

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
WILLIAN HYAGO ZANG

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMA ALTERNATIVO PARA DEGELO EM
EVAPORADORES**

CASCABEL – PR
2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
WILLIAN HYAGO ZANG

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMA ALTERNATIVO PARA DEGELO EM
EVAPORADORES**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de curso – Monografia ou Projeto no Curso de Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Professor Orientador: Rogério Luiz
Ludegero**

**Professor Coorientador: Eliseu Avelino
Zanella Junior**

CASCADEL – PR
2019

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
WILLIAN HYAGO ZANG**

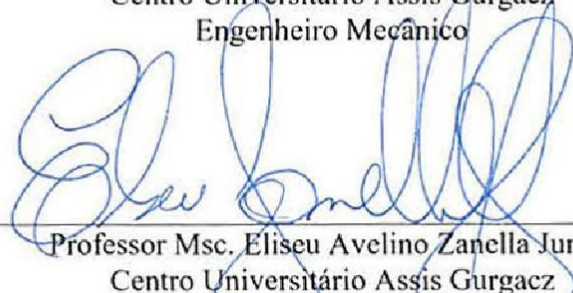
**ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMA ALTERNATIVO PARA DEGELO EM
EVAPORADORES**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Rogério Luiz Ludegero e coorientação do Professor Eliseu Avelino Zanella Junior.

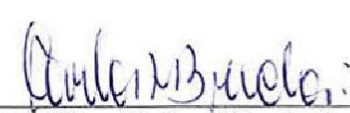
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof.^o Esp. Rogério Luiz Ludegero
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Msc. Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Msc. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 26 de novembro de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que participaram
da sua execução e que durante o período
da graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu pai Décio Zang e a minha mãe Sofia Neumann Zang, por oferecerem as condições necessárias para a conclusão do curso.

Agradeço as minhas irmãs Andressa Caroline Zang e Fernanda Nicole Zang pela ajuda e convivência durante a graduação.

Agradeço a minha namorada Lisandra Rosa Steinmetz por estar comigo durante as dificuldades enfrentadas durante o curso e no transporte.

Agradeço ao meu orientador Rogério Luiz Ludegero por sua paciência, tempo e vasta experiência na área de refrigeração e manutenção.

Agradeço ao coorientador Eliseu Avelino Zanella Junior, pelo auxílio durante o pré-projeto da pesquisa e por mostrar que um engenheiro deve conhecer um pouco de todo assunto.

Agradeço ao laboratorista Thyago Oliveira pelo auxílio durante a realização do teste e implantação das modificações na bancada.

Agradeço ao professor Rafael Guilherme Gallas, por me mostrar que a dedicação nos estudos proporciona um final melhor.

Agradeço ao professor Carlos Alberto Breda, por ser um exemplo de dedicação e experiência na área de engenharia.

Agradeço aos meus colegas Marcelo Paiva Rotta, Mario Gustavo Ribeiro Rocha e Maycon Camilo por serem grandes amigos e por toda ajuda durante a experiência da graduação.

Agradeço aos demais colegas, professores e colaboradores do Centro FAG que foram fundamentais para a construção do meu perfil pessoal e profissional.

RESUMO

A refrigeração sempre foi algo complexo e de extrema importância para as diversas áreas da civilização, desde a conservação de alimentos ao condicionamento de ambientes. Este fato associado com um dos principais objetivos no mundo atual, redução de gastos, torna esta pesquisa relevante por ter como base avaliar o desempenho de um sistema para a realização de degelo em evaporadores e compará-lo com o método do próprio equipamento feito por resistência elétrica. Em processos industriais a formação do gelo em evaporadores pode ser um problema constante, portanto se propõe realizar o processo de degelo utilizando um modelo alternativo buscando uma melhora na eficiência energética do ciclo. Tendo como objetivo principal avaliar, experimentalmente, as características energéticas do degelo em evaporadores com temperaturas abaixo de 0°C utilizando uma mistura entre água e álcool de cozinha e compará-las com as características do degelo por resistência elétrica. A pesquisa é baseada em consultas bibliográficas e realização de experimentos em bancada, propriamente no laboratório de refrigeração do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, utilizando como fluido teste para o degelo a mistura entre álcool de cozinha e água. Com a realização da pesquisa se espera encontrar um modelo de degelo alternativo que seja mais eficiente do que o modo convencional deste processo.

Palavras chave: Melhora de processo. Alternativo. Álcool. Água. Mistura.

ABSTRACT

The refrigeration ever was complex and extreme importantly for many civilization areas, since food conservation or environments conditioning. This fact associated with one of the main current world objective, spending reduction, make this research relevant by having the basis of a performance evaluating for an alternative method of thawing evaporators and compare to equipment method by electrical resistance. In many industrial process the ice formation on evaporators can be a constant problem, is propose to accomplish the thaw using an alternative method seeking out for an energy efficiency improvement of the entire cycle. Having has main objective evaluate, experimentally, the features of a thaw in evaporators working below 0°C using a mixture between water and kitchen alcohol to compare with the thaw process made by electrical resistance. The research is based on bibliographic search and experiments accomplish in bench tests, properly on laboratory of refrigeration in Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, using ethyl alcohol and water for an alternative thaw process. Its expected with this research found an alternative method for evaporators thaw that be more efficient than the conventional method, with electrical resistance.

Keywords: Process improvement. Alternative. Alcohol. Water. Mixture.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Formação de gelo no evaporador.....	18
FIGURA 2: Molécula de etanol.....	25
FIGURA 3: Curvas de ebulição de acordo com pressão e temperatura.	26
FIGURA 4: Representação da molécula de água.	26
FIGURA 5: Representação esquemática do sistema por compressão de vapor.	30
FIGURA 6: Gráfico de Mollier para o sistema de refrigeração por compressão de vapor.	31
FIGURA 7: Representação de arranjo paralelo e contracorrente em trocadores de calor.....	34
FIGURA 8: Representação de escoamento cruzado em trocador de calor.....	35
FIGURA 9: Vista frontal em corte de uma bomba centrífuga.	37
FIGURA 10: Mudança de área em escoamento de fluidos.	38
FIGURA 11: Exemplo de resistência elétrica utilizada para aquecimento	39
FIGURA 12: Exemplo de cogeração em sistema termodinâmico.....	40
FIGURA 13: Vista em corte de parede de câmara frigorífica.	40
FIGURA 14: Bancada sem o sistema de degelo.	44
FIGURA 15: Bancada com o sistema de degelo.	45
FIGURA 16: Disposição do reservatório no sistema de degelo.	46
FIGURA 17: Imagem da bomba centrífuga utilizada	47
FIGURA 18: Trocador de calor duplo tubo disposto na bancada.	48
FIGURA 19: Imagem da serpentina implantada no evaporador.	49
FIGURA 20: Braçadeira utilizada para prender mangueiras.....	50
FIGURA 21: Fita de alta fusão utilizada para vedação de componentes.	50
FIGURA 22: Graduação do álcool de cozinha utilizado.....	52
FIGURA 23: Leitura do termopar para a mistura no início do processo de degelo.	56
FIGURA 24: Cronômetro paralisado após o processo de degelo.....	56
FIGURA 25: Leitura da temperatura da mistura após o processo de degelo.	57
FIGURA 26: Lateral do evaporador antes e depois do processo de degelo, respectivamente.	58
FIGURA 27: Conteúdo de água líquida resultante do degelo no evaporador.	59
FIGURA 28: Litros de álcool após o teste.	59
FIGURA 29: Potência consumida pela resistência elétrica.....	60
FIGURA 30: Display da bancada demonstrando a temperatura interna da câmara antes do processo de degelo.....	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Propriedades físicas de algumas concentrações de etanol e etilenoglicol.	20
TABELA 2: Algumas propriedades do etanol.	25
TABELA 3: Comparação entre substâncias com composições químicas semelhantes.	27
TABELA 4: Proibição gradual do R-12 no Brasil.	28
TABELA 5: Marcas e modelos dos equipamentos da bancada.....	43
TABELA 6: Lista de materiais do sistema de degelo instalado.....	51
TABELA 7: Representação dos fatores para cálculo da densidade.	51
TABELA 8: Consumo e calor rejeitado no tempo de degelo dos sistemas.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Temperatura de congelamento em função da concentração da mistura para diversos fluídos secundários.....	53
GRÁFICO 2: Calor específico em função da temperatura de congelamento de diversos fluídos secundários.	54
GRÁFICO 3: Densidade de fluídos secundários a temperaturas de 20°C em função da concentração da mistura.	55

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1: Cálculo do calor sensível	23
EQUAÇÃO 2: Calor médio de um processo.....	23
EQUAÇÃO 3: Perímetro de uma circunferência	35
EQUAÇÃO 4: Vazão volumétrica em função de volume e tempo.....	37
EQUAÇÃO 5: Vazão volumétrica em função de área transversal e velocidade	38
EQUAÇÃO 6: Cálculo da fração mássica.....	41
EQUAÇÃO 7: Cálculo da densidade de um composto.....	42
EQUAÇÃO 8: Cálculo da massa	42
EQUAÇÃO 9: Simplificação do cálculo da fração mássica	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CFC - Clorofluorcarboneto

DOU - Diário Oficial da União

EA - Álcool etílico

HCFC - Hidroclorofluorcarboneto

kJ - Kilo Joule

mmHg - Milímetros de mercúrio

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

NCBI - National Center for Biotechnology Information

R-12 - Refrigerante 12

R-22 - Refrigerante 22

SI - Sistema Internacional de Unidade

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_s	Calor sensível
M	Quantidade de massa
C	Calor específico
ΔT	Diferença de temperatura
$Q_{\text{médio}}$	Calor médio
t	Quantidade de tempo
$l(C)$	Comprimento da circunferência
n'	Número de voltas da circunferência
R	Raio da circunferência
$\dot{V}$	Vazão
V	Volume
v	Velocidade média do fluido na secção transversal
A_T	Área da secção transversal
$W_{\text{álcool}}$	Fração de álcool na mistura
$M_{\text{álcool}}$	Massa de álcool na mistura
$M_{\text{água}}$	Massa de água na mistura
ρ	Densidade do fluido
A, B, n	Coefficientes de regressão
T	Temperatura do composto
T_C	Temperatura crítica
β	Coefficiente de performance
Q_H	Calor removido
ω	Energia consumida em forma de calor ou trabalho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	ASSUNTO / TEMA	17
1.2	OBJETIVO	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	20
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	CALOR.....	22
2.1.1	Calor Latente	22
2.1.2	Calor Sensível.....	23
2.2	TEMPERATURA.....	24
2.3	ÁLCOOL ETÍLICO	24
2.4	ÁGUA.....	26
2.5	FLUÍDOS REFRIGERANTES	27
2.5.1	Fluídos Secundários.....	28
2.6	PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO	29
2.7	REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR	30
2.7.1	Compressão	31
2.7.2	Expansão.....	32
2.7.3	Condensação.....	32
2.7.4	Evaporação	33
2.8	TROCADORES DE CALOR.....	33
2.9	BOMBEAMENTO	35
2.10	VAZÃO	37
2.11	RESISTÊNCIA ELÉTRICA	38
2.12	COGERAÇÃO	39
2.13	CÂMARAS FRIGORÍFICAS	40
2.14	SOLUÇÕES, FRAÇÃO DE MASSA E DENSIDADE.....	41
3	METODOLOGIA.....	43
3.1	BANCADA DE REFRIGERAÇÃO	43
3.2	COMPONENTES DO SISTEMA DE DEGELO EXTERNO.....	44
3.2.1	Reservatório.....	45

3.2.2	Bomba centrífuga	46
3.2.3	Trocador de calor tipo duplo tubo	47
3.2.4	Serpentina implantada no evaporador	48
3.2.5	Demais ligações e conexões	49
3.3	CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DA MISTURA.....	51
3.4	ANÁLISE DOS DADOS DA MISTURA	53
3.4.1	Temperatura de congelamento da mistura.....	53
3.4.2	Calor específico da mistura	54
3.4.3	Densidade da mistura.....	55
3.5	ANÁLISE DO SISTEMA ALTERNATIVO	56
3.6	ANÁLISE DO SISTEMA CONVENCIONAL	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	ANEXO A – TABELA DE FATORES PARA DENSIDADE DE ALGUNS COMPOSTOS ORGÂNICOS	69
	ANEXO B – TABELA DE FATORES PARA DENSIDADE DE ALGUNS COMPOSTOS INORGÂNICOS	70
	ANEXO C – GRÁFICO ENTRE TEMPERATURA DE CONGELAMENTO E CONCENTRAÇÃO DE MISTURA PARA FLUÍDOS SECUNDÁRIOS.....	71
	ANEXO D – OUTRAS PROPRIEDADES PARA MISTURAS EM FLUÍDOS SECUNDÁRIOS	72

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração é um processo comum no dia a dia das pessoas no mundo todo e está diretamente relacionada com a transpiração humana, que segundo Silva (2015) a evaporação da água na superfície do corpo implica em perda de calor e com isso a redução da temperatura corporal, entretanto o processo é largamente empregado em grandes produções, processos industriais e até no condicionamento de ambientes. Com as devidas alterações climáticas e o aumento da temperatura nas grandes cidades, muitas salas comerciais dependem deste tipo de sistema para fornecer um ambiente próprio para o trabalho, segundo a norma de conforto térmico NBR 16401-2 (2008) da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Apesar da parte normativa, é cada vez mais difícil encontrar casas ou estabelecimentos sem um sistema de refrigeração. A geladeira é um equipamento exemplar de quão importante e presente este processo participa diariamente da vida das pessoas, este contato direto com o procedimento é uma consequência da constante evolução e melhoria na refrigeração que busca alternativas e a compactação dos equipamentos de grandes dimensões para o uso doméstico.

Alguns processos industriais de refrigeração necessitam que o resfriamento de ambientes seja controlado em temperaturas abaixo de 0°C, como é o caso, por exemplo, de alimentos como a carne que é conservada a temperaturas de aproximadamente -18°C, segundo Costa (1982, p. 268). Devido às baixas temperaturas ocorre a solidificação das partículas de água presentes no ar ambiente formando uma camada de gelo no evaporador e segundo Robinson (2001, p. 35) devido aos efeitos deteriorativos à eficiência dos trocadores de calor, atuando como isolante térmico e atrapalhando o fluxo de ar no equipamento, a formação do gelo vem sendo estudada a décadas e os pesquisadores têm focado em controlar o crescimento da camada de gelo de maneira a manter uma boa eficiência no trocador de calor. Esta dificuldade na compreensão da camada de gelo é justificada por Firme (2015, p. 16) como sendo devido à alta porosidade e sua alteração ao longo da camada, devido, principalmente, às oscilações de temperaturas na interface ar-gelo. A realização do degelo periodicamente pode manter este coeficiente de desempenho de uma maneira mais constante, entretanto com uma parcela de tempo aparte para a realização do procedimento

Buscar uma maneira mais eficiente na realização do degelo em evaporadores que trabalham com temperaturas abaixo de 0°C, utilizando uma mistura acessível de álcool etílico

e água, pode reduzir custos devido ao sistema alternativo utilizar menos energia elétrica para o mesmo procedimento, se feito com a resistência elétrica, este estudo será feito de maneira experimental. O uso da mistura como fluido secundário remete ao baixo ponto de congelamento da mesma, o que permite a instalação fixa deste sistema de degelo, sendo que quando a bomba não estiver em funcionamento sabe-se que a linha secundária de fluido não será interrompida pelo congelamento desta mistura.

Com a proposta do sistema de degelo alternativo testado pretende-se um aumento na eficiência energética por utilizar do ciclo onde a refrigeração é o processo principal e o calor rejeitado ao ambiente é aproveitado como subproduto para aquecer a mistura entre água e álcool, este fenômeno é chamado de cogeração, que será utilizada para a remoção da camada de gelo no evaporador.

Esta pesquisa espera determinar, após encontrar um teor de concentração da mistura água e álcool de cozinha, um método mais eficiente para realizar o degelo em evaporadores industriais. Após o teste do sistema alternativos, dados energéticos serão comparados com o método já utilizado para este fim, onde alguns modelos de evaporadores são dotados de uma resistência elétrica, buscando observar as diferenças entre os dois métodos e consequentemente expondo o mais econômico para a realização do mesmo procedimento.

Para determinar a concentração da mistura álcool etílico e água que será utilizada no processo de degelo, utiliza-se um modelo matemático em função das quantidades de solvente e soluto adicionados na solução, a partir desta concentração as propriedades são encontradas através de gráficos. Entretanto para a realização dos testes realizam-se algumas correções na bancada localizada no laboratório de refrigeração do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, sendo estas principalmente a adaptação do sistema responsável pela realização do degelo. A partir da etapa dos testes, os resultados são analisados de forma que possam ser exibidos de forma clara e evidente.

A maioria das instituições buscam uma melhora da eficiência em seus processos, ou seja, as empresas procuram reduzir os gastos de maneira interna para ter uma margem de lucro maior, visto que o preço do produto não pode ser aumentado demasiadamente devido à alta competitividade de mercado. Avaliar dois sistemas distintos que realizam a mesma função, tem caráter totalmente acadêmico, onde se preza pela análise crítica de dados obtidos de maneira experimental. Entretanto, apesar disso, pode-se refletir em um sistema economicamente viável para grandes e pequenas instalações frigoríficas.

A pesquisa é realizada em laboratório e de acordo com Lakatos (2003) é resumida a tentar descobrir uma ação ou conduta que resulta das condições dispostas e controladas pelo ensaio, com o auxílio da bancada de refrigeração e máquinas térmicas do Centro Universitário Assis Gurgacz. O procedimento consiste em comparar o degelo feito através das resistências elétricas, que possuem um consumo elevado, por um sistema fechado onde ocorre a recirculação de uma mistura entre água e álcool de cozinha aquecida pelo calor rejeitado do próprio equipamento.

1.1 ASSUNTO / TEMA

O assunto do referido trabalho é sobre fluídos termodinâmicos.

O tema abordará sobre o uso de uma mistura entre álcool de cozinha e água para a realização do degelo em evaporadores que trabalhem com ambientes abaixo de 0°C.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar, experimentalmente, as características energéticas do degelo em evaporadores com temperaturas abaixo de 0°C utilizando uma mistura aquecida entre água e álcool de cozinha e compará-las com as características energéticas do degelo pelo sistema convencional do equipamento através da resistência elétrica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar e realizar as correções necessárias na bancada de refrigeração para realização dos testes;
- Determinação da concentração da mistura;
- Realização do teste em laboratório;

- Cálculo energético de ambos os sistemas utilizados para o degelo;
- Comparação energética entre os sistemas água e álcool de cozinha pelo sistema de resistência elétrica.

1.3 JUSTIFICATIVA

O gelo pode ser um problema constante em instalações que possuem processos de refrigeração, a formação de uma parede de gelo nas aletas do evaporador restringe a passagem de ar sobre os tubos com fluido primário do sistema, reduzindo a transferência de calor com o ar e impactando diretamente na eficiência do ciclo de refrigeração. A figura 1 ilustra um caso crítico da presença do gelo no evaporador e por mais espantoso que seja este tipo de acontecimento é comum em operações que trabalham com ambientes com alta umidade relativa.



Figura 1: Formação de gelo no evaporador

(Fonte: <http://www.commercial-freezers-coolers-depot.com/images/xicedcoil1.jpg.pagespeed.ic.71XC2CaC1W.jpg>)

Processos de refrigeração fazem parte do dia a dia de diversas pessoas mundialmente e este fenômeno vem evoluído constantemente, portanto demonstrar um método alternativo na realização do degelo em evaporadores em que se melhorem alguns aspectos relevantes pode ser extremamente importante para as grandes empresas que convivem com o contratempo do gelo nos equipamentos de refrigeração, o que resulta em uma queda de eficiência e consequentemente na redução da margem de lucro. Obviamente que o processo escolhido

pode se mostrar ineficaz se comparado com o já existente nos evaporadores, que geralmente utilizam resistência elétrica, entretanto se preza pela pesquisa e pelo fato da redução do tempo e gastos no processo de degelo.

O fluido secundário a ser testado é conhecido como álcool de cozinha, aquele usado em casa para limpeza e diversos fins domésticos e é cientificamente chamado de álcool etílico, que é encontrado nos supermercados por preços menores se comparado com os outros utilizados com a função de anticongelante, e que possuem características semelhantes, no caso o etilenoglicol.

Além de oferecer um processo de degelo alternativo aos sistemas já existentes utilizados em evaporadores, a presente pesquisa pode ter como consequência expor um método mais eficiente e adequado aos sistemas de refrigeração que trabalham com temperaturas abaixo de 0°C , o que pode ser bem visto por grandes indústrias se apresentar uma melhora no processo e aumento da eficiência energética do ciclo, impactando diretamente nos gastos envolvidos com manutenção deste tipo de equipamento visto que o degelo pode ser considerado um procedimento de manutenção no trocador de calor. Apesar disto, para o meio acadêmico o estudo do álcool etílico para a realização de degelo em evaporadores pode incitar em um estudo aprofundado de suas propriedades e características, buscando melhorias na eficiência do processo de degelo se realizado utilizando fluidos secundários, o que pode ser consequência para o estudo com novas substâncias.

Um dos principais pontos da realização do degelo em equipamentos com uma mistura entre água e álcool etílico é devido ao fato desta ser anticongelante, neste caso o hidrocarboneto oxigenado, possibilita temperaturas de congelamento da solução muito abaixo da temperatura da água pura. Permitindo que a mesma mistura entre no processo de degelo a 50°C e saia até -20°C e a mesma permaneça dentro do sistema refrigerado sem sofrer o congelamento quando o sistema secundário estiver inoperante. O fragmento de tabela 1 abaixo apresenta algumas propriedades físicas de componentes que o autor chama de fluidos intermediários, demonstrando principalmente o ponto de congelamento e a concentração da mistura.

Tabela 1: Propriedades físicas de algumas concentrações de etanol e etilenoglicol.

Solução	Concentração em Peso %	Ponto de Congelação °C
Etanol – C ₂ H ₅ OH	20	- 11,1
	25	- 15,3
	36	- 26,6
	52	- 45,5
Etilenoglicol – C ₂ H ₆ O ₂	25	- 10,6
	35	- 17,8
	45	- 26,4
	55	- 41,6

(Fonte: Costa, 1982, p. 107)

O autor Medeiros (2010), realizou verificações com alguns hidrocarbonetos oxigenados trabalhando como fluídos secundários em sistemas de refrigeração estes são o etilenoglicol, propilenoglicol e o glicerol. Basicamente o que melhor atendeu às condições impostas pelo autor foi o etilenoglicol, entretanto é tóxico e através disto o mesmo sugere que o propilenoglicol pode ser um substituto atóxico para o primeiro, porém o mesmo autor não utilizou o álcool etílico como fluído intermediário. Através disto propõe-se utilizar o etanol como anticongelante e juntamente com água pura, realizar o degelo em evaporadores que trabalham com temperaturas abaixo de 0°C.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O processo de degelo é muito comum em grandes capacidades frigoríficas, buscar um método que consiga realizar este procedimento reduzindo o gasto com energia elétrica tende a ser vantajoso para as empresas, onde qualquer gasto que possa ser reduzido possui um impacto positivo ao fim do mês. Portanto pretende-se descobrir:

Quais as principais diferenças energéticas entre o uso de um sistema com água e álcool etílico ou resistência elétrica para o degelo em evaporadores com temperaturas abaixo de 0°C?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Apesar da extensa pesquisa bibliográfica, este trabalho científico tem cunho totalmente experimental e será desenvolvido com o auxílio do laboratório de refrigeração do Centro Universitário Assis Gurgacz. Algumas propriedades termodinâmicas como a entalpia e a temperatura da mistura após cada etapa do processo de degelo, bem como as áreas de trocas de calor dos dutos implantados para a retirada do gelo no evaporador e a interferência no escoamento do fluxo de ar imposta pelo sistema de degelo adaptado não serão quantificadas para este experimento, o qual busca realizar uma comparação prática entre o método tradicional para o degelo em evaporadores, resistência elétrica, com outro não tanto utilizado que é o proposto pelo trabalho com a mistura água e álcool de cozinha. Este fato reforça a ideia de uma pesquisa significativamente prática e experimental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CALOR

O calor é abordado por Dossat (1980, p. 33), como uma forma de energia devido a sua possibilidade de ser convertido em qualquer outra forma energética, no entanto, termodinamicamente o mesmo autor o define como sendo a energia que se transfere de um corpo a outro, devido a uma diferença de temperatura encontrada entre eles.

Çengel (2012, p.6), utiliza uma definição mais técnica e associa calor a energia microscópica da substância ou ainda energia interna, no entanto segundo o mesmo autor todas essas são consideradas como energia térmica para que não se faça confusão na transferência de calor.

2.1.1 Calor Latente

Este tipo de calor é definido como energia latente por Çengel (2012, p. 6), está diretamente relacionado ao estado físico da substância, também chamado de fase, e é associada às forças intermoleculares responsáveis por manter as ligações entre as moléculas, ou seja, a capacidade de elas permanecerem juntas, sendo ela maior em sólidos e menor em vapores e gases.

Através de uma definição mais simples, Miller (2008, p. 45), caracteriza esta forma de energia como sendo o calor necessário para que se altere o estado físico da substância, sem a alteração da temperatura, pois se sabe que para ocorrer a mudança de estado ou fase de uma quantidade de matéria a sua temperatura irá permanecer constante até que toda ela sofra com a alteração do estado físico. Por exemplo, o aquecimento de 1kg de água na pressão atmosférica normal de 1atm, a temperatura máxima do líquido a ser atingida será 100°C, por mais que o fluxo de calor fornecido a massa de água seja constante, este será em forma de calor latente e não alterará a temperatura até que se altere o estado físico da água, neste caso de líquido para vapor.

2.1.2 Calor Sensível

É também denominado de energia sensível e é definida por Çengel (2012, p. 6), como sendo a parte associada à energia cinética interna que é função da velocidade média e do grau de agitação das moléculas de uma substância onde que estes dois estão diretamente relacionados a sua temperatura.

Este é ainda descrito por Miller (2008, p. 45) como o calor responsável por alterar a temperatura de uma determinada substância, não cabe a este tipo de calor alterar o estado físico. O calor sensível pode ser calculado através da equação 1:

$$Q_s = M \times C \times \Delta t \quad (1)$$

Onde:

Q_s = Calor sensível [kJ];

M = Massa considerada [kg];

C = Calor específico da substância [kJ/kg°C];

Δ_T = Variação da temperatura desejada [°C].

É possível visualizar que estas propriedades dependem exclusivamente da substância analisada e da condição de alteração da temperatura requerida, demonstrando-se um cálculo bem objetivo quando se possui as propriedades. Borgnakke (2013, p. 132) define ainda o cálculo de calor médio trocado em um processo, no decorrer de um tempo dado apresentado pela equação (2).

$$Q_{\text{médio}} = \frac{Q_s}{t} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{\text{médio}}$ = Calor médio [kJ];

t = Tempo decorrido [s].

2.2 TEMPERATURA

Esta propriedade da matéria é determinada por Dossat (1980, p. 36), como sendo uma medida da intensidade calorífica da pressão térmica de um objeto ou corpo, ou seja, baixa pressão térmica é um corpo frio e alta pressão térmica um corpo quente, ainda cita que esta propriedade é uma função da energia cinética molecular e por isso é um índice de velocidade média molecular. Simplificando esta definição, a temperatura pode ser considerada como sendo o grau ou o estado de agitação das moléculas.

Entretanto Borgnakke (2013, p. 37), afirma que apesar de ser uma propriedade familiar, a sua definição exata ainda é muito distorcida e segundo ele acostumou-se com a noção de temperatura. Esta noção de temperatura pode ser enganosa, um exemplo disto ocorre quando ao tocar em materiais distintos a uma mesma temperatura cria-se a impressão de que um deles está mais frio que o outro, entretanto pode ser verificado com um termômetro que não é verdade.

É descrito por Halliday (2007, p. 182), que a escala de temperatura, no sistema internacional de unidades, é o Kelvin [K] e que esta não possui um limite superior, entretanto possui um limite inferior que é também chamado de zero absoluto e é determinado como sendo o grau zero na escala Kelvin. O mesmo autor ainda apresenta que o recorde máximo de temperatura alcançado é de 10^{-9} o equivalente a 0,000000001K.

2.3 ÁLCOOL ETÍLICO

O álcool etílico, também chamado de etanol, é um composto de carbonos, hidrogênios e oxigênio, através disto é representado pela fórmula química C_2H_5OH ou C_2H_6O . Trata-se de uma substância volátil e transparente preparada através da fermentação de alguns carboidratos. (National Center for Biotechnology Information – NCBI, 2019).

Entretanto o etanol é definido por Brunetti (2012, p. 384), como um composto obtido pela fermentação natural de açúcar, o que ele chama de álcool de primeira geração, e pela hidrólise enzimática da celulose, chamado por ele de álcool de segunda geração. Segundo o mesmo, este é o único composto oxigenado permitido pela legislação brasileira. A molécula do etanol é demonstrada na figura 2.

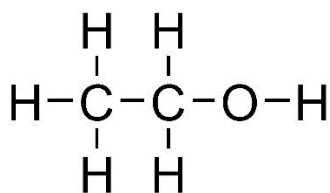


Figura 2: Molécula de etanol.

(Fonte: <https://pt-static.z-dn.net/files/d73/d4477415d7d18393fa3f23dfa8316856.png>)

Algumas propriedades do etanol, dadas por Ferguson (2001, p. 328) são comparadas com as fornecidas por Brunetti (2012, p. 385) e representadas na tabela 02.

Tabela 2: Algumas propriedades do etanol.

Etanol	Ferguson	Brunetti
Peso molecular	46,07	-
Pressão de vapor	17kPa a 38°C	16kPa a 37,8°C
Ponto de ebulição a 1 atm	78°C	78,3°C
Entalpia de vaporização	850kJ/kg a 25°C	937kJ/kg

(Fonte: Ferguson, 2001, p. 322 e Brunetti, 2012, p.385)

A tabela fornecida por Brunetti não apresenta um valor de peso molecular para o etanol. Contudo as demais propriedades se encontram similares de acordo com os dois autores, exceto a entalpia de vaporização, cuja diferença é notável, entretanto o segundo autor não deixa claro a temperatura da propriedade obtida e se for diferente dos 25°C do primeiro esta diferença é justificada. O gráfico da figura 3 demonstra as curvas de ebulição de acordo com a pressão em mmHg, (760mmHg = 1atm), e temperatura em Celsius para o etanol, água e o éter dietílico.

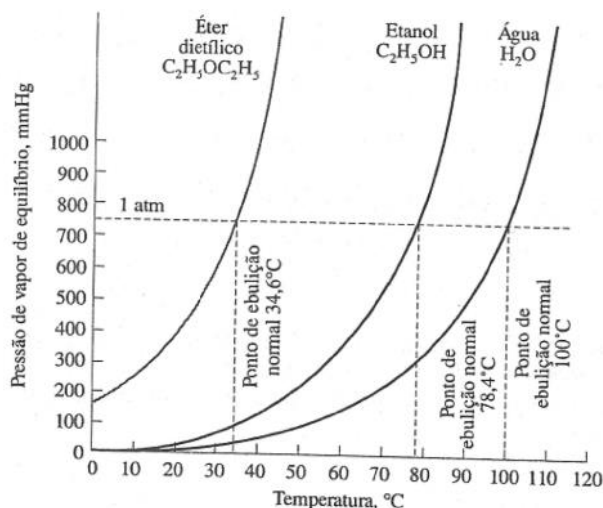


Figura 3: Curvas de ebulição de acordo com pressão e temperatura.

(Fonte: Russel, 1994, p. 485)

2.4 ÁGUA

A água é considerada por Sharp (2001) uma substância única e onipresente em todos os seres vivos, é composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, é apresentada pela fórmula química H_2O . A representação da molécula da água é demonstrada na figura 4.

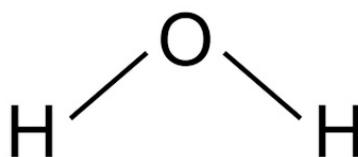


Figura 4: Representação da molécula de água.

(Fonte: <https://www.tabelaperiodica.org/wp-content/uploads/2017/10/molecula-agua-hidrogenio-oxigenio.jpg>)

A forte interação molecular entre os átomos reflete em um alto ponto de ebulição, que é o calor necessário para evaporação, uma alta tensão superficial e um alto calor específico. A ligação molecular é tão única e perfeita que realizando a substituição de um ou dos dois átomos de hidrogênio enfraquece drasticamente as propriedades, a tabela 03 demonstra através da comparação de algumas características principais que são afetadas pela troca de um e dois átomos de hidrogênio por um conjunto de metil (CH_3), ambos solventes orgânicos. (SHARP, 2001, traduzido pelo autor)

Tabela 3: Comparação entre substâncias com composições químicas semelhantes.

Propriedade	Água	Metanol	Éter dimetílico
Fórmula	H ₂ O	CH ₃ OH	(CH ₃) ₂ O
Ponto de ebulição (°C)	100	65	- 25
Tensão superficial (mN/m)	72,8	22,6	16,4
Densidade (kg/L)	0,998	0,7914	0,713
Calor específico (kJ/g)	4,18	2,53	2,37

(Fonte: Sharp, 2001)

2.5 FLUÍDOS REFRIGERANTES

Para Dossat (1980, p. 529), refrigerante é todo corpo ou substância que atua absorvendo calor de uma fonte. Contudo, em sistemas de refrigeração o fluído de trabalho sofre diversos processos físicos, como por exemplo, compressão e expansão, e por este motivo deve possuir propriedades químicas, físicas e termodinâmicas que possibilitem seu uso como o fluído primário de trabalho. Entretanto o autor ainda determina que um fluído ideal deve ser tanto seguro para o uso quanto econômico, porém segundo o mesmo, este não existe devido as diversas aplicações e condições de sistemas de refrigeração existentes e torna-se próximo ao ideal quando as suas propriedades atendem os requisitos da sua aplicação.

Do mesmo modo a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) determina que um refrigerante deve ter um número satisfatório de requisitos técnicos relacionados à segurança, estabilidade química, propriedades ambientais, características termodinâmicas, compatibilidade com materiais de construção e impacto total no custo do sistema. Por outro lado, não há um refrigerante que seja completo e atenda todas as propriedades, portanto, deve-se fazer um balanço com as características desejáveis para o devido processo. (ASHRAE, 2018 p.4, traduzido pelo autor).

A partir disso, Miller (2008, p. 47) evidencia que os refrigerantes do tipo hidrocarboneto se aproximam do considerado ideal na refrigeração e são também chamados de freon, os mais conhecidos são, o R-12 (CCl₂F₂) e o R-22 (CHClF₂).O primeiro é considerado pelo autor como sendo o pioneiro dos refrigerantes do tipo sintético e muito utilizado na faixa de condicionadores de ar, já o segundo possui as mesmas aplicações ao anterior, porém, possui um ponto de ebulição menor, o que possibilita o uso de compressores e linhas de refrigeração menores. Apesar disso ambos os refrigerantes possuem a capacidade

de alterar química e fisicamente as propriedades da camada de ozônio, o R-12 compõe os alcanos completamente alogenados e o R-22 os alcanos parcialmente alogenados (BRASIL, 1990, anexo I).

No Brasil a proibição da importação do R-12 foi iniciada em 2001 e reduzida gradativamente até a sua total proibição em 2007 (BRASIL, 2000, art. 3º). Apesar disso o R-22 também considerado capaz de prejudicar a camada de ozônio ainda é muito utilizado no Brasil, entretanto nos Estados Unidos a proibição de produção e importação dos refrigerantes tipo hidroclorofluorcarbono (HCFCs), o R-22 é um exemplo deste, seja completa até 2030 (ASHRAE, 2017, p. 29.1, traduzido pelo autor). A tabela 4 demonstra como foi feita a proibição gradual da importação do R-12 a partir do ano de 2001 no Brasil.

Tabela 4: Proibição gradual do R-12 no Brasil.

Ano	Redução
2001	15 %
2002	35%
2003	55%
2004	75%
2005	85%
2006	95%
2007	100%

(Fonte: Brasil, 2000, art. 3º)

2.5.1 Fluídos Secundários

De acordo com a ASHRAE (2017) algumas aplicações de refrigeração demandam que o calor seja transferido para outro fluído, que é responsável por transferir o calor de uma fonte à outra sem a alteração de seu estado físico e são normalmente chamados de fluídos secundários ou fluídos de transferência de calor.

Acrescenta-se a isto o descrito por Melinder (2007) onde cita que os fluídos secundários de trabalho são utilizados a muito tempo em sistemas de refrigeração indireta e sistemas de bombas de calor, aquecedores, e ainda cita que este fluído pode ser fonte de calor para o evaporador ou retirar calor do condensador. Segundo o mesmo autor ainda, é comum utilizar apenas o termo salmoura para o fluído secundário, entretanto tecnicamente este termo refere-se apenas a soluções entre água e sal que são utilizadas como anticongelante, porém

com grande capacidade de corrosão e estão sendo substituídos em parte por soluções entre água e algum tipo de álcool, como por exemplo, o propilenoglicol, etilenoglicol e no caso desta pesquisa o álcool etílico.

Algumas características importantes para um fluido secundário são pontuadas por Melinder (2007), são elas:

- Proteção suficiente contra o congelamento, não com concentrações tão altas de misturas a fim de permitir melhor uso das boas características da água.
- Transportar grande capacidade de refrigeração por tubos ou dutos.
- Permitir boa transferência de calor devido às pequenas diferenças de temperatura na troca térmica do evaporador e o objeto frio.
- Permitir pequena perda de carga no fluxo de fluido, possibilitando o uso de uma bomba simples com pequena capacidade de bombeamento.

Entretanto Melinder (2007) ainda pontua algumas características opcionais para os fluídos secundários:

- Ser biodegradável, não tóxico, aceitável para aquele meio ambiente, não ser perigoso ou inflamável e ter um custo razoável
- Ser compatível com os materiais utilizados no sistema de refrigeração para não causar problemas como a corrosão.

2.6 PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO

O autor Costa (1982), atribui a retirada de calor de um corpo de maneira geral como refrigeração. Entretanto o mesmo faz duas distinções: o arrefecimento como sendo a redução da temperatura de um corpo até a temperatura ambiente e o resfriamento que é de fato a diminuição da temperatura de um corpo da disposta no ambiente até o seu ponto de congelamento. Simplifica-se da seguinte maneira para valores de pressão normal: Água a 20°C é colocada em um ambiente que está a 15°C, como o calor atua da fonte quente para a fonte fria esta substância será arrefecida até a mesma temperatura do ambiente, após este

procedimento é colocada em um refrigerador doméstico e a redução da temperatura de 15°C até o ponto de congelamento, aproximadamente 0°C, ocorrerá pelo processo de resfriamento.

Entretanto Miller (2008) é mais específico e caracteriza a refrigeração como um processo de remoção do calor em locais que ele não é desejado. Ainda exemplifica que a remoção de calor dos alimentos ocorre para preservar seu sabor e a sua qualidade, retira-se calor do ambiente para o conforto humano e bem como as diversas aplicações industriais que necessitam da retirada de calor para a obtenção de um efeito desejado.

2.7 REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

O processo de refrigeração por compressão de vapor trabalha com a mudança de fase do fluido de trabalho dentro do ciclo e segundo Van Wylen (1995, p. 282), pode ser utilizado de duas formas. A primeira com o objetivo de refrigerar um espaço exposto ao evaporador, que é responsável por retirar calor do ambiente e utilizá-lo na transformação do fluido refrigerante em vapor, esta forma de calor é representado por Q_L na figura 5. A segunda forma é utilizá-lo como uma bomba de calor utilizando da energia térmica presente no fluido refrigerante após a compressão e rejeitá-la ao ambiente externo através do condensador sendo apresentado como Q_H também disposto na figura 5. No ciclo real a temperatura do condensador é superior ao meio externo e a temperatura no evaporador é menor que no meio refrigerado permitindo taxas finitas de transferência de calor entre o fluido e os dois espaços. A figura 5 representa esquematicamente um ciclo de refrigeração por compressão de vapor, seus principais componentes.

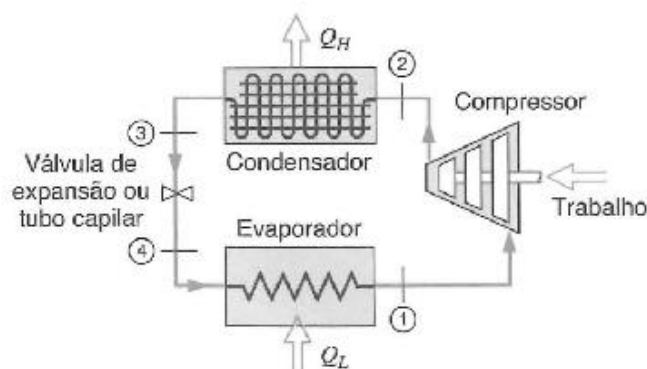


Figura 5: Representação esquemática do sistema por compressão de vapor.

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor, bem como todas as principais etapas que o compõem podem ser representadas através do gráfico de Mollier, que é apresentado na figura 6 onde que os pontos remetem a figura 5 na representação de cada estado do fluido primário.

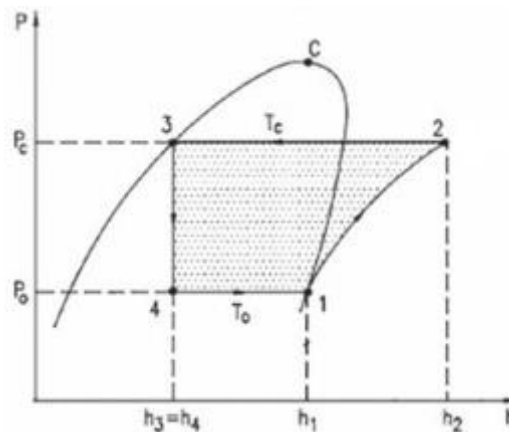


Figura 6: Gráfico de Mollier para o sistema de refrigeração por compressão de vapor.

(Fonte: <https://www.questaocerta.com.br/questoes/cargo/engenheiro-mecanico/22>)

O gráfico de Mollier é dado em função da pressão e entalpia do fluido de trabalho, os principais pontos do gráfico serão definidos na sequência.

2.7.1 Compressão

O processo de compressão em um ciclo de refrigeração é definido por Dossat (1980, p. 175), como um processo em que o fluxo de calor para ou do refrigerante é desprezível, significando um processo adiabático, devido ao pouco tempo em que o fluido de trabalho permanece nos compressores atuais, ou seja, todo o trabalho fornecido pelo compressor é responsável pelo aumento da energia interna do vapor, aumentando a temperatura e a entalpia do refrigerante. A energia necessária para comprimir o fluido é considerada pelo mesmo autor como o calor de compressão, onde todo trabalho é realizado pelo compressor. Através da figura 6, que representa o gráfico de Mollier, é possível observar dentro do sistema de refrigeração que a etapa de compressão ocorre entre os pontos 1 e 2.

2.7.2 Expansão

Nos sistemas de refrigeração o componente responsável por realizar a expansão do fluido trabalho é chamado de controlador de fluxo de refrigerante. Dossat (1980, p. 571), atribui a este componente duas principais funções, a primeira é medir a quantidade de líquido que será encaminhada ao evaporador a uma taxa proporcional à evaporada por este, além disso ainda manter um diferencial de pressão, para que o fluido evapore a baixa pressão no evaporador e condense a uma alta pressão no condensador. Na figura 6, a queda drástica de pressão, bem como a entalpia constante é determinada entre os pontos 3-4.

Contudo é um processo de estrangulamento de expansão adiabática, devido a não ocorrência de ganho ou perda de calor, onde que teoricamente as entalpias não sofrem alteração antes e depois do regulador. Este processo ocorre sempre quando um fluido é expandido através de um orifício de uma alta pressão para uma baixa pressão. (DOSSAT, 1980, p. 193)

2.7.3 Condensação

O processo de condensação é definido por Russel (1994, p. 454, p. 457), como um processo que ocorre em gases ou vapores, em que a energia é liberada na medida em que as moléculas são unidas, este procedimento faz com que estas retornem ao estado líquido e ocorra a condensação.

Em sistemas de refrigeração, o processo de condensação é utilizado para retirar a energia do refrigerante que é absorvida no compressor e no evaporador. Este último é responsável por absorver o calor do ambiente a ser resfriado, ou seja, o fluido de trabalho deve condensar com taxa igual a que este é evaporado no processo antes do compressor. A pressão de condensação é a pressão de saturação correspondente à temperatura do fluido refrigerante no condensador (DOSSAT, 1980, p. 176). Na figura 6, o processo de condensação ocorre, teoricamente, a pressão constante e pode ser identificado entre os pontos 2-3.

2.7.4 Evaporação

É proposto por Brady (1986, p. 286), que as moléculas estão em movimento contínuo em uma substância, sofrendo colisões umas com as outras, devido a energia cinética interna. A evaporação ocorre quando a energia fornecida é tanta que proporciona a esta molécula superar as forças intermoleculares e conseqüentemente escapar da superfície líquida para a gasosa.

Além disso Dossat (1980, p. 97), exemplifica que a evaporação é um processo contínuo em lagos, rios, roupas entre outros, mesmo que tal fenômeno ocorra a uma temperatura abaixo da de saturação. A propósito ainda, cita que todo líquido em contato com a atmosfera está sujeito ao processo de evaporação. Nos processos de refrigeração, a evaporação do fluido refrigerante ocorre, segundo a figura 6, entre os pontos 4-1 e é responsável pela retirada do calor ambiente.

2.8 TROCADORES DE CALOR

É transcrito por Incropera (1998, p. 318) que trocadores de calor são equipamentos em que a troca térmica entre dois fluidos a diferentes temperaturas ocorre separada por uma parede sólida e pode ser aplicada em diversos ramos da engenharia na refrigeração, exemplos deste equipamento são os condensadores e evaporadores. Entretanto Kreith (2003, p. 435) realiza uma definição mais simplificada deste mesmo equipamento, e considera-os apenas o equipamento em que ocorre uma transferência de calor entre dois fluidos. Some-se a isto a ideia de Çengel (2012, p. 629) que é mais detalhista e define trocadores de calor como sendo dispositivos que facilitam a troca térmica entre um par de fluidos em diferentes estados de agitação térmica, porém inexistindo uma mistura entre ambos. Acrescenta-se também que os trocadores de calor são utilizados desde em sistemas de aquecimento e ar condicionado residencial à produção de potência em grandes usinas.

De maneira simplificada, Incropera (1998, p. 318) descreve que a classificação dos trocadores de calor é feita de acordo com a configuração do escoamento dos dois fluidos e conforme o tipo de construção. Um trocador de calor pode ser classificado de acordo com a disposição do fluxo, tem-se um arranjo em paralelo quando os fluidos entram pela mesma

extremidade do trocador e um arranjo com contracorrente quando ambos os escoamentos entram no equipamento por extremidades contrárias, estas classificações são apresentadas na figura 7.

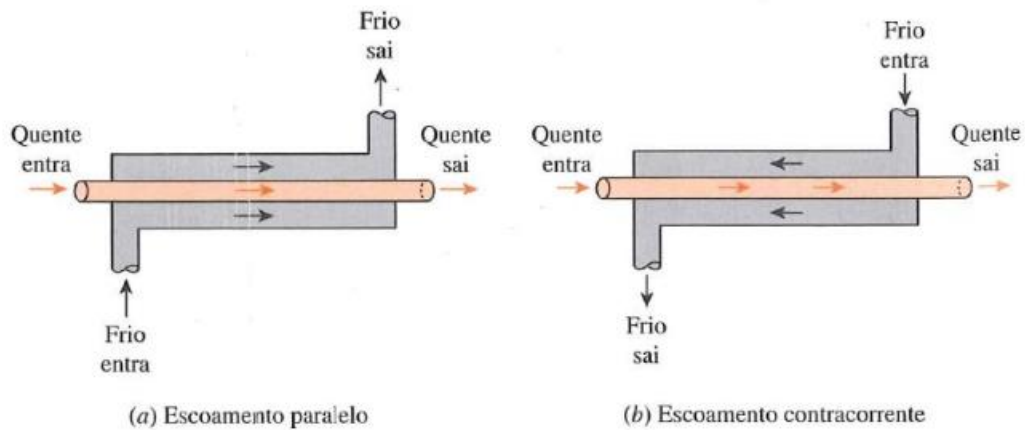


Figura 7: Representação de arranjo paralelo e contracorrente em trocadores de calor

(Fonte: Çengel e Ghajar, 2012, p. 630)

Além disso, para Incropera (1998, p. 318) os escoamentos podem ser cruzados onde que um fluido deve escoar perpendicularmente ao outro. Este tipo de arranjo geralmente configura o equipamento proposto por Çengel (2012, p. 630) denominado de trocador de calor compacto, que possui uma grande área de troca térmica se relacionado com o volume total do equipamento, o mesmo autor ainda dispõe de uma variável $\beta > 700$ metros quadrados de área de troca térmica por metros cúbicos de volume do trocador de calor para que um trocador de calor seja classificado desta maneira, a exemplo disto um radiador de carro possui β de aproximadamente $1000\text{m}^2/\text{m}^3$ e já o pulmão humano de $20000\text{m}^2/\text{m}^3$. Çengel ainda justifica que neste tipo de trocador de calor as grandes áreas de trocas são obtidas devido a utilização de chapas finas, chamadas de aletas, um exemplo de configuração com escoamento cruzado e a presença de aletas é apresentado na figura 8. Na maioria dos casos os condensadores dos condicionadores de ar residencial possuem esta configuração apresentada na imagem, onde que o ar ambiente passa externo às aletas e o fluido refrigerante dentro dos tubos.

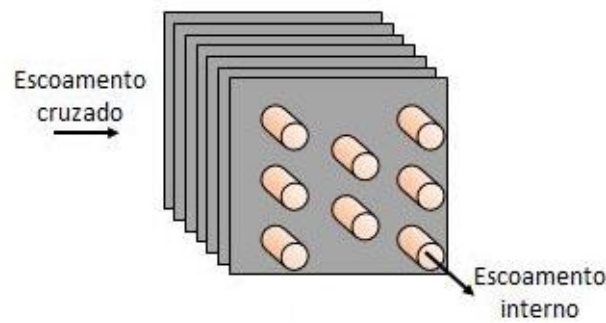


Figura 8: Representação de escoamento cruzado em trocador de calor.

(Fonte: Çengel e Ghajar, 2012, p. 631)

Em trocadores de calor do tipo duplo tubo, no caso da pesquisa em forma circular, o comprimento dele pode ser calculado através do cálculo de sua circunferência e multiplicado pelo número de voltas que o mesmo percorre. A equação da circunferência é dada por Carvalho (2011), com a adição de um fator ‘n’ para contabilizar as voltas que o tubo percorre, resultando na equação (3):

$$l(C) = n'2\pi R \quad (3)$$

Onde:

$l(C)$ = Perímetro do círculo [m];

R = Raio da circunferência [m];

n' = Número de voltas do trocador de calor.

2.9 BOMBEAMENTO

Para falar de bombeamento é necessário antes realizar a diferenciação das principais máquinas de fluxo, que segundo Macintyre (2008, p. 37) são divididas entre máquinas motrizes e geratrizes. As máquinas do tipo motrizes são aquelas que utilizam a energia do fluido para a realização de um trabalho mecânico e em muitos casos, centrais elétricas, por exemplo, este trabalho rotativo é convertido em energia elétrica, a principal máquina desta categoria é a turbina hidráulica, porém também compõe esta categoria as rodas d'água. Por

outro lado, as máquinas do tipo geratrizes realizam o processo contrário, de modo que elas recebem a energia de uma fonte motriz, a liberam em forma de trabalho mecânico que é consequentemente transferido para o fluído, nesta categoria se enquadram todas as bombas hidráulicas.

Apesar disso o autor Stewart (1994, p. 46) realiza a diferenciação deste tipo de equipamentos, que o mesmo chama de máquinas a fluído, de modo que as bombas a fluído convertem a energia mecânica em energia do fluxo hidráulico e nos motores a fluído a energia fluída é convertida em trabalho mecânico, o autor realiza uma comparação com os motores elétricos que convertem energia elétrica em trabalho mecânico. Neste caso as bombas a fluído seriam as próprias bombas hidráulicas e os motores a fluído, as turbinas.

É apresentado por Netto (1998, p. 269) que o *Hydraulic Institute* estabelece quatro classes de bombas: centrífugas, rotativas, de êmbolo ou pistão e as de poço profundo que seriam como uma turbina. Entretanto as instalações de água e esgoto geralmente utilizam as bombas centrífugas com acionamentos a motores elétricos para a realização do trabalho.

Através disto Macintyre (2008, p. 43) classifica as bombas centrífugas como turbobombas, bombas rotodinâmicas ou ainda *kinetic pumps* pelo *Hydraulic Institute*, esta classificação resume-se ao fato de este tipo de equipamento utilizar de um órgão rotatório dotado de pás, chamado de rotor, que transforma o trabalho mecânico em energia cinética no fluído e por isto dificulta o seu uso em líquidos mais viscosos, como óleo, por exemplo, esta transferência de energia em velocidade do fluxo ocorre acima de tudo pelo método construtivo da bomba, sua forma circular ou muitas vezes em caracol força o fluído a se chocar contra as paredes e consequentemente ser empurrado para fora do equipamento com uma velocidade superior a inicial. A figura 9 representa a vista frontal em corte de uma bomba centrífuga.

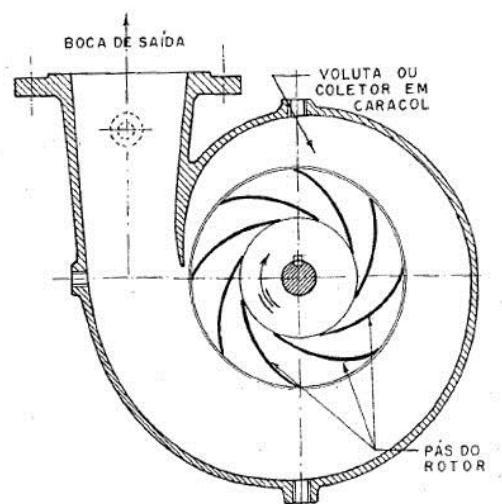


Figura 9: Vista frontal em corte de uma bomba centrífuga.

(Fonte: Macintyre, 2008, p. 44)

2.10 VAZÃO

Basicamente vazão é definida por Brunetti (2008, p. 72) como sendo um volume, simbolizado por $\dot{V}$, de fluido que escoar em determinado período de tempo. O autor também define a seguinte equação para o cálculo de vazão definida pela equação (4):

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Onde:

$\dot{V}$ = Vazão volumétrica [m^3/s];

V = Volume escoado [m^3];

t = Unidade de tempo [s].

Brunetti (2008, p. 72) cita que existe uma importante relação entre a vazão em volume e a velocidade do fluido, esta relação é alcançada por uma relação entre a velocidade do fluido e a área da secção transversal por qual o fluido escoar, com isto obtém-se na equação (5):

$$v = v At \quad (5)$$

Onde:

v = Velocidade média do fluido na secção [m/s];

A_T = Área da secção transversal do escoamento [m²].

Esta relação entre velocidade e área transversal da secção, para Halliday (2007, p.72) é regida pela lei ou equação da continuidade que é indicada para o escoamento de um fluido ideal e é exemplificada na figura 10. Esta equação demonstra que para uma mesma vazão volumétrica a velocidade do fluido aumenta quando a área da secção é reduzida, o mesmo autor até usa como exemplo quando se aperta a extremidade da mangueira para que a água seja lançada com maior velocidade a uma distância maior. A mudança de área e de velocidades pode ser representada pela figura 10 abaixo, onde que teoricamente para A_1 a velocidade do fluido será que em A_2 , através de uma representação da equação da continuidade.

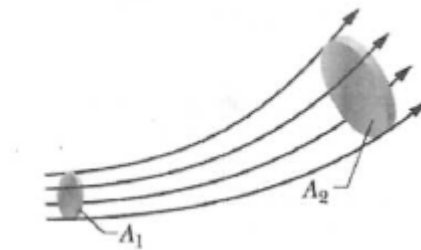


Figura 10: Mudança de área em escoamento de fluidos.

(Fonte: Halliday, 2007, p. 72)

2.11 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Segundo Halliday (2012, p. 139) a resistência elétrica é a característica que determina a diferença entre os resultados obtidos quando se aplica a mesma diferença de potencial às extremidades de uma barra de vidro e uma barra de cobre, é basicamente a capacidade de um material resistir à passagem de uma corrente elétrica. Componentes

inseridos em um sistema elétrico a fim de aumentar a resistência do sistema são chamados de resistores.

Industrialmente as resistências elétricas são, segundo a IMC Resistências (2019), fundamentais e sua principal função é de transformar energia elétrica em energia térmica através da dissipação de calor. A figura 11 apresenta um exemplo de resistência elétrica utilizada a nível industrial fabricada pela própria IMC.



Figura 11: Exemplo de resistência elétrica utilizada para aquecimento

Fonte: <https://imcresistencias.com.br/produtos/flange-6-elementos/>

2.12 COGERAÇÃO

A cogeração pode ser descrita de maneira simples, através da colocação de Borgnakke (2013) onde descreve que a cogeração é o tipo de aplicação em que um subproduto é gerado a partir da geração principal. Como por exemplo, em pequenas unidades em que o vapor d'água é o produto principal e o excedente é utilizado na geração de energia elétrica, porém o contrário também ocorre, onde a energia elétrica é o produto principal e o vapor d'água o subproduto utilizado para outro fim. Um exemplo de cogeração pode ser observado na figura 12.

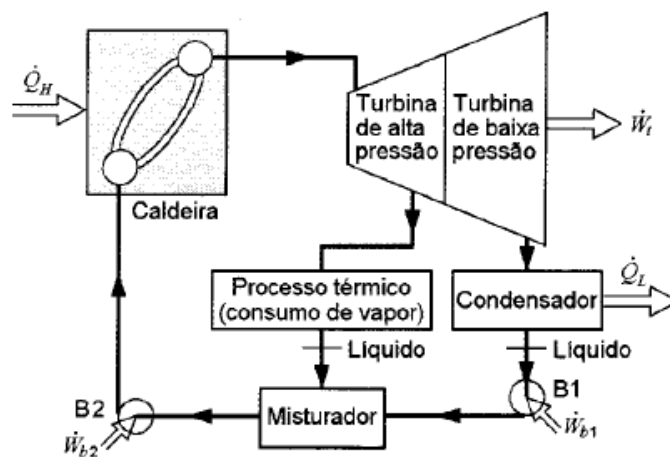


Figura 12: Exemplo de cogeração em sistema termodinâmico.

(Fonte: Van Wylen, 1995, p.261)

2.13 CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Câmaras frigoríficas são caracterizadas, segundo Chagas (2012), como qualquer espaço utilizado para armazenagem tendo suas condições internas controladas por um sistema de refrigeração, entretanto completa Rosa (2000) que é um espaço isolado com o objetivo de limitar o fluxo de calor entre os corpos ocupantes ou armazenados neste espaço. Normalmente a parede das câmaras são construídas em forma de sanduíche entre duas chapas metálicas e internamente um isolante térmico, a figura 13 apresenta uma vista em corte de parede para câmara frigorífica.

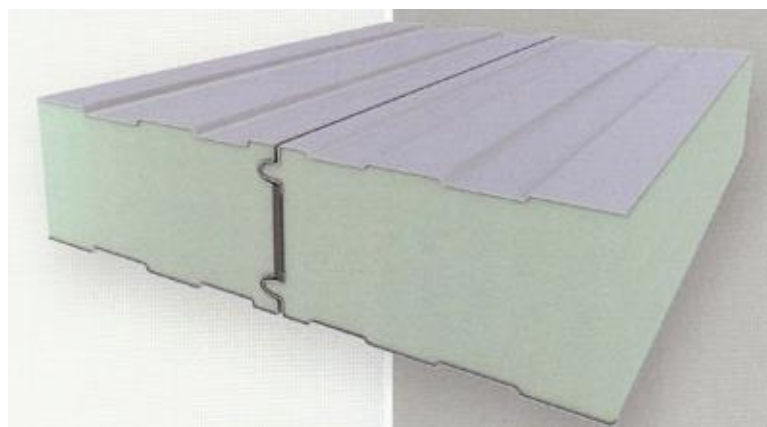


Figura 13: Vista em corte de parede de câmara frigorífica.

(Fonte: <https://mecalexbr.cdnwm.com/documents/20197/2829927/sandwich-panels/32c8d524-0c3f-405a-ae65-16a3f98ef012?t=1505470242767&e=jpg>)

Também chamadas de câmaras de armazenagem, são classificadas por Chagas (2012) como câmaras de resfriados que mantêm os produtos em temperaturas próximas de 0°C e as câmaras de congelados que tem o objetivo de prolongar o período de estoque dos produtos mantendo temperaturas abaixo de 0°C, na maioria dos casos este tipo de armazenagem ocorre a -18°C.

2.14 SOLUÇÕES, FRAÇÃO DE MASSA E DENSIDADE

É transcrito por Russel (1994, p. 502) que as características de uma mistura é uma combinação entre as propriedades individuais de cada componente da solução, entretanto para misturas homogêneas as características podem não estar apenas ligadas com às individuais, por exemplo uma salmoura possui ponto de congelamento menor que o sal puro e que a água pura.

De acordo com Brady (1986, p. 346), o tipo mais comum de solução encontrada em laboratório é de um soluto dissolvido em um líquido. Complementa-se a isto que soluções líquidas podem ser feitas através da mistura de um sólido em líquido, como as salmouras, ou de líquido com líquido, como etilenoglicol e água usado como anticongelante, e podem ser feitas através da mistura entre gás e água, como exemplo bebidas gaseificadas que possuem dióxido de carbono dissolvido. O método determinado por Brady (1986, p. 348) para o cálculo da fração de massa, adequado para este caso, é segundo a equação (6):

$$W_{alcohol} = \frac{M_{alcohol}}{M_{alcohol} + M_{água}} \quad (6)$$

Onde:

$W_{alcohol}$ = Fração de álcool presente na mistura;

$M_{alcohol}$ = Massa de álcool presente na mistura [kg];

$M_{água}$ = Massa de água presente na mistura [kg].

A massa específica, ou densidade, é classificada por Borgnakke (2013) como sendo a massa de um determinado volume ocupado por uma substância, sendo ela o inverso ao volume específico. No SI a unidade de massa específica é dada em kg/m³. O cálculo da

densidade ou da massa específica de uma substância pode ser realizado através da expressão dada por Yaws (1999, p. 208) que se resume na equação (7):

$$\rho = A B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n} \quad (7)$$

Onde nesta equação:

A, B, n = Coeficientes tabelados de regressão para o composto químico;

T = Temperatura [K];

T_C = Temperatura crítica [K]

.

Os coeficientes A, B e n são retirados de uma tabela contendo os diversos compostos químicos segundo Yaws (1999, p. 189-211).

A obtenção da massa através de propriedades termodinâmicas das substâncias é dada pela equação (8), segundo Borgnakke (2013):

$$M = \rho V \quad (8)$$

Onde que neste caso:

M = Massa da substância [kg];

ρ = Massa específica da substância [kg/m³];

V = Volume ocupado pela substância [m³].

Esta equação segundo Borgnakke (2013) permite utilizar a vazão volumétrica para encontrar a vazão mássica, utilizando a massa específica da substância, entretanto deve-se utilizar segundo o SI e respectivamente em m³/s e kg/s. Fazendo as substituições da equação (8) na equação (6), buscando a fração de álcool na mistura em função do volume de álcool e sua densidade, obtém-se a equação (9):

$$Walcool = \frac{Valcool \, palcool}{Valcool \, palcool + Vágua \, págua} \quad (9)$$

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa tem caráter experimental, e é definida por Gil (2008) como sendo o tipo de pesquisa que consiste em submeter os objetos de estudo em condições conhecidas e controladas pelo investigador para a devida análise dos resultados e o que os influenciam, e tem como objetivo principal observar as características de um processo de degelo em evaporadores utilizando como fluido uma mistura entre água e álcool de cozinha e por fim compará-las com as características do degelo padrão do equipamento, por resistência elétrica.

3.1 BANCADA DE REFRIGERAÇÃO

A realização da pesquisa ocorrerá com o auxílio do laboratório voltado para a área de refrigeração do Centro Universitário Assis Gurgacz na cidade de Cascavel no Paraná, através do uso de uma bancada de testes. A bancada é composta por compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador, câmara fria, bem como as devidas linhas de transporte de fluido, entretanto o compressor e o condensador compõem a chamada unidade condensadora. A tabela 05, demonstra os principais componentes da bancada, bem como suas respectivas marcas e modelos.

Tabela 5: Marcas e modelos dos equipamentos da bancada.

Equipamento	Modelo	Marca
Compressor	RS70C1-TFC-501	Copeland
Unidade condensadora	FLEX150H2C-A	Heatcraft
Válvula de expansão	018F6264	Danfoss
Evaporador	EFA1618	Heatcraft

Fonte: Autor (2019).

Estes equipamentos compõem a bancada de refrigeração do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, localizado na cidade de Cascavel no Estado do Paraná, que não foi construída exclusivamente para este trabalho e sim aproveitado o uso do sistema de refrigeração já existente para a realização deste experimento.

Antes do levantamento de dados referente a concentração da mistura entre álcool e água a ser testada, torna-se necessário a realização de um estudo sobre a bancada e como

adaptá-la para que esta possa realizar a atividade experimental envolvendo o sistema de degelo. Esta análise será feita no local buscando adequar a bancada processo, dotado de uma bomba centrífuga própria. A bancada em condições normais, sem o sistema de degelo, é apresentada na figura 14.



Figura 14: Bancada sem o sistema de degelo.

(Fonte: Autor, 2019)

3.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE DEGELO EXTERNO

O sistema de degelo implantado na bancada possui alguns componentes chave para o seu adequado funcionamento, estes componentes são esclarecidos neste tópico do trabalho. São componentes principais do sistema, o reservatório, a bomba centrífuga, o trocador de calor, a serpentina colocada no evaporador e demais acessórios, estes componentes foram adequados a bancada de modo a facilitar a coleta de dados e a visibilidade do teste efetuado. A bancada com o sistema de degelo alternativo é apresentada na figura 15.



Figura 15: Bancada com o sistema de degelo.

(Fonte: Autor, 2019)

3.2.1 Reservatório

O reservatório do sistema foi construído utilizando um balde de cloro para piscinas que tem geometria retangular e fora reaproveitado antes do mesmo ser descartado. Um furo feito na sua lateral para a implantação de uma peça de esgoto de pia doméstica que possui bitola aproximada ao diâmetro da sucção da bomba centrífuga, facilita a conexão entre os membros e evita o vazamento da solução. A figura 16 apresenta o balde utilizado como reservatório da mistura do sistema de degelo, bem como a ligação deste até a bomba posicionada ao seu lado.



Figura 16: Disposição do reservatório no sistema de degelo.

(Fonte: Autor, 2019)

Na figura 16, do reservatório, a seta 1 representa a bomba e a seção de sucção a partir do reservatório implantado, a 2 indica a adaptação do componente de pia implantado no furo realizado no balde retangular e a 3 indica a tubulação e o furo feito para o retorno da solução ao reservatório após circulação.

3.2.2 Bomba centrífuga

Para a realização do sistema externo para degelo, utiliza-se uma bomba de máquina de lavar roupa da marca Emicol modelo EBE 01, possuindo vazão de 14L/min, ou 0,23L/s, demonstrada na figura 17. A bomba centrífuga posicionada para operação no sistema de degelo fora apresentada na figura 16.



Figura 17: Imagem da bomba centrífuga utilizada

Fonte: (<https://www.emicol.com.br/produtoDetalhes.php?l=1&p=produtoDetalhes&c=3&id=91>)

3.2.3 Trocador de calor tipo duplo tubo

Após a bomba, o fluído será conduzido até um trocador de calor do tipo duplo tubo que será responsável por rejeitar o calor do refrigerante, fluído primário, para a mistura entre água e álcool, fluído secundário, que após seu aquecimento segue através de uma mangueira transparente com 1 polegada de diâmetro.

O aquecimento da mistura aproveitando o calor rejeitado pelo sistema de refrigeração tem como objetivo aumentar a eficiência do sistema de degelo, visto que o fluído secundário será aquecido pelo calor que é rejeitado para o ambiente e que com a mistura aquecida o gelo se desprenderá mais facilmente das aletas do evaporador.

O trocador de calor é em espiral e possui 24cm de diâmetro, ou 12cm de raio, uma bitola do tubo externo de 1 polegada e ainda conta com aproximadamente 4,5 voltas. Com o diâmetro e o número de voltas é possível encontrar o comprimento do trocador de calor, partindo da equação (3), obtém-se:

$$l(C) = 4,5 \times 2 \times \pi \times 0,12$$

$$l(C) = 3,39m$$

Este comprimento para o trocador de calor é uma característica do equipamento instalado na bancada de refrigeração e é o componente responsável por aquecer a mistura

entre água e álcool para a realização do processo de degelo no evaporador. O trocador de calor tipo duplo tubo é apresentado na figura 18.



Figura 18: Trocador de calor duplo tubo disposto na bancada.

(Fonte: Autor, 2019)

3.2.4 Serpentina implantada no evaporador

A serpentina instalada no evaporador é composta por 4 tubos de cobre, que foram cortados com aproximadamente 60cm de comprimento, interligados por mangueiras de $\frac{1}{2}$ " (meia polegada) e fixados no evaporador com o auxílio de arames finos. Este componente do sistema de degelo será responsável por conduzir a solução entre água e álcool pelo evaporador do ciclo de refrigeração buscando derreter o gelo presente nas paredes do equipamento responsável pelo resfriamento da câmara. A disposição da serpentina implantada no evaporador do sistema de refrigeração é apresentada na figura 19.

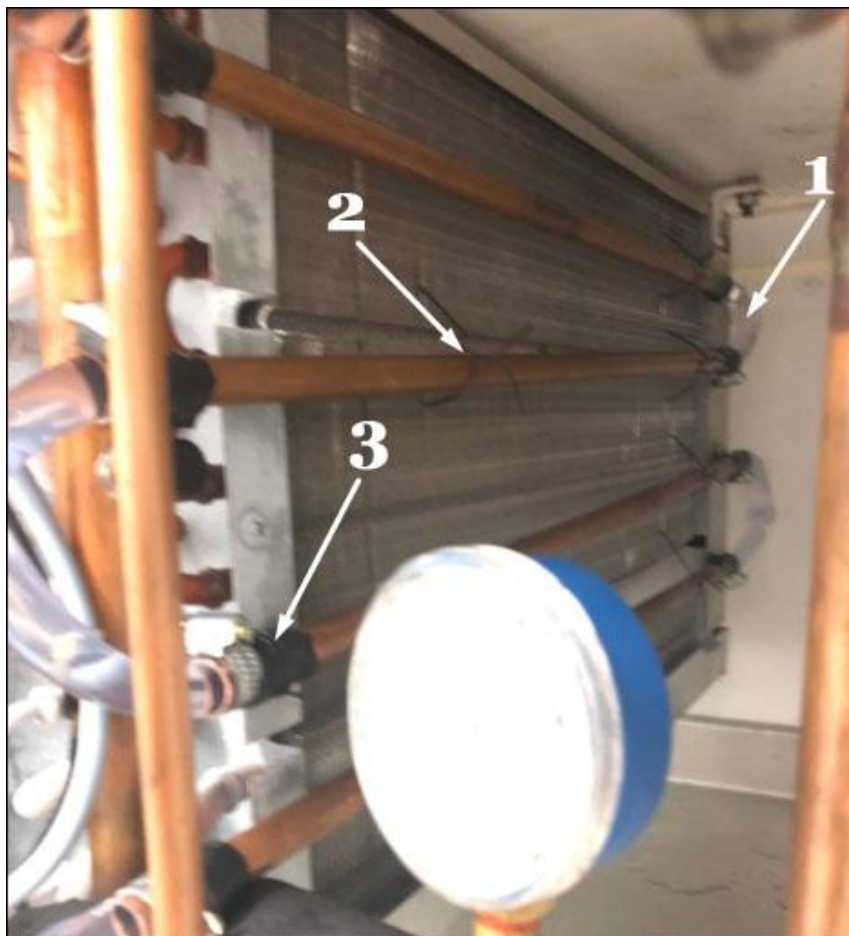


Figura 19: Imagem da serpentina implantada no evaporador.

(Fonte: Autor, 2019)

A imagem apresentada, além de demonstrar a instalação da serpentina no evaporador do sistema de refrigeração, apresenta alguns aspectos desta etapa do sistema de degelo, por exemplo, a seta de número 1 indica as ligações com a mangueira de $\frac{1}{2}$ " entre os tubos de cobre, os arames lisos utilizados na fixação da serpentina são identificados com a seta 2 e a seta 3 representa a fita de alta fusão utilizada na vedação crítica do sistema de degelo.

3.2.5 Demais ligações e conexões

Devido ao trocador de calor possuir o diâmetro para 1 polegada, necessita-se uma redução da mangueira desta bitola após o equipamento para uma de $\frac{1}{2}$ " que conduzirá a mistura aquecida até o evaporador que após percorrer os tubos de cobre interligados pela mesma mangueira de $\frac{1}{2}$ " retorna com uma temperatura menor ao reservatório. Para realizar as

ligações das mangueiras e encaixes, utilizou-se diversos tamanhos de abraçadeiras, um exemplo destas são demonstradas na figura 20.



Figura 20: Braçadeira utilizada para prender mangueiras.

(Fonte: https://www.multifiber.pt/content/images/thumbs/0000448_bracadeira-inox.jpeg)

Apesar do uso das abraçadeiras para os encaixes e conexões, inicialmente os vazamentos se tornaram um problema, a partir disso utilizou-se de uma fita de alta fusão para realizar a vedação nos pontos de encaixe do sistema de degelo. A fita utilizada para a vedação crítica do sistema é apresentada na figura 21.



Figura 21: Fita de alta fusão utilizada para vedação de componentes.

(Fonte: <https://www.powerluz.com.br/kit-02-fitas-isolante-3m-auto-fusao-19mm-x-10mts-profissional>)

Após a apresentação dos materiais utilizado para a implantação do sistema de degelo é possível estabelecer uma lista do que foi utilizado para a construção deste ciclo, estes são apresentados na tabela 06.

Tabela 6: Lista de materiais do sistema de degelo instalado.

Material	Quantidade
Bomba de máquina de lavar EBE 01	01 unidade
Mangueira cristal 1" de diâmetro	02 metros
Mangueira cristal ½" de diâmetro	04 metros
Tubos de cobre ½" de diâmetro externo	2,4 metros
Abraçadeiras ½"	06 unidades
Abraçadeiras 1"	05 unidades
Abraçadeiras 2"	02 unidades
Redução de mangueira ¾" para ½"	01 unidade
Arame liso fino para amarração	0,8 metros

Fonte: Autor (2019)

3.3 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DA MISTURA

Para encontrar as propriedades termodinâmicas da mistura é necessário que se encontre a fração mássica de álcool presente, esta fração pode ser calculada pela equação (7). Entretanto deve-se assumir algumas propriedades iniciais, a mistura foi efetuada com água à temperatura ambiente, assim como o álcool de cozinha.

Os fatores A,B, n e T_C, necessários para o cálculo da densidade pela equação (7), são retirados das tabelas disponíveis nos anexos A e B, sendo apresentados na tabela 07.

Tabela 7: Representação dos fatores para cálculo da densidade.

Composto	Fator A	Fator B	Fator n	T_C (K)
Água	0,3471	0,2740	0,28571	647,93
Etanol	0,2657	0,26395	0,2367	516,25

Fonte: Yaws (1999, p. 190 e 208)

A partir destes fatores é possível fazer a substituição destas variáveis na equação (7), para as duas substâncias, considerando uma temperatura ambiente de 25°C ou aproximadamente 298,3K. Para a densidade da água:

$$\rho_{\text{água}} = 0,3471 \times 0,274^{-\left(1 - \frac{298,3}{647,93}\right)^{0,28571}}$$

$$\rho_{\text{água}} = 1,02765 \frac{g}{mL} \text{ ou } 1,02765 \frac{kg}{L}$$

Para a densidade do etanol:

$$\rho_{álcool} = 0,2657 \times 0,26395^{-\left(1 - \frac{298,3}{516,25}\right)^{0,2367}}$$

$$\rho_{álcool} = 0,78716 \frac{g}{mL} \text{ ou } 0,78716 \frac{kg}{L}$$

O álcool de cozinha comprado possui 46,2% de concentração mássica e segundo o fabricante possui 54% de concentração volumétrica, segundo figura 22, logo em um litro desse álcool apenas 540mL são de etanol e os outros 460mL são de água.



Figura 22: Graduação do álcool de cozinha utilizado.

(Fonte: Autor, 2019)

Como 1L de mistura possui 0,540L de álcool, este valor multiplicado pelos 7L utilizados da solução na realização dos testes, se obtém um valor de **3,78L** de álcool, teoricamente, puro. Logo a subtração da quantia total de álcool pela quantidade total da mistura resulta na quantidade total de água que terá sido adicionada ao reservatório através dos 7 litros do álcool de cozinha comprado no supermercado, então a quantia resultante de água será de **3,22L**. Com estes dados, e sabendo a quantidade de álcool e água utilizados no sistema é possível substituir na equação (9) que se resume a:

$$Walcool = \frac{3,78 \times 0,78716}{3,22 \times 0,78716 + (3,22 + 8) \times 1,02765}$$

$$Walcool = 0,2115 \text{ ou } 21,15\%$$

Com este resultado é possível observar que a mistura de 7L do álcool de cozinha e 8L de água adicionados ao reservatório possui apenas 21,15% de fração mássica no sistema de degelo externo.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS DA MISTURA

A mistura utilizada para a realização do degelo no sistema de refrigeração possui 21,15% de fração mássica de etanol, com esta concentração de álcool etílico é possível encontrar as demais propriedades que serão necessárias para os eventuais cálculos energéticos do sistema de degelo alternativo. Para calcular a quantidade de calor retirada através do processo de degelo é necessário encontrar algumas características termodinâmicas da mistura com a concentração encontrada.

3.4.1 Temperatura de congelamento da mistura

De acordo com o gráfico 01, é possível determinar a temperatura de congelamento de diversas soluções aquosas e para o álcool etílico (EA) determina-se uma temperatura de congelamento de aproximadamente -12°C , o gráfico completo em tamanho real está disponível no Anexo C.

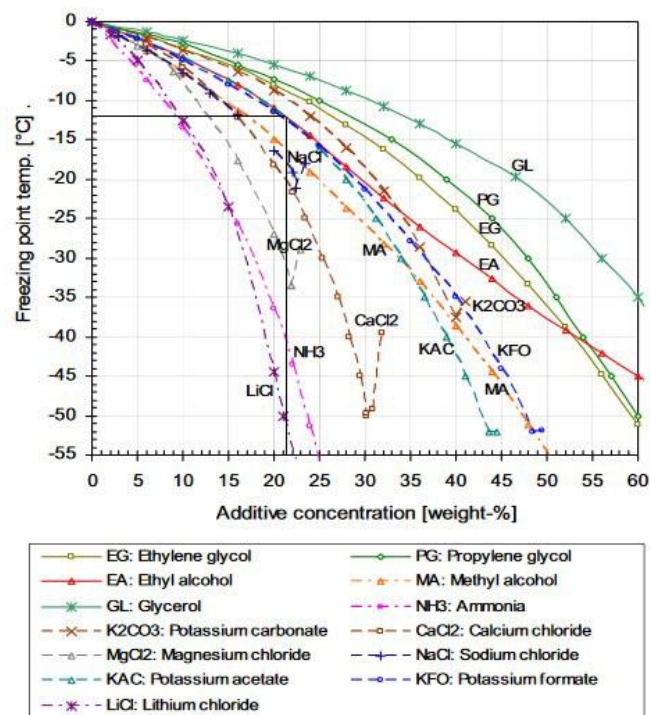


Gráfico 1: Temperatura de congelamento em função da concentração da mistura para diversos fluidos secundários.

(Fonte: Melinder, 2007, p. 8)

A temperatura de congelamento da mistura é uma variável chave para a determinação das demais propriedades da mistura e com ela é possível a determinação do calor específico e densidade da solução, variáveis fundamentais para a realização dos cálculos que envolvem o calor retirado pelo fluido secundário durante o procedimento de degelo.

3.4.2 Calor específico da mistura

O calor específico é obtido segundo o gráfico 02 em função da temperatura de congelamento da mistura. Esta propriedade termodinâmica torna possível o cálculo do calor total rejeitado pela mistura durante o processo de degelo, visto que são conhecidas as temperaturas inicial e final, bem como a massa que rejeita esta energia.

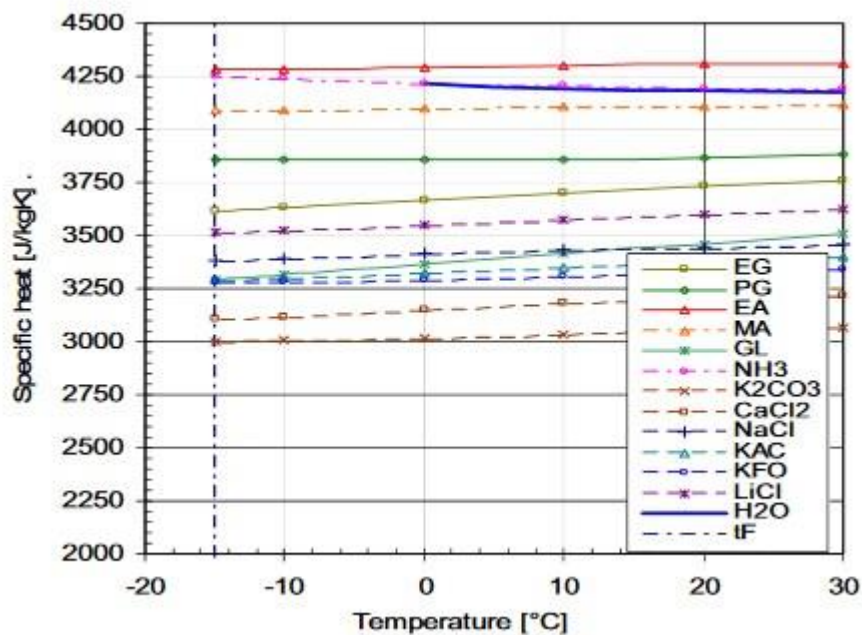


Gráfico 2: Calor específico em função da temperatura de congelamento de diversos fluidos secundários.

(Fonte: Melinder, 2007, p. 15)

De acordo com uma interpolação gráfica o calor específico para uma mistura composta com 21,15% de álcool etílico com uma temperatura de congelamento de -12°C é de 4285J/kgK ou ainda para facilitar os cálculos 4,285kJ/kgK.

3.4.3 Densidade da mistura

Outra propriedade que deve ser encontrada para a realização dos cálculos é a densidade da solução, dando ênfase que a densidade utilizada anteriormente é para o álcool puro e necessita-se da massa específica da mistura de 21,15% de etanol.

A densidade de fluidos secundários e misturas é dado no gráfico 03 e de acordo com este a massa específica para a mistura possui valor de aproximadamente 970kg/m^3 , para facilitar nos cálculos esta pode ser descrita como $0,970\text{kg/L}$.

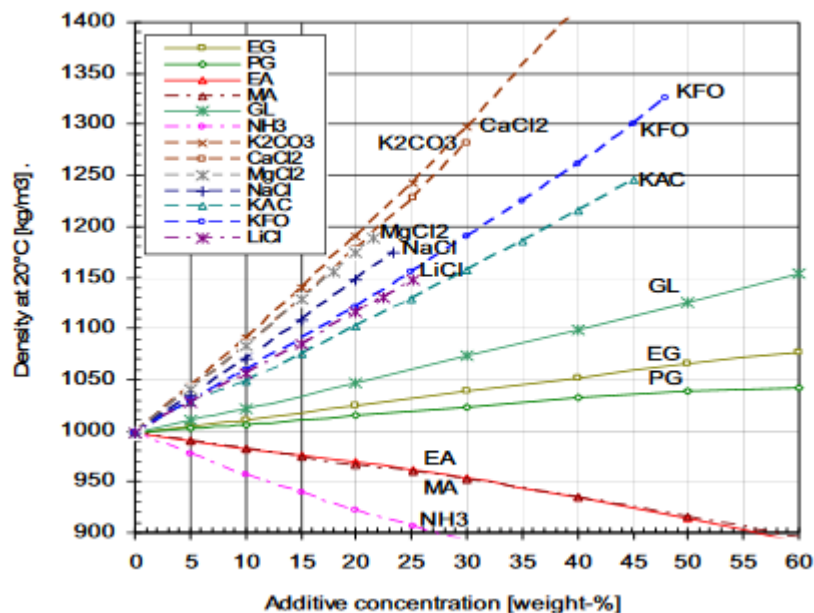


Gráfico 3: Densidade de fluidos secundários a temperaturas de 20°C em função da concentração da mistura.

(Fonte: Melinder, 2007, p. 12)

A coleta dos dados nos gráficos é realizada através de auxílio gráfico com aumento da imagem e a criação de linhas determinantes para os pontos avaliados. Algumas outras propriedades de mistura para fluidos secundários estão disponíveis no anexo D.

3.5 ANÁLISE DO SISTEMA ALTERNATIVO

Para a realização do degelo necessitou-se a princípio permitir a formação do gelo no evaporador, localizado dentro da câmara frigorífica. Processos de degelo possuem tempos variáveis que são determinados de acordo com o tipo de sistema de refrigeração e de acordo com a quantidade da formação de gelo.

O processo de degelo no sistema inicia com uma temperatura de mistura em 36°C, aquecida pelo calor rejeitado no trocador de calor do tipo duplo tubo, a leitura efetuada pelo equipamento de medição é apresentada na figura 23.



Figura 23: Leitura do termopar para a mistura no início do processo de degelo.

(Fonte: Autor, 2019)

O teste contou com um tempo de degelo de 20 minutos estabelecido aleatoriamente. Segundo consulta com o orientador deste trabalho, o cronômetro paralisado após o procedimento é apresentado na figura 24, marcando exatos 20 minutos e 01 segundos, entretanto para os cálculos serão utilizados apenas os 20 minutos.

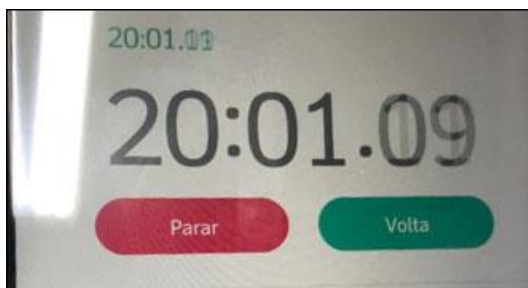


Figura 24: Cronômetro paralisado após o processo de degelo.

(Fonte: Autor, 2019)

Após o processo de 20 minutos utilizado para a realização do degelo no evaporador do sistema de refrigeração, verificou-se que a temperatura da mistura é de 32,6°C. A leitura final da temperatura da solução é apresentada na figura 25.



Figura 25: Leitura da temperatura da mistura após o processo de degelo.

(Fonte: Autor, 2019)

Sabe-se que o sistema de degelo possui 15L totais de mistura, sendo 8 litros de água ambiente e 7 litros de álcool 46,2°INPM, ou 54°GL, acrescenta-se a estes dados a densidade da mistura encontrada no item (3.5.3) e a equação de número (8), obtém-se uma massa total de solução de:

$$M = 15 \times 0,97$$

$$M = 14,55 \text{ kg}$$

Com as propriedades e condições obtidas é possível determinar o calor total, em Joules, rejeitado pela mistura entre água e álcool durante o período de 20 minutos, como 1 minuto possui 60 segundos, o tempo avaliado possui 1200 segundos através de uma simples multiplicação. A partir da quantidade de massa existente no sistema de degelo e utilizando a equação (1):

$$Q_s = M \times C \times \Delta t$$

$$Q_s = 14,55 \times 4,285 \times (36 - 32,6)$$

$$Q_s = 211,97 \text{ kJ ou } 211970 \text{ Joules}$$

Este é o calor rejeitado por segundo pela solução entre água e álcool durante o processo de degelo com tempo de 20 minutos e assume-se que este é o calor liberado pela

serpentina no evaporador, desconsiderando eventuais perdas de calor por condução e radiação na mangueira e nos demais componentes do sistema de degelo.

Para o sistema de degelo externo o consumo de energia deste está diretamente ligado com a potência da bomba centrífuga utilizada para a realização do fluxo no sistema, visto que o aquecimento da mistura é realizado pelo calor rejeitado pelo fluido primário do sistema de refrigeração no trocador de calor duplo tubo. Como a bomba possui uma potência de 34W, com esta potência, segundo a equação (2) serão consumidos em 20 minutos:

$$Q_s = 34 \times 1200$$

$$Q_s = 40,8 \text{ kJ ou } 40800 \text{ Joules}$$

Com o procedimento de degelo, utilizando o sistema alternativo, retirou-se uma quantidade significativa de gelo das paredes do evaporador. A figura 26 apresenta as diferenças na parede lateral do evaporador antes e depois dos testes, respectivamente.

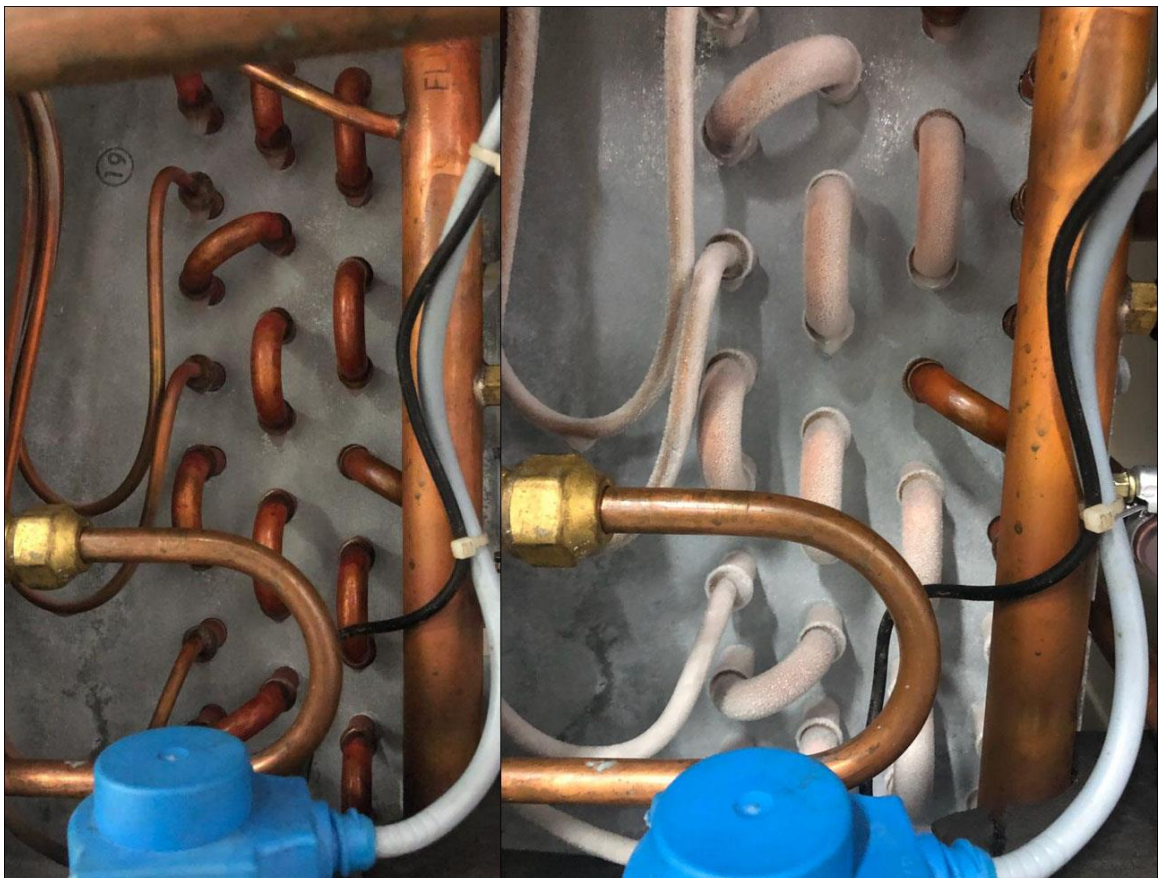


Figura 26: Lateral do evaporador antes e depois do processo de degelo, respectivamente.

(Fonte: Autor, 2019)

O gelo retirado das paredes do evaporador em forma de água líquida escorreu em um recipiente metálico disposta embaixo do equipamento de refrigeração, para a captação do líquido este recipiente com o produto do degelo pode ser observado na figura 27.



Figura 27: Conteúdo de água líquida resultante do degelo no evaporador.

(Fonte: Autor, 2019)

A figura 28 apresenta os 7 litros de álcool utilizados para a realização dos testes, após a realização do experimento.



Figura 28: Litros de álcool após o teste.

(Fonte: Autor, 2019)

3.6 ANÁLISE DO SISTEMA CONVENCIONAL

A resistência elétrica para um evaporador deste modelo com apenas 01 ventilador é de 800W, a página do catálogo do fabricante que indica a potência das resistências utilizadas para os evaporadores em função do número de ventiladores do evaporado desta linha de equipamentos é apresentada na figura 29.

Dados dos Motores e Resistências
Datos de los Motores y Resistencias

Ventiladores	Motores		Resistências / Resistencias			
	Potência consumida Potencia consumida	Corrente (a) Corriente (a)	Potência Consumida Potencia Consumida	Corrente Corriente	Quantidade Cantidad	
	(Watts)	220V-1F	(Watts)	220V-1F	Bandeja	Serpent.
1	140	1,02	800	3,64	1	1
2	280	2,04	1334	6,06	1	1
3	420	3,06	1868	8,49	1	1
4	560	4,08	2402	10,92	1	1

Figura 29: Potência consumida pela resistência elétrica.

(Fonte: <https://docplayer.com.br/97586261-Evaporador-de-ar-forcado-baixo-perfil.html>)

Com a potência consumida pela resistência elétrica de 0,8kW assume-se que esta mesma quantia de calor é rejeitada pela mesma para o ambiente a fim de realizar o processo de degelo, assumindo os 1200 segundo para o mesmo tempo para o processo e partindo da equação (2), se obtém:

$$Q_s = 0,8 \times 1200$$

$$Q_s = 960 \text{ kJ ou } 960000 \text{ Joules}$$

Para a resistência elétrica este Q_s é também o consumo elétrico deste método de degelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados coletados pode se construir uma tabela informativa afim de demonstrar os resultados obtidos utilizando ambos os sistemas para degelo, conforme apresentados na tabela 08.

Tabela 8: Consumo e calor rejeitado no tempo de degelo dos sistemas.

Método	Consumo em 20 minutos (kJ)	Calor rejeitado em 20 minutos (kJ)
Resistência	960	960
Alternativo	40,8	211,97

Fonte: Autor (2019)

Através da tabela 08 é possível perceber que durante este período de tempo o calor rejeitado pela resistência elétrica é maior, entretanto se considerar que todo o gelo presente no evaporador foi removido neste período de tempo o consumo elétrico do sistema convencional é significativamente maior do que o alternativo.

Caso neste processo de degelo fosse utilizado um sistema através da resistência elétrica, o consumo elétrico do sistema seria de aproximadamente 23,53 vezes maior que o consumo do sistema testado, utilizando uma mistura entre água e álcool de cozinha, ou seja, o consumo do sistema alternativo é de 4,25% o consumo elétrico para o sistema convencional.

Por outro lado, o calor rejeitado pela resistência elétrica é 4,52 vezes maior do que o rejeitado ao evaporador pela mistura água e álcool e a parcela deste mesmo calor representa apenas 22,08% do total de calor liberado pelo método convencional.

É interessante ressaltar que mesmo a resistência elétrica sendo utilizada para obter os mesmos 211,97kJ, em função de um período de tempo menor para a realização do processo de degelo o seu consumo energético seria maior que os 40,8kJ para a mesma quantia de calor rejeitado pelo sistema de degelo alternativo, onde que neste caso o método utilizando a mistura entre álcool e água representaria, aproximadamente, apenas 19,24% do consumo energético utilizado pelo sistema de resistência elétrica.

O uso da mistura entre água e álcool etílico impediu o congelamento da solução internamente ao sistema de degelo alternativo utilizado durante os testes, onde que se fosse utilizado apenas a água pura a mesma congelaria nos tubos de cobre utilizados na serpentina e inutilizaria este sistema. A temperatura interna da câmara fria disposta na bancada é apresentada segundo o display da mesma e é disposta na figura 30, demonstrando o valor de $-6,8^{\circ}\text{C}$, temperatura inferior à de congelamento d'água e superior à de congelamento da mistura com composição de 21,15%.



Figura 30: Display da bancada demonstrando a temperatura interna da câmara antes do processo de degelo.

(Fonte: Autor, 2019)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do primeiro objetivo específico do trabalho que foi definido em “Verificar e realizar as correções necessárias na bancada de refrigeração para a realização dos testes” é dado o primeiro passo da presente pesquisa, onde que a construção e instalação do sistema de degelo alternativo é parte fundamental do projeto, esta etapa é definida durante o artigo nos itens 3.1 e 3.2.

A mistura entre água e álcool é o elemento fundamental da pesquisa e é esta concentração que impedirá o congelamento nos tubos de cobre do fluído secundário quando a bomba centrífuga estiver desligada, visto que ela será utilizada apenas durante os períodos estabelecidos para a realização do degelo. Antes da realização dos testes determinou-se as características da mistura utilizada para a realização do degelo e esta coleta de dados permite executar o segundo objetivo específico definido ao início deste trabalho acadêmico como “Determinação das concentrações da mistura”. A mistura é o principal componente da referente pesquisa e a determinação das suas características são desenvolvidas nos itens 3.3 e 3.4.

Sem dúvidas o objetivo mais crítico do trabalho e o que mais poderia acarretar divergências foi o terceiro objetivo específico que ficou definido como a “Realização dos testes em laboratório” este que é a base de todo o desenvolvimento desta pesquisa e que é detalhado parcialmente em todo o item 3 do trabalho científico.

A realização dos cálculos energéticos utilizados para degelo em evaporadores é definida como o quarto objetivo específico da presente pesquisa e pode ser atribuído como um argumento apresentado a favor do sistema alternativo testado na bancada de refrigeração, o desenvolvimento dos cálculos energéticos de ambos os sistemas são desenvolvidos nos itens 3.5 e 3.6 e servirão de base para a comparação definida como objetivo específico cinco.

A partir da análise dos resultados energéticos para os dois sistemas, é possível verificar que para este sistema e período de tempo estabelecido para o ensaio, o sistema alternativo provou-se significativamente mais econômico do que o sistema de degelo por resistência elétrica. Entretanto o mesmo sistema pode-se mostrar ineficiente em grandes instalações de refrigeração e a partir disto pode-se chegar a um impasse devido a pesquisa ser completamente prática e realizada em uma condição de equipamento, porém o sistema de

degelo instalado na bancada possibilita a realização de pesquisas aprofundadas sobre este tipo de processo.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de estimular a pesquisa e o desenvolvimento acadêmico, o autor sugere alguns temas para trabalhos futuros:

Calcular a eficiência do ciclo baseado na análise dos volumes de controle, considerando as perdas de calor ao ambiente externo, tanto do sistema de refrigeração e do sistema de degelo e determinar a real eficiência do ciclo.

Simular cálculo de um sistema de degelo alternativo, considerando as temperaturas da solução na entrada e saída do trocador de calor duplo tubo, bem como as temperaturas no componente de rejeição de calor no evaporador.

Utilizar o mesmo sistema de degelo para testar outras soluções ou fluido para a realização deste processo no evaporador.

Realizar um teste de degelo e com a água resultante do ensaio, no recipiente de coleta, desenvolver um modelo de cálculo do calor real liberado pelo sistema alternativo considerando o gelo a uma temperatura próxima a de evaporação do sistema de refrigeração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASHRAE. **ASHRAE handbook fundamentals**. I-P Edition. Atlanta: 2017

ASHRAE, **Position document on refrigerants and their responsible use**. Atlanta: 2018.

Disponível em:

<<https://www.ashrae.org/File%20Library/About/Position%20Documents/Refrigerants-and-their-Responsible-Use.pdf>>. Acesso em 04 de abril de 2019.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. 8.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2013.

BRADY, James E.; HUMISTON, Gerard E. **Química geral**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos LTDA, 1986.1v.

BRASIL. **Decreto n. 99.280**, de 6 de jun. de 1990. Promulgação da convenção de Viena para a proteção da camada de ozônio e do protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio. Brasília: DF, 6 de junho de 1990.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 267**, de 14 de set. 2000. Proibição de substâncias que destroem a camada de ozônio. Diário Oficial, Brasília, 11 dezembro 2000.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2.ed.rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Edgard Blucher, 2012. 1v.

CARVALHO, Sônia P. de. **A área e o perímetro de um círculo**. 1º Colóquio da Região Sudeste: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: Uma abordagem prática**. 4.ed. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2012.

CHAGAS, José A. C. **Projeto e construção de câmaras frigoríficas**. York Refrigeration, Joinville, 2012.

COSTA, Ennio Cruz da. **Refrigeração**. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.

DOSSAT, Roy J., **Princípios de refrigeração**. 2.ed. São Paulo: Hemus, 1980.

FERGUSON, Colin R.; KIRKPATRICK, Allan T., **Internal combustion engines: Applied thermodynamics**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.

FIRME, António Pedro da Fonseca. **Estudo experimental da formação de gelo em evaporadores**. Universidade da Beira Interior. 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: eletromagnetismo**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2012. v.3.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: mecânica**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2007. v.2.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1998.

IMC Resistências. **O que é resistência elétrica e como utilizá-la na indústria**. 2019. Disponível em: < <https://imcresistencias.com.br/blog/o-que-e-resistencia-eletrica-e-como-utiliza-la-na-industria/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

KREITH, Frank; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor**. 1.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina de A., **Fundamentos da metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIDE, David R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. Boca Raton, FL, 2005. Disponível em: <<http://www.hbcpnetbase.com>>. Acesso em: 24 de outubro de 2019.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2008.

MEDEIROS, Pedro S. G.; BARBOSA, Cleiton R. F.; FONTES, Francisco de A. O. **Propriedades termofísicas de fluidos secundários à base de álcool para termoacumulação**. HOLOS, [S.l.], v. 4, p. 74-87, nov. 2010. ISSN 1807-1600.

MELINDER, Åke. **Thermophysical properties of aqueous solutions used as secondary working fluids**. Tese (Doutorado em termodinâmica e refrigeração aplicada) – KTH Energy and environmental technology. Stockholm: Sweden, 2007.

MILLER, Rex; MILLER, Mark R. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2008.

National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. **Ethanol**, CID=702. Disponível em: < <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/702>>. Acesso em 13 de abril 2019.

NETTO, Azevedo; FERNANDES, Miguel F.; ARAUJO, Roberto de; ITO, Acácio Eiji. **Manual de hidráulica**. 8.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998

ROBINSON, C. M.; JACOBI, A. M., **A study of frost formation on a plain fin**. Illinois: Air conditioning and Refrigeration Center, 2001.

ROSA, Ademar E. **Frigofácil**: Sistema de câmaras frigoríficas. Dissertação (Mestre em engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

RUSSEL, John B., **Química geral**. 2.ed. São Paulo: Makron Books, 1994.1v.

SILVA, Armando et al. **Conceito de conforto térmico humano**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.

SHARP, Kim A., **Water**: Structure and Properties. (2001).

STEWART, Harry L. **Pneumática e hidráulica**. 3.ed. Curitiba: Hemus, 1994.

VAN WYLEN, Gordon John; SONNTAG, Richard E., BORGNAKKE Claus. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 4.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1995.

YAWS, Carl L. **Chemical properties handbook**: Physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals. McGraw-Hill, 1999.

ANEXO A – TABELA DE FATORES PARA DENSIDADE DE ALGUNS COMPOSTOS ORGÂNICOS

Table 8-1 DENSITY OF LIQUID - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	density = A B ⁿ (1 - T/T _c) ⁿ				(density - g/ml, T - K)		
			A	B	n	T _c	TMIN	TMAX	density @ 25 C
79	C2H2Cl2O2	DICHLOROACETIC ACID	0.48656	0.24720	0.32550	686.00	286.55	686.00	1.553
80	C2H2Cl3F	1,1,1-TRICHLOROFLUOROETHANE	0.51435	0.25000	0.28571	565.00	173.00	565.00	1.575
81	C2H2Cl4	1,1,1,2-TETRACHLOROETHANE	0.50079	0.25970	0.28570	624.00	202.94	624.00	1.535
82	C2H2Cl4	1,1,2,2-TETRACHLOROETHANE	0.51649	0.25953	0.29593	645.00	229.35	645.00	1.587
83	C2H2F2	1,1-DIFLUOROETHYLENE	0.40029	0.23820	0.30940	302.80	129.15	302.80	0.594
84	C2H2F2	cis-1,2-DIFLUOROETHENE	0.39170	0.23800	0.28571	394.67	107.90	394.67	1.023
85	C2H2F2	trans-1,2-DIFLUOROETHENE	0.39170	0.23800	0.28571	394.67	107.90	394.67	1.023
86	C2H2F4	1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE	0.49834	0.24141	0.31372	380.00	172.15	380.00	1.199
87	C2H2O	KETENE	0.29188	0.27200	0.28571	370.00	122.00	370.00	0.660
88	C2H2O4	OXALIC ACID	0.43975	0.21500	0.28571	804.00	462.65	804.00	-----
89	C2H3Br	VINYL BROMIDE	0.53515	0.25321	0.28900	473.00	135.35	473.00	1.499
90	C2H3Cl	VINYL CHLORIDE	0.34897	0.27070	0.27160	432.00	119.36	432.00	0.903
91	C2H3ClF2	1-CHLORO-1,1-DIFLUOROETHANE	0.42636	0.24537	0.29800	410.20	142.35	410.20	1.107
92	C2H3ClO	ACETYL CHLORIDE	0.39703	0.26869	0.28570	508.00	160.30	508.00	1.102
93	C2H3ClO	CHLOROACETALDEHYDE	0.38125	0.23960	0.28571	555.00	293.00	555.00	1.200
94	C2H3ClO2	CHLOROACETIC ACID	0.41192	0.23248	0.28571	686.00	333.15	686.00	-----
95	C2H3ClO2	METHYL CHLOROFORMATE	0.42760	0.26789	0.27814	525.00	192.00	525.00	1.213
96	C2H3Cl3	1,1,1-TRICHLOROETHANE	0.47476	0.27258	0.29333	545.00	242.75	545.00	1.330
97	C2H3Cl3	1,1,2-TRICHLOROETHANE	0.47455	0.25475	0.31000	602.00	236.50	602.00	1.435
98	C2H3F	VINYL FLUORIDE	0.32311	0.27390	0.28571	327.80	112.65	327.80	0.620
99	C2H3F3	1,1,1-TRIFLUOROETHANE	0.42934	0.26210	0.26250	346.25	161.85	346.25	0.953
100	C2H3N	ACETONITRILE	0.23730	0.22642	0.28128	545.50	229.32	545.50	0.779
101	C2H3NO	METHYL ISOCYANATE	0.30084	0.23442	0.28571	505.00	256.15	505.00	0.926
102	C2H4	ETHYLENE	0.21428	0.28061	0.28571	282.36	104.01	282.36	-----
103	C2H4Br2	1,1-DIBROMOETHANE	0.68067	0.26364	0.29825	628.00	210.15	628.00	2.045
104	C2H4Br2	1,2-DIBROMOETHANE	0.71466	0.26634	0.28571	650.15	282.94	650.15	2.169
105	C2H4Cl2	1,1-DICHLOROETHANE	0.41231	0.26533	0.28700	523.00	176.19	523.00	1.168
106	C2H4Cl2	1,2-DICHLOROETHANE	0.46501	0.28742	0.31041	561.00	237.49	561.00	1.246
107	C2H4Cl2O	BIS(CHLOROMETHYL)ETHER	0.43043	0.25410	0.28570	579.00	231.65	579.00	1.312
108	C2H4F2	1,1-DIFLUOROETHANE	0.36462	0.25640	0.27970	386.60	156.15	386.60	0.898
109	C2H4F2	1,2-DIFLUOROETHANE	0.32624	0.22210	0.28570	476.00	215.00	476.00	1.016
110	C2H4I2	1,2-DIODOETHANE	0.87130	0.24500	0.28571	749.91	356.16	749.91	-----
111	C2H4O	ACETALDEHYDE	0.28207	0.26004	0.27760	461.00	150.15	461.00	0.774
112	C2H4O	ETHYLENE OXIDE	0.31402	0.26089	0.28253	469.15	161.45	469.15	0.862
113	C2H4OS	THIOACETIC-ACID	0.41630	0.31700	0.28571	577.34	150.16	577.34	1.059
114	C2H4O2	ACETIC ACID	0.35182	0.26954	0.26843	592.71	289.81	592.71	1.043
115	C2H4O2	METHYL FORMATE	0.34143	0.25838	0.27680	487.20	174.15	487.20	0.967
116	C2H4S	THIACYCLOPROPANE	0.29230	0.21400	0.28571	555.00	165.37	555.00	1.007
117	C2H5Br	BROMOETHANE	0.50699	0.25918	0.27980	503.80	154.55	503.80	1.450
118	C2H5Cl	ETHYL CHLORIDE	0.32259	0.27464	0.23140	460.35	136.75	460.35	0.890
119	C2H5ClO	2-CHLOROETHANOL	0.37979	0.26160	0.21893	585.00	205.65	585.00	1.196
120	C2H5F	ETHYL FLUORIDE	0.29307	0.27099	0.24420	375.31	129.95	375.31	0.712
121	C2H5I	ETHYL IODIDE	0.65415	0.25912	0.29853	561.00	162.05	561.00	1.920
122	C2H5N	ETHYLENIMINE	0.24895	0.23289	0.23357	537.00	195.20	537.00	0.831
123	C2H5NO	ACETAMIDE	0.28126	0.21906	0.28570	761.00	354.15	761.00	-----
124	C2H5NO	N-METHYLFORMAMIDE	0.27473	0.22427	0.27470	721.00	269.35	721.00	0.999
125	C2H5NO2	NITROETHANE	0.31810	0.23655	0.27800	593.00	183.63	593.00	1.043
126	C2H5NO3	ETHYL-NITRATE	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
127	C2H6	ETHANE	0.20087	0.27330	0.28330	305.42	90.35	305.42	0.315
128	C2H6AlCl	DIMETHYLALUMINUM CHLORIDE	0.28732	0.22536	0.28571	619.00	252.15	619.00	0.988
129	C2H6O	DIMETHYL ETHER	0.26390	0.26325	0.28060	400.10	131.66	400.10	0.655
130	C2H6O	ETHANOL	0.26570	0.26395	0.23670	516.25	159.05	516.25	0.787
131	C2H6OS	DIMETHYL SULFOXIDE	0.34418	0.25344	0.32197	726.00	291.67	726.00	1.095
132	C2H6O2	ETHYLENE GLYCOL	0.32503	0.25499	0.17200	645.00	260.15	645.00	1.110
133	C2H6O4S	DIMETHYL SULFATE	0.43048	0.25926	0.37020	758.00	241.35	758.00	1.322
134	C2H6S	DIMETHYL SULFIDE	0.30676	0.26780	0.28571	503.04	174.88	503.04	0.850
135	C2H6S	ETHYL MERCAPTAN	0.30092	0.26940	0.27866	499.15	125.26	499.15	0.833
136	C2H6S2	DIMETHYL DISULFIDE	0.37382	0.27705	0.31143	606.00	188.44	606.00	1.057
137	C2H7N	DIMETHYLAMINE	0.24110	0.26785	0.24800	437.65	180.96	437.65	0.650
138	C2H7N	ETHYLAMINE	0.24773	0.25651	0.28589	456.15	192.15	456.15	0.677
139	C2H7NO	MONOETHANOLAMINE	0.27149	0.22411	0.20150	638.00	283.65	638.00	1.014
140	C2H8N2	ETHYLENEDIAMINE	0.22765	0.20726	0.20173	593.00	284.29	593.00	0.893
141	C2H8Si	DIMETHYL SILANE	0.23323	0.26351	0.28421	402.00	122.93	402.00	0.578
142	C2N2	CYANOGEN	0.26685	0.20984	0.20635	400.15	245.25	400.15	0.866
143	C3F6	HEXAFLUOROPROPYLENE	0.55973	0.24195	0.31130	368.00	116.65	368.00	1.304
144	C3F6O	HEXAFLUOROACETONE	0.50475	0.23393	0.22900	357.14	151.15	357.14	1.321
145	C3F8	OCTAFLUOROPROPANE	0.62735	0.27240	0.28170	345.05	125.46	345.05	1.317
146	C3H2N2	MALONONITRILE	0.26638	0.20459	0.26090	715.00	304.90	715.00	-----
147	C3H3Cl	PROPARGYL CHLORIDE	0.35313	0.25459	0.31320	541.00	293.00	541.00	1.024
148	C3H3N	ACRYLONITRILE	0.25030	0.22930	0.28939	535.00	189.63	535.00	0.801
149	C3H3NO	OXAZOLE	0.29157	0.32500	0.28571	554.00	189.15	554.00	0.718
150	C3H4	METHYLACETYLENE	0.24368	0.26448	0.27900	402.39	170.45	402.39	0.607
151	C3H4	PROPADIENE	0.24731	0.27017	0.30300	393.15	136.87	393.15	0.579
152	C3H4Cl2	2,3-DICHLOROPROPENE	0.40062	0.25367	0.30630	577.00	191.50	577.00	1.201
153	C3H4O	ACROLEIN	0.28459	0.26124	0.24890	506.00	185.45	506.00	0.834
154	C3H4O	PROPARGYL ALCOHOL	0.30488	0.24900	0.28570	580.00	221.35	580.00	0.945
155	C3H4O2	ACRYLIC ACID	0.34645	0.25822	0.30701	615.00	286.65	615.00	1.046
156	C3H4O2	BETA-PROPIOLACTONE	0.36994	0.23600	0.28571	686.00	239.75	686.00	1.262

Fonte: Yaws (1999, p. 190)

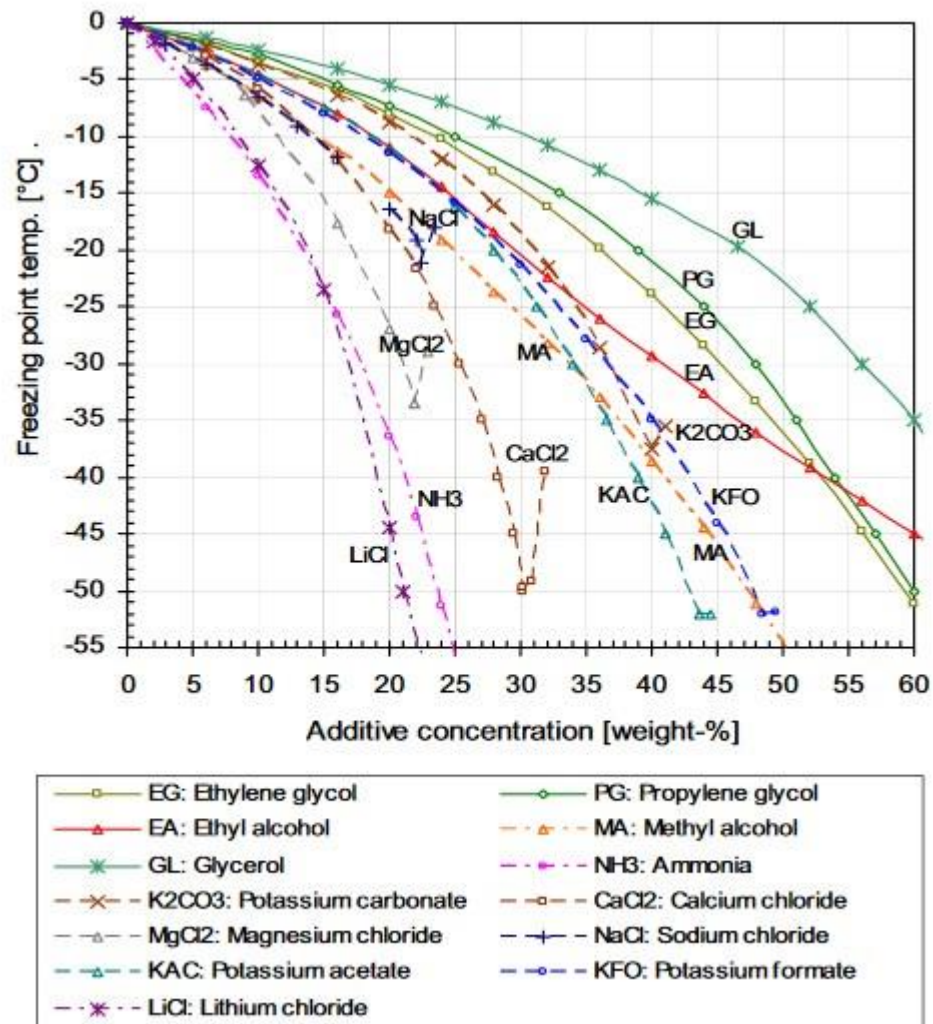
ANEXO B – TABELA DE FATORES PARA DENSIDADE DE ALGUNS COMPOSTOS INORGÂNICOS

Table 8-2 DENSITY OF LIQUID - INORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	density = A B ⁿ · (1 - T/T _c) ⁿ			(density - g/ml, T - K)			
			A	B	n	T _c	TMIN	TMAX	density @ 25 C
79	ClO ₂	CHLORINE DIOXIDE	0.60087	0.27400	0.28571	465.00	213.55	465.00	1.579
80	Cl ₂	CHLORINE	0.56600	0.27315	0.28830	417.15	172.12	417.15	1.398
81	Cl ₂ O	CHLORINE MONOXIDE	0.60356	0.27400	0.28571	444.68	157.15	444.68	1.549
82	Cl ₂ O ₇	CHLORINE HEPTOXIDE	0.65031	0.27400	0.28571	565.78	182.15	565.78	1.850
83	Co	COBALT	2.51864	0.30000	0.28571	7398.48	1768.15	1968.15	-----
84	CoCl ₂	COBALT CHLORIDE	1.05823	0.30000	0.28571	2154.97	1008.15	1208.15	-----
85	CoNC ₃ O ₄	COBALT NITROSYL TRICARBONYL	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
86	Cr	CHROMIUM	2.13536	0.30000	0.28571	8560.93	2180.15	2380.15	-----
87	CrC ₆ O ₆	CHROMIUM CARBONYL	0.63518	0.30000	0.28571	690.80	423.65	690.80	-----
88	CrO ₂ Cl ₂	CHROMIUM OXYCHLORIDE	0.64832	0.27400	0.28571	626.33	176.65	626.33	1.902
89	Cs	CESIUM	0.28361	0.14024	0.28571	2048.10	301.65	2030.00	-----
90	CsBr	CESIUM BROMIDE	1.05781	0.30000	0.28571	2562.13	909.15	1500.00	-----
91	CsCl	CESIUM CHLORIDE	0.93727	0.30000	0.28571	2562.13	919.15	1500.00	-----
92	CsF	CESIUM FLUORIDE	1.26025	0.30000	0.28571	2482.33	976.00	1500.00	-----
93	CsI	CESIUM IODIDE	1.07356	0.30000	0.28571	2529.56	894.15	1500.00	-----
94	Cu	COPPER	2.63621	0.30000	0.28571	5123.00	1357.77	1557.77	-----
95	CuBr	CUPROUS BROMIDE	1.48318	0.30000	0.28571	2651.71	777.15	977.15	-----
96	CuCl	CUPROUS CHLORIDE	1.94545	0.45137	0.56812	2435.00	703.00	1763.10	-----
97	CuCl ₂	CUPRIC CHLORIDE	1.08795	0.30000	0.28571	2010.00	906.15	1106.15	-----
98	CuI	COPPER IODIDE	1.70575	0.30000	0.28571	2620.77	878.15	1078.15	-----
99	DCN	DEUTERIUM CYANIDE	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
100	D ₂	DEUTERIUM	0.06671	0.31500	0.28571	38.35	18.73	38.35	-----
101	D ₂ O	DEUTERIUM OXIDE	0.35429	0.28000	0.20000	643.89	276.96	643.89	1.090
102	Eu	EUROPIUM	1.57191	0.30000	0.28571	5150.00	1095.15	1295.15	-----
103	F ₂	FLUORINE	0.57092	0.28518	0.29000	144.31	53.48	144.31	-----
104	F ₂ O	FLUORINE OXIDE	0.55240	0.27016	0.28571	215.10	49.25	215.10	-----
105	Fe	IRON	0.57093	0.07000	0.28571	9340.00	1808.10	2500.00	-----
106	FeC ₅ O ₅	IRON PENTACARBONYL	0.49908	0.27400	0.28571	607.20	252.15	607.20	1.451
107	FeCl ₂	FEROUS CHLORIDE	1.02146	0.30000	0.28571	2115.88	945.15	1145.15	-----
108	FeCl ₃	FERRIC CHLORIDE	1.02395	0.30000	0.28571	964.41	577.15	584.65	-----
109	Fr	FRANCIUM	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
110	Ga	GALLIUM	0.47740	0.07625	0.28571	7620.00	302.91	1373.15	-----
111	GaCl ₃	GALLIUM TRICHLORIDE	0.66952	0.25063	0.29982	694.00	350.90	694.00	-----
112	Gd	GADOLINIUM	2.68561	0.30000	0.28571	3307.66	1587.15	1678.58	-----
113	Ge	GERMANIUM	1.73560	0.30000	0.28571	8400.00	1211.40	1411.40	-----
114	GeBr ₄	GERMANIUM BROMIDE	1.02768	0.27400	0.28571	740.00	299.25	380.70	-----
115	GeCl ₄	GERMANIUM CHLORIDE	0.64888	0.27400	0.28571	574.00	223.65	574.00	1.854
116	GeHCl ₃	TRICHLORO GERMANE	0.67714	0.27400	0.28571	559.78	202.05	559.78	1.919
117	GeH ₄	GERMANE	0.54904	0.30254	0.28571	308.00	107.26	308.00	0.859
118	Ge ₂ H ₆	DIGERMANE	0.63111	0.27400	0.28571	491.01	164.15	491.01	1.701
119	Ge ₃ H ₈	TRIGERMANE	0.75692	0.27400	0.28571	616.37	167.55	616.37	2.211
120	HBr	HYDROGEN BROMIDE	0.80283	0.28545	0.28571	363.15	185.15	363.15	1.728
121	HCN	HYDROGEN CYANIDE	0.19501	0.18589	0.28206	456.65	259.83	456.65	0.680
122	HCl	HYDROGEN CHLORIDE	0.44134	0.26957	0.31870	324.65	158.97	324.65	0.796
123	HF	HYDROGEN FLUORIDE	0.29041	0.17660	0.37330	461.15	189.79	461.15	0.941
124	HI	HYDROGEN IODIDE	1.04638	0.28826	0.28571	423.85	222.38	423.85	2.520
125	HNO ₃	NITRIC ACID	0.43471	0.23110	0.19170	520.00	231.55	373.15	1.509
126	H ₂	HYDROGEN	0.03125	0.34730	0.27560	33.18	13.95	33.18	-----
127	H ₂ O	WATER	0.34710	0.27400	0.28571	647.13	273.16	647.13	1.027
128	H ₂ O ₂	HYDROGEN PEROXIDE	0.43776	0.24982	0.28770	730.15	272.74	730.15	1.443
129	H ₂ S	HYDROGEN SULFIDE	0.34832	0.28160	0.28570	373.53	187.68	373.53	0.777
130	H ₂ SO ₄	SULFURIC ACID	0.42169	0.19356	0.28570	925.00	283.46	363.49	1.833
131	H ₂ S ₂	HYDROGEN DISULFIDE	0.47306	0.27400	0.28571	542.39	183.45	542.39	1.326
132	H ₂ Se	HYDROGEN SELENIDE	0.72147	0.27400	0.28571	411.10	209.15	411.10	1.766
133	H ₂ Te	HYDROGEN TELLURIDE	0.93431	0.27400	0.28571	438.04	224.15	438.04	2.378
134	H ₃ NO ₃ S	SULFAMIC ACID	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
135	He	HELIUM-3	0.04141	0.46660	0.22300	3.31	1.01	3.31	-----
136	He	HELIUM-4	0.06930	0.41860	0.24100	5.20	1.76	5.20	-----
137	Hf	HAFNIUM	3.75257	0.30000	0.28571	21687.96	2506.15	2706.15	-----
138	Hg	MERCURY	3.56411	0.25360	0.16155	1735.00	234.31	1735.00	13.487
139	HgBr ₂	MERCURIC BROMIDE	1.93930	0.30000	0.28571	964.41	510.15	800.00	-----
140	HgCl ₂	MERCURIC CHLORIDE	1.71179	0.30000	0.28571	939.98	550.15	800.00	-----
141	HgI ₂	MERCURIC IODIDE	1.93098	0.30000	0.28571	1078.10	532.15	750.00	-----
142	IF ₇	IODINE HEPTAFLUORIDE	1.05176	0.27400	0.28571	447.53	278.65	447.53	2.709
143	I ₂	IODINE	1.63746	0.33313	0.33550	819.15	386.75	819.15	-----
144	In	INDIUM	0.55791	0.07561	0.28571	6730.00	429.75	573.15	-----
145	Ir	IRIDIUM	6.41388	0.30000	0.28571	15035.00	2719.15	2919.15	-----
146	K	POTASSIUM	0.18362	0.21625	0.28571	2223.00	336.35	2220.00	-----
147	KBr	POTASSIUM BROMIDE	0.72724	0.30000	0.28571	2697.31	1003.15	1500.00	-----
148	KCl	POTASSIUM CHLORIDE	0.09536	0.04278	0.35520	3470.00	1044.00	3000.00	-----
149	KF	POTASSIUM FLUORIDE	0.66025	0.30000	0.28571	2891.12	1153.15	1500.00	-----
150	KI	POTASSIUM IODIDE	0.82666	0.30000	0.28571	2601.22	996.15	1500.00	-----
151	KOH	POTASSIUM HYDROXIDE	0.30810	0.15400	0.28571	2605.86	679.00	1500.00	-----
152	Kr	KRYPTON	0.91799	0.28840	0.29390	209.35	115.78	209.35	-----
153	La	LANTHANUM	1.50549	0.25204	0.28571	9511.00	1193.15	1393.15	-----
154	Li	LITHIUM	0.03337	0.05618	0.28571	4085.00	453.69	3670.00	-----
155	LiBr	LITHIUM BROMIDE	0.85546	0.30000	0.28571	2578.42	820.15	1500.00	-----
156	LiCl	LITHIUM CHLORIDE	0.50679	0.30000	0.28571	2695.68	887.15	1500.00	-----

Fonte: Yaws (1999, p. 208)

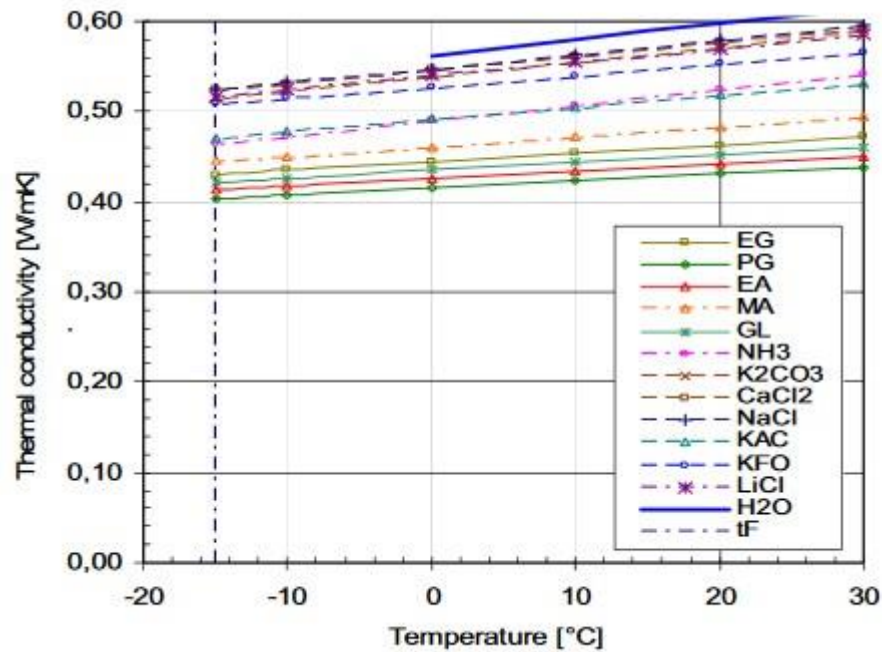
ANEXO C – GRÁFICO ENTRE TEMPERATURA DE CONGELAMENTO E CONCENTRAÇÃO DE MISTURA PARA FLUÍDOS SECUNDÁRIOS



Fonte: Melinder (2007, p. 8)

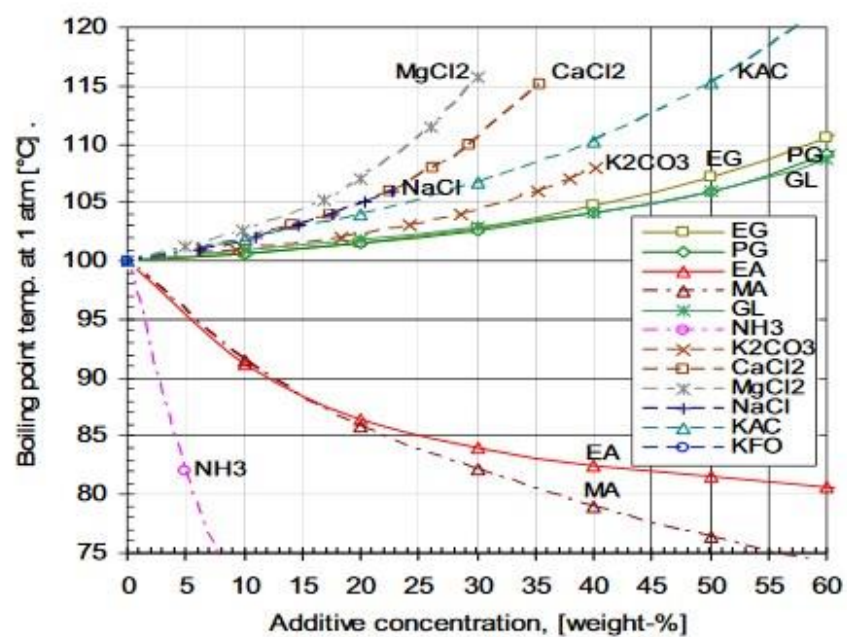
ANEXO D – OUTRAS PROPRIEDADES PARA MISTURAS EM FLUÍDOS SECUNDÁRIOS

Condutividade térmica em função da temperatura de congelamento da mistura.



Fonte: Melinder (2007, p. 17)

Ponto de ebulição em função da concentração da mistura.



Fonte: Melinder (2007, p. 19)