

PROCESSO DE PRÉ RESFRIAMENTO NO CONGELAMENTO DE PÃES

**Eng. Esp. Leandro Fluvio Torno (Apresentador)** – [leandrotorno@hotmail.com](mailto:leandrotorno@hotmail.com).

Faculdade Profissional – FAPRO.

**Me. Alexandre Fernandes Santos** - [projetos.etp@gmail.com](mailto:projetos.etp@gmail.com).

Mestre em Engenharia LACTEC-UFPR; Professor Fapro (Faculdade Profissional); Doutorando UBI (Universidade Beira Interior-Portugal).

**Esp. Heraldo José Lopes de Souza** – [heraldosouza1@gmail.com](mailto:heraldosouza1@gmail.com)

Faculdade Profissional – FAPRO.

R2 Resfriamento, Congelamento, Estocagem e Exposição de Alimentos

**Resumo:** *O presente trabalho aborda um estudo teórico das vantagens da aplicação do pré resfriamento no processo de ultra congelamento do pão cru sendo comparado à medições reais em uma fábrica de pães congelados com o objetivo de comprovar os ganhos existentes. Utilizando as medições práticas observa-se um aumento de produtividade em torno de 75%. Verificado que a aplicação do processo de pré resfriamento do pão cru congelado obtém na prática valores de ganho bem próximos de 20% a 26% de economia de energia elétrica.*

**Palavras chave:** *Pré resfriamento, ultra congelamento, rendimento térmico.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Pão – produto alimentício obtido pelo cozimento da massa que se faz com a mistura de farinha de certos cereais, principalmente o trigo, com água e sal [1]. Acredita-se que o primeiro pão tenha sido assado por volta de 10.000 a.C., mas o pão levedado foi um dom do Nilo. Os egípcios também inventaram o forno de barro e foram os primeiros a fermentar a massa fazendo com que ela crescesse e com o desenvolvimento chegaram a produzir mais de 50 tipos de pães. Em Jerusalém, não se tinha a tecnologia de fornos de barro e os pães eram assados entre pedras, no entanto eles tinham uma rua de padeiros. Os gregos não tinham nenhuma inovação, mas foram os primeiros a fabricar pães na Europa. Os egípcios, os gregos e os romanos honravam seus deuses com oferendas de animais, flores e miolo de pão. No século XIII o pão já era comercializado em Paris com mais de 20 variedades, todavia só com Maria de Médicis, no século XVII é que os modernos processos italianos de produção de pão foram introduzidos na França, se tornando o centro de fabricação de pães de luxo. Entre as mais diversas variedades de pães, além daqueles conhecidos no consumo diário, existem ainda os pães especiais para datas comemorativas, como por exemplo: pão de Natal dos suíços em forma de estrela, pão grego de Páscoa, a paska da Ucrânia decorado com uma grande cruz para o Domingo da Ressurreição, entre outros.

Com base nisto, deduz-se que desde os primórdios da humanidade o pão faz parte da alimentação e do dia a dia das pessoas por todo o mundo e, cada vez mais os processos de fabricação vêm sendo aprimorados para atender as demandas com qualidade e padronização na produção.

No Brasil, a partir da década de 90, a refrigeração vem se fazendo cada vez mais presente na fabricação de pães. Muitos fatores, ou necessidades, motivaram esta participação da refrigeração a qual passou a ter uma significativa contribuição para o segmento. Entre os itens de maior destaque para esta interação, estão: o costume de se ter pão fresco todas as manhãs para o desjejum e, por outro lado, as dificuldades relacionadas ao trabalho noturno (segurança, leis trabalhistas, valores de adicionais noturno, etc) para a produção destes pães. O primeiro passo da refrigeração para auxiliar neste segmento foi o resfriamento da água para desacelerar o crescimento da massa, e outro com destaque foi o desenvolvimento das câmaras climáticas para conservação e controle do processo de fermentação, também conhecidas, ou apelidadas, de “padeiro noturno”, evoluindo depois para uma produção ainda mais uniformizada auxiliada pelo congelamento dos pães.



Figura 1: Câmara Climática Gelo Pão



Figura 2: Amassadeira Spiral

Para a correta aplicação da refrigeração na panificação, é necessário o conhecimento das particularidades da massa de pão e seu processo de fabricação.

O pão, tal como o conhecemos, é o produto resultante da cozedura de uma massa, na composição da qual entram farinha, água, sal e fermento ou levedura. Todas estas substâncias são amassadas em conjunto até a formação de um produto homogêneo: a massa [2]. Após crescer pelo processo de fermentação ela é levada a um forno a temperatura de 240°C obtendo o produto final que é o pão.

No processo de amassamento, que é a início da fabricação, quando se faz a mistura dos ingredientes, normalmente em uma máquina chamada de misturador, amassadeira, masseira ou bateadeira, a massa sofre muitos choques mecânicos, gerando o aquecimento indesejado da massa no final do processo.

Já neste momento a refrigeração exerce uma importante participação pois a adoção de água gelada é recomendada para a redução deste aquecimento da massa. A energia dissipada neste momento da mistura é em cerca de 63kJ/kg de massa. Após o amassamento, a massa é deixada em um processo de “descanso” por um determinado período para que ela passe a ter a firmeza necessária para a próxima etapa. Este processo também é conhecido como “tempo de levedar”. Na etapa seguinte, a massa, em alguns casos chamada de “bolo”, já se tornou menos pegajosa e adquire a plasticidade desejada para poder ser dividida em porções iguais (peso de cada pão), seja manualmente ou nas divisoras.

Estas porções são levadas a modeladora onde enfim surge o pão cru.

Na etapa seguinte será definido o destino imediato deste pão cru. Se optado pelo assamento, os pães ficarão dispostos em assadeiras pelo período de aproximadamente duas horas para acontecer o crescimento, ou fermentação, do pão (vai depender da receita adotada e condições climáticas) e em seguida é levado ao forno para ser assado por aproximadamente 45 minutos a 240°C. Quando o pão é produzido e não vai ser imediatamente assado, ele pode ser conservado refrigerado por até 20h em uma câmaras de controle de fermentação; ou a terceira opção que é ser congelado (cru ou pré assado).

Se for ser mantido refrigerado, utiliza-se as câmaras de controle de fermentação, a qual deve ter a temperatura controlada em 7°C com 75% de umidade e baixa velocidade do ar quando adotado o processo de circulação de ar forçada.

Já se o pão for levado para o congelamento, deve-se atingir a temperatura de -18°C no interior do pão para ambas as opções (cru ou pré assado).

É importante salientar que para cada uma das opções apresentadas acima (assamento, conservação ou congelamento) a formulação da mistura deverá ser ajustada para que seja mantida a qualidade final do produto.

Ainda dentro da aplicação da refrigeração ao pão, existem as opções de congelamento do “bolo” (massa antes de ser dividida em porções iguais), ou o pão pré assado, como já mencionado anteriormente. Neste último processo o pão é assado parcialmente e depois levado ao congelamento ficando uma parte final do processo de assamento para pós descongelamento.

Ainda um pouco antes do aprimoramento do congelamento do pão no Brasil, houve o desenvolvimento da conservação nas câmaras climáticas para controle de fermentação. Este processo teve uma significativa participação no desenvolvimento dos equipamentos e também dos percentuais de mistura dos ingredientes para a formação da massa. A câmara de controle de fermentação tinha tanto a função de segurar o crescimento (fermentação) da massa, quanto proporcionar o crescimento controlado em preparação para o assamento. Isto ajudou muito na padronização das receitas, pois antes da existência deste equipamento os percentuais dos ingredientes da mistura da massa tinham que ser avaliados de acordo com as condições climáticas do dia (temperatura e umidade) para que fosse atingido o ponto ideal sem o ressecamento e com o crescimento correto. Também para o congelamento a padronização da receita foi necessária, assim como a adaptação para que a massa tenha “força” para o crescimento após o descongelamento, logo a câmara de controle de fermentação teve uma importante participação nesta evolução.

A Refrigeração – o calor flui de um lugar quente para um lugar frio, como do Sol para a Terra. Nunca ocorre um fluxo líquido “natural” de calor no sentido inverso. Um dispositivo que transmite calor de um lugar frio para um quente é chamado de refrigerador. [7].

Para uma análise do coeficiente de desempenho (K) de um refrigerador, precisa-se entender que o calor (Qc) extraído do reservatório de baixa temperatura – o evaporador – somado ao trabalho (W) realizado sobre o sistema por um agente externo – o compressor – resultam no calor (Qh) que é descarregado em um reservatório de alta temperatura – o condensador.

$$K = Q_c / (Q_h - Q_c) \quad (1)$$

O coeficiente de desempenho deve ter o valor mais alto possível. Um valor de 5 é típico para um refrigerador doméstico e um valor de nos limites de 2 – 3 para um condicionador de ar de quarto. [7]

Uma outra forma rápida de análise, é através do ciclo ideal com gás ideal em uma máquina reversível que depende somente da temperatura dos dois reservatórios, a máquina de Carnot. Por ela ser reversível e levar em conta somente as temperaturas, temos que o coeficiente de desempenho pode ser medido pelas temperaturas de evaporação (Tc) e temperatura de condensação (Th). Nestas condições temos:

$$K = T_c / (T_h - T_c) \quad (2)$$

Isto nos mostra que quanto menor for a diferença de temperatura entre Th e Tc, menos será necessário o uso do refrigerador, logo seu desempenho será maior.

O Congelamento – para a caso do foco de nosso estudo, o pão cru congelado, é necessário que seja feito um congelamento rápido, estimado como tempo ideal o período de 1 a 2 horas. Para que isto seja possível é utilizado um método denominado como ultra congelamento ou sobre congelamento.

O congelamento rápido dos gêneros consiste em submetê-los à ação de um frio de baixa temperatura, de modo a provocar rapidamente a cristalização da água do gênero, e diminuir a temperatura até um valor suficientemente baixo para que a proporção de água não gelada seja muito pequena [2].

Antigamente o congelamento era aplicado quase exclusivamente à carne, submetendo a mesma a temperatura de -12°C podendo levar de 2 a 4 dias para atingir esta temperatura. O resultado deste processo nem sempre era satisfatório pois o processo lento de congelamento ocasionava na desorganização dos tecidos gerados pela migração da água e conseqüente formação de grandes cristais de gelo e como conseqüência negativa se tinha a alteração da aparência e sabor, entre outras características. Depois foi observado que este fenômeno também acontece com outros produtos (alimentos) além da carne. Plank estudou esta situação e descobriu que existe um tempo ideal para o congelamento dos alimentos, e cada um tem seu tempo ideal em função de vários fatores. Com o congelamento rápido, ou de tempo ideal, os cristais de gelo que se formam são menores, permitindo que os alimentos conservem suas características e qualidades iniciais, como: aparência, sabor, odor, vitaminas e valores nutritivos.

É importante salientar que nem o processo de congelamento, e nem o processo de sobre congelamento (ou ultra congelamento), conseguem gerar qualquer melhora nos produtos, eles apenas conservam os alimentos no estado e condições que estão antes do congelamento, e logo após passar por este processo o alimento deve ser levado imediatamente para uma câmara com temperatura e umidade adequadas para a conservação do produto.

Quando os produtos são retirados das câmaras de conservação, eles precisam ser imediatamente consumidos pois perdem suas qualidades rapidamente. Alguns produtos requerem cuidados especiais no descongelamento. Para os legumes é sugerido que seja descongelado em água fervente; para as carnes, inclusive aves e peixes, deve ser feito o descongelamento lento em geladeira; as frutas a serem consumidas cruas, descongelar em local fresco ou geladeira e se possível envoltos em papel celofane para evitar a oxidação do ar; para os pães congelados crus, devemos fazer de forma lenta, de preferência em uma câmara climática para controle de fermentação.

Entre os processos de congelamento rápido de produtos frescos, há algumas classificações quanto ao método adotado conforme a seguir: contato entre placas frias; imersão em banho líquido incongelável; túnel de congelamento; fluidização com produtos em suspensão em corrente de ar; túnel de congelamento e criogenia.

Congelamento por contato: pode ser com placas verticais ou horizontais. Muito utilizado para filés de peixe e assegura um congelamento rápido e uniforme. Também é aplicado para polpas de frutas.

Congelamento em leito fluidizado: utilizado para produtos de pequenas dimensões como ervilhas, feijões e pequenos frutos. Consiste em uma corrente de ar ascendente suficientemente forte para manter os produtos em suspensão durante o processo.

Congelamento por imersão: praticamente exclusivo para o congelamento de peixes. Consiste na imersão do mesmo em uma salmoura com ponto de congelamento de -20°C. O inconveniente deste método é a alteração do sabor do produto. Congelamento por fluido criogênico: é um fluxo de nitrogênio a temperatura de evaporação de -196°C. Apesar de muito eficaz, tem alto custo.

Túnel de congelamento: consiste na exposição do produto a uma corrente de ar com baixa temperatura, na faixa de -35°C a -55°C, e alta velocidade de insuflamento que podem variar de 3 a 5m/s.

Cálculos – em nosso estudo analisaremos o congelamento do pão cru auxiliado por uma etapa de pré resfriamento.

Primeiramente vamos estudar os cálculos de carga térmica. Para isso dividiremos o congelamento em três etapas: resfriamento até o congelamento, congelamento e resfriamento após congelamento.

Na etapa inicial – resfriamento até o congelamento – teremos apenas a retirada de calor sensível.

O calor sensível é aquele que não tem mudança de estado da matéria, ocorre apenas a variação de temperatura.

Esta etapa se inicia logo após o término da modelagem dos pães. A temperatura do pão nesta etapa pode chegar a 30°C e deverá ser rebaixada até um pouco antes do início do congelamento que é entre -5°C a -8°C (esta temperatura vai depender da receita adotada). Em nosso estudo teórico vamos utilizar o -5°C. Quando o produto chega neste ponto é possível perceber que a queda de temperatura sofre uma parada por um longo período de tempo, que é a segunda etapa do processo. Esta etapa requer quase metade do tempo de total do processo que é de 1 hora, isto acontece pois estamos retirando o calor latente, que é o momento do congelamento propriamente dito.

O calor latente é aquele que envolve a mudança de fase, ou do estado da matéria.

Logo após o congelamento, se tem a terceira etapa que é mais uma fase de retirada apenas do calor sensível, só que agora após o ponto de congelamento. Nesta etapa a temperatura vai de -5°C a -18°C e isto acontece muito rapidamente pois é uma carga muito pequena a ser retirada.

Como exemplo de cálculo de carga térmica e consumo de energia, vamos adotar um ultra congelador para 70kg de massa por hora pois é uma quantidade compatível com os produtos disponíveis no mercado e também compatível com os outros equipamentos de produção da massa que precedem o congelamento.

Na etapa 1 (calor sensível antes do congelamento) foi adotada a seguinte fórmula:

$$QS = m.c.\Delta T \quad (3)$$

Onde m é a massa da quantidade de pães que será congelada, neste caso 70kg.

O  $c$  é o calor sensível da massa de pão antes do ponto de congelamento, de acordo com dados tabelados tem-se  $c = 0,60 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ .

E  $\Delta T$  é a diferença entre a temperatura final e inicial do processo. A temperatura inicial é  $30^\circ\text{C}$  e a final  $-5^\circ\text{C}$ , logo o  $\Delta T$  será de  $35^\circ\text{C}$ .

Então, colocando os valores na fórmula tem-se:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 70,00 * 0,60 * 35,00 \\ Q_1 &= 1.470,00 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Na etapa 2 (transformação de fase), a fórmula a ser utilizada é:

$$Q_L = m.L \quad (4)$$

Onde  $m$  é a massa da quantidade de pães que será congelada, neste caso  $70 \text{ kg}$  e  $L$  é calor latente de congelamento do pão. Também tabelado o valor é de  $27 \text{ kcal/kg}$ . Então, colocando os valores na fórmula tem-se:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 70,00 * 27,00 \\ Q_2 &= 1.890,00 \text{ kcal} \end{aligned}$$

A etapa 3 (calor sensível após o congelamento), utilizaremos a fórmula 3, porém com o valor de  $c = 0,47 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ , igualmente tabelado, e as temperaturas serão: final de  $-18^\circ\text{C}$  e inicial de  $-6^\circ\text{C}$ , logo o  $\Delta T$  será de  $12^\circ\text{C}$ , então tem-se:

$$\begin{aligned} Q_3 &= 70,00 * 0,47 * 12,00 \\ Q_3 &= 394,80 \text{ kcal} \end{aligned}$$

A carga total de calor retirado do produto será a soma das 3 etapas, logo se tem:

$$\begin{aligned} Q_{\text{massa}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ Q_{\text{massa}} &= 1.470,00 + 1.890,00 + 394,80 \\ Q_{\text{massa}} &= 3.754,80 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Além da carga térmica da massa, a qual é a mais representativa, também vamos considerar os ganhos de calor através das paredes do túnel de congelamento. As outras cargas menores serão desprezadas em nosso estudo devido à pouca influência que representarão nos comparativos.

As câmaras terão as seguintes dimensões para comportar os  $70 \text{ kg}$  de pães já moldados: Altura =  $1,80 \text{ m}$ ; Largura =  $1,00 \text{ m}$  e Profundidade =  $1,00 \text{ m}$ , e o isolamento adotado para o ultra congelador vai ser o poliuretano expandido com  $250 \text{ mm}$  de espessura e, para a câmara de pré resfriamento será o mesmo material com  $120 \text{ mm}$  de espessura. O material e espessura foi escolhido de acordo com o critério de temperatura das câmaras. Logo, para o cálculo das perdas pelas paredes, se utilizou a seguinte fórmula:

$$Q_P = U.A. \Delta T \quad (5)$$

Onde  $Q_P$  é o calor transmitido pelas paredes, teto e piso em  $\text{kcal/h}$ ;  $U$  é o coeficiente global de transmissão de calor para o painel de poliuretano, com valor de  $0,083 \text{ kcal/h.m}^2.^\circ\text{C}$  para o painel de  $250 \text{ mm}$ ;  $A$  é área total do equipamento com  $9,20 \text{ m}^2$ ; e  $\Delta T$  é a variação de temperatura entre o ambiente externo ( $30^\circ\text{C}$ ) e interno do ultra congelador ( $-35^\circ\text{C}$ ) que é igual a  $65^\circ\text{C}$ , logo:

$$\begin{aligned} Q_P &= 0,083 * 9,20 * 65,00 \\ Q_P &= 49,60 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Com isto tem-se que a carga térmica considerada para o ultra congelador será a soma da carga de massa ( $3.754,80 \text{ kcal}$ ) mais as paredes, teto e piso ( $49,60 \text{ kcal/h}$ ). Considerando que foi adotado o tempo de 1 hora para a produção, pode-se somar diretamente as cargas, chegando a carga total de  $3.804,40 \text{ kcal/h}$ .

Para a retirada desta quantidade de calor, considerando um equipamento com fluido refrigerante R-404, com temperatura de condensação de  $35^\circ\text{C}$  e temperatura de evaporação de  $-40^\circ\text{C}$ , foi consumido aproximadamente  $4,524 \text{ kW}$  de acordo com o Software COOLPACK.

CYCLE SPECIFICATION					
<b>TEMPERATURE LEVELS</b>		<b>PRESSURE LOSSES</b>		<b>SUCTION GAS HEAT EXCHANGER</b>	
$T_E$ [°C]: -40,0	$\Delta T_{SH}$ [K]: 5	$\Delta P_{SL}$ [K]: 0,5	No SGHX	0,30	
$T_C$ [°C]: 44,0	$\Delta T_{SC}$ [K]: 2	$\Delta P_{DL}$ [K]: 0,5	REFRIGERANT: R404A		
CYCLE CAPACITY					
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]: 4,27	$\dot{Q}_E$ : 4,27 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 8,537 [kW]	$\dot{m}$ : 0,05095 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 27,91 [m <sup>3</sup> /h]	
COMPRESSOR PERFORMANCE					
Isentropic efficiency $\eta_{is}$ [-]: 0,663	$\eta_{is}$ : 0,663 [-]	$\dot{W}$ : 4,524 [kW]			
COMPRESSOR HEAT LOSS					
Heat loss factor $f_Q$ [%]: 10	$f_Q$ : 10,0 [%]	$T_2$ : 83,1 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0,4524 [kW]		
SUCTION LINE					
Heat ingress $\dot{Q}_{SL}$ [W]: 180,0	$\dot{Q}_{SL}$ : 180 [W]	$T_B$ : -30,7 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$ : 4,3 [K]		
Calculate	Print	Help	Home	Auxiliary	State Points
				COP: 0,944	COP*: 0,984

Figura 3: Software Coolpack – Carga Ultra Congelador

Tendo em vista que na refrigeração por compressão quanto menor é a temperatura de evaporação, menor é o rendimento do compressor, se comparado a mesma temperatura de condensação, ou seja, maior será o consumo energético no processo de congelamento do pão. Uma das opções para redução do consumo de energia e ao mesmo tempo aumentar a produção diária, é a separação da etapa 1 (calor sensível antes do congelamento) das outras duas, pois a mesma possui uma carga térmica representativa no processo e essa permite que seja utilizada uma temperatura de evaporação bem mais elevada do que a de um ultra congelador.

Será considerado um equipamento para congelamento com capacidade de 70kg/h de pão cru, e será retirado deste equipamento a carga referente a etapa 1 recalculando a capacidade do ultra congelador e, na sequência definir uma câmara de pré resfriamento de mesma capacidade analisando assim o quanto há de redução de consumo de energia em relação ao aumento de produtividade, pois aumentará a capacidade diária com um menor consumo de energia. Então:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{massa}} &= Q_2 + Q_3 \\
 Q_{\text{massa}} &= mL + mc \Delta T \\
 m &= Q_{\text{massa}} / (L + c \cdot \Delta T) \\
 m &= 3.754,80 / (27,00 + 0,47 \cdot 12,00) \\
 m &= 115,03 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Com esta nova massa, recalcula-se a carga térmica da câmara de pré resfriamento, a qual será o calor da etapa 1 mais o calor das perdas pelas paredes. Para este último calor vamos seguir a mesma fórmula utilizada para o cálculo do ultra congelador sendo o  $U = 0,169$  para o isolamento de 120mm, e o  $\Delta T$  igual a 35°C já que a temperatura interna da câmara será de -5°C e o tamanho será o mesmo.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Inovo}} &= 115,03 * 0,60 * 35,00 = 2415,60 \text{ kcal} \\
 Q_{p \text{ pré}} &= U.A. \Delta T \\
 Q_{p \text{ pré}} &= 0,169 * 9,20 * 35,00 \\
 Q_{p \text{ pré}} &= 54,40 \text{ kcal/h}
 \end{aligned}$$

Então no pré resfriador haverá uma carga total de 2415,60 + 54,40 = 2.470,00kcal/h. Para a retirada desta quantidade de calor será adotado o fluido refrigerante R-134a (pois o mesmo possui melhor rendimento em médias temperaturas se comparado ao R-404a), com temperatura de condensação também de 35°C e temperatura de evaporação de -10°C, com isto o consumo será de **1,362 kW**.

CYCLE SPECIFICATION								
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT		
$T_E$ [°C]:	-10,0	$\Delta T_{SH}$ [K]:	5	$\Delta p_{SL}$ [K]:	0,5	No SGHX	0,30	R134a
$T_C$ [°C]:	42,0	$\Delta T_{SC}$ [K]:	2	$\Delta p_{DL}$ [K]:	0,5			
CYCLE CAPACITY								
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	2,93	$\dot{Q}_E$ : 2,93 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 4,34 [kW]	$\dot{m}$ : 0,02093 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 8,18 [m <sup>3</sup> /h]			
COMPRESSOR PERFORMANCE								
Isentropic efficiency $\eta_{is}$ [-]	0,59	$\eta_{is}$ : 0,590 [-]	$\dot{W}$ : 1,362 [kW]					
COMPRESSOR HEAT LOSS								
Heat loss factor $f_Q$ [%]	10	$f_Q$ : 10,0 [%]	$T_2$ : 82,4 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0,1362 [kW]				
SUCTION LINE								
Heat ingress $\dot{Q}_{SL}$ [W]	180,0	$\dot{Q}_{SL}$ : 180 [W]	$T_B$ : 4,9 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$ : 9,9 [K]				
Calculate	Print	Help	Home	Auxiliary	State Points	COP: 2,151	COP*: 2,284	

Figura 4 Software Coolpack – Carga Pré Resfriador

Desse modo, se obterá um aumento de produtividade de 64,03% no ultra congelador (de 70 kg/h para 115,03 kg/h) aumentando o consumo de energia em apenas 29,87% com o acréscimo da câmara de pré resfriamento.

Na prática, para comparar com o estudo teórico acima, foram feitos alguns testes em uma fábrica de pães congelados onde havia um equipamento para ultra congelamento com capacidade nominal de 40kg/h de pão cru e uma câmara climática adaptada para o pré resfriamento. O teste realizado consistiu em vários experimentos aumentando aos poucos a capacidade de produto até chegar ao ponto ótimo de 1h de congelamento com a máxima capacidade possível de pão entrando a -5°C. O equipamento de congelamento possuía um consumo de **2,32 kW** e o pré resfriador adaptado ficou com um consumo de **0,68kW**. Adotando o pré resfriamento da massa até a temperatura de -5°C, como no estudo teórico, foi possível ampliar a capacidade do ultra congelador de 40kg/h para 70kg/h, representando um ganho de capacidade de 75% com um aumento de consumo de energia de 29% (carga do pré resfriador), dados esses muito próximos dos valores obtidos na teoria.

## Conclusão

No estudo teórico, com a retirada da carga térmica da etapa 1 (calor sensível antes do congelamento) do ultra congelador e considerando a entrada do pão já pré resfriado, obteve-se um aumento de produtividade de 64,03% no ultra congelador, aumentando o consumo de energia em apenas 29,87% referente a carga da câmara de pré resfriamento. Nas medições práticas realizadas observou-se um aumento de produtividade de 75% com um aumento de consumo de energia de 29% do pré resfriador.

No estudo teórico, para se obter um aumento de produtividade de 64% utilizando apenas o ultra congelador, seria necessário ter que trabalhar, por exemplo, 13 horas/dia ao invés de 8 horas/dia, consumindo com isso 13 x 4,524 kW = **58,81 kW/dia**. No entanto, utilizando o pré resfriador, temos 8 x 4,524 kW do ultra congelamento + 8 x 1,362kW do pré resfriamento = **47,08 kW/dia**, totalizando uma economia direta de energia de **20%**. Nos testes práticos obteve-se 75% a mais de produtividade com a aplicação do pré resfriamento. Utilizando a mesma comparação do estudo teórico, tem-se 14 horas/dia ao invés de 8 horas/dia, logo, utilizando a mesma lógica, seriam 14 x 2,32 kW = **32,48 kW/dia** do ultra congelador contra 8 x 2,32 kW do ultra congelador + 8 x 0,68 kW do pré resfriador = **24,00 kW/dia**, ou seja, uma economia direta de **26,11%**.

Logo, conclui-se que a aplicação do processo de pré resfriamento do pão cru congelado gera um ganho direto de **20%** a **26%** no consumo de energia.

## Referências

- [1] ENCICLOPÉDIA BARSA, Volume 12, 1990 – **Pão**. Rio de Janeiro: Enciclopédia Britânica do Brasil Publicações Ltda.
- [2] RAPIN, P. **Manual do Frio – Formulas Técnicas – Refrigeração e Ar Condicionado**. 8ª ed. Brasil: Hemus, 2001. 462p
- [3] TORREIRA, Raul P. **Elementos Básico de Ar Condicionado**. São Paulo: Hemus, 1976. 261p.
- [4] GASPARG, Alberto. **Física Ondas, Óptica e Termodinâmica**. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2000. 414 p.
- [5] DA SILVA, Alessandro. **Refrigeração Comercial**. 1ª ed. São Paulo: Nova Técnica, 2011. 143p.
- [6] COSTA, Ênio C. da. **Refrigeração**. 3ª ed. São Paulo: Blucher, 1982. 321 p.

- [7] HALLIDAY, David; ROBERT, Resnik; MERRIL, John. **Fundamentos da Física 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. 275 p.
- [8] ESCOLA TÉCNICA PROFISSIONAL, **Apostila de Projeto de Ar Condicionado**.
- [9] WYLEN, Gordon Van; SONNTAG, Richard; BORGNAKKE, Claus. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 1997. 589 p.

### **PRE-COOLING PROCESS IN FREEZING OF BREAD**

**Abstract:** *The present work deals with a theoretical study of the advantages of the application of the precooling in the process of ultra freezing of the raw bread being compared to the real measurements in a frozen bread factory in order to prove the existing gains. Using the practical measurements, a productivity increase of around 75% is observed. It has been verified that the application of the pre-cooling process of frozen raw bread in practice obtains values of gain very close to 20% to 26% of energy savings.*

**Keywords:** *pre cooling, ultra freezing, thermal efficiency.*