

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEMEC  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARCELA CARNEIRO ARAÚJO**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A CAPACIDADE FRIGORÍFICA E  
CARGA TÉRMICA DE ARMAZÉNS CLIMATIZADOS**

**UBERLÂNDIA  
JULHO DE 2018**

**MARCELA CARNEIRO ARAÚJO**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A CAPACIDADE FRIGORÍFICA E  
CARGA TÉRMICA DE ARMAZÉNS CLIMATIZADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Mecânica como  
requisito parcial para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador: Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes**

**UBERLÂNDIA  
JULHO DE 2018**

## RESUMO

Diversos setores produtivos dependem do auxílio da refrigeração industrial em seus processos de armazenamento para manter e conservar os produtos contra agentes que podem provocar alterações em sua qualidade até sua entrega ao cliente. Para isso, são utilizados sofisticados equipamentos que, operando da forma adequada, conseguem manter a qualidade de refrigeração e um menor gasto de energia. Esse projeto tem como objetivo avaliar a carga térmica em armazéns climatizados de uma empresa multinacional e comparar com a capacidade frigorífica proporcionada pelas máquinas de refrigeração presentes nos mesmos. Para isso, seis armazéns (A, B, C, D, E e F) contendo trinta e cinco máquinas de refrigeração foram avaliados por meio de uma análise de cálculo das cargas térmicas de refrigeração. Todos esses dados foram tabulados e os valores de condução, produto em fluxo, metabolismo das pessoas, iluminação, equipamentos e infiltração foram analisados. Após as avaliações, os armazéns apresentaram uma potência de refrigeração superior a carga térmica demandada. Com esses dados, podemos concluir que será necessário analisar a possibilidade de realizar um rodízio de funcionamento dos equipamentos nos demais armazéns de acordo com a necessidade. A proposta também se enquadra na instalação de cortinas de ar nas portas de acesso dos mesmos, a fim de reduzir a carga térmica de infiltração e aproximar à capacidade frigorífica presente nos armazéns. Portanto, a análise realizada possibilitou encontrar em cada ambiente climatizado possibilidades de melhorias de otimizar o processo de armazenamento do produto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Refrigeração, Carga Térmica, Armazenamento, qualidade, capacidade frigorífica.

## **ABSTRACT**

Several productive sectors depend on the support of industrial refrigeration in their storage processes to maintain and conserve products against agents that can cause changes in their quality until delivery to the customer. For this, sophisticated equipment are used, that operating in the appropriate form, they manage to conserve the quality of refrigeration and a reduce energy. This project purpose to evaluate the potential of improving the energy efficiency of climatized warehouses of a multinational company. For that purpose, six warehouses (A, B, C, D, E and F) containing thirty-five refrigeration machines were evaluated by means of the analysis of their thermal loads. All these data were tabulated and the values of conduction, product flow, metabolism of people, lighting, equipment and infiltration were analyzed. After the evaluations, the warehouses presented a cooling capacity higher than the demanded thermal load. With these data, we can conclude that it will be necessary to perform a rotational operation of the equipment in the other climatized warehouses according to the necessity. The proposal also fits in the installation of air curtains in the access doors of the same ones, in order to reduce the thermal load of infiltration and approach to the refrigerating capacity present in the warehouses. Therefore, the analysis made it possible to find in each climatized environment possibilities for improvements to optimize the product storage process.

**KEYWORDS:** Refrigeration, Thermal load, Storage, quality, refrigeration capacity.

## SUMÁRIO

	<i>LISTA DE TABELAS</i> .....	<i>vi</i>
	<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	<i>vii</i>
	<i>LISTA DE SÍMBOLOS</i> .....	<i>viii</i>
1	INTRODUÇÃO .....	10
2	OBJETIVO GERAL .....	13
3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
5	METODOLOGIA .....	18
	5.1 Carga térmica de condução .....	25
	5.2 Carga térmica de produto (em fluxo).....	27
	4.3 Carga térmica de pessoas .....	28
	4.4 Carga térmica de iluminação.....	29
	4.5 Carga térmica dos ventiladores .....	29
	4.6 Carga térmica das empilhadeiras .....	30
	4.7 Carga térmica de infiltração de ar .....	30
6	RESULTADOS.....	33
7	CONCLUSÕES.....	42
8	BIBLIOGRAFIA.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais diferenças e especificações técnicas dos modelos de máquinas de refrigeração presentes nos armazéns analisados.....	20
Tabela 2: Características estruturais dos armazéns climatizados.....	23
Tabela 3: Tabulação da quantidade de equipamentos por armazém e suas capacidades frigoríficas. ....	24
Tabela 4: Carga Térmica de Condução do armazém A.....	33
Tabela 5: Carga Térmica de Produto em Fluxo do Armazém A.....	33
Tabela 6: Carga Térmica de Metabolismo das Pessoas do Armazém A.....	34
Tabela 7: Carga Térmica de Iluminação do Armazém A.....	35
Tabela 8: Relação de quantidade de lâmpadas por armazém climatizado. ....	35
Tabela 9: Carga Térmica dos Motores dos Ventiladores do Armazém A.....	35
Tabela 10: Carga Térmica das Empilhadeiras do Armazém A. ....	36
Tabela 11: Carga Térmica de Infiltração do Ar do Armazém A.....	37
Tabela 12: Propriedades do ar refrigerado e infiltrado no armazém climatizado. ....	37
Tabela 13: Carga Térmica total de todos armazéns analisados. ....	39
Tabela 14: Comparação da carga térmica calculada com a potência oferecida pelas atuais máquinas de refrigeração instaladas em cada climatizado.....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática do processo de beneficiamento do Milho. ....	11
Figura 2: Representação do armazém climatizado com a presença do equipamento de refrigeração e ventiladores na distribuição do local. ....	19
Figura 3: Imagem referente a dois modelos de máquinas de refrigeração, com diferença na disposição das unidades condensadoras. a) Modelo tipo Plug-in; b) Modelo tipo Split. ....	20
Figura 4: Layout dos armazéns climatizados A, B e C, respectivamente. ....	22
Figura 5: Layout dos armazéns climatizados E, D e F, respectivamente. ....	22
Figura 6: Dimensões das máquinas de refrigeração utilizadas nos armazéns. ....	23
Figura 7: Valores de coeficiente globais de transmissão de calor de isopainéis de EPS. ....	25
Figura 8: Valores de coeficientes globais de transmissão de calor para isotelhas de EPS. ....	26
Figura 9: Valores de coeficientes globais de transmissão de calor para pisos de concreto. ....	26
Figura 10: Condições externas de temperatura para o verão (°C). ....	33
Figura 11: Tabela referente ao calor de metabolismo das pessoas. ....	35
Figura 12: Tabela referente ao rendimento do motor de acordo com sua potência. ....	36
Figura 13: Tabela referente ao rendimento do motor de empilhadeiras de acordo com sua potência. ....	36
Figura 14: Propriedades do ar na cidade de Uberlândia-MG retiradas do Software EES. ....	37
Figura 15: Valores para fatores de Fluxo de Porta (Df). ....	38
Figura 16: Valores para efetividade (E). ....	38

## LISTA DE SÍMBOLOS

$h_i$ : Entalpia do ar infiltrado [kJ/kg]

$h_r$ : Entalpia do ar refrigerado [kJ/kg]

$C_{res}$ : Calor específico de resfriamento do milho [kcal/kg.°C]

$D_f$ : Fator de escoamento através da porta

$D_t$ : Fator de duração do tempo de abertura da porta

$F_m$ : Fator massa volumétrica.

$H_{res}$ : Tempo mínimo que o produto vai permanecer em resfriamento até atingir a temperatura desejada [h].

$N_a$ : Número de lâmpadas [quantidade]

$P_{ot}$ : Potência de cada motor [CV]

$Q_{cond}$ : Carga Térmica de condução [kcal/dia]

$Q_{il u}$ : Carga térmica de iluminação [kcal/dia]

$Q_{i nf}$ : Carga térmica média para 24 horas [kW]

$Q_{maq}$ : Carga térmica dos motores das máquinas [kcal/dia]

$Q_{pes}$ : Carga térmica devido ao metabolismo de pessoas [kcal/dia]

$Q_{prod}$ : Carga Térmica de produto [kcal/dia]

$Q_{vent}$ : Carga térmica dos motores dos ventiladores [kcal/dia]

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente [°C]

$T_{cf}$ : Temperatura interna do armazém refrigerado [°C]

$T_e$ : Temperatura entrada do produto no armazém [°C]

$T_{ins}$ : Acréscimo de temperatura devido a insolação direta na estrutura observada [°C]

$T_s$ : Temperatura de saída do produto do armazém [°C]

$W_a$ : Potência da lâmpada [W]

$n_{pes}$ : Número de pessoas trabalhando no armazém climatizado [qntd]

$q_{met}$ : Metabolismo de pessoa na ocupação referida [kcal/h.pessoa]

$t_a$ : Tempo em que a iluminação funciona por dia [h/dia]

$t_{vent}$ : Tempo em que os motores funcionam por dia [h/dia]

$\rho_i$ : Densidade do ar infiltrado [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_r$ : Densidade do ar refrigerado [kg/m<sup>3</sup>]

$A_p$ : Área da porta [m<sup>2</sup>]

A: Área de condução de calor da estrutura observada [m<sup>2</sup>]  
D: Quantidade mássica de produto em fluxo por dia [kg]  
E: Efetividade da proteção oferecida pela porta  
g: Aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>]  
H: Altura da porta [m]  
N: Número de motores internos [qntd]  
P: número diário de aberturas da porta [qtde]  
q: carga de refrigeração sensível e latente [kW]  
 $q_i$ : Carga de refrigeração sensível e latente para escoamento completamente desenvolvido [kW]  
 $t_o$ : Tempo de ocupação diário por pessoa no armazém climatizado [h/dia]  
U: Coeficiente Global de transmissão de calor [kcal/(h.m<sup>2</sup>.°C)]  
 $Dt$ : fração decimal do tempo de duração de abertura da porta  
 $t_e$ : Tempo em que a empilhadeira permanece dentro do armazém diariamente [h/dia]  
 $\eta$  : Rendimento do motor [%]  
 $\theta d$ : período de tempo diário [h]  
 $\theta o$ : tempo que a porta fica aberta [s]  
 $\theta p$ : tempo que demora a abrir/fechar a porta [s]

## 1 INTRODUÇÃO

As condições do ambiente de armazenamento de produtos, como por exemplo sementes, são fatores importantes para a preservação destes. O armazenamento em condições de ambiente controlado, temperatura e/ou umidade relativa do ar, permite conservá-las por longos períodos de tempo. Já ambientes com pouca ventilação, quentes e úmidos não devem ser utilizados para o armazenamento, pois a umidade e a temperatura são os principais fatores responsáveis pela perda de viabilidade das sementes.

Durante todo o processo de produção de sementes, o armazenamento possui um papel extremamente importante, porque se trata de um período muito extenso a qual as sementes ficarão submetidas. Esse ponto é ainda mais preocupante em países tropicais e subtropicais, onde o controle indevido do grau de umidade e temperatura podem potencializar o desenvolvimento de fungos e levar a perda de toda a produção.

Desta maneira, o objetivo principal do armazenamento climatizado é a manutenção da qualidade dos grãos durante todo o tempo em que ficarão armazenadas, retardando assim o processo de deterioração. Se armazenadas em locais com umidade elevada, as sementes buscarão o equilíbrio higroscópico com o ar, aumentando a umidade das sementes, dando início a instalação de fungos que irão favorecer a aceleração do processo de deterioração. O armazenamento das sementes em condições ideais (considerando que se trata de um organismo vivo) irá influenciar positivamente na qualidade do plantio.

Para que chegue em condições ideais de estocagem, o milho deve ter acompanhamento de controle de pragas durante o plantio, no período da colheita estar em condições de boa umidade para ocorrer o despalhamento e ocorrer a secagem para facilitar a separação dos grãos com a espiga de forma ideal no processo de debulha.

Depois desse processo os grãos serão armazenados em silos e posteriormente tratados e separados no processo de classificação e tipagem. O processo de beneficiamento das sementes de milho tem seu final na etapa de armazenamento, em que ficarão estocados em ambientes refrigerados até sua venda para os clientes, como representado pela figura 1.

### Processo de Produção dos grãos - Milho

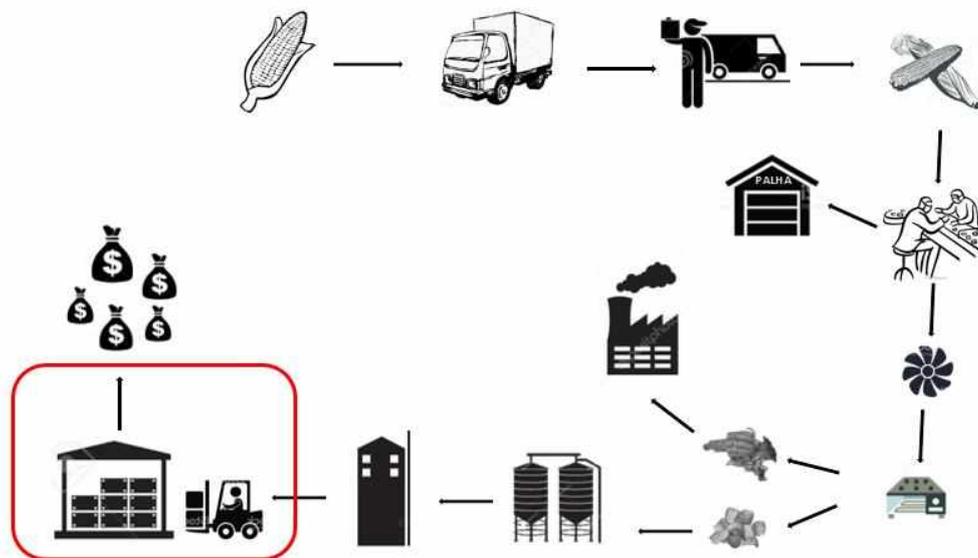


Figura 1: Representação esquemática do processo de beneficiamento do Milho.

Para se obter um armazenamento climatizado em condições ideais, é necessário uma correta análise da carga térmica demandada pelo ambiente. Quando a potência da máquina de refrigeração é satisfatória, seu funcionamento será mais eficiente, o alcance da temperatura desejada será mais rápido e o gasto energético menor. Além disso, terá um baixo índice de desgaste do equipamento, reduzindo a necessidade de manutenções que comprometerão a vida útil do mesmo.

Em algumas situações, ocorre o subdimensionamento da climatização, ou seja, a capacidade de refrigeração está abaixo da demandada, tendo o número de toneladas de refrigeração TR menor do que o ambiente necessita. Quando isso ocorre, o equipamento irá trabalhar em sua capacidade máxima de funcionamento e irá demorar mais tempo para atingir a temperatura solicitada, independente da função programada. Assim, como o tempo em funcionamento aumentará, o consumo de energia e o desgaste dos componentes internos da máquina também será maior e não garantirão as condições ideais. Em outras situações, ocorre o superdimensionamento da climatização, ou seja, o equipamento escolhido possui uma capacidade maior do que a demandada. Quando isso ocorre, haverá um desperdício do dinheiro investido, desde a compra do equipamento até o pagamento da conta de energia.

Visto isso, a empresa deparou-se com a necessidade de reavaliar as condições operacionais dos Armazéns Climatizados afim de explicar a perda de rendimento e o afastamento dos valores projetados de temperatura e umidade relativa em que o ambiente se encontrava. Assim, como o projeto é antigo e ocorreram modificações desde a concepção inicial, foi proposta a realização do cálculo da carga térmica de todos os seis armazéns da unidade.

## **2 OBJETIVO GERAL**

O objetivo desse trabalho é avaliar a capacidade frigorífica de seis armazéns climatizados para estocagem de sementes de uma empresa multinacional, com o intuito de evidenciar os problemas do dimensionamento mal planejado e propor soluções.

- 1) Quantificar a carga térmica de cada um dos seis armazéns climatizados;
- 2) Avaliar o dimensionamento dos ambientes climatizados;
- 3) Citar possíveis soluções para melhorar o desempenho de cada um dos armazéns.

### **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Esse projeto tem como objetivo analisar a capacidade térmica de armazéns climatizados de uma empresa multinacional. Visa estudar as instalações na indústria de modo a conseguir reduzir os custos energéticos, recorrendo à melhoria da eficiência energética na refrigeração. Esse estudo permitirá encontrar possíveis oportunidades de melhoria e problemas que levam a um aumento desnecessário de energia. O intuito é realizar um estudo quanto a quantidade e potência das máquinas de refrigerações presentes em cada armazém para entender sua eficiência e os custos de energia destinados para essa demanda e propôr possíveis melhorias para a empresa.

#### 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A necessidade de conhecimentos sobre conservação de grãos fica evidenciada quando são analisadas as potencialidades brasileiras de produção agrícola e são verificadas as astronômicas perdas de grande parte do que se produz, em função da falta e/ou inadequação tecnológica da infra-estrutura de unidades de secagem e armazenamento (ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2017).

O armazenamento é um processo de suma importância, pois de nada vale produzir bem, com qualidade e produtividade elevadas, se a produção estragar ou ficar comprometida devido a um processo inadequado de armazenamento (REGINATO *et al.* 2014). E referindo-se à produção de grãos de milho, deve-se entender que acontece em duas safras (PARAGINSKI *et al.*, 2015) e carecem de armazenamento durante o restante do período do ano para atender à demanda; entretanto, muitas vezes por déficit de armazenamento ou mesmo por falta de informações, os grãos acabam sendo armazenados de forma incorreta, em condições inadequadas, o que acaba comprometendo a qualidade do produto.

É possível armazenar grãos de milho nas temperaturas de 5 à 35 °C com umidade de 14% durante 6 meses, sem alterar a tipificação final do produto porém após este período há redução da qualidade dos grãos. (PARAGINSKI *et al.*, 2015)

Isso se dá pelo fato de ocorrerem aumentos graduais da umidade e da temperatura da massa sob tais condições de armazenamento, que originam um conjunto de processos físicos, químicos e bioquímicos específicos e acumulativos na deterioração dos grãos, conhecido como efeito de massa, altamente correlacionado com o desenvolvimento e a sucessão microbiana e de pragas durante o armazenamento (ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2017).

Ainda, observa-se que diferente da armazenagem de frutas e hortaliças, os grãos são organismos vivos, em que respiram durante seu armazenamento. Elias, Oliveira e Vanier (2017) afirmam que pelos grãos possuírem constituição química específica e estrutura interna porosa que lhes conferem características higroscópicas e de má condutibilidade térmica, através dos espaços intergranulares da massa de grãos, permanecem em constantes trocas de calor e umidade com o ar no ambiente de armazenagem.

As perdas causadas durante o armazenamento de grãos podem ser quantitativas que é a redução de peso ou de volume e qualitativas que caracteriza-se pelas alterações na qualidade do produto, em razão da diminuição do valor nutricional, devido à presença de contaminantes nas fases de pré e pós-colheita (REGINATO, 2014 *apud* BACALTCHUK & LORINI, 2008).

Segundo estudos realizados por Paraginski (2015), a utilização de temperaturas mais elevadas de armazenamento (acima de 15 °C) provoca aumentos dos processos metabólicos dos grãos reduzindo o percentual de germinação. Logo, a qualidade dos grãos deve ser preservada ao máximo durante o armazenamento, em vista da ocorrência de alterações químicas, bioquímicas, físicas e microbiológicas.

De acordo com Reginato *et al.* (2014), os principais danos causados, nos grãos, por fungos, são: aquecimento e emboloramento; alterações na coloração e aparecimento de manchas; alterações no odor e no sabor; alterações da composição química; perdas de matéria seca; diminuição do poder germinativo e produção de toxinas. E, a velocidade e a intensidade desses processos dependem da qualidade intrínseca dos grãos, das operações de pré-armazenamento, do sistema de armazenagem utilizado e dos fatores ambientais durante o período de estocagem (DIONELLO *et al.*, 2000 *apud* POMERANZ, 1974; PUZZI, 1986; ELIAS *et al.*, 1999).

Assim, há evidências da importância de realização do armazenamento refrigerado que conseqüentemente remete ao conceito de carga térmica, uma vez que esse termo representa a retirada de calor gerado pelo produto armazenado para reduzir sua temperatura até o nível desejado.

E em estudos realizados por Neto *et al.* (2006) para que exista uma refrigeração eficiente e com baixo gasto de energia, o funcionamento das câmaras frias não devem estar inadequados, indicando super e subdimensionamento. Essas situações podem trazer, como conseqüência, a perda na qualidade do produto ao longo de seu armazenamento, além de proporcionar maior gasto energético diante da má utilização desses equipamentos.

Assim, vários artigos relacionados à metodologia de cálculo de carga térmica são realizados para remeter à qualidade de armazenamento de diversos produtos, como também, sendo base para projetos de instalações de câmaras frigoríficas com dimensionamentos e seleções de maquinários ideais.

Uma análise quanto ao transporte refrigerado de cargas sensíveis à temperatura foram realizadas para garantir a manutenção da qualidade dos produtos transportados com temperatura estável. A exigência do emprego de carrocerias frigoríficas isoladas equipadas com sistemas de refrigeração e o correto dimensionamento do equipamento de geração de frio são imprescindíveis. Assim foi realizada uma avaliação da carga térmica devido a penetração de calor durante o período de transporte para a seleção deste equipamento (SCHMITZ, 2016).

Beites (2013) realizou uma pesquisa com metodologia semelhante que consiste na concepção de uma instalação frigorífica com atmosfera controlada com o objectivo de armazenar uvas de mesa. Em primeiro lugar estudou-se os factores que influenciam na concepção da instalação, em que foi dimensionada com atenção ao seu revestimento térmico e foi feito o seu balanço da carga térmica, assim como todos os cálculos que permitiram a selecção dos equipamentos das câmaras.

Da mesma forma, Campos (2015) para realizar a montagem de um módulo prático de um sistema de refrigeração mecânica por compressão foi necessário a especificação de considerações indispensáveis ao projeto e construção do mesmo, desde os cálculos térmicos até a seleção dos equipamentos.

Vê-se a importância de utilizar a metodologia de cargas térmicas para encontrar as condições ideais de refrigeração de vários projetos e pesquisas realizados, mesmo não sendo no ramo de grãos. A estrutura de análise é fixa, sempre considerando a quantidade de calor a ser removida, calculada conhecendo-se o produto, seu estado inicial, massa, calor específico, temperatura de início de congelamento e calor latente (ASHRAE, 1993).

Logo, para validação correta da capacidade frigorífica de armazéns climatizados já existentes, essa metodologia se enquadra, em que serão coletadas informações específicas do ambiente, do produto e dos equipamentos, respaldados pelo projeto inicial e pela coleta de dados *in loco*. Podendo encontrar a situação de dimensionamento dos locais e propor otimizações na logística do processo quanto na reestruturação do maquinário.

## 5 METODOLOGIA

Para realizar o proposto foi necessário conhecer a estrutura dos armazéns, coletando informações de suas plantas baixas, movimentação de mercadorias e pessoas, como também entender o funcionamento do maquinário de refrigeração e as necessidades de armazenamento do produto.

Os armazéns climatizados analisados se destinam ao acondicionamento de milho híbrido, devendo se manter o ambiente interno à temperatura de 10 a 12°C e 50% a 55% de umidade relativa. As câmaras possuem máquinas compactas de refrigeração consistindo em um ciclo de refrigeração por evaporação clássico com compressor semi-hermético. A prioridade de controle é a temperatura. Uma vez atingido o SET POINT, o sistema passa a corrigir a umidade através de um circuito de desumidificação de gás quente.

Desde o projeto inicial dos ambientes climatizados foi verificada a necessidade de aumentar a capacidade frigorífica devido à introdução de outro turno na produção da empresa, totalizando uma maior movimentação dentro dos armazéns. Assim, por meio da análise dos fornecedores atuais das máquinas de refrigeração foi sugerida a troca e acréscimos de novos equipamentos por outros mais potentes de novos modelos. Essa estrutura conseguiu manter as metas de temperatura e umidade dos climatizados, mas sem uma margem de segurança, ocorrendo diferenças em períodos de grande movimentação de produtos e climas críticos, por exemplo.

No início do ano de 2017, foram planejadas novas estruturas de refrigeração para os climatizados, com o intuito de renovar as máquinas que estavam depreciadas, como também conseguir aumentar a capacidade frigorífica dos armazéns. Ocorreram muitas mudanças satisfatórias quanto a manutenção da temperatura e umidade dos ambientes, o que promoveu uma aproximação da capacidade frigorífica ideal de acordo com a carga térmica gerada em cada ambiente.

Porém, todas essas mudanças efetivadas nos armazéns não haviam passado por uma análise técnica de carga térmica para informar a necessidade ideal de cada armazém de acordo com suas estruturas e peculiaridades atuais. Assim, simultaneamente às coletas de dados para realizar os cálculos, tabelou-se algumas informações repassadas do fornecedor das máquinas de refrigeração relevantes para o estudo térmico realizado. A

partir das premissas utilizadas, foram avaliados e comparados os resultados da carga térmica total e, posteriormente, da potência frigorífica fornecida em cada armazém.

Os modelos presentes nos climatizados são do tipo Split, com a unidade condensadora e evaporadora separadas, sem necessidade de dutos para refrigeração do ambiente, ou seja, os equipamentos refrigeram diretamente o local. Além disso dispõem de ventiladores distribuídos pelo local para auxiliar na dissipação e homogeneidade de temperatura e umidade.

Pode-se visualizar na Figura 2 a estrutura interna geral dos armazéns climatizados analisados, em que contêm as máquinas de refrigeração em sua lateral, ventiladores axiais espaçados pela região superior do armazém para garantir a melhor refrigeração do local.



Figura 2: Representação do armazém climatizado com a presença do equipamento de refrigeração e ventiladores na distribuição do local.

Os armazéns analisados possuem quatro modelos de equipamentos (Tabela 1), com capacidade de refrigerar e desumidificar o ambiente. Basicamente, os equipamentos são diferentes quanto a disposição do modelo das condensadoras, no qual as mais antigas são acopladas na parte superior do isopanel na parede do armazém (tipo Plug in), na mesma posição que a evaporadora, mas no exterior do armazéns. Já as atuais, a unidade

condensadora é instalada no chão, para facilitar a sua manutenção, sendo que a interligação com a evaporadora se dá por meio de tubulações e drenos.

Pode-se verificar esses dois tipos de disposição das máquinas de refrigeração através da Figura 3.



(a)

(b)

Figura 3: Imagem referente a dois modelos de máquinas de refrigeração, com diferença na disposição das unidades condensadoras. a) Modelo tipo Plug-in; b) Modelo tipo Split.

Como também se diferem quanto ao fluido refrigerante presente no sistema, a capacidade de toneladas de refrigeração do ambiente e em outras características que seguem na tabela 1.

Tabela 1: Principais diferenças e especificações técnicas dos modelos de máquinas de refrigeração presentes nos armazéns analisados.

EQUIPAMENTOS				
Modelos	UNA 3000 DS	UNA 1520 DS	IDH 1500	IDA 1500
<b>Potencia do compressor por unidade</b>	18 TR	12 TR	15 TR	15 TR
<b>Tensão do compressor</b>	380 V	380 V	380 V	380 V
<b>Potência máxima de consumo</b>	26,6 KW	16,9 KW	19,7 KW	19,7 KW
<b>Gás refrigerante</b>	R-404A	R-404A	R-22	R-404A

<b>Condensador</b>	Microcanal	Microcanal	Aletado cobre	Aletado cobre
<b>Vazão dos evaporadores por unidade</b>	20.600 m <sup>3</sup> /h	14.600 m <sup>3</sup> /h	16.600 m <sup>3</sup> /h	16.600 m <sup>3</sup> /h
<b>Flecha de ar</b>	37 m	35 m	22 m	22 m
<b>Potência frigorífica instalada</b>	48 KW	30,4 KW	31,9 KW	30,4 KW

Por se tratar de um sistema de grande porte, é preciso que o projeto seja desenvolvido de modo que os evaporadores estejam posicionados para que o ar de saída tenha um grande alcance. E para cumprir esse objetivo é necessário analisar flecha de ar que possibilita a vazão de ar suficiente, de acordo com o produto que será armazenado, para que seja assegurada sua integridade dentro do sistema.

A flecha de ar representa a distância máxima que o ar refrigerado pode alcançar dentro da câmara a partir do ventilador do evaporador. A velocidade do ar que sai do evaporador desacelera conforme ele se afasta do ponto inicial. Esses aspectos podem ser aprimorados não apenas com o correto planejamento, mas também com o auxílio de equipamentos (Frigocenter, 2018).

A correta distribuição do ar frio pelos evaporadores garante uma manutenção homogênea da temperatura interna. Dessa forma, os motores e os ventiladores são menos exigidos e, conseqüentemente, há um aumento na sua eficiência energética e na durabilidade. Além disso, assegura o número de troca de ar adequado para que não haja desidratação ou apodrecimento dos produtos armazenados.

São apresentadas, nas figuras 4 e 5, as representações esquemáticas da disposição dos climatizados e seus equipamentos de refrigeração.

Figura 4: Layout dos armazéns climatizados A, B e C, respectivamente.

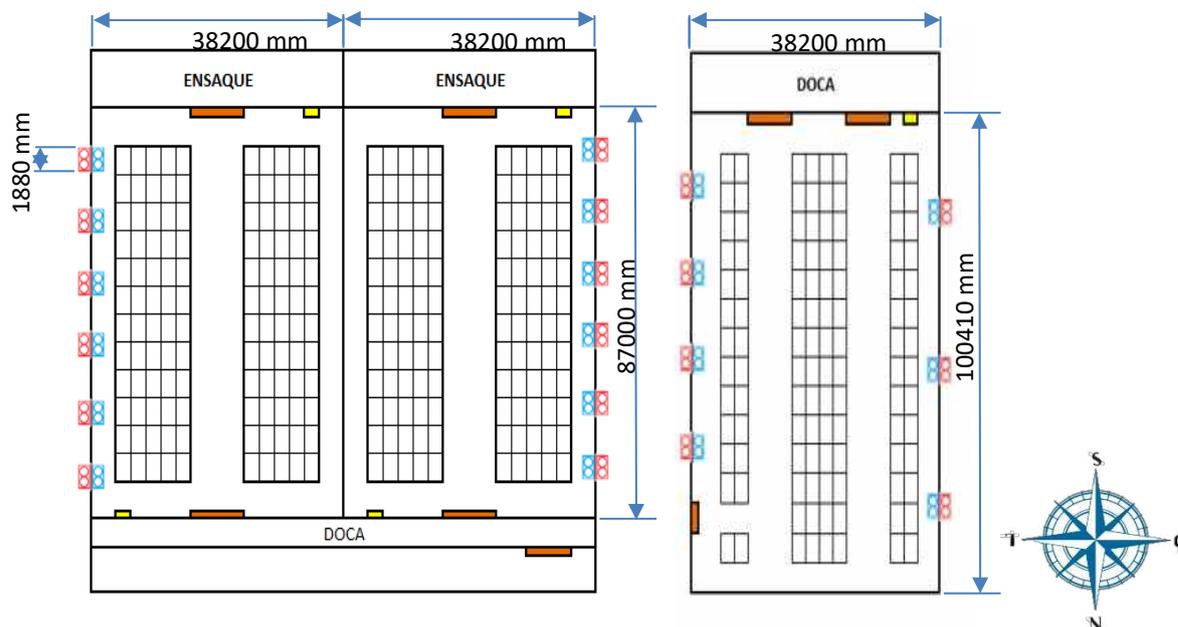
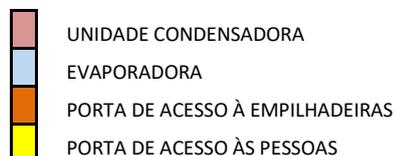
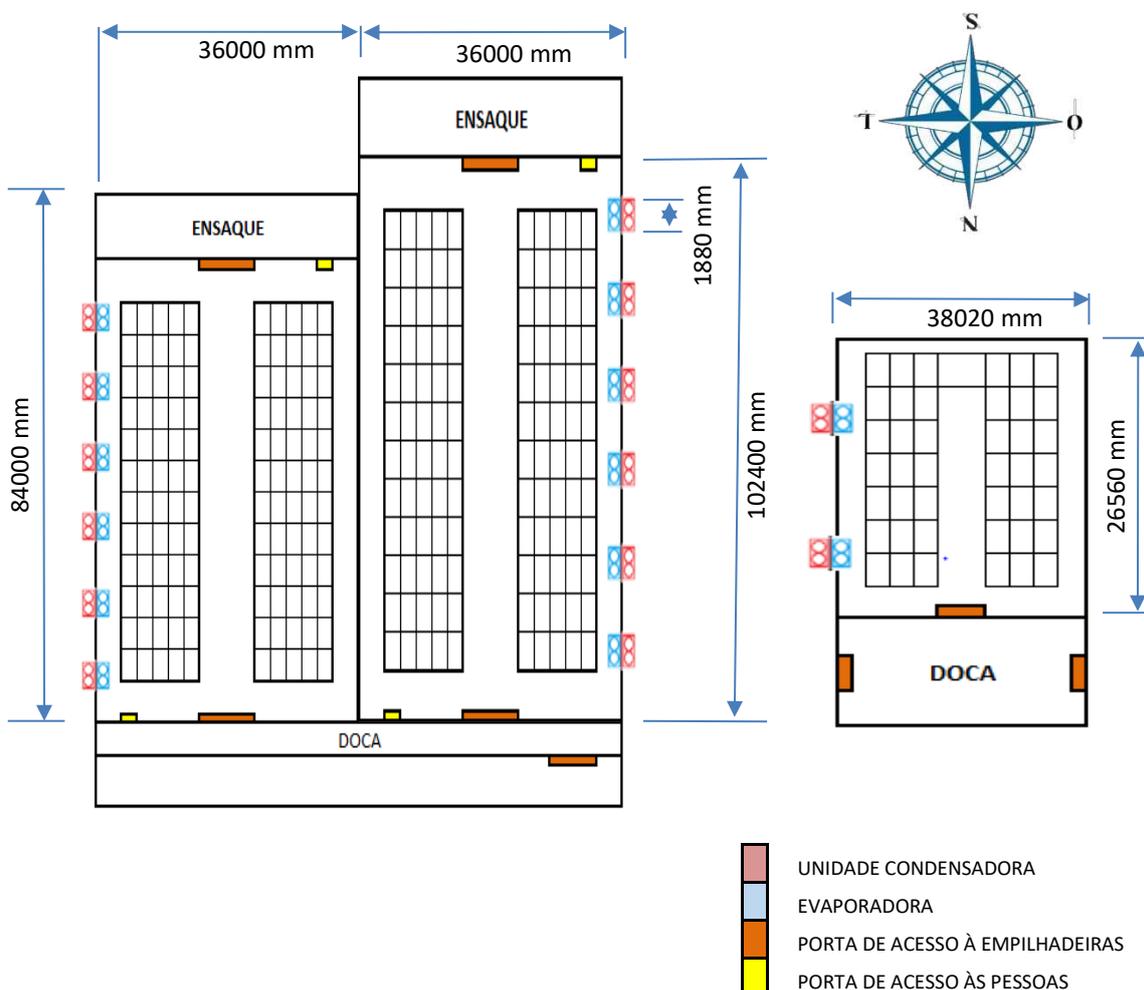


Figura 5: Layout dos armazéns climatizados E, D e F, respectivamente.



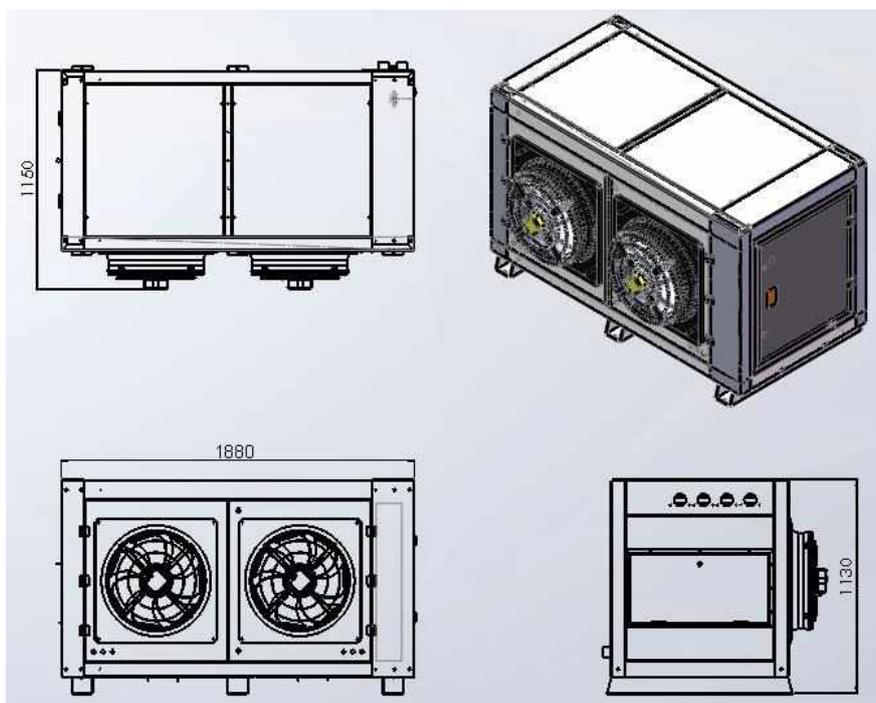


Figura 6: Dimensões das máquinas de refrigeração utilizadas nos armazéns.

Verifica-se, a tabela 2 com o detalhamento das dimensões da estrutura dos armazéns e especificação do seu isolamento.

Tabela 2: Características estruturais dos armazéns climatizados.

ARMAZÉM CLIMATIZADO	DIMENSÕES EXTERNAS				ISOLAMENTO	
	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	ALTURA (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )	MATERIAL	ESPESSURA (mm)
A	87,9	38,02	9,6	32082,7968	Isopor EPS	1100
B	87,9	38,02	9,6	32082,7968	Isopor EPS	1100
C	100,41	38,02	9,6	36648,84672	Isopor EPS	1100
D	84	36	9,5	28728	Isopor EPS	1100
E	102,4	36	9,5	35020,8	Isopor EPS	1100
BÁSICA	38,02	26,56	9,6	9694,18752	Isopor EPS	1100

Também, expõe-se a distribuição de potência do conjunto de máquinas de refrigeração em cada um dos armazéns analisados pela tabela 3.

Tabela 3: Tabulação da quantidade de equipamentos por armazém e suas capacidades frigoríficas.

Quantidade de equipamentos				
Armazéns	Capacidade frigorífica (TR)			Potência total em cada armazém (TR)
	12	15	18	
A	2	3	1	87
B	2	3	1	87
C	2	4	1	102
D	3	3	-	81
E	3	3	-	81
F	1	-	1	30

Assim, conhecendo-se a estrutura e atual configuração dos armazéns foi possível realizar os cálculos referentes às cargas térmicas geradas dentro dos ambientes climatizados da empresa, considerando a movimentação diária de produtos, circulação de produtos e equipamentos, iluminação, infiltração na estrutura e condução de calor externo para o meio interno do climatizado. Esta metodologia se embasa em fundamentos teóricos e práticos, além de estar respaldada por normas técnicas nacionais (NBR 16401) e internacionais de diferentes versões (ASHRAE).

A carga térmica de refrigeração é a taxa com que calor deve ser rejeitado de um ambiente refrigerado para mantê-lo à temperatura desejada. A quantidade de calor a ser removida pode ser calculada conhecendo-se o produto, seu estado inicial, massa, calor específico, temperatura de início de congelamento e calor latente (ASHRAE, 1993). Os equipamentos utilizados na refrigeração industrial são controlados para manter a temperatura de interesse e, portanto, devem ser dimensionados levando em consideração a carga térmica de refrigeração, calculada pela equação I:

$$CT = \dot{Q}_{co} + \dot{Q}_{in} + \dot{Q}_{pr} + \dot{Q}_{mo} + \dot{Q}_{il} + \dot{Q}_{pe} \quad (I)$$

em que  $CT$  é a carga térmica total de refrigeração, e os fatores do somatório são as diferentes contribuições a serem analisadas:

$Q_{con} = \text{Cal or de Condução}$

$Q_{in} = \text{Cal or de Infil tração}$

$Q_{pr} = \text{Cal or de Produto}$

$Q_{mo} = \text{Cal or de Motores}$

$Q_{il} = \text{Cal or de Il umi nação}$

$Q_{pe} = \text{Cal or de Pessoas}$

### 5.1 Carga térmica de condução

A carga térmica de condução tem função de calcular a quantidade de calor transmitida através dos elementos estruturais do armazém (piso, teto e paredes), considerando todas os materiais com resistência térmica relevantes.

O dimensionamento do isolante é importante para encontrar a condutibilidade térmica de cada elemento que contribua com a resistência à passagem de calor nas estruturas de parede, teto e piso. Nesse caso, não foi realizado o cálculo do mesmo, pois não se está projetando o armazém, mas coletando informações já existentes em sua estrutura.

O teto dos armazéns são constituídos por isotelhas de EPS (isopor), mesmo material presente nos isopainéis utilizados nas paredes. O ideal seria possuir isolamento também na região do piso, porém o mesmo não existe, sendo composto por concreto armado. Com essas informações foi possível encontrar os valores utilizados efetivamente para o cálculo de coeficientes globais de transmissão de calor em cada local.

- Coeficiente Global (U) das paredes: 0,28375 kcal/(h.m<sup>2</sup>.°C);

EPS   POLIESTIRENO EXPANDIDO						
Espessura isolante (mm)	Espessura revestimento externo/interno	Peso próprio (kg/m <sup>3</sup> )	U Coef. Global de transm. Calor (W/m <sup>2</sup> .K)	Largura útil (mm)	Comprimento máximo (m)	Vão máximo entre apoios (mm)
50 mm	#0,50 / #0,50	10,00	0,63	1.150	12,00	2.500
100 mm	#0,50 / #0,50	11,00	0,33	1.150	12,00	4.000
150 mm	#0,50 / #0,50	12,00	0,22	1.150	12,00	4.600
200 mm	#0,50 / #0,50	13,00	0,17	1.150	12,00	5.500
250 mm	#0,50 / #0,50	14,00	0,14	1.150	12,00	6.000

Figura 7: Valores de coeficiente globais de transmissão de calor de isopainéis de EPS.

FONTE: Top Cooler.

- Coeficiente Global (U) do teto: 0,28 kcal/(h.m<sup>2</sup>.°C);

Nº de Apoios	Espessura isolante (mm)	Espessura Revestimento (mm)	Peso próprio (kg/m <sup>2</sup> )		U <sup>1</sup> Coef. global de trans. de calor (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	Comprimento máximo (m)		Vão máximo entre apoios (mm)	
			Aço/Aço	Aço/Filme		Aço/Aço	Aço/Filme	Aço/Aço	Aço/Filme
2 APOIOS 	30	0,43 0,50	9,50	4,80	0,84	12	7,5	2500	1800
	50	0,43 0,50	10,00	5,10	0,54	12	7,5	3250	1800
	100	0,43 0,50	11,00	5,70	0,28	12	7,5	4500	1800
3 APOIOS 	30	0,43 0,50	9,50	4,80	0,84	12	7,5	2750	1800
	50	0,43 0,50	10,00	5,10	0,54	12	7,5	3500	1800
	100	0,43 0,50	11,00	5,70	0,28	12	7,5	4500	1800

★ A inclinação mínima recomendada é de 8%, para coberturas com comprimento da água de no máximo 20m, demais sob consulta.  
Carga admissível de 80 kg/m<sup>2</sup> - 3 ou mais apoios  
Cobertura: Flecha de L/180 - Fechamento: Flecha de L/120  
1 Kcal/h.m<sup>2</sup>.°C = 1,163 W/m<sup>2</sup>.K  
Peso consid. esp. aço superior = 0,43mm

Figura 8: Valores de coeficientes globais de transmissão de calor para isotelhas de EPS.

FONTE: Isotelha® Trapezoidal EPS.

- Coeficiente Global (U) do piso: 1,70 kcal/(h.m<sup>2</sup>.°C).

TABELA 13-35 Valores típicos dos coeficientes globais de transferência de calor para o cálculo das perdas de calor em digestores\*

Item	Unidade inglesa, Btu/ft <sup>2</sup> .°F.h	Unidade no SI, W/m <sup>2</sup> .°C
Paredes de concreto planas (acima no nível do solo)		
300 mm de espessura, sem isolamento térmico	0,83-0,90	4,7-5,1
300 mm de espessura, revestida com tijolos e espaço de ar entre a parede e o revestimento	0,32-0,42	1,8-2,4
300 mm de espessura com isolamento térmico	0,11-0,14	0,6-0,8
Paredes de concreto planas (abaixo do nível do solo)		
Em solo seco	0,10-0,12	0,57-0,68
Em solo úmido	0,19-0,25	1,1-1,4
Pisos de concreto planos		
300 mm de espessura em contato com o solo úmido	0,5	2,85
300 mm de espessura em contato com o solo seco	0,3	1,7
Coberturas flutuante		
Com um forro de madeira de 35 mm, com cobertura sem isolamento	0,32-0,35	1,8-2,0
Com placas de isolamento de 25 mm instaladas abaixo da cobertura	0,16-0,18	0,9-1,0
Coberturas de concreto fixas		
100 mm de espessura, com cobertura sem isolamento	0,70-0,88	4,0-5,0
100 mm de espessura, com placas de isolamento de 25 mm abaixo da cobertura	0,21-0,28	1,2-1,6
225 mm de espessura sem isolamento	0,53-0,63	3,0-3,6
Cobertura de aço fixa, com 6 mm de espessura	0,70-0,95	4,0-5,4

\* Adaptado, em parte, de U.S. EPA (1979).

Figura 9: Valores de coeficientes globais de transmissão de calor para pisos de concreto.

Os coeficientes globais de transmissão de calor é uma propriedade do material que constitui a estrutura dos armazéns, assim, verifica-se que o concreto que não possui uma isolamento térmica boa possui alto coeficiente. Assim, para correção dos fatores de condução por insolação foi utilizado um valor proporcional relativo ao sombreamento criado em cada parede.

Para efeito de cálculo foi considerado um atenuante de insolação nas paredes leste e oeste de 2 °C (dois), nas paredes norte e sul 1 °C (um) e para o teto 5 °C (cinco), segundo norma (ASHRAE, 2010). Já o piso não possui esse fator de correção, pois não ocorre incidência solar no mesmo, sendo recoberto pelo ambiente interno com umidade e temperatura controlada.

A equação II representa o cálculo da carga térmica de condução:

$$Q_{cond} = U * A * (T_{amb} + T_{ins} - T_{cf}) * 24 \quad (II)$$

$Q_{cond}$ : Carga Térmica de condução [kcal/dia];

U: Coeficiente Global de transmissão de calor [kcal/(h.m<sup>2</sup>.°C)];

A: Área de condução de calor da estrutura observada [m<sup>2</sup>];

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente [°C];

$T_{ins}$ : Acréscimo de temperatura devido a insolação direta na estrutura observada [°C];

$T_{cf}$ : Temperatura interna do armazém refrigerado [°C].

Para mensurar as dimensões dos climatizados foram disponibilizados croquis de todos armazéns pela equipe de Projetos da empresa, esquematizados pela figura 3 e 4..

## 5.2 Carga térmica de produto (em fluxo)

A carga térmica do produto faz referência à quantidade de calor necessária para resfriar o produto que entrou no armazém em um período previamente estipulado para saída.

Para efeito de cálculo da carga térmica de produto, foi desconsiderada a carga do produto estático no armazém, se pressupõe que o acondicionamento deste já se encontra estabelecido.

A equação III representa o cálculo da carga térmica de produto:

$$Q_{prod} = \frac{D * C_{res} * (T_e - T_s) * 24}{H_{res}} \quad (III)$$

$Q_{prod}$ : Carga Térmica de produto [kcal/dia];

D: Quantidade mássica de produto em fluxo por dia [kg];

$C_{res}$ : Calor específico de resfriamento do milho [kcal/kg.°C];

$T_e$ : Temperatura entrada do produto no armazém [°C];

$T_s$ : Temperatura de saída do produto do armazém [°C];

$H_{res}$ : Tempo mínimo que o produto vai permanecer em resfriamento até atingir a temperatura desejada [h].

A fim de se entender a carga térmica gerada pelo armazenamento dos produtos, foi disponibilizadas as informações de fluxo de mercadorias diários pelos responsáveis por cada armazém.

A secagem natural do milho, mesmo em condições médias de temperatura de 20 °C e de humidade relativa de cerca de 50 % (média entre 1945 e 2005, (Santos, A. M. M., 2011 apud Miranda et al, 2005)), até atingir a humidade desejada de aproximadamente 14,5 % b.s. (Santos, A. M. M. , 2011 apud Eckhoff et al, 1997) demora entre 50 a 60 dias. E, pela a informação coletada com a equipe de qualidade da produção sobre a quantidade de tempo em que o milho permanece resfriando para se atingir a temperatura ideal de 10 °C, o produto armazenado demora em torno de 20 dias para resfriar adequadamente, pelas suas ótimas propriedades isolantes térmicas,.

### 4.3 Carga térmica de pessoas

A carga térmica de pessoas considera o calor gerado por cada funcionário enquanto ocupa o interior do armazém. Para auxílio ao cálculo da carga térmica de pessoas utiliza-se uma tabela como referência do calor de metabolismo de pessoas em ambiente condicionado, segundo a norma ASHRAE Refrigeration, 2002.

A equação IV representa o cálculo da carga térmica de pessoas:

$$Q_{pes} = q_{met} * t * n_{pes} \quad (IV)$$

$Q_{pes}$ : Carga térmica devido ao metabolismo de pessoas [kcal/dia];

$q_{met}$ : Metabolismo de pessoa na ocupação referida [kcal/h.pessoa];

$t$ : Tempo de ocupação diário por pessoa no armazém climatizado [h/dia].;

$n_{pes}$ : Número de pessoas trabalhando no armazém climatizado [qntd].

Em cada climatizado a quantidade de pessoas que transitam no ambiente variava, considerando os operadores de empilhadeiras e auxiliares que permanecem um tempo maior dentro dos climatizados.

#### 4.4 Carga térmica de iluminação

A carga térmica de iluminação indica o calor dissipado pelas lâmpadas durante o período que ficam acesas no ambiente refrigerado.

A equação V representa o cálculo da carga térmica de iluminação:

$$Q_{ilu} = 0,86 * W_a * N_a * t_a \quad (V)$$

$Q_{ilu}$ : Carga térmica de iluminação [kcal/dia];

$W_a$ : Potência da lâmpada [W];

$N_a$ : Número de lâmpadas [qntd];

$t_a$ : Tempo em que a iluminação funciona por dia [h/dia].

#### 4.5 Carga térmica dos ventiladores

A carga térmica dos ventiladores indica o calor dissipado pelos motores dos ventiladores internos ao ambiente refrigerado. Para auxílio ao cálculo da carga térmica dos ventiladores utiliza-se uma tabela que indica as taxas típicas de dissipação de calor de motores elétricos no ambiente condicionado retirada da NBR\_16401-1.

A equação VI representa o cálculo da carga térmica devido aos motores dos ventiladores:

$$Q_{vent} = \frac{(N * P_{ot} * t_{vent})}{\eta} \quad (VI)$$

$Q_{vent}$ : Carga térmica dos motores dos ventiladores [kcal/dia];

N: Número de motores internos [qntd];

$\eta$  : Rendimento do motor [%];

$P_{ot}$ : Potência de cada motor [CV];

$t_{vent}$ : Tempo em que os motores funcionam por dia [h/dia].

#### 4.6 Carga térmica das empilhadeiras

A carga térmica das empilhadeiras indica o calor dissipado pelos motores das empilhadeiras trabalhando no ambiente refrigerado. Para auxílio ao cálculo da carga térmica das empilhadeiras utiliza-se uma tabela que indica as taxas típicas de dissipação de calor de motores elétricos no ambiente condicionado (VENTURI, 2005).

A equação VII representa o cálculo da carga térmica de equipamentos:

$$Q_{maq} = \frac{(N * P_{ot} * t)}{\eta} \quad (VII)$$

$Q_{maq}$ : Carga térmica dos motores das máquinas [kcal/dia];

N: Número de motores internos [qntd];

$\eta$  : Rendimento do motor [%];

$P_{ot}$ : Potência de cada motor [CV];

t: Tempo em a empilhadeira permanece dentro do armazém diariamente [h/dia];

#### 4.7 Carga térmica de infiltração de ar

A carga térmica de infiltração de ar calcula a quantidade de calor infiltrada durante a abertura das portas. Para tal cálculo, utilizou-se o Software Engineering Equation Solver (EES) para auxiliar no resultado das propriedades termodinâmicas dos locais. Considera-se a pressão atmosférica da cidade de Uberlândia, a temperatura e umidade relativa do ambiente externo e interno dos armazéns.

De acordo com a ASHRAE (2010), a equação que representa o cálculo da carga térmica de infiltração indicada pela equação VIII.

$$Q_{inf} = q * D_t * D_f * (1 - E) \quad \text{(VIII)}$$

$Q_{inf}$ : Carga térmica média para 24 horas [kW];

$q$ : Carga de refrigeração sensível e latente para escoamento completamente desenvolvido [kW];

$D_t$ : Fator de duração do tempo de abertura da porta;

$D_f$ : Fator de escoamento através da porta;

$E$ : Efetividade da proteção oferecida pela porta.

Para a carga térmica de um escoamento completamente desenvolvido, foi usada a equação IX (SCHMITZ apud GOSNEY, 2016):

$$q = 0,221 * A * (h_i - h_r) * \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0,5} * (g * H)^{0,5} * F_m \quad \text{(IX)}$$

$q$ : carga de refrigeração sensível e latente [kW];

$A_p$ : Área da porta [m<sup>2</sup>];

$h_i$ : Entalpia do ar infiltrado [kJ/kg];

$h_r$ : Entalpia do ar refrigerado [kJ/kg];

$\rho_i$ : Densidade do ar infiltrado [kg/m<sup>3</sup>];

$\rho_r$ : Densidade do ar refrigerado [kg/m<sup>3</sup>];

$g$ : Aceleração da gravidade;

$H$ : Altura da porta (m);

$F_m$ : Fator massa volumétrica.

Para encontrar o fator de massa volumétrica utiliza-se a equação X que depende da densidade do ar refrigerado e infiltrado no armazém.

$$F_m = \left( \frac{2}{1 + \frac{\rho_i^{\frac{1}{3}}}{\rho_r}} \right)^{1,5} \quad (\text{X})$$

Para o cálculo do fator duração do tempo de abertura da porta, como se trata de uma utilização irregular, foi utilizada a expressão XI seguinte:

$$Dt = \frac{(P * \theta p + 60 * \theta o)}{(3600 * \theta d)} \quad (\text{XI})$$

*Dt*: fração decimal do tempo de duração de abertura da porta;

*P*: número diário de aberturas da porta;

*θp*: tempo que demora a abrir/fechar a porta [s];

*θo*: tempo que a porta fica aberta [s];

*θd*: período de tempo diário [h].

## 6 RESULTADOS

As informações referentes as cargas térmicas do armazém A estão representadas nas tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Tabela 4: Carga Térmica de Condução do armazém A.

CARGA TÉRMICA DE CONDUÇÃO			
Parede	Área	Fator de Insolação (°C)	Carga Térmica (kcal/dia)
Leste	843,84	2	151891,2
Oeste	843,84	0	139739,904
Norte	364,992	1	63070,6176
Sul	364,992	0	60442,6752
Teto	3375,36	5	709506,0726
Piso	3342,33	0	3689932,32

Tabela 5: Carga Térmica de Produto em Fluxo do Armazém A.

CARGA TÉRMICA DE PRODUTO EM FLUXO			
Cp (kcal/kg.°C)	Movimentação diária (kg)	Período (h)	Hres
0,38	66006	24	480
Entrada (°C)	Saída (°C)	Carga Térmica (kcal/dia)	
33	12	31352,85	

Como o grão de milho é armazenado posteriormente à sua secagem, sua umidade está entre 15% e considera-se o coeficiente de calor específico de 0,38 kcal/kg.°C (Côrrea, P. C. e Silva, J. S.). Quanto à temperatura do ambiente externo ao armazém são referenciadas pela norma NRB 6401/1980, que estipula as condições de temperatura para o verão da cidade analisada, nesse caso, Uberlândia - MG, como representado pela figura 10.

Aracaju(AC)	32	26,0	-
Região Sudeste			
Viçosa(ES)	33	28,0	36,1
Belo Horizonte(MG)	32	24,0	35,5
Uberlândia(MG)	33	23,5	37,6
Rio de Janeiro(RJ)	35	26,5	39,4
São Paulo(SP)	31	24,0	34,9
Santos(SP)	33	27,0	37,7
Campinas(SP)	33	24,0	37,4
Pirassununga(SP)	33	24,0	37,6

Figura 10: Condições externas de temperatura para o verão (°C). (Fonte: NRB 6401/1980)

A movimentação de produtos dos materiais são distribuídos em três turnos de operação, englobando as 24 horas do dia.

A movimentação diária de cada armazém que os difere, sendo o A, B e C com a mesma quantidade em kg, o armazém D e F com maior movimentação se comparado com os anteriores já que possuem a logística de centros de distribuição, recebendo maior quantidade de produto diariamente (69673 kg). Já o armazém F possui menos movimentação se comparado com os outros, até pela sua capacidade menor de armazenamento (59075,37 kg).

Tabela 6: Carga Térmica de Metabolismo das Pessoas do Armazém A.

CARGA TÉRMICA DE METABOLISMO DAS PESSOAS			
Q <sub>met</sub>	Quantidade	Ocupação (h/dia)	Carga Térmica (kcal/dia)
180	8	6	8640

Para a determinação da carga térmica referente ao metabolismo das pessoas dentro do armazém climatizado fora considerado um calor de metabolismo tabelado pela norma (ASHRAE, 2013) para ambientes com temperatura acima de 10 °C, evidenciado na figura 11. Ainda, as informações de permanência e quantidade de pessoas que trabalham no local foram coletadas com os responsáveis pela administração da logística dos armazéns.

Temperatura (°C)	Calor de Metabolismo (kcal/h.pessoa)
≥ 10	180
4	215
-1	240
-7	265

Figura 11: Tabela referente ao calor de metabolismo das pessoas. FONTE: ASHRAE, 2013.

Os armazéns A, B, C e E possuem a mesma logística de funcionamento, com funcionamento em 3 turnos de operação, permanecendo dentro do armazém dois empilhadores dos materiais e mais duas pessoas por turno. O armazém D se restringe a uma pessoa por turno além de um manuseador de empilhadeiras (4 pessoas) e o armazém F com a presença de dois empilhadores (6 pessoas).

Tabela 7: Carga Térmica de Iluminação do Armazém A.

<b>CARGA TÉRMICA DA ILUMINAÇÃO</b>				
Pot (W)	Quantidade	Potência total (w)	Período (h/dia)	Carga Térmica (kcal/dia)
36	132	4752	24	98081,28

Foi realizada uma vistoria em cada um dos armazéns para quantificar a quantidade de lâmpadas presentes em seus interiores, como também, conhecer a potência das mesmas. Todos armazéns permanecem iluminados 24 hrs/dia com as lâmpadas com mesma potência, o que os difere são a quantidade presentes em cada um.

Tabela 8: Relação de quantidade de lâmpadas por armazém climatizado.

<b>ARMAZÉM</b>	<b>QUANTIDADE DE LÂMPADAS</b>
A	132
B	132
C	156
D	240
E	296
F	126

Tabela 9: Carga Térmica dos Motores dos Ventiladores do Armazém A.

<b>CARGA TÉRMICA DOS MOTORES DOS VENTILADORES</b>				
Pot (CV)	Quantidade	Tempo (h/dia)	Rendimento	Carga Térmica (kcal/dia)
1,69	12	24	0,78	394368

Cada máquina de refrigeração que compõe o armazém climatizado possui dois ventiladores acoplados em sua estrutura. A potência é a mesma em todos os modelos de máquinas. Através da tabela de rendimentos apresentada na figura 12, consegue-se encontrar a carga térmica referente ao motores elétricos.

POTÊNCIA DO MOTOR [cv]	RENDIMENTO DO MOTOR [%]
Menor que 1/4	≈ 60
1/2 a 1,0	≈ 70
1 <sup>1/2</sup> a 5,0	≈ 78
7 <sup>1/2</sup> a 20	≈ 84
Acima de 20 cv	≈ 88

Figura 12: Tabela referente ao rendimento do motor de acordo com sua potência.

**FONTE:** VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316 p.

Tabela 10: Carga Térmica das Empilhadeiras do Armazém A.

CARGA TÉRMICA DAS EMPILHADEIRAS				
Pot (CV)	Quantidade	Tempo (h/dia)	Rendimento	Carga Térmica (kcal/dia)
22,2	2	4	0,88	133622,8571

Da mesma forma, as empilhadeiras possuem motores internos para seu funcionamento que geram uma parcela de carga térmica dentro dos armazéns.

POTÊNCIA DO MOTOR [cv]	RENDIMENTO DO MOTOR [%]
Menor que 1/4	≈ 60
1/2 a 1,0	≈ 70
1 <sup>1/2</sup> a 5,0	≈ 78
7 <sup>1/2</sup> a 20	≈ 84
Acima de 20 cv	≈ 88

Figura 13: Tabela referente ao rendimento do motor de empilhadeiras de acordo com sua potência. **FONTE:** VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. Eficiência Energética em

Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316 p.

Tabela 11: Carga Térmica de Infiltração do Ar do Armazém A.

CARGA TÉRMICA DE INFILTRAÇÃO DE AR - Abertura de portas			
Dt	Df	E	Carga Térmica (kcal/dia)
0,013194444	0,8	0	298326,6556

Para o cálculo da carga de infiltração foi necessário encontrar as propriedades de densidade e entalpia tanto do ar infiltrado para dentro do armazém quanto do ar interno refrigerado. Assim, utilizou-se os dados de temperatura encontrados na figura 6 considerando a altura da cidade de Uberaba, pois fora a cidade mais próxima de Uberlândia que constava informações na norma (NRB 6401/1980).

LOCAL	T <sub>bs</sub> (°C)	T <sub>bu</sub> (°C)	P (Kpa)	h (KJ/Kg)	w (g/Kg)	UR (%)	ρ (Kg/m <sup>3</sup> )
Uberlândia	33	23,5	92	74,65	17,67	51,6	1,037

Figura 14: Propriedades do ar na cidade de Uberlândia-MG retiradas do Software EES.

Através das propriedades de pressão atmosférica, temperatura do ar infiltrado e do ar refrigerado e a umidade relativa nos dois ambientes, interno e externo ao armazém, consegue retirar pelo software EES os valores para entalpia e densidade expostos na tabela 12.

Tabela 12: Propriedades do ar refrigerado e infiltrado no armazém climatizado.

$h_{refrigerado}$	$h_{infiltrado}$	$\rho_{refrigerado}$	$\rho_{infiltrado}$
24,1	74,65	1,121	1,037

Para encontrar os valores para os fatores de fluxo das portas, foi utilizada as informações da figura 14 retiradas na norma da ASHRAE, 2010. Cada armazém possuiu sua peculiaridade pela quantidade de portas, sua altura e sua condição.

Condição	Fator fluxo de porta ( $D_f$ )
Porta aberta para ar livre ou grande sala	1,0
Tráfego igual a uma entra e saída por minuto, com diferença de temperatura interna e externa de 16 K	0,8
Diferenças de temperatura de 7 e 10 K	1,1
Recomendado para diferenças de temperaturas menor que 11 °C	1,1
Recomendado para diferenciais de temperatura maiores que 11 °C	0,8

Fonte: ASHRAE (2010).

Figura 15: Valores para fatores de Fluxo de Porta ( $D_f$ ).

Como todos os armazéns não possuem dispositivo de cortina sde ar para amenizar a entrada de calor nas aberturas de portas, considerou-se a emissividade sendo nula. Valores para essa variável se encontra na figura 15.

Dispositivo	Efetividade ( $E$ )
Cortina de ar vertical	0,79
Cortina de ar horizontal	0,76
Cortina de tiras de plástico	0,93
Cortina de ar mais cortina de plástico	0,91

Fonte: MACAGNAN (2015).

Figura 16: Valores para efetividade ( $E$ ).

A tabela 13 mostra os valores calculados da carga térmica e a potência gerada pelos equipamentos presentes em cada um dos armazéns.

Tabela 13: Carga Térmica total de todos armazéns analisados.

CARGA TÉRMICA TOTAL							
ARMAZÉM	CONDUÇÃO (kcal/dia)	INFILTRAÇÃO (kcal/dia)	PRODUTO (kcal/dia)	PESSOAS (kcal/dia)	ILUMINAÇÃO (kcal/dia)	VENTILADORES (kcal/dia)	EQUIPAMENTOS (kcal/dia)
A	4164553,57	227191,746	28844,622	8640	98081,28	394368	127549,0909
	TOTAL (kcal/dia)		5049228,311		TOTAL (TR)		69,5715982
B	4164553,57	227191,746	28844,622	8640	98081,28	394368	127549,0909
	TOTAL (kcal/dia)		5049228,311		TOTAL (TR)		69,5715982
C	4740208,79	425900,5544	28844,622	8640	115914,24	460096	133622,8571
	TOTAL (kcal/dia)		5913227,067		TOTAL (TR)		81,74666925
D	3819192,42	314028,0585	30447,101	4320	178329,6	394368	66811,42857
	TOTAL (kcal/dia)		4807496,61		TOTAL (TR)		66,24085938
E	4628175,67	314028,0585	30447,101	8640	219939,84	394368	66811,42857
	TOTAL (kcal/dia)		5662410,095		TOTAL (TR)		78,02042129
F	1445806,09	24024,2285	25815,9367	6480	93623,04	262912	66811,42857
	TOTAL (kcal/dia)		1925472,721		TOTAL (TR)		26,53043321

Assim, após realizar os cálculos foi possível realizar uma comparação da capacidade frigorífica que os armazéns possuem de acordo com as máquinas de refrigeração presentes em cada ambiente, com a carga térmica teórica encontrada a partir da metodologias normatizadas utilizadas, representada pela tabela 14.

Tabela 14: Comparação da carga térmica calculada com a potência oferecida pelas atuais máquinas de refrigeração instaladas em cada climatizado.

Armazéns	Carga Térmica calculada dos Armazéns (TR)	Potência existente nos armazéns (TR)	Percentual de Superdimensionamento (%)
A	69,57	87	20,033
B	69,57	87	20,033
C	81,75	102	19,856
D	66,24	81	18,221
E	78,02	81	3,678
F	26,53	30	11,565

Todos os armazéns estão com a carga térmica superior à demandada, o que pode gerar desperdício de energia. Assim, a realização de um rodízio de funcionamento dos equipamentos para regular a temperatura à sua demanda seria uma solução ideal. Ou seja, quando houver intempéries externas do clima ou diferença na movimentação das mercadorias deixar todas as máquinas operando, já quando a situação estiver mais estável, deixar o ambiente funcionando com um equipamento a menos, apenas ventilando.

O uso de uma cortina de ar pode representar uma considerável economia de potência frigorífica. Estes equipamentos contribuem diretamente na diminuição da carga térmica de infiltração, ao minimizar o tempo de portas abertas e dificulta-se a entrada da massa de ar (quente e úmida) vinda do ambiente externo.

Uma sugestão seria implementar nas portas um sistema de abertura e fechamento rápido com adequação de um intertravamento das portas de entrada e saída da câmara. Essa configuração garante, automaticamente, que as duas portas não estarão simultaneamente abertas, assim a operação de entrada na câmara é realizada de forma controlada, minimizando ao máximo a infiltração de ar externo.

Essas considerações também constam a análise da capacidade do evaporador de distribuir uniformemente para todas as dimensões do ambiente o ar refrigerado. Sendo que as propostas sugeridas continuarão satisfazendo as dimensões necessárias da flexa de ar e vazão de ar que o volume dos armazéns necessitam.

Lembrando que deve-se levar em consideração a organização do produto acondicionado, em que ressalta-se a importância de não existir bloqueio físico à flecha de ar do evaporador, para tal, o empilhamento dos pallets com os produtos que necessita de ser feito de forma programada, evitando a formação de pilhas mais altas, principalmente próximo às máquinas frigoríficas.

## 7 CONCLUSÕES

Foi realizada a análise térmica nos seis armazéns climatizados da multinacional, respeitando cada peculiaridade dos ambientes e seguindo as normas propostas de refrigeração. A partir disso, conseguiu-se verificar quais oportunidades existiam para otimizar o processo de armazenamento do produto, garantindo qualidade e economia de energia para a empresa.

De acordo com os métodos utilizados, os armazéns apresentaram uma potência de refrigeração superior a carga térmica demandada, ou seja, apresentou superdimensionamento. Esse resultado foi adquirido para as situações mais críticas que poderiam afetar a refrigeração de cada ambiente, assim a quantidade de máquinas presentes atingem a demanda e em situações amenas podem atuar com menor capacidade frigorífica, com um equipamento de menos.

Assim, nesses armazéns climatizados superdimensionados podem ser realizadas otimizações na logística de funcionamento dos equipamentos para satisfazer a demanda de armazenamento sem gasto energético desnecessário dos locais analisados. Ou seja, em condições de funcionamento menos críticas de movimentação e clima externo da região, programar o desligamento da refrigeração de uma máquina, deixando-a somente ventilando o local.

Quando a potência da máquina de refrigeração é satisfatória, seu funcionamento será mais eficiente, o alcance da temperatura desejada será mais rápido e o gasto energético menor. Além disso, terá um baixo índice de desgaste do equipamento, reduzindo a necessidade de manutenções corretivas que comprometerão a vida útil do mesmo.

Além disso, propõe-se a implementação de equipamentos de cortinas de ar e automatização da abertura e fechamento das portas, com o intuito de reduzir ainda mais a carga térmica do ambiente. Apesar das boas expectativas relacionadas ao uso de cortinas de ar em recintos climatizados, os cálculos de carga térmica foram elaborados com base na situação atual e não foram realizadas simulações considerando os efeitos benéficos das da instalação das mesmas.

Portanto, as próximas adequações dos climatizados seria analisar o comportamento ideal específico de cada armazém para promover esse rodízio de

funcionamento dos equipamentos, contando com a análise em campo e estatística das possíveis recorrências de demandas e disposição dos mesmos nos ambientes. Além de conseguir mensurar o ganho com o custo da implementação desses novos equipamentos sugeridos em contrapartida com essa economia energética proposta que os armazéns proporcionariam se operassem com dimensionamento ideal.

## 8 BIBLIOGRAFIA

### **A FUNÇÃO DA FLECHA DE AR E DOS EVAPORADORES EM UMA CÂMARA FRIA.** 2018. Disponível em:

<https://frigocenter.com.br/blog/2018/01/31/funcao-da-flecha-de-ar-e-dos-evaporadores-em-uma-camara-fria/>> Acesso em: 07 de maio de 2018.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401-1 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projeto das instalações. 2008. 60 p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401-1 – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. 2008. 7 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Chapter 18, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations. 2013.

ASHRAE. ASHRAE Refrigeration 2010 - SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 2010.

BEITES, R. P. L. **Concepção de uma instalação frigorífica com atmosfera controlada para a conservação de uvas de mesa.** 2013.

CAMPOS, C. **Módulo prático para estudos de sistemas de refrigeração mecânica por compressão.** Campo Mourão, 2015.

CORREA, P. C.; SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. Cap 2.** Estrutura, Composição e Propriedade dos Grãos. 35 p.

COSTA, Ênnio Cruz da. **Refrigeração.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1982. 322 p.

DIONELLO, Rafael G. et al. **Temperatura do ar na secagem estacionária e tempo de armazenamento na qualidade de grãos de milho.** Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA, v.6no 2, 137-143, mai-ago, 2000.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos.** Pelotas, 2017.

MENEGHINI, C; SAATKAMP, D. H. S. **Avaliação da eficiência energética do sistema de refrigeração de um frigorífico do meio oeste catarinense.** Joaçaba, 2017.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamentos de Efluentes e recuperação de recursos.** 5. Ed. Mc Graw Hill Education. 1983 p.

NETO, J. F. **Avaliação das câmaras frias usadas para o armazenamento de Frutas e hortaliças no entreposto terminal de são paulo (ceagesp).** Jaboticabal, 2006.

PARAGINSKI, R. T. *et al.* **Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas.** Campina Verde, 2015.

REGINATO, M. P. *et al.* **Boas práticas de armazenagem de grãos.** Naviarí, 2014.

SAITO, D. N.; VELOSO, G. V. C. **Projeto de uma câmara fria para manutenção organolética da semente de batata.** Itatiba, 2014.

SANTOS, A. M. M. **Dimensionamento de um secador de milho com 60 t/dia de capacidade.** Porto, 2011.

SCHMITZ, M. I. **Determinação de parâmetros termodinâmicos para projetos de equipamentos de refrigeração de carrocerias refrigeradas.** Lajeado, 2016.

SILVA, G. B. **A Gestão da cadeia do frio: uma análise de fatores logísticos.** Rio de Janeiro, 2010.

SILVEIRA, R, A, M.; VITORINO, K. D.; JUNIOR, C. G. **Análise da viabilidade de substituição dos sistemas de refrigeração das câmaras frigoríficas de um laticínio no IFMG - campus Bambuí.** Ponta Grossa, 2017.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. Saiz. **Refrigeração Industrial.** 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2002. 371 p.

TELHAS CORAL GYN. **Isotelha Trapezoidal EPS.** Disponível em: <http://www.telhascoralgyn.com.br/produtos/isotelha-trapezoidal-eps/> Acesso em: 03 ab. 2018.

TOP COOLER. **Painéis Isotérmicos.** Disponível em: <https://www.topcooler.com.br/paineis-isotermicos-isopainel> Acesso em: 03 de abr. 2018.

VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316 p.

