



Comportamento térmico em um freezer para congelamento do pescado

Jesus Marlinaldo de Medeiros¹, Shirley do Nascimento Borges², Marcio Gomes da Silva³, Andrei Hudson Guedes Braga⁴

¹Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cabedelo. e-mail: jesus_medeiros@yahoo.com.br

²Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia Paraíba, Campus Cabedelo. Bolsista PIBICT-IFPB. e-mail: shirley-music@hotmail.com

³Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus João Pessoa. e-mail: mgcefet@gmail.com

⁴Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Ipojuca. e-mail: andrei_projetos@yahoo.com.br

Resumo: O pescado é altamente susceptível à deterioração, sendo necessária sua conservação da comercialização até o consumo. A qualidade do pescado é garantida através do imediato resfriamento após a sua captura seguida de congelamento em equipamento adequado. O congelamento não possui ação esterilizante, apenas retarda as atividades microbianas já existentes e impede o surgimento de novos agentes deteriorantes. O processo de congelamento do pescado é complexo, pois envolve a transferência de calor e massa, a mudança de fase e o escoamento do fluido de congelamento que dependem das condições de temperatura e velocidade do ar de insuflamento do sistema frigorífico e da temperatura de recebimento do pescado. Os perfis de temperatura e razão de umidade em um freezer horizontal foram analisados através da montagem de um aparato experimental com devida instrumentação para monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar dentro do freezer utilizando dois termo higrômetros e dois termômetros com sensores tipo K com quatro canais e sistema de aquisição de dados. Os resultados mostraram a evolução da temperatura e razão de umidade do ar no interior do freezer. O comportamento térmico no freezer está de acordo com o previsto na teoria, porém não atinge a temperatura especificada pelo fabricante do freezer interferindo no tempo de congelamento do pescado e no tempo de armazenamento para manter a qualidade do produto. Observou-se a desumidificação do ar devido ao abaixamento da temperatura do freezer para congelamento do pescado e que isso poderá comprometer a qualidade do pescado.

Palavras-chave: refrigeração, congelamento, freezer, pescado.

1. INTRODUÇÃO

O pescado é um dos alimentos mais suscetíveis à deterioração devido à composição química, rápida oxidação de gorduras insaturadas, elevada atividade de água e pH próximo da neutralidade, fatores que favorecem o desenvolvimento microbiano.

Os maiores produtores de pescado do mundo são a China, Índia, Indonésia, Japão, Bangladesh, Tailândia, Noruega, Chile, Vietnã e Estados Unidos. O Brasil ocupa uma posição que oscila próximo do vigésimo sétimo lugar no ranking embora seja um dos países com maior velocidade de crescimento da atividade aquícola no mundo.

Da captura até o ponto-de-venda, o pescado percorre um longo caminho. Tais produtos se deterioram em minutos após a morte e apresentam facilidade de contaminação. Em função disso, o ideal é que o pescado seja congelado o mais breve possível ou submetido à imediata redução da temperatura, próxima à temperatura de congelamento através da utilização de gelo.

O congelamento permite a conservação dos alimentos por um longo período, inclusive aqueles com alta atividade de água. O tempo de congelamento a -35°C por 5h caracteriza o congelamento rápido e ideal para manter a textura e a qualidade, pois se congelado lentamente a -18°C , parte da água se manterá líquida diminuindo o tempo de vida útil. Uma vez congelados, os produtos devem ser mantidos a uma temperatura de -18°C a -20°C , até o momento de sua utilização pelo consumidor. Pela legislação, podem ser comercializados a -15°C nos estabelecimentos de venda ao consumidor (FURTADO, 2000).

O processo de congelamento e estocagem do pescado é muito complexo e depende de muitas

variáveis para garantir um produto final de qualidade. Por esse motivo, se faz necessário determinar o tempo de congelamento para o tipo de pescado estudado e quais as condições ideais de temperatura, umidade e equipamento de refrigeração empregado e a necessidade ou não do glaciamento.

O processo de glaciamento (glazing) consiste no tratamento do produto congelado, mediante imersão numa solução resfriada, de modo a protegê-lo com uma camada superficial de gelo. O grande benefício da aplicação do glaciamento é a melhoria no manuseio dos produtos congelados, tornando-os mais resistentes às quebras, proporcionando sensível economia (GONÇALVES, 2003).

Uma revisão bibliográfica sobre o congelamento do pescado em um equipamento frigorífico foi detalhada a seguir:

Moraga e Medina, 2000 investigaram o tempo de congelamento e perfil de temperatura de um bife de salmão em uma câmara refrigerada por convecção forçada de ar insuflado por um sistema de refrigeração considerando a condução de calor no bife e sua validação experimental com termopares. Os resultados numéricos apresentaram um bom ajuste com desvios menores que 10,6 %.

Chaiwanichsiria *et al.*, 2001 estudaram as propriedades termo físicas da lula para determinar o tempo de congelamento do pescado utilizando o método das diferenças finitas e sua validação com dados experimentais e outros modelos analíticos resultou em erro inferior a 1,5 %.

Jain *et al.*, 2005 estudaram um modelo matemático para o congelamento de um peixe com gelo em uma caixa térmica isolada. Eles investigaram modelos exponenciais e assintóticos validando com dados experimentais e ajustaram o modelo a partir de análise de regressão para determinar o perfil de temperatura e o coeficiente de resfriamento.

Pham, 2006 fez uma revisão de modelos de transferência de calor e massa empregados para descrever os processos de congelamento, descongelamento e armazenagem de alimentos. Ele concluiu que tais processos não podem ser tratados puramente como um problema de transferência de calor, mas levar em consideração a transferência de massa, a nucleação e o crescimento dos cristais.

Jain e Pathare, 2007 propuseram um método simples para determinar a difusividade térmica de peixes de água doce resfriados em gelo utilizando a solução analítica para equação de calor de Fourier em coordenadas cilíndricas. Os resultados obtidos demonstraram o efeito do peso do peixe na difusividade térmica e sua faixa de utilização a partir de um ajuste com modelo logarítmico.

Nesse trabalho, o objetivo principal é analisar o perfil de temperatura e umidade no interior de um freezer horizontal convencional para garantir a qualidade do pescado, sabendo-se que esse tipo de equipamento é recomendado para conservação e congelamento de produtos alimentícios em geral caracterizando-se em um congelamento lento. No congelamento lento, há remoção de água das células e grandes cristais de gelo são formados, podendo ocorrer danos físicos aos tecidos e paredes celulares. Desse modo, durante o processo de congelamento, a estrutura dos tecidos pode ser rompida, provocando exsudação e perda de líquidos ocasionando reações indesejáveis que resultam no desenvolvimento de aroma e sabores indesejáveis, redução do valor nutricional e, principalmente, alterações na textura e aparência dos alimentos após o descongelamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A montagem da bancada experimental para a determinação de parâmetros físicos do escoamento do ar dentro do freezer horizontal convencional conforme Figura 1, mostrando os pontos de medição de temperaturas e umidades relativas no interior do freezer. Tal experimento foi realizado utilizando um freezer horizontal convencional EDH 250 ESMALTEC com tripla ação: Extra-frio (-24°C), Congelador (-18°C) e Conservação (0°C a +5°C).

O Termômetro digital TH-096 da Instrutherm foi utilizado para medição das temperaturas no interior do freezer conforme mostrado na Figura 2. As características do instrumento são: display de LCD de 5 dígitos; Sensor: Termopar Tipo K; Escala: -199,9°C a 999,9°C; precisão de $\pm (0,5\% + 1^\circ\text{C})$; Resolução: 0,1°C; Canais de entrada: 4 canais, T1, T2, T3 e T4; Tempo de resposta: Aprox. 1 segundo; Interface Serial: RS-232; Data logger até 16000 dados; O termopar tipo K S-02K da Instrutherm utilizado pode ser visto também na Figura 2.

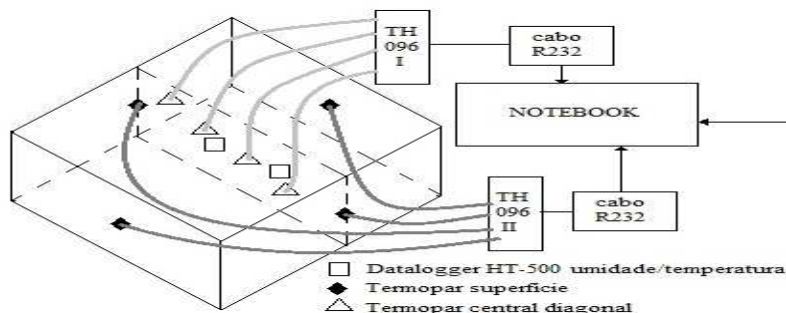


Figura 1 – Diagrama esquemático do experimento.

O Datalogger HT-500 da Instrutherm foi utilizado para medição da temperatura e umidade relativa do ar dentro do freezer conforme mostrado na Figura 2. As características do instrumento utilizado são: Indicação através de dois LEDs; Escala: Umidade: 0 a 100% RH; Temperatura: -40 a 70°C; Precisão: Umidade: $\pm 3\%$ RH; Temperatura: 1°C (-20 a 50°C); Resolução: 0,1% RH / 0,1°C; Ciclo de medição selecionável: 2s, 5s, 10s, 30s, 1min, 5min, 10min, 30min, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, 24h; Interface USB; Memória: 16000 leituras para temperatura e 16000 leituras para umidade relativa.

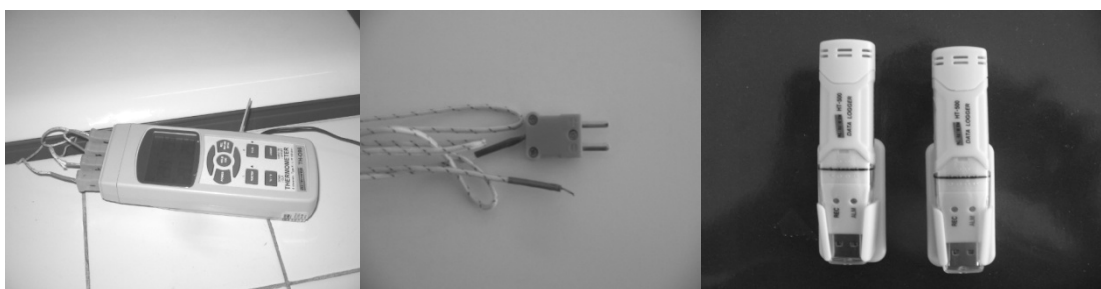


Figura 2 – Termômetro Digital TH-096, Termopar Tipo K S-02K e Datalogger de Temperatura e Umidade HT-500

O procedimento de aquisição de dados do termômetro TH-096 para o notebook foi realizado a partir da instalação de dois softwares. O 1º software referiu-se a um conversor de RS-232 para USB CRS-80 e o 2º software DL2005 para descarregamento dos dados da memória do instrumento.

O Software DL2005 da Instrutherm foi instalado com sucesso em um notebook, resultando em um arquivo de dados gerado em formato tipo dat que pode ser lido em editores de texto ou planilha de dados. No entanto, a visualização dos dados não é separada por sensor de temperatura e sim numa sequência em coluna do 1º ao 4º sensor por tempo de amostragem pré-determinada pelo operador do instrumento. Para separar os dados por sensor foi elaborado um programa de computador em linguagem Fortran e posteriormente utilizado um software para visualização e geração de gráficos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa fase da pesquisa, foram realizados experimentos para analisar o perfil de temperatura dentro do freezer horizontal fazendo a medição com 4 sensores termopares tipo K ligados ao Termômetro TH-096 com gravação de dados a cada 15 segundos.

Na Figura 3 mostra-se a disposição dos termopares em diagonal do vértice inferior entre as paredes frontal e lateral direita e o centro do freezer dividido por uma grade. Para fixação dos termopares foi utilizada uma haste cilíndrica de alumínio. O termopar 1 localiza-se próximo a parte superior da grade, o termopar 4 localiza-se na extremidade inferior do freezer e os termopares 2 e 3 estão em posições intermediárias para medição da temperatura no interior do freezer vazio em função do tempo. Para isso, partiu-se da condição de temperatura ambiente em torno de 30°C no freezer e o

termostato do freezer funcionamento na posição de congelamento normal (-18°C dado do fabricante) até atingir o regime intermitente com desligamento e religamento contínuo do compressor do freezer.

Na Figura 4 é observado o comportamento da temperatura de cada sensor instalado dentro do freezer nas suas respectivas posições e que retratam a condição do ar interior no centro do freezer e que após 100 minutos o sistema transiente entra em regime intermitente desligando o compressor e religando diversas vezes oscilando numa temperatura entre -13 a -15 °C. É importante, ressaltar que a temperatura do freezer em torno de - 18°C não foi alcançada. Pode-se observar também, que o sensor 4 atingiu a menor temperatura, pois está mais próximo das paredes onde circula a serpentina de refrigeração do evaporador do freezer. Enquanto que, o sensor 1 atingiu a maior temperatura, pois está posicionado próximo a tampa do freezer onde não há serpentina de refrigeração.

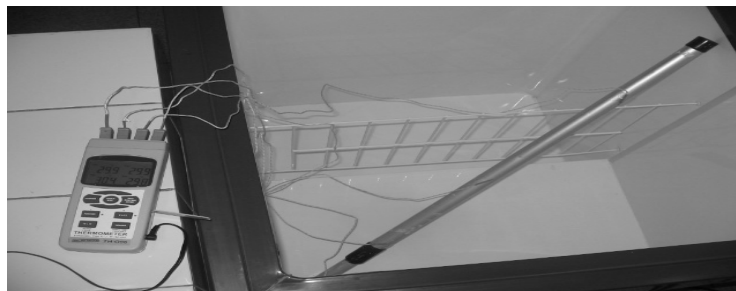


Figura 3 – Montagem de termopares dentro do freezer - Posição diagonal

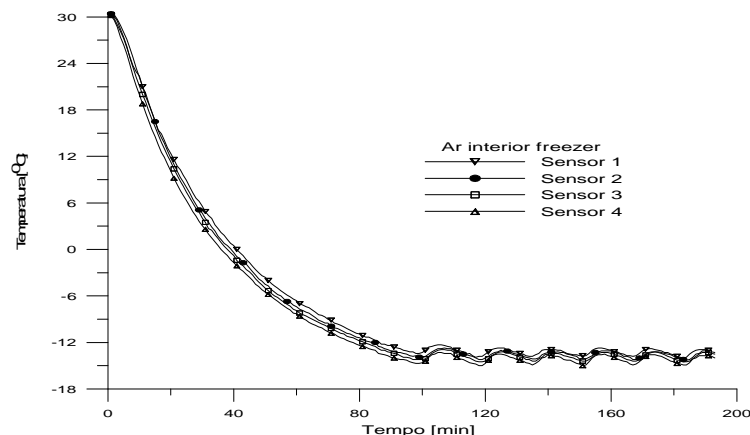


Figura 4 – Perfil de temperatura no interior do freezer – Posição diagonal

Na Figura 5 mostra-se outra disposição dos termopares em posição central entre as extremidades inferiores e superiores do freezer dividido por uma grade. Para fixação dos termopares foi utilizada uma haste cilíndrica de alumínio O termopar 1 localiza-se próximo a parte superior da grade, o termopar 4 localiza-se na extremidade inferior do freezer e os termopares 2 e 3 estão em posições intermediárias para verificação da temperatura no interior do freezer vazio em função do tempo. Para isso, partiu-se da condição de temperatura ambiente em torno de 30°C no freezer e o termostato na posição de congelamento normal (-18°C) até atingir o regime intermitente de liga e desliga do compressor.

Na Figura 6 é observado o comportamento da temperatura de cada sensor instalado dentro do freezer nas suas respectivas posições e que retratam a condição do ar interior no centro do freezer e que após 95 minutos o sistema transiente entra em regime intermitente desligando o compressor e religando diversas vezes oscilando numa temperatura entre -12 a -14 °C. É importante, ressaltar que a temperatura do freezer em torno de - 18°C também não foi alcançada. Pode-se observar também, que os sensores 2 e 3 atingiram as menores temperaturas, pois receberam a influência das paredes onde

circula a serpentina de refrigeração do evaporador do freezer. Enquanto que, os sensores 1 e 4 atingiram as maiores temperaturas em regime intermitente, pois estão posicionadas próximas as superfícies inferiores e superiores do freezer onde não há serpentina de refrigeração.

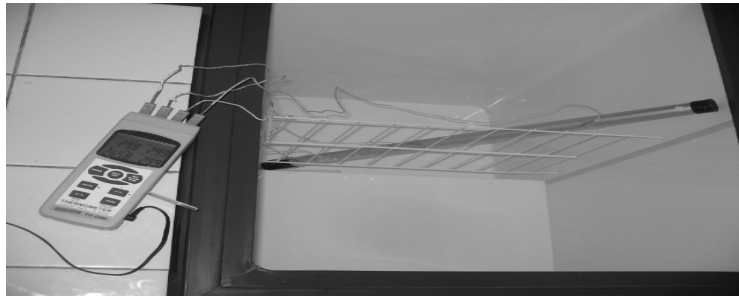


Figura 5 - Montagem de termopares dentro do freezer - Posição central

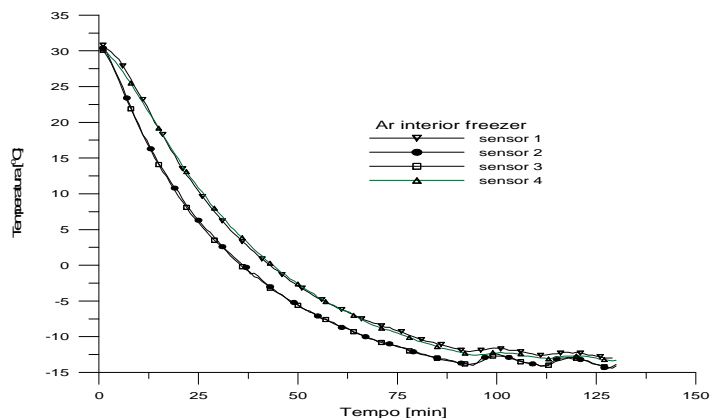


Figura 6 - Perfil de temperatura no interior do freezer – Posição central

Na Figura 7 mostra-se nova disposição dos termopares no centro das superfícies das paredes verticais. O termopar 1 localiza-se na superfície frontal a abertura do freezer, o termopar 2 na superfície posterior, o termopar 3 na superfície lateral esquerda e o sensor 4 localiza-se na superfície lateral direita para medição da temperatura no freezer vazio em função do tempo. Para isso, partiu-se da condição de temperatura ambiente em torno de 30°C no freezer e termostato na posição de congelamento normal (-18°C) até atingir o regime intermitente de liga e desliga do compressor.

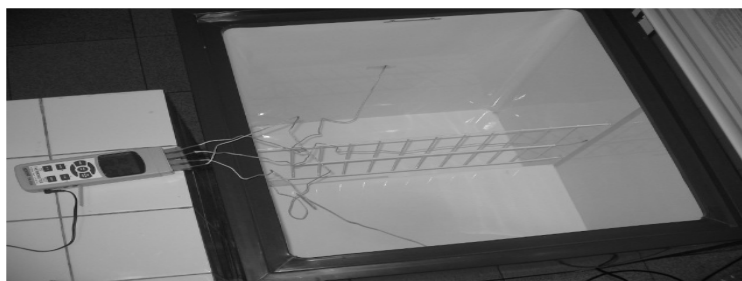


Figura 7 - Montagem de termopares dentro do freezer - Posição superfície das paredes

Na Figura 8 é observado o comportamento da temperatura de cada sensor instalado dentro do freezer nas suas respectivas posições e que retratam a condição do ar interior nas paredes do freezer e que após 80 minutos o sistema transiente entra em regime desligando o compressor e religando

diversas vezes oscilando numa temperatura entre -14 a -19 °C. É importante, ressaltar que foi alcançada a temperatura de congelamento normal inferior – 18°C apenas na superfície da parede 3. Pode-se observar também, que os sensores 3 e 4 atingiram as menores temperaturas, devido a áreas superficiais com maior serpentina de refrigeração do evaporador do freezer. Enquanto que, os sensores 1 e 2 atingiram as maiores temperaturas em regime intermitente, pois estão com áreas superficiais com menor serpentina de refrigeração.

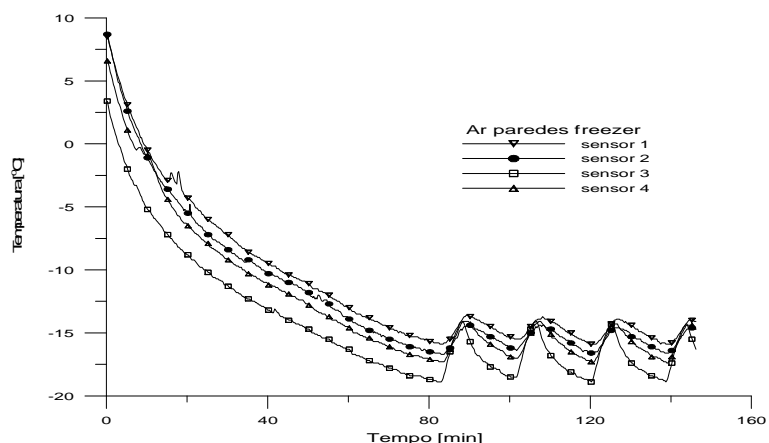


Figura 8 - Perfil de temperatura no interior do freezer – Posição superfícies das paredes

Em seguida, foi realizada uma montagem com dois termômetros digitais para medição instantânea das temperaturas nas paredes e na região central sobre a grade do freezer, conforme Figura 9, e um datalogger para medir a umidade relativa dentro do freezer, sob condições de extra-frio (-24°C). É importante frisar que foi colocado material isolante na parte inferior esquerda do freezer para dotar o escoamento do ar refrigerado o mais uniforme possível, pois o freezer tinha uma configuração de duas câmaras com volumes diferentes.

Na Figura 10 é observado o comportamento da temperatura de cada sensor instalado dentro do freezer nas suas respectivas posições e que retratam a condição do ar interior nas paredes e na grade central do freezer e que não foi atingido o sistema em regime intermitente. É importante, ressaltar que a temperatura de congelamento extra-frio (-24°C) não foi alcançada no período de tempo estudado. Pode-se observar comportamento similar no perfil de temperatura ao estudado anteriormente na condição de congelamento normal (-18°C). O freezer com temperatura menor, não mudará a velocidade de resfriamento, apenas aumentará o tempo de armazenamento do pescado.



Figura 9 – Montagem para medição de temperatura e umidade relativa dentro do freezer

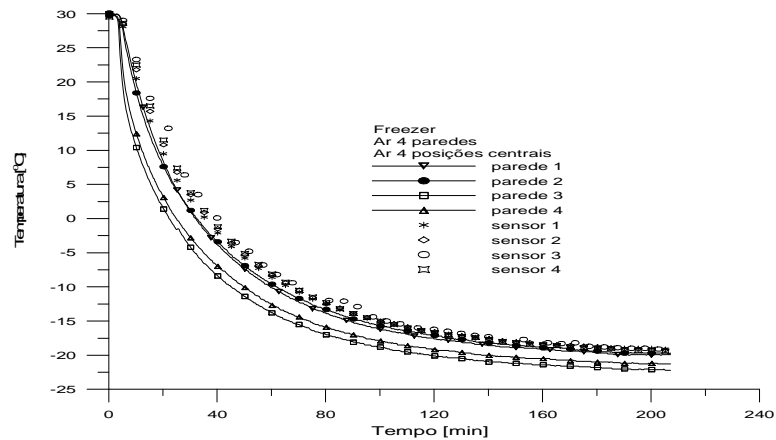


Figura 10 – Perfil de temperatura no interior do freezer – Posição superfícies das paredes

De forma simultânea, foi levantado o perfil de temperatura e razão de umidade no centro do freezer com o datalogger HT-500 conforme Figura 11, o qual já é fornecido com software específico para visualização de temperatura e umidade relativa sendo preferido plotar a razão de umidade para análise.

Na Figura 11, observa-se comportamento idêntico da temperatura ao descrito através do termômetro digital até 207 minutos. Exatamente, nesse momento a tampa do freezer é levantada e a temperatura começa a subir devido à entrada de uma massa de ar quente e úmida. O datalogger é retirado do freezer e colocado no notebook para parar a medição e descarregar os dados com temperatura próxima a ambiente de 30 °C. Observa-se um decréscimo rápido da razão de umidade de 20 g água/kg ar seco com rápido resfriamento para 2 g água/kg ar seco em torno de 50 minutos, depois um decréscimo lento da razão de umidade com lento resfriamento até 0,5 g água/kg ar seco até abertura da tampa do freezer após mais de 200 minutos que se caracteriza pela desumidificação do ar dentro do freezer. Ao abrir o freezer e retirada do instrumento atinge-se uma condição de ponto de orvalho com condensação de água e umidificação do ar atingindo a condição do ambiente.

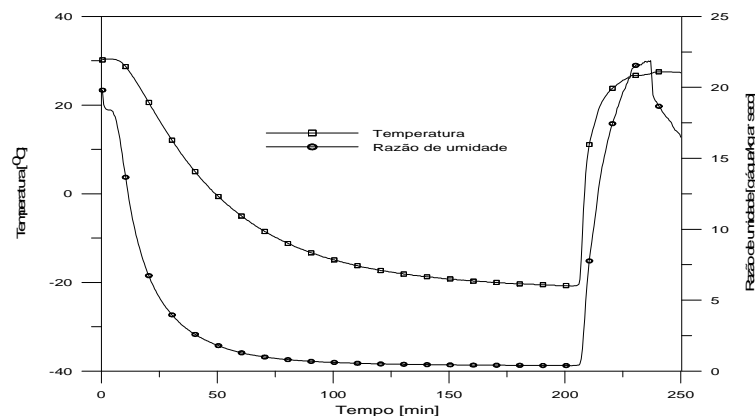


Figura 11 – Perfil de temperatura e razão de umidade no centro do freezer

Em seguida, em outro dia foi repetido o mesmo procedimento relatado na Figura 11, para medição da temperatura e razão de umidade com dois dataloggers HT-500 em duas posições no centro do freezer conforme Figura 12. Observou-se comportamento de temperatura compatível com o esperado no processo de congelamento dentro do freezer com variação pequena relacionada à distância de 0,2 m entre os sensores. Em relação, a razão de umidade observou-se à desumidificação do ar pelo abaixamento da temperatura, mas sem variação entre a posição dos sensores.

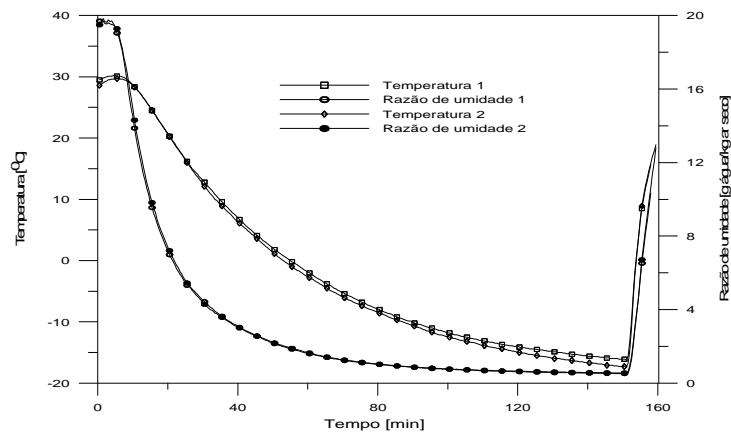


Figura 12 - Perfil de temperatura e razão de umidade no centro do freezer

6. CONCLUSÕES

Um estudo térmico do processo de congelamento em um freezer para conservação do pescado foi investigado a partir da medição de temperatura e umidade relativa para análise das condições do ar interior. Os resultados mostraram a evolução da temperatura em regime transiente no interior do freezer com grande variação de acordo com a posição do sensor e do termostato do freezer. Além disso, a temperatura do termostato especificada pelo fabricante do freezer não foi atingida, o que interferirá no tempo de congelamento do pescado e conseqüentemente no tempo de armazenamento para manter a qualidade do produto. Em relação ao perfil de umidade, observou-se uma grande desumidificação do ar para baixas temperaturas do freezer para congelamento do pescado e por isso, um estudo da transferência de massa entre o ar de congelamento e o pescado deve ser considerado.

REFERÊNCIAS

- CHAIWANICH SIRIA, S.; LAOHASONGKRAMA, K.; KOON-AREEB, O., **Freezing Time Prediction for Cuttlefish**. ScienceAsia v. 27, p. 221-226, 2001.
- FURTADO, A. A. L., **Conservação de frutos do mar**. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP TECNOLOGIA PARA APROVEITAMENTO INTEGRAL DO PESCADO. Campinas: Centro e Tecnologia de Carnes. Campinas: ITAL, p.7-12, 2000.
- GONÇALVES, A. A., **Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação. Tecnologias Tradicionais: Resfriamento & Congelamento**. São Paulo: Editora Atheneu, 2011.
- JAIN, D.; ILYAS S. M.; PATHARE, P.; PRASAD, S.; SINGH, H., **Development of mathematical model for cooling the fish with ice**. Elsevier, Science Direct, Journal of Food Engineering, v. 71, p. 324-329, 2005.
- JAIN, D.; PATHARE, P., **Determination of Thermal Diffusivity of Freshwater Fish during Ice Storage by using a One-dimensional Fourier Cylindrical Equation**. Biosystems Engineering, v. 96 n. 3, p. 407-412, 2007.
- MORAGA, N.; MEDINA, O.; ENZO, E., **Conjugate forced convection and heat conduction with freezing of water content in a plate shaped food**. International Journal of Heat and Mass Transfer v. 43, p. 53-67, 2000.
- PHAM, Q. T., **Modelling heat and mass transfer in frozen foods: a review**. Journal of Food Engineering, v. 29, p. 876-888, 2006.