



Utilização de um sistema de refrigeração com campo eletromagnético

Palavras chave: congelamento, microondas, cristais de gelo

Orientador: Vivaldo Silveira Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Douglas Fernandes Balbin

Aluno: Daniel de Araujo Rodrigues

1 Resumo das atividades

1.1 Congelamento

O objetivo do projeto é realizar um levantamento estatístico da influência da aplicação simultânea de microondas em diferentes duração e intervalos de tempos no processo de congelamento lento. Dentre os experimentos estavam os experimentos controle, sem emissão, que servem como base comparativa; e os experimentos com emissão de microondas. A partir de diferentes configurações de emissão objetiva identificar os parâmetros mais relevantes. Sendo assim, foram realizados 9 experimentos controle e 30 experimentos com emissão de microondas, com a diferença de massa e volume das amostras após o descongelamento foram feitas análises e discussões para refinar o intervalo de emissão de microondas. Após os 39 experimentos, os parâmetros foram refinados e foi feito um planejamento experimental com 11 ensaios, variando o tempo de duração e o intervalo de emissão.

1.2 Descongelamento

O próprio descongelamento não danifica a estrutura do alimento, pois a textura que é alterada pelo gelo formado no congelamento, que após sua fusão, pode ocorrer sua exsudação e o produto torna-se poroso. O processo de descongelamento foi padronizado, devido às variações de temperatura e umidade locais, que prejudicaram a precisão dos experimentos. Dessa forma, realizou um planejamento experimental de congelamentos para um sistema de descongelamento, em que as batatas eram descongeladas em 2 horas.

2 Pesquisa científica

O tamanho dos cristais de gelo são diretamente proporcionais ao tempo de formação, um tempo prolongado na formação dos cristais de gelo favorece a remoção de água intracelular, a qual confere mais volume para os cristais em formação, além disso eles são pontiagudos e muitas vezes perfuram as estruturas do alimento, capazes de romper sua parede celular, liberando compostos que desencadeiam reações indesejáveis. (HALÁSZ et al., 1980).

Tendo em vista os problemas oriundos do congelamento lento, alguns estudos já foram realizados acerca da técnica de emissão de campos magnéticos, como por exemplo o equipamento bobinas helmholtz de campo estático que visa melhorar a qualidade do melão cortado (JIA et al., 2015). A ação

do campo magnético no processo de congelamento pode estar relacionada às características da água como capacidade calorífica, calor latente e condutividade térmica, como também reportado em outros estudos (JAMES, C.; REITZ).

Este projeto utiliza a emissão de microondas gerada por um magnetron, as quais teoricamente exercem influência na formação dos cristais de gelo, ao agitá-los com as microondas pode-se retardar a formação e diminuir o tamanho dos cristais de gelo, mas o magnetron não pode ser acionado por muitos segundos, pois agitaria muito as moléculas de água e aqueceria o alimento.

3 Experimentos

3.1 Montagem experimental

Os experimentos foram feitos em triplicata e são usadas 3 amostras por experimento. Os primeiros experimentos foram realizados com cenoura, a qual não foi uma boa escolha por apresentar uma estrutura muito heterogênea, contém um miolo rígido, a perda de massa por exsudação não se mostrou uniforme, a amostra cúbica ficou com

formato de paralelepípedo (Figura 1). A partir disso decidiu-se que a batata inglesa seria uma escolha melhor, pois sua estrutura é mais homogênea e seu congelamento é relativamente rápido.

A montagem experimental pode ser observada na Figura 2, é composta de 3 amostras cilíndricas de batata, cortadas com um tubo de cobre vazado com diâmetro de 1,9cm, separadas no prato por tiras de fita crepe, cujas alturas são aproximadamente iguais e são medidas a cada experimento. Com essas duas medidas foi feito o cálculo do volume, além disso elas são pesadas. O sistema de refrigeração foi sempre ligado a 2 horas antes do início do experimento para sua temperatura estabilizar em cerca de -8 a -12 graus celsius.

Figura 1: Cenoura descongelada;



Figura 3: Montagem experimental controle.



Figuras 2: Montagem experimental.

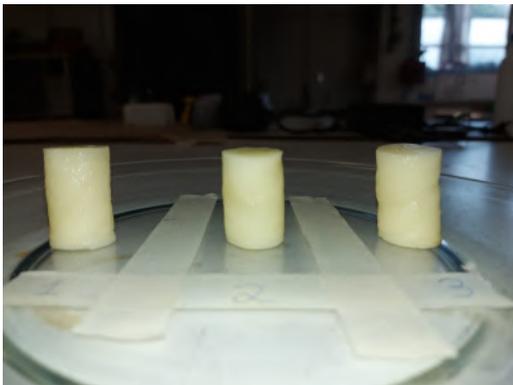


Figura 4: sistema de refrigeração com microondas.



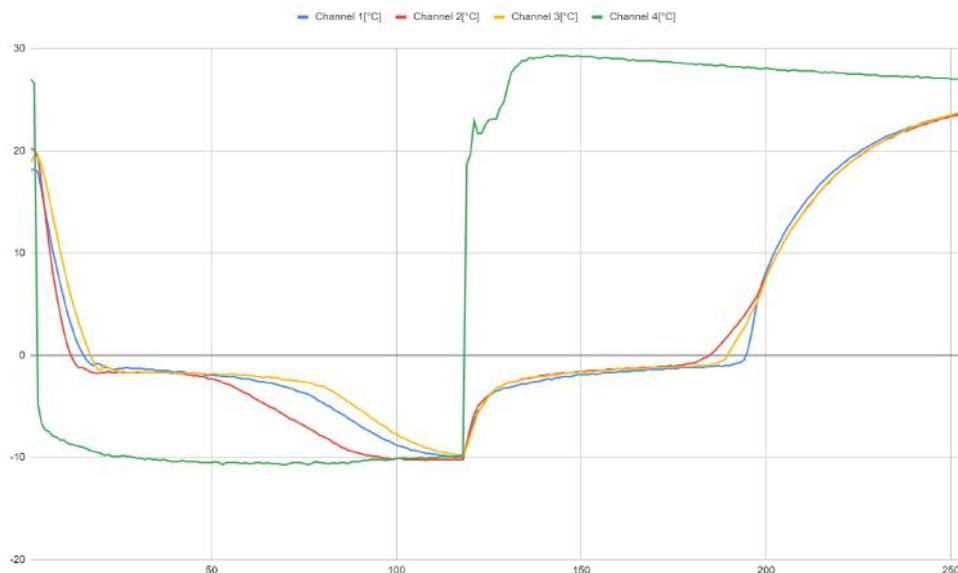
3.2 Experimento controle

Foram realizados 9 experimentos controle, nos quais não há emissão de raios microondas para que exista uma comparação confiável. A temperatura foi requisitada a cada um minuto. Nesses experimentos foram utilizados sensores de temperatura de termopares tipo T, aqisitando a temperatura das amostras e do meio ambiente a cada 1 minuto. O dispositivo utilizado foi o Data Logger, marca Testo, modelo 177. A partir da análise da curva de congelamento pode-se determinar em quanto tempo as amostras começam a congelar e quando terminam. Percebeu-se que quando o sistema estabilizou em -8 graus Celsius o tempo de calor latente ou de congelamento era de aproximadamente 90 minutos. Entretanto, quando a amostra atingia -10°C o tempo reduzia para 75 minutos, e o tempo para iniciar o congelamento era de aproximadamente 20 minutos.

Os termopares foram fixados, conforme como mostrado na Figura 3. Os dados são aqisitados pelo software Comsoft Basic e o gráfico é plotado pelas planilhas google (Figura 5). Foram realizados 9 experimentos

controle, e com o tempo de descongelamento de 2 horas, conforme o planejamento experimental.

Figura 5: Histórico temporal de temperatura para experimento controle 9



Os dados obtidos nos experimentos padrão do planejamento experimental estão mostrados na tabela 1.

Tabela 1: dados dos experimentos controle

	Horas de descongelamento	Experimento	Porcentagem de volume perdido	Porcentagem de peso perdida
	2h	exp padrão 7	34,88%	19,05%
	2h	exp padrão 8	32,92%	22,18%
	2h	exp padrão 9	38,6%	22,36%
Média	2h	-	35,5%	21,2%

3.3 Experimentos com emissão de microondas

As amostras são colocadas no sistema para congelar, aproximadamente 20 minutos depois começa a emissão dos raios microondas, a qual acontece periodicamente por, aproximadamente, 80 minutos. Após esse tempo as batatas são mantidas no sistema por mais 20 minutos para estabilizar o congelamento.

Nos primeiros experimentos, a montagem experimental do descongelamento era igual à do congelamento, ou seja, descongelando em temperatura ambiente por algumas horas, depois as medidas eram realizadas. Optou-se por deixar as amostras sobre papéis absorventes (Figuras 6 e 7) e tampadas com um copo plástico, deixadas descongelando na geladeira de um dia para o outro, mas notou-se que a geladeira apresenta fenômenos de secagem que atrapalham a exatidão do experimento. Também foi testado o descongelamento de um dia para o outro fora da geladeira, mas a variação da temperatura e umidade locais ocasionaram uma diferença significativa na exsudação. Por fim, um sistema de descongelamento foi a melhor saída, assim como observado na Figura 8, as amostras são semi-enroladas em um papel absorvente e colocadas dentro de um copo de vidro vedado com papel filme, as amostras são colocadas numa caixa de isopor com 6 bolsas térmica de água a 35 graus Celsius dispostas circularmente.

O peso do papel é medido antes e após absorver a água de exsudação, essa medida permite o cálculo da quantidade de água absorvida no papel (peso do papel molhado menos o peso do papel seco) e a quantidade de água perdida por evaporação (diferença de peso da batata congelada e descongelada menos quantidade de água absorvida no papel).

Figura 6: descongelamento com 6 folhas



Figura 8: montagem final do descongelamento.



Figura 7: descongelamento com 3 folhas isoladas.



3.4 Metodologia experimental

Definiu-se 2 variáveis dependentes: período, é o intervalo [min] entre duas ativações do magnetron e o tempo de pulso [s], é a duração da emissão; e 2 variáveis independentes: exsudação [%], é a porcentagem de massa de água perdida no descongelamento e o tempo total de emissão [s], que é o tempo total em que o magnetron esteve ativo durante o congelamento.

Foram testadas diferentes combinações de tempo de pulso e de período para analisar principalmente a resposta na exsudação, mas também a influência do tempo total de emissão. Se a emissão das microondas atrasar a formação ou diminuir o tamanho dos cristais, a perda de massa no experimento padrão deve ser maior.

3.5 Resultados preliminares

Foram realizados experimentos com tempo de emissão de 1, 3, 5 e 10 segundos, mas a emissão de 10s foi descartada rapidamente porque causava aquecimento na batata e, por consequência, recristalização, fenômeno que piora a estrutura do alimento. Foram usados diversos períodos e de acordo com os resultados obtidos até então, foi feito o planejamento experimental com 11 ensaios.

Observou-se que o experimento é promissor se ele perdeu menos massa do que o experimento padrão referente àquelas condições experimentais.

Tabela 2: parâmetros estabelecidos para o planejamento experimental.

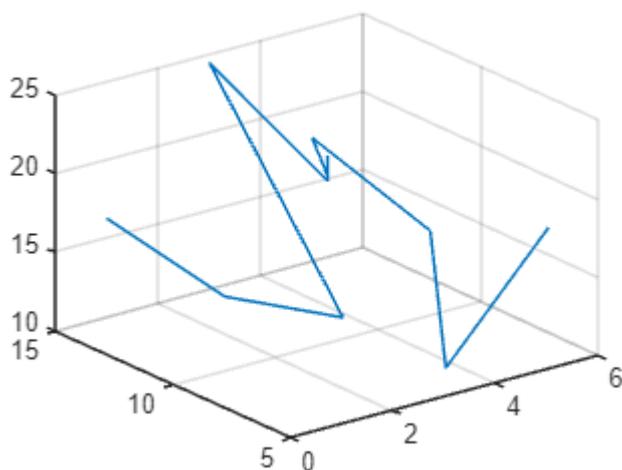
Tempo de emissão (s)	1	3	5
Período (min)	5	10	16

Tabela 3: Resultados preliminares obtidos nos ensaios do planejamento experimental.

	variável independente	variável dependente
--	-----------------------	---------------------

experimentos	ENSAIOS	t pulso [s]	intervalo [min]	exsudação %	tempo total de emissão [s]
42	1	1	15	16,21	6
46	2	1	10	14,66	9
44	3	1	5	16,76	17
49	4	3	15	24,36	18
48	5	3	10	20,26	27
50	6	3	10	21,89	27
51	7	3	10	20,62	27
40,41	8	5	15	17,84	30
45	9	5	10	15,34	45
47	10	3	5	11,79	51
43	11	5	5	18,99	80

Figura 9: gráfico da exsudação (%) pela duração do pulso (s) pelo intervalo entre pulsos (min).



3.6 Referências bibliográficas

[1]: OLIVEIRA ALESSANDRA. A conservação de alimentos e a cadeia do frio. *In*: OLIVEIRA ALESSANDRA. Refrigeração e cadeia do frio para alimentos: Prof Dra. Alessandra Lopes de Oliveira. FZEA-USP - Pirassununga - SP, 2020

[2]: HALÁSZ, L.; PINHEIRO, C. P.; ARAÚJO FILHO, E. N.; SATO, G. T.; YOSIMURA, I. Y.; TAYAR, Y.; LACERDA, R. Refrigeração. São Paulo: Secretaria de Indústria e Comércio, Ciência e Tecnologia. Coordenadoria da indústria e comércio. 200p. 1980.

[3]: JIA, J. et al. Alternating Magnetic Field Prior to Cutting Reduces Wound Responses and Maintains Fruit Quality of Cut cucumis melo L. cv Hetao. **The Open Biotechnology Journal**, Naples, v. 9, p. 230-235, 2015.

[4]: JAMES, C.; REITZ, B.; JAMES, S. J. The Freezing Characteristics of Garlic Bulbs (*Allium sativum* L.) Frozen Conventionally or with the Assistance of an Oscillating Weak Magnetic Field. **Food and Bioprocess Technology**, Dublin, v. 8, p. 702-708, 2015.