho apresentou maior intensidade de secagem, resultando em menor teor de umidade e aumento relativo da fração lipídica, aspectos que conferem maior crocância e concentração de sabor. Por outro lado, o queijo do reino destacou-se pela menor atividade de água, indicando maior estabilidade microbiológica e *shelf life*, além de apresentar um aspecto visual de coloração mais homogêneo após a secagem. Esses achados demonstram que ambos os queijos possuem potencial para elaboração de chips, cada um com vantagens específicas que podem atender a diferentes demandas do consumidor: o coalho, voltado para quem busca crocância e sabor marcante, e o do reino, ideal para aqueles que priorizam estabilidade e equilíbrio sensorial.

A modelagem computacional com o software Energy2D permitiu compreender a distribuição térmica no forno elétrico, confirmando que a intensidade e a uniformidade do aquecimento variam conforme o mecanismo de transferência de calor predominante, influenciando a cinética de secagem. A integração entre experimentação e simulação contribuiu para a compreensão detalhada do processo, possibilitando a otimização de parâmetros operacionais e contribuindo para o desenvolvimento de produtos lácteos desidratados com maior valor agregado e vida útil estendida. Assim, este trabalho contribui não apenas para o entendimento da transferência de calor aplicada a queijos, mas também para o desenvolvimento de alternativas inovadoras na diversificação de produtos lácteos, valorizando tradições regionais e ampliando as possibilidades de mercado.

## REFERÊNCIAS

1. VIANA, C. W. R.; DOS SANTOS, C. C. L. **Impactos econômicos e ambientais dos acidentes de trabalho**. Química Industrial em Ação, p. 62. 2023.
2. TAVEIRA, L. B. **Aspectos físico-químicos e sensoriais do queijo reino maturado sob diferentes condições**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG.
3. SILVA, M. R. et al. **Possíveis riscos microbiológicos do consumo de queijos artesanais feitos de leite cru**. 2024.
4. VIEIRA, L. de A. et al. **Avaliação da condição microbiológica e da desidratação de queijos prato por secagem através do método de caixas plásticas empilháveis**. 2022.
5. FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais**. 2001. 6ª - LTC, Rio de Janeiro, 2001.
6. CORRÊA, J. L. G. et al. **Analysis of osmotic dehydration variables influences on tomato (*Lycopersicon esculentum*) drying**. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, Curitiba, v. 25, n. 2, p. 315-328, jul./dez. 2007.
7. NORDIN, M. F. M. et al. **Combined microwave and vacuum drying of red pitaya slices**. In: ASIA-PACIFIC DRYING CONFERENCE, 6., 2009, Bangkok. Proceedings... Bangkok: ADC, 2009. 1 CD-ROM.
8. TULASIDAS, T. N. et al. **Dielectric properties of grapes and sugar solutions at 2.45 GHz**. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, Mechanicsville, v. 30, n. 2, p. 117-123, 1995.
9. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

10. SILVA, A. et al. **Tecnologia de alimentos: secagem e conservação**. Revista Brasileira de Alimentos, v. 29, n. 1, p. 45–59, 2023.
11. ALMEIDA, R. A. et al. **Efeito da secagem sobre a composição físico-química e sensorial de queijos de alta umidade**. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v. 75, n. 3, p. 215-224, 2020.
12. COSTA, M. F. et al. **Cinética de secagem e alterações físico-químicas em queijos frescos submetidos a diferentes métodos de desidratação**. *Food Science and Technology*, v. 42, e86321, 2022.
13. VIEIRA, L. R. et al. **Retenção de lipídios e estabilidade sensorial em queijos submetidos a desidratação**. *Dairy Science and Technology*, v. 103, p. 451-463, 2023.
14. OLIVEIRA, J. S. et al. **Alterações no teor de gordura e propriedades físico-químicas de queijos submetidos a secagem controlada**. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 24, e2020134, 2021.