



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**VITOR HUGO DE CAMPOS LUIZ**

**SELEÇÃO DE UM ISOLANTE PARA REDUÇÃO DA PERDA DE ENERGIA EM  
UMA CERVEJARIA ARTESANAL**

**Tubarão**  
**2019**



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**VITOR HUGO DE CAMPOS LUIZ**

**SELEÇÃO DE UM ISOLANTE PARA REDUÇÃO DA PERDA DE ENERGIA EM  
UMA CERVEJARIA ARTESANAL**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. Eng. Maria Lúcia Soares Cochlar, MSc. (Orientadora)

Tubarão

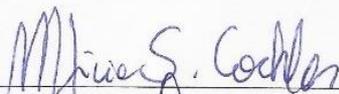
2019

VITOR HUGO DE CAMPOS LUIZ

SELEÇÃO DE UM ISOLANTE PARA REDUÇÃO DA PERDA DE ENERGIA  
EM UMA CERVEJARIA ARTESANAL

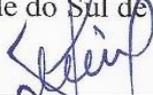
Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 27 de novembro de 2019.



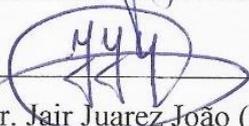
---

Profª. MSc Maria Lúcia Soares Cochlar (Orientadora)  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. MSc. Alessandro de Oliveira Limas (Avaliador)  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. Dr. Jair Juarez João (Avaliador)  
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais, José e Silvana, por todo apoio e carinho durante esta trajetória e, também, a todos os demais familiares e amigos que contribuíram de maneira direta e indireta para a realização desse sonho.

“O futuro tem muitos nomes. Para os fracos é o inalcançável. Para os temerosos, o desconhecido. Para os valentes é a oportunidade” Victor Hugo

## RESUMO

O uso consciente dos recursos naturais, em especial a energia elétrica, junto com as questões operacionais e de segurança fizeram com que a empresa sugerisse e demandasse a realização deste trabalho. Com o fim de estudar a possibilidade de melhoria na eficiência energética dos tanques, foi necessário determinar a transferência de calor dos mesmos nas suas respectivas condições de operação. Para isso, realizaram-se as medições das temperaturas das superfícies internas e externas dos tanques, e o tempo de aquecimento/resfriamento de cada um. Após estimar a transferência de calor, foi necessário escolher o isolante e sua espessura que melhor se encaixava nas condições de operação. Os cálculos demonstraram que com a aplicação do isolante, a perda de calor pode ser reduzida, além de diminuir a temperatura externa tanque, minimizando o risco de queimaduras dos empregados ao se tocar em especial no tanque de água quente. Foi possível estimar um retorno de R\$ 119,55 por mês, de economia para a empresa, com a redução do desperdício energia, trazendo o retorno do investimento em 1,46 meses.

Palavras-chave: Eficiência energética; transferência de calor; isolantes térmicos.

## ABSTRACT

The conscious use of natural resources, especially electric power, together with operations issues and security made the company arise and demand the accomplishment of this college work. In order to study the possibility of improvement efficiency energetic of the tanks, was necessary to choose the transfer of heat in their respective conditions to operation. Then, measurements were made of the temperatures of internal, external superficies and the tanks, and the heating / cooling time of each one. After estimating heat transfer. it was necessary to choose the insulator and its thickness that best fit the operating conditions. Calculations have shown that with the application of the insulator, heat loss can be reduced, in addition to decreasing the external tank temperature. minimizing the risk of employee burns by touching the hot water tank in particular. It was possible to estimate a return of R\$ 119,55 per month of savings for the company, with the reduction of energy waste, bringing the return on investment in 1,46 months.

keywords: Efficiency energetic; Transfer of heat; Thermal insulation.

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1: Faixas de condutividade térmica (temperatura ambiente) .....	19
Figura 2: Controlador N 1200 .....	25
Figura 3: Tanque de água quente.....	26
Figura 4: Sistema de resistências térmicas .....	27
Figura 5: Banco de frio.....	31
Figura 6: Banco de frio emborrachado .....	32
Figura 7: Sistema de resistências térmicas .....	32
Figura 8: Sistema de resistências térmicas .....	35
Figura 9: Tanque de água quente isolado .....	38
Figura 10: Sistema de resistências térmicas .....	42
Figura 11: Banco de frio isolado .....	46

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Número de cervejarias registradas no Brasil.....	15
Gráfico 2: Rampa de temperatura – Tanque de água quente.....	29
Gráfico 3: Variação de temperatura x horário .....	30
Gráfico 4: Espessura do isolamento x Investimento x Redução (Tanque de água quente).....	36
Gráfico 5: Espessura do isolamento x temperatura x tempo (Tanque de água quente).....	37
Gráfico 6: Temperatura x Tempo .....	39
Gráfico 7: Rampa de temperatura – Tanque de água quente - Sem isolamento (Temperatura*) x Com isolamento (Temperatura).....	41
Gráfico 8: Espessura do isolamento x Investimento x Redução (Banco de frio).....	43
Gráfico 9: Comparação da variação de temperatura do banco de frio com e sem isolamento.	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ordem de grandeza dos coeficientes de transmissão de calor por convecção.....	18
Tabela 2: Tanque de Água Quente – Características.....	26
Tabela 3: Transferência de calor do tanque de água quente <sup>1</sup> .....	27
Tabela 4: Rampa de temperatura – Tanque de água quente .....	28
Tabela 5: Banco de Frio – Características .....	31
Tabela 6: Transferência de calor do banco de frio <sup>1</sup> .....	33
Tabela 7: Escolha do Isolamento.....	34
Tabela 8: Manta Termoblock – Características .....	34
Tabela 9: Espessura do isolamento – Tanque de água quente <sup>1</sup> .....	35
Tabela 10: PAYBACK – Espessura do isolamento – Tanque de água quente.....	36
Tabela 11: Transferência de calor do tanque de água quente isolado <sup>1</sup> .....	37
Tabela 12: Rampa de temperatura – Tanque de água quente - Sem isolamento x Com isolamento .....	40
Tabela 13: PAYBACK - Isolamento do tanque de água quente .....	41
Tabela 14: Espessura do isolamento – Banco de Frio <sup>1</sup> .....	42
Tabela 15: Transferência de calor do banco de frio isolado <sup>1</sup> .....	44
Tabela 16: PAYBACK – Banco de frio .....	46
Tabela 17: PAYBACK.....	47

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA .....	12
1.2 HIPÓTESES .....	13
1.3 OBJETIVOS .....	13
<b>1.3.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
1.3.1.1 Objetivos Específicos .....	13
1.4 RELEVÂNCIA SOCIAL, CIENTÍFICA E AMBIENTAL .....	14
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1 CERVEJARIA .....	15
<b>2.1.1 Perfil do processo .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2 Descrição do processo .....</b>	<b>15</b>
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	16
2.3 FENÔMENOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....	16
<b>2.3.1 Condução.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2 Convecção .....</b>	<b>17</b>
2.3.2.1 Coeficiente de transferência de calor por convecção .....	17
<b>2.3.3 Sistemas radiais .....</b>	<b>18</b>
2.4 ISOLAMENTO TÉRMICO.....	19
<b>2.4.1 Raio crítico .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2 Espessura do isolamento .....</b>	<b>20</b>
2.4.2.1 Determinação da espessura do isolamento pelo método Newton-Raphson .....	21
<b>2.4.3 Isolantes térmicos .....</b>	<b>21</b>
2.4.3.1 Espuma elastomérica .....	21
2.4.3.2 Lã de vidro.....	22
2.4.3.3 Polipropileno .....	22
2.5 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA .....	22
<b>2.5.1 Termopares .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.2 Temperatura da superfície externa .....</b>	<b>23</b>
2.6 RESFRIAMENTO DO MOSTO .....	23
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 A INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA.....	24

3.2	TIPO DE ESTUDO REALIZADO.....	24
3.3	HISTÓRICO DO PROCESSO .....	25
3.4	ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	25
<b>3.4.1</b>	<b>Determinação da transferência de calor sem isolamento .....</b>	<b>25</b>
3.4.1.1	Tanque de água quente .....	25
3.4.1.2	Gasto com energia – Tanque de água quente .....	28
3.4.1.3	Banco de frio .....	29
3.4.1.4	Gasto com energia – Banco de frio .....	33
<b>3.4.2</b>	<b>Escolha do isolamento .....</b>	<b>34</b>
3.4.2.1	Isolamento comercial.....	34
<b>3.4.3</b>	<b>Cálculo da espessura do isolamento – Tanque de água quente .....</b>	<b>35</b>
3.4.3.1	Verificação da redução da transferência de calor .....	38
3.4.3.2	PAYBACK .....	39
<b>3.4.4</b>	<b>Cálculo da espessura do isolamento – Banco de Frio .....</b>	<b>41</b>
3.4.4.1	Verificação da redução da transferência de calor.....	43
3.4.4.2	PAYBACK .....	46
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXO A – FICHA TÉCNICA TERMOBLOCK.....</b>	<b>51</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO: TRANSFERÊNCIA DE CALOR DO TANQUE DE ÁGUA QUENTE.....</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO: TRANSFERÊNCIA DE CALOR DO BANCO DE FRIO .....</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO: ESPESSURA DO ISOLAMENTO .....</b>	<b>55</b>
	<b>APÊNDICE D – MEMORIAL DE CÁLCULO: TRANSFERÊNCIA DE CALOR DO TANQUE DE ÁGUA QUENTE ISOLADO .....</b>	<b>57</b>
	<b>APÊNDICE E – BALANÇO DE ENERGIA: TANQUE DE ÁGUA QUENTE ISOLADO</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNDICE F – DETERMINAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE ACORDO COM O “GRÁFICO 4” .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de se realizar o resfriamento ou aquecimento de produtos na indústria é discutido com frequência, seja por motivos econômicos ou/e técnicos. A redução do consumo energético no aquecimento no resfriamento está intimamente ligada com o isolante térmico aplicado no equipamento.

O isolante térmico tem como função reduzir a transferência de calor entre meios no geral. O material de fabricação do isolante pode ser qualquer um, deste que o mesmo apresente baixa condutividade térmica. No entanto, outros fatores devem ser levados em consideração no momento da escolha do isolante.

Os objetos de estudo são: um tanque de aço inox que deverá ser isolado para que se possa manter a temperatura da água por mais tempo e para que o mesmo atenda as normas de segurança; e, um banco de frio (tanque de polipropileno já isolado), que deverá ser isolado para reduzir ainda mais a transferência de calor. Este trabalho apresenta uma breve comparação entre três tipos de isolantes: espuma elastomérica, lã de vidro e polipropileno. O custo de implantação do isolante e o período para o retorno do investimento estão relacionados com a redução do consumo de energia e serão apresentados ao longo do trabalho.

### 1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

Cada dia mais se discute sobre fontes de energia consideradas mais “limpas”, fontes eólicas, solares e até mesmo nucleares estão cada vez mais presentes em nossa sociedade. No entanto, é necessário pensar não somente em fontes mais “limpas” de energia, mas também, na sua utilização eficiente. A eficiência energética (EE) é algo almejado em todos os setores da indústria visto o exorbitante gasto em alguns casos e por representar pouco menos da metade (~40%) do consumo de energia mundial.

No Brasil, após a crise energética de 2000, as indústrias começaram a questionar sobre as hidroelétricas e sua real capacidade de abastecimento energético, fazendo com que a indústria buscasse novas fontes de energia e principalmente, maneiras mais eficientes da utilização da mesma.

A indústria cervejeira no Brasil possui atuação histórica na reutilização de água e energia elétrica. A maior parte do consumo de energia elétrica de cerveja está relacionada ao aquecimento d’água utilizada no processo produtivo. Por esse motivo, o isolamento em especial

do tanque de aquecimento de água deve ser feito da maneira mais correta possível para evitar perdas de calor e assim, conseqüentemente, gerando menor impacto financeiro e ambiental.

Nesse sentido, a questão central de nossa investigação é: **quais as espessuras econômicas do isolamento para alguns equipamentos do processo de brassagem em estudo realizado na cidade de Tubarão em 2019.**

## 1.2 HIPÓTESES

- a) Com o isolamento do tanque de água quente, a troca de calor com o meio será menor permitindo manter a temperatura por mais tempo e fazendo com que haja uma redução no consumo de energia para o reaquecimento da água.
  - Variável independente: isolamento.
  - Variável dependente: redução da troca térmica.
- b) Com o isolamento do Banco de frio, a troca de calor com o meio será menor, permitindo manter a temperatura por mais tempo fazendo com que haja uma redução no consumo de energia para o resfriamento do fluido.
  - Variável independente: isolamento.
  - Variável dependente: redução da troca térmica.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do dimensionamento do isolamento para cada parte do processo de brassagem, buscando reduzir o consumo energético e contribuir para minimizar custos da empresa.

#### 1.3.1.1 *Objetivos Específicos*

- a) Selecionar três tipos de isolantes;
- b) Avaliar os equipamentos do processo que devem ser isolados;
- c) Determinar a perda de calor em cada equipamento através do cálculo de T.C. antes do isolamento e depois do isolamento teórico;
- d) Comparar a troca de calor com e sem isolamento;

- e) Demonstrar os resultados de economicidade obtidos a partir do isolamento;
- f) Descrever o resultado financeiro do processo após o isolamento;

#### 1.4 RELEVÂNCIA SOCIAL, CIENTÍFICA E AMBIENTAL

A relevância social do presente relatório baseia-se na importância do consumo consciente de energia nos diferentes setores da sociedade brasileira. Simultaneamente, a redução de consumo de energia contribuirá diretamente para o meio ambiente.

A relevância científica do tema abordado, caracteriza-se através do estudo do aumento da eficiência energética para indústrias cervejeiras que além de trazer benefícios econômicos e de processo, também reduzirão o uso de recursos naturais necessários para o aquecimento e resfriamento de fluidos. Além do exposto, os resultados oferecerão subsídios para que os proprietários de micro cervejarias façam adequações em seus sistemas visando a otimização de seus processos obtendo redução de custos. Poderão ser realizadas também, discussões acadêmicas sobre o estudo realizado, que possibilitarão não apenas a compreensão de parte do sistema de produção, mas permitirão o surgimento de novos problemas para posteriores investigações.

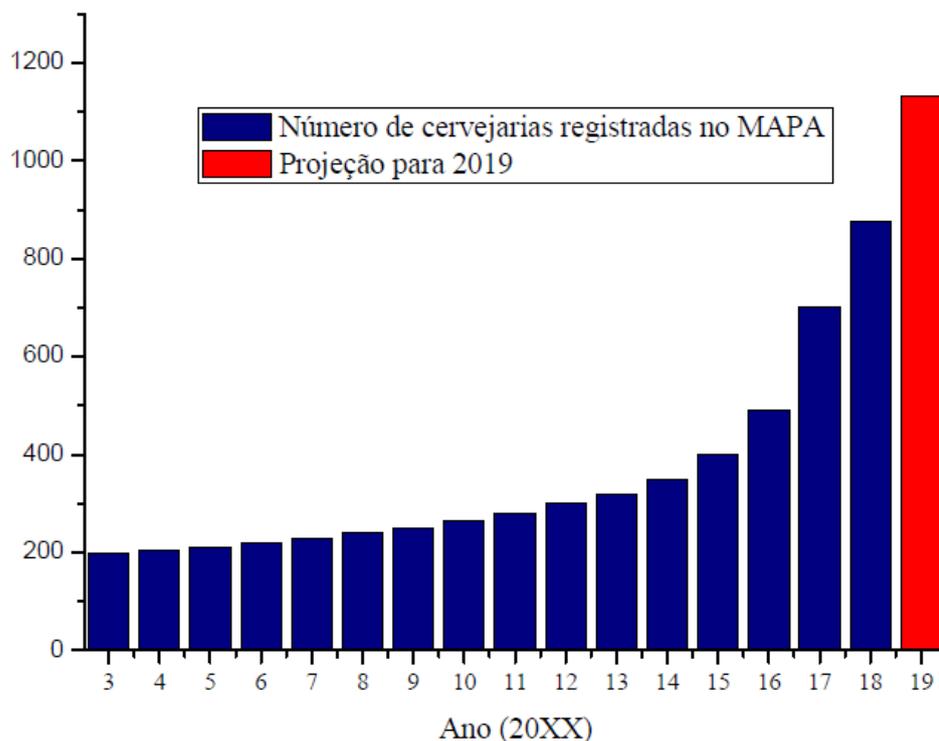
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CERVEJARIA

#### 2.1.1 Perfil do processo

O Brasil é um dos maiores produtores de cerveja do mundo, ocupando atualmente a terceira posição entre os maiores produtores. Dentro desse contexto, a cultura de beber cerveja artesanal vem crescendo exponencialmente nos últimos anos como demonstrado na Gráfico 1 e estima-se que já ocupa quase 2,7% do mercado brasileiro. Atualmente são produzidos cerca de 14,1 bilhões de litros de cerveja no país. (LAPOLLI, 2018).

Gráfico 1: Número de cervejarias registradas no Brasil



Fonte: Freitas, 2019.

Se o crescimento exponencial perdurar, acredita-se que o Brasil terminará 2019 com 1.132 unidades de produção. (FREITAS, 2019).

#### 2.1.2 Descrição do processo

A produção de cerveja envolve 3 processos básicos: mostura, fervura e fermentação.

O processo de mostura tem por finalidade a extração dos açúcares fermentáveis e outros componentes do malte moído. O processo apresenta duração de até 5 horas e consiste em misturar água quente com malte a uma temperatura de aproximadamente 65°C.

O mosto então é fervido junto com o lúpulo com a finalidade de conferir o aroma, paladar e amargor que se deseja obter. No final da fervura, o mosto é separado do lúpulo e resfriado, sendo preparado para a fermentação.

O fermento é adicionado ao mosto para iniciar fermentação. Cada tipo de cerveja apresenta um tempo específico de fermentação podendo durar até 15 dias ficando há uma temperatura entre 10 a 21°C. (BREJAS, 2019).

## 2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As empresas do ramo cervejeiro, principalmente da América latina, vêm desenvolvendo ações e boas práticas sustentáveis ao longo dos últimos anos, tendo como objetivo a redução do consumo de água e energia por meio de políticas, programas e investimentos registrando grandes avanços neste desafio. (CERVBRASIL, 2019).

O consumo consciente da energia térmica é um grande ponto de melhoria. Empresas vêm investindo cada vez mais na implementação de melhorias de processos, buscando aumentar a eficiência térmica dos equipamentos e reduzir as perdas de energia. (MARIA, 2015).

## 2.3 FENÔMENOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor é definida como a energia térmica em trânsito devido a qualquer diferença de temperatura no espaço. Há existência de um gradiente de temperatura em um meio ou entre meios, resultará na transferência de calor. Quando o gradiente existe em um meio estacionário, podendo ser sólido ou fluido, denominasse condução a transferência de calor, no entanto, quando a transferência de calor ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento dar-se o nome de convecção. (INCROPERA, 2008).

### 2.3.1 Condução

De acordo com Incropera (2008, p.3) a quantidade de energia transferida por unidade de tempo pode ser calculada seguindo a lei de Fourier, considerando o gradiente de temperatura de forma linear:

$$q''_x = k \frac{dT}{dx} = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

Onde:

$q''_x$ : Taxa de transferência de calor na direção “x” por unidade de área perpendicular à direção de transferência ( $W.m^{-2}$ );

$\Delta T$ : Variação de temperatura (K).

k: Condutividade térmica ( $W.(m.K)^{-1}$ ).

### 2.3.2 Convecção

A convecção pode ser separada em dois tipos: convecção natural (quando o movimento do fluido é causado pela densidade e pela variação de temperatura do fluido) e, convecção forçada (quando os fluidos são forçados a fluir nas superfícies externas se valendo do fato de quanto maior a velocidade do fluido maior será a transferência de calor por convecção). (ÇENGEL, 2012).

De acordo com Incropera (2008, p.6), independentemente do tipo de convecção, a Equação para a taxa de transferência de calor possui a forma:

$$q'' = h.(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Onde:

$q''$ : Fluxo de calor ( $W.m^{-2}$ );

$T_s$ : Temperatura da superfície (K);

$T_\infty$ : Temperatura do fluido (K).

h: Coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W/m^2.K$ )

#### 2.3.2.1 Coeficiente de transferência de calor por convecção

Segundo Kreith (1998, p.8) para a maioria das aplicações de engenharia, estamos interessados nos valores médios. Na Tabela 1 são encontrados os valores típicos de ordem de grandeza dos coeficientes médios de transmissão de calor por convecção encontrados na prática

Tabela 1: Ordem de grandeza dos coeficientes de transmissão de calor por convecção

	<b>W/m<sup>2</sup>.K</b>
Água, convecção forçada	50 – 10.000
Água, convecção natural	20 – 100
Ar, convecção forçada	30 – 300
Ar, convecção natural	5 – 30

Fonte: Neto (2010, p.8).

### 2.3.3 Sistemas radiais

Para um cilindro e uma esfera existem diferenças de temperatura apenas na direção radial, o que torna possível avaliá-los apenas como sistemas unidimensionais, possibilitando utilizar a Equação 3 para expressar a taxa de transferência de calor. (INCROPERA, 2008).

$$q_r = \frac{(T_i - T_e)}{R_{total}} \quad (3)$$

Onde:

$q_r$ : Fluxo de calor radial (W);

T: Temperatura (K);

$R_{Total}$ : Somatório das resistências térmicas (K/W)

Transformado as fórmulas de condução (Equação 1) e convecção (Equação 2) em fórmulas para serem calculadas como um circuito em série de resistências, obtém-se as equações abaixo:

$$R_{COND} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad (4)$$

$$R_{CONV} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot h} \quad (5)$$

Onde:

$R_{COND}$ : Resistencia térmica condução (K.W<sup>-1</sup>);

$R_{CONV}$ : Resistencia térmica convecção (K.W<sup>-1</sup>);

r: Raio do cilindro (m);

L: Comprimento do tubo (m).

## 2.4 ISOLAMENTO TÉRMICO

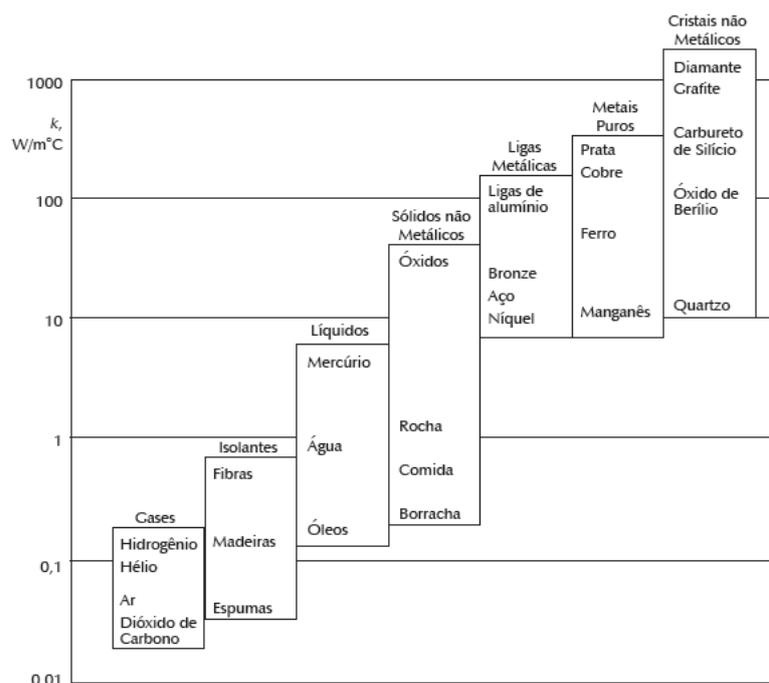
Os isolamentos térmicos têm por objetivo reduzir a troca térmica entre o meio e o objeto de estudo ou vice-versa e podem ser classificados em isolamento quente (quando a temperatura de operação é maior que a do ambiente) ou frio (quando a temperatura de operação é menor que a do ambiente). (TELLES, 1999).

Dentre inúmeras finalidades da aplicação do isolamento térmico, o motivo de serviço se apresenta como fator muito importante. Além das possíveis razões econômicas, leva também em consideração a natureza. Para isso o isolante deve manter a temperatura do fluido dentro de aceitável no processo para uma maior eficiência do mesmo. (*id ibid.*).

Ao se decidir o material adequado a um determinado processo de transferência de calor é feita de análises de propriedade mecânicas, físicas e térmicas. Por não existir um material isolante ideal, a comparação entre os isolamentos térmicos disponíveis possibilita a escolha daquele que melhor traz a maior vantagem para o processo, considerando em primeiro lugar os fatores ambientais e por fim o custo benefício de um isolante em específico. (FORD, 2010).

A Figura 1 apresenta a condutividade térmica de diversas matérias.

Figura 1: Faixas de condutividade térmica (temperatura ambiente)



Fonte: Çengel (2012, p.21).

Para serem considerados bons isolantes térmicos, os materiais precisam ter uma condutividade térmica baixa, não expandirem ou comprimirem com facilidade, serem de fácil aplicação e inertes quimicamente. (KAPUNO; RATHORE, 2011).

#### 2.4.1 Raio crítico

O objetivo da aplicação de isolamento no exterior de um tubo/tanque é impedir as perdas/ganho de calor entre fluido e o meio exterior, mas pode ocorrer o contrário do desejado. Quando se coloca se coloca um isolante, o mesmo será uma resistência térmica proporcional à sua espessura, no entanto, a área exterior aumenta contribuindo para aumentar convecção de calor para o ambiente. (OLIVEIRA, 2014).

$$R_{Cr} = \frac{k_{iso}}{h_e} \quad (6)$$

#### 2.4.2 Espessura do isolamento

De acordo com equação 3 podemos determinar que a transferência de calor é dada por:

$$q_r = \frac{\Delta T}{R_{CONV.I} + R_{COND.TOTAL} + R_{COND.ISO} + R_{CONV.E}} \quad (7)$$

Organizado a equação para que a resistência do isolamento fique em evidência, e substituído pelos termos apresentadas na equação 4 e 5 obtém-se:

$$R_{COND.ISO} = \frac{\Delta T}{q_r} - R_{COND.TOTAL} - R_{CONV.I} \quad (8)$$

$$r_3 = r_2 \cdot e^{\left( \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_\infty)}{q_r} - \frac{1}{r_3 \cdot h_e} - \frac{1}{r_1 \cdot h_i} - \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_1} \right) \cdot k_2 \right)} \quad (9)$$

$$r_2 \cdot e^{\left( \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_\infty)}{q_r} - \frac{1}{r_3 \cdot h_e} - \frac{1}{r_1 \cdot h_i} - \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_1} \right) \cdot k_2 \right)} - r_3 = 0 \quad (10)$$

No entanto a equação 10 necessita da utilização de ferramentas numéricas para obtenção do resultado.

#### 2.4.2.1 Determinação da espessura do isolamento pelo método Newton-Raphson

O método de Newton-Raphson é um método iterativo para equações não lineares onde se faz necessário um valor inicial

#### Forma recursiva

$$r_{n+1} = r_n - \frac{f(r_n)}{f'(r_n)} \quad (11)$$

Onde:

$r_n$ : interação passada;

$r_{n+1}$ : nova interação;

$f'(r_n)$ : derivada de  $f(r_n)$ .

Adequando a equação 10 para o formato correto obtém-se a equação 12 e fazendo sua primeira derivada a equação 13.

$$f(r_3) = r_2 \cdot e^{\left( \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_\infty)}{q_r} \cdot \frac{1}{r_3 \cdot h_e} \cdot \frac{1}{r_1 \cdot h_i} \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_1} \right) \cdot k_2 \right)} - r_3 \quad (12)$$

$$f'(r_3) = r_2 \cdot e^{\left( \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_\infty)}{q_r} \cdot \frac{1}{r_3 \cdot h_e} \cdot \frac{1}{r_1 \cdot h_i} \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_1} \right) \cdot k_2 \right)} \cdot \left( \frac{k_2}{r_3^3 \cdot h_e} \right) - 1 \quad (13)$$

### 2.4.3 Isolantes térmicos

#### 2.4.3.1 Espuma elastomérica

A espuma elastomérica possui uma baixa condutividade térmica permitindo sua utilização com temperaturas que podem variar de  $-50^\circ\text{C}$  a  $105^\circ\text{C}$ , por ser um material muito flexível sua utilização é fácil, podendo ser colocada em superfícies pequenas. É um excelente isolamento térmico frio sendo ideal para instalações de frio industrial, como frigoríficos. (VA, 2019).

#### 2.4.3.2 Lã de vidro

A lã de vidro é uma das formas de isolamento térmico mais populares no Brasil. Isso ocorre devido às suas excelentes propriedades e por apresentar coeficiente extremamente baixo de condutividade térmica além de resistir a altas temperaturas. Sua aplicação é fácil sendo muito eficiente em equipamentos industriais, fornos, tubulações, telhados e dutos de ar condicionado. (VA, 2019).

#### 2.4.3.3 Polipropileno

São excelentes isolantes por possuírem baixa condutividade térmica e preço reduzido. Quando em formato de manta são encontrados geralmente com uma ou as duas fases aluminizada e que faz com se tornem isolantes térmicos ainda melhores podem ser com temperaturas que podem variar de  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $90^{\circ}\text{C}$ . Sua aplicação é extremamente fácil sendo muito utilizado em tubulações, telhados e tanques. (TERMOBLOCK, 2019).

### 2.5 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

A temperatura se apresenta em muitos casos como a variável mais importante nas indústrias de processos. Se sua medição não é confiável ela pode ter efeito negativo sobre a qualidade, eficiência e consumo de energia do processo. (SENSE, 2019).

Na indústria cervejeira por exemplo, caso o mosto seja exposto a temperaturas acima de  $75^{\circ}\text{C}$  as enzimas sofrem desnaturação, tendo suas atividades finalizadas. (VIEIRA, 2017).

#### 2.5.1 Termopares

O termopar apresenta faixa de temperatura entre  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $+1700^{\circ}\text{C}$ , sendo o dispositivo de medição de temperatura com maior gama de aplicações na indústria. (SENSE, 2019).

Termopar é um sensor de temperatura muito simples quando visto pela perspectiva de confecção. É formado a partir de dois condutores elétricos (metais, ligas metálicas e outros tipos de condutores e semicondutores), desde que estes possuam diferentes propriedades termoelétricas. Esses dois condutores devem ser ligados numa de suas extremidades, ponto chamado de junção de medição, e mantidos abertos nas outras extremidades, chamadas de junção de referência. Operacionalmente, quando há diferença entre as temperaturas dessas duas junções, surge na junção aberta (junção de referência) uma força eletromotriz de origem térmica (FEMt), que é proporcional à diferença de temperatura entre as junções. Essa FEMt é medida em milivolts (mV)

e pode ser convertida para temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) a partir do conhecimento da relação  $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ . (ANALOGICA, 2013, p.1)

Todo par de metais pode ser utilizado como termopar, no entanto, alguns pares se destacam e entre eles, a termoresistência de platina conhecida como PT-100 ou RTD é a mais utilizada na indústria devido a sua grande precisão ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) e estabilidade. (CAMTEC, 2019).

### **2.5.2 Temperatura da superfície externa**

A pele humana ao entrar em contato com superfícies metálicas muito frias ou quentes pode sofrer queimaduras. Para superfícies frias recomenda-se que a mesma não fique abaixo de  $5^{\circ}\text{C}$ . Já para superfícies quentes, tolerasse uma temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  com uma duração de contato de até 1 minuto. (BASTOS, 2011).

## **2.6 RESFRIAMENTO DO MOSTO**

A refrigeração é muito importante para a indústria cervejeira, pois influem tanto em propriedades físico-químicas do processo quanto na fermentação. O processo apresenta vários pontos onde o resfriamento se faz necessário. Entre eles, destaca-se o resfriamento do mosto.

Para o resfriamento do mosto, normalmente se faz uso de trocadores de calor, onde o mosto quente troca calor com água, assim se obtém o mosto resfriado que é enviado para as próximas etapas e a água pré-aquecida que pode ser utilizada na preparação da nova batelada de mosto. (SILVEIRA, 2009).

O trocador de calor utilizado é do tipo placa, que consiste em uma série de placas corrugadas para o escoamento. O fluido frio (água) é cercado por dois escoamentos de fluido quente (mosto), resultando em uma troca de calor muito eficiente. (ÇENGEL, 2012).

Além disso, é possível acrescentar placas ou ainda dividir a quantidade de placas entre dois fluidos frios diferentes, nesta situação entre a água em um fluido refrigerante com eficiência maior (etanol, etilenoglicol, ...), assim consegue reduzir a temperatura do mosto mais facilmente e ainda se obtém água quente para as próximas bateladas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 A INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA

A pesquisa científica é, inquestionavelmente, uma das formas (se não a mais importante delas) de construção do conhecimento. Inevitavelmente, fazer ciência requer sobretudo o fundamento em teorias científicas que, por sua vez, são manifestações mentais abstratas de pesquisadores que tem como princípio básico o questionamento. Apenas através do questionamento constante e conceitualmente fundamentado, que se torna possível a intervenção na realidade externa.

O critério do questionamento sistemático, crítico e criativo pode facilmente sugerir banalidades, que seria relevante logo desfazer. Em primeiro lugar, não significa debandada crítica, mau humor, e azedume, má vontade com tudo, derrubada irresponsável, muito menos fofoca da oposição. O questionamento sustentável supõe sempre elaboração acurada, construção e reconstrução de conceitos, de teorias e práticas, colaboração alternativa persistente, envolvimento completo e, por fim, a respectiva prática. (DEMO, 2012, p. 26).

Dessa maneira consegue-se interpretar o mundo atual, que nos surpreende a cada instante com seu avanço científico incomparável e que permite à humanidade compreender a fugacidade de todas as teorias científicas que se modificam e se alternam a cada ano. Isso apenas é possível a partir do questionamento sistemático e desprovido de interesses que não o da ciência e da sociedade.

#### 3.2 TIPO DE ESTUDO REALIZADO

A investigação proposta é caracterizada pelo método de procedimento experimental e de abordagem indutivo/quantitativo. O nível do estudo realizado foi explicativo pois tratou da descrição e manipulação de variáveis dependentes e independentes.

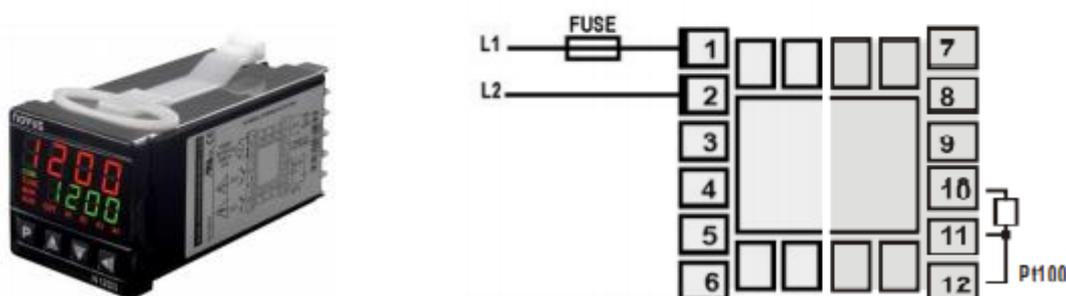
Kerlinger (2003) manifesta que, o isolamento de variáveis em ambientes experimentais gera credibilidade ao estudo porquanto permite a análise fidedigna do objeto investigado, sem interferências externas que poderiam interferir nos resultados.

Assim, através da pesquisa, manipulou-se variáveis determinadas previamente para o estudo. Os testes aplicados experimentalmente determinaram a adequação e inadequação de espessuras dos equipamentos do sistema de produção da empresa estudada.

### 3.3 HISTÓRICO DO PROCESSO

Para determinação da transferência de calor nos tanques e tubulação se fez necessária a montagem de um sistema para medição da temperatura externa dos tanques, visto que os mesmos só apresentavam meios para medir a temperatura interna. O sistema montado é simples e baseia-se em PT-100 fixado na parede externa do objeto de estudo, o qual transmite a informação para um controlador NOVUS 1200.

Figura 2: Controlador N 1200



Fonte: NOVUS ,2019.

A Figura 2 mostra o controlador NOVUS 1200 e esquema de montagem do PT-100.

A medição de temperatura após o isolamento foi realizada em condições semelhantes a medição realizada antes do isolamento, para que não houvesse variação significativa nos coeficientes de transmissão de calor resultando em erros na determinação da redução da transferência de calor.

### 3.4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.4.1 Determinação da transferência de calor sem isolamento

##### 3.4.1.1 *Tanque de água quente*

Para a determinação da transferência de calor se faz necessário conhecer as características básicas do objeto de estudo, tais características do tanque de água quente (Figura 3) estão dispostas na Tabela 2.

Figura 3: Tanque de água quente



Fonte: do autor, 2019.

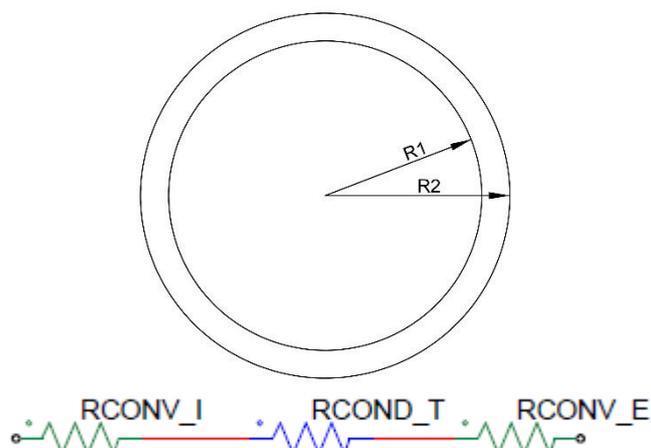
Tabela 2: Tanque de Água Quente – Características

<b>Geral</b>	
Material	Aço inox 304
Condutividade térmica	15 W/m.K
Capacidade total/útil	400 L
Resistência (Aquecimento)	12 kW
Tempo médio de aquecimento	2h 12 min
<b>Dimensões</b>	
Altura do corpo	1,3 m
Diâmetro interno	65 cm
Diâmetro externo	63 cm

Fonte: do autor, 2019.

De acordo com o sistema de resistências apresentados na Figura 4 é possível estimar a transferência de calor. A Tabela 3 nos mostra que a transferência de calor considerando os coeficientes médios de convecção é 1814,87 W.

Figura 4: Sistema de resistências térmicas



Fonte: do autor, 2019.

Tabela 3: Transferência de calor do tanque de água quente<sup>1</sup>

<b>Resistência condutiva – Tanque de água quente</b>		
$k_T$	Condutividade térmica – Tanque de água quente [W/m.K]	15,00
$R_{COND.T}$	Resistência condutiva – Tanque de água quente [K/W]	$2,55 \times 10^{-04}$
<b>Resistência convectiva – Interna</b>		
$h_I$	Coefficiente de transferência de calor interno [W/m <sup>2</sup> .K]	60,00
$R_{CONV.I}$	Resistência convectiva – Interna [K/W]	$6,48 \times 10^{-03}$
<b>Resistência convectiva – Externa</b>		
$h_E$	Coefficiente de transferência de calor externo [W/m <sup>2</sup> .K]	18,00
$R_{CONV.E}$	Resistência convectiva – Externa [K/W]	$2,09 \times 10^{-02}$
<b>Resistência – Total</b>		
$R_T$	Resistência – Total [K/W]	$2,77 \times 10^{-02}$
<b>Transferência de calor</b>		
$T_I$	Temperatura – Interna [°C]	79,20
$T_E$	Temperatura – Externa [°C]	69,70
$T_\infty$	Temperatura Ambiente [°C]	29,00
$q$	Transferência de calor [W]	1814,87

<sup>1</sup>Cálculos apresentado no apêndice A.

Fonte: do autor, 2019.

Embora a transferência mostrada na Tabela 3 seja relativamente pequena se faz necessário o isolamento do tanque pelo fato de o mesmo apresentar temperatura elevada na parede externa, o que está em desacordo com as normas de segurança e pelo desejo da empresa que se mantenha a temperatura por mais tempo.

### 3.4.1.2 Gasto com energia – Tanque de água quente

Para se calcular o gasto de energia do tanque de água quente foi considerado as seguintes hipóteses:

- Temperatura da água da rede: 20°C;
- Temperatura de operação: 80°C;
- Temperatura ao final do processo: 50°C;
- Água é usada por 5 dias consecutivos;
- O processo se repete duas vezes por mês;
- 1 kWh = R\$ 0,80.

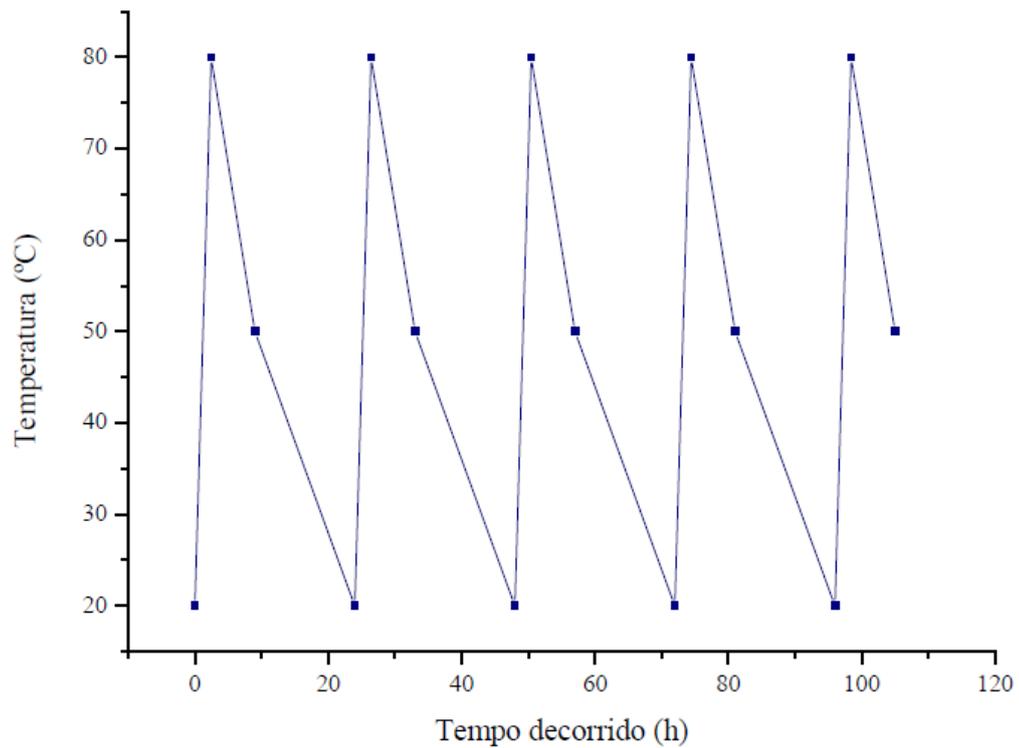
De acordo com as hipóteses listadas acima junto com o balanço de energia do sistema é possível estimar o tempo que a resistência do tanque de água quente (12 kW) precisa ficar ligada por mês. A Tabela 4 mostra a rampa de temperatura que o corre no tanque durante os 5 dias consecutivos.

Tabela 4: Rampa de temperatura – Tanque de água quente

	<b>HORA</b>	<b>TEMPO DECORRIDO</b>	<b>TEMPERATURA</b>
<b>1° DIA</b>	08:00	0,00	20
	10:44	2,44	80
	17:00	9,00	50
<b>2° DIA</b>	08:00	24,00	20
	10:44	26,44	80
	17:00	33,00	50
<b>3° DIA</b>	08:00	48,00	20
	10:44	50,44	80
	17:00	57,00	50
<b>4° DIA</b>	08:00	72,00	20
	10:44	74,44	80
	17:00	81,00	50
<b>5° DIA</b>	08:00	96,00	20
	10:44	98,44	80
	17:00	105,00	50

Fonte: do autor, 2019.

Gráfico 2: Rampa de temperatura – Tanque de água quente



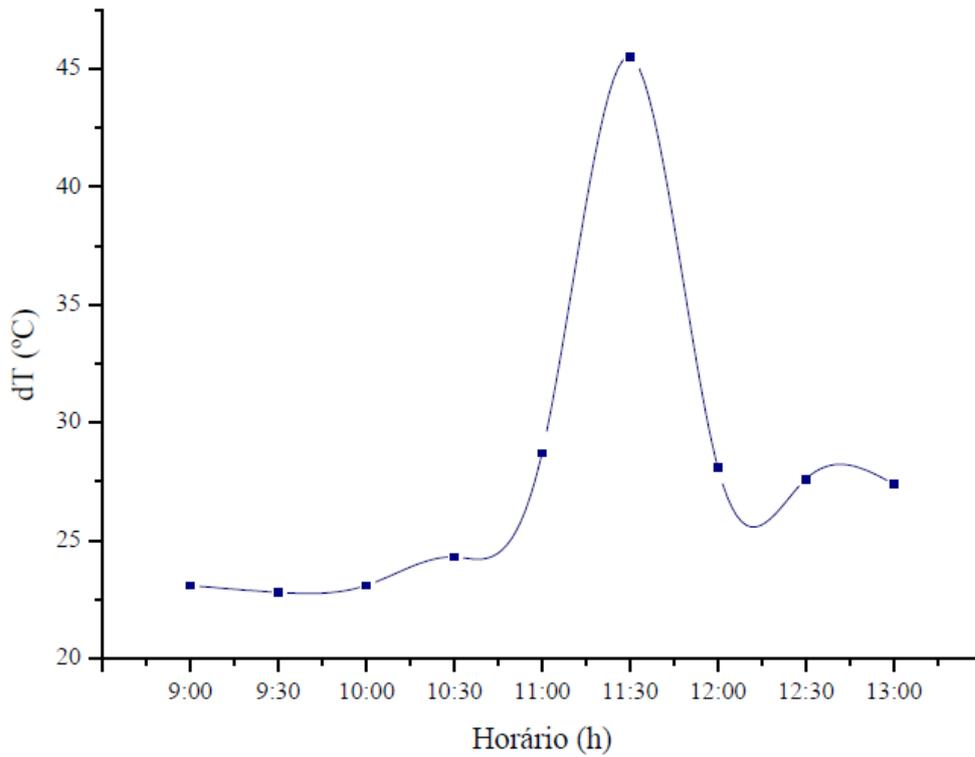
Fonte: do autor, 2019.

De acordo com o Gráfico e a Tabela acima pode-se estimar um tempo de operação de 27 horas e 24 minutos, representado um consumo mensal de 328,80 kW custando R\$ 262,66 mês para a empresa.

#### 3.4.1.3 Banco de frio

O cálculo da transferência de calor para o Banco de frio foi realizado levando em consideração o período de maior incidência de sol e a maior variação de temperatura durante o dia. O Gráfico 3 nos mostra a variação de temperatura entre a superfície do tanque e seu interior durante toda a manhã (período com maior incidência de sol).

Gráfico 3: Variação de temperatura x horário



Fonte: do autor, 2019.

Pelo Gráfico é possível perceber que a maior variação de temperatura durante o período com maior incidência de sol no banco de frio ocorre perto das 11 h 30 min. As características do Banco de frio (Figura 5) estão dispostas na Tabela 5.

Figura 5: Banco de frio



Fonte: Indupropil (2019).

Tabela 5: Banco de Frio – Características

<b>Geral</b>	
Material	Polipropileno (PP)
Condutividade térmica	0,17 W/Mk
Capacidade total/útil	700 L
<b>Dimensões</b>	
Altura do corpo	130 cm
Altura total	140,8 cm
Diâmetro interno	83,4 cm
Diâmetro externo	84 cm

Fonte: Adaptado de Indupropil (2019).

O banco de frio já apresenta isolamento de 2 cm de borracha, como mostrado na Figura abaixo, no entanto, pôr o material ser preto e esquentar muito se faz necessário o isolamento principalmente para que haja uma redução da temperatura da superfície.

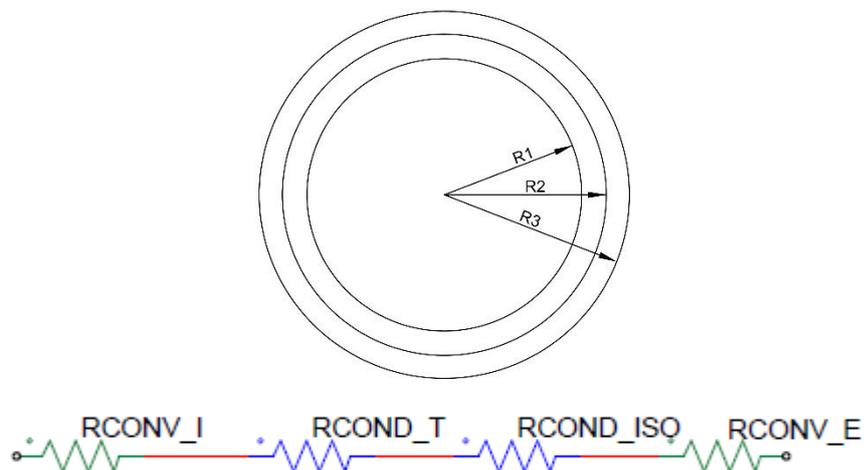
Figura 6: Banco de frio emborrachado



Fonte: do autor, 2019.

De acordo com o sistema de resistências apresentados na Figura 7 é possível estimar a transferência de calor. A Tabela 6 nos mostra que a transferência de calor considerando os coeficientes médios de convecção no momento com maior variação de temperatura é -1023 W.

Figura 7: Sistema de resistências térmicas



Fonte: do autor, 2019.

Tabela 6: Transferência de calor do banco de frio<sup>1</sup>

<b>Dimensões</b>		
$r_1$	Raio interno [m]	0,417
$r_2$	Raio externo do banco de Frio [m]	0,420
$r_3$	Raio externo da borracha [m]	0,440
$L$	Comprimento [m]	1,300
<b>Resistência condutiva – Banco de frio</b>		
$k_{BF}$	Condutividade térmica – Banco de frio [W/m.K]	0,200
$R_{COND,BF}$	Resistência condutiva – banco de frio [K/W]	4,388E-03
<b>Resistência condutiva – Borracha</b>		
$k_B$	Condutividade térmica – Borracha [W/m.K]	0,170
$R_{COND,B}$	Resistência condutiva – Borracha [K/W]	3,350E-02
<b>Resistência convectiva – Interna</b>		
$h_I$	Coefficiente de transferência de calor interno [W/m <sup>2</sup> .K]	60,000
$R_{CONV,I}$	Resistência convectiva – Interna [K/W]	4,893E-03
<b>Resistência convectiva – Externa</b>		
$h_E$	Coefficiente de transferência de calor externo [W/m <sup>2</sup> .K]	165,000
$R_{CONV,E}$	Resistência convectiva – Externa [K/W]	1,686E-03
<b>Resistência – Total</b>		
$R_T$	Resistência – Total [K/W]	4,447E-02
<b>Transferência de calor</b>		
$T_I$	Temperatura – Interna [°C]	1,63
$T_E$	Temperatura – Externa [°C]	46,200
$T_\infty$	Temperatura Ambiente [°C]	29,00
$q$	Transferência de calor [W]	-580,40

<sup>1</sup>Cálculos apresentado no apêndice B.

Fonte: do autor, 2019.

O valor negativo da transferência de calor apresentado na Tabela 6 se deve ao fato de o meio estar transferindo energia para o objeto, ao contrário do que acontece no tanque de água quente.

#### 3.4.1.4 Gasto com energia – Banco de frio

A estimativa do consumo de energia mensal foi realizada do balanço de energia. Verificou-se que o banco de frio consegue manter a temperatura do fluido (de 1,0°C a 3,5°C) por 6 horas (transferência de calor média de 325 W) e que o sistema de refrigeração precisa atuar por 1h 50 minutos para que o fluido volte para a faixa de temperatura desejada (1,0°C).

Com base nos tempos é possível estimar um consumo mensal de 126,00 kW representando em gasto médio mensal de R\$ 100,80.

### 3.4.2 Escolha do isolamento

Embora existam inúmeros fatores para a escolha da isolante, para o presente trabalho se levou em consideração: preço, facilidade de aplicação, condutividade térmica, faixa de operação e facilidade de compra.

Tabela 7: Escolha do Isolamento

	<b>Espuma elastomérica</b>	<b>Lã de vidro</b>	<b>Polipropileno</b>
Preço			X
Facilidade de aplicação			X
Condutividade térmica		X	
Faixa de operação			X
Facilidade de compra			X

Fonte: do autor, 2019.

A Tabela 7, mostra que para o presente trabalho o isolante que melhor se adequa é o polipropileno.

O polipropileno embora não apresente menor condutividade térmica, pode ser encontrado com ou sem face aluminizada o que aumenta ainda mais sua resistência. Pode ser encontrado em diferentes formatos com muita facilidade, vide sua ampla utilização, com isolamento para tubulações (já em formato cilíndrico) ou isolante para barracas, telhados e afins (em formato de manta).

#### 3.4.2.1 Isolamento comercial

O isolante escolhido foi a Manta Termoblock de Polipropileno com uma fase aluminizada. O isolante escolhido atende aos critérios estabelecidos. A Tabela 8 apresenta as características principais e o Anexo A – Ficha técnica Termoblock.

Tabela 8: Manta Termoblock – Características

<b>Geral</b>	
Material	Polipropileno (PP)
Condutividade térmica	0,035 W/m K
Preço/metro [R\$/m]	6,98

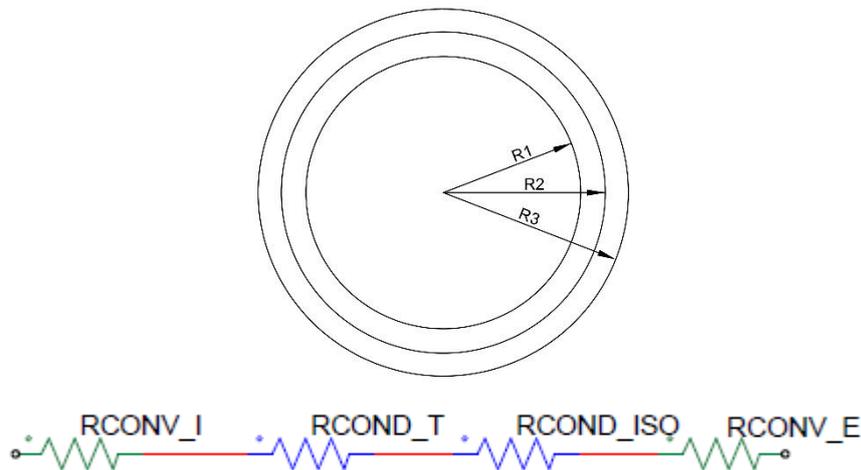
Dimensões	
Largura [m]	1
Comprimento [m]	50
Espessura [mm]	2

Fonte: Adaptado de Termoblock, 2019.

### 3.4.3 Cálculo da espessura do isolamento – Tanque de água quente

A variável manipulada para o cálculo da espessura do isolamento foi a quantidade de calor transmitida, como mostrado na Tabela 9. A Figura 8 representa o sistema por meio de resistências térmicas após o isolamento.

Figura 8: Sistema de resistências térmicas



Fonte: do autor, 2019.

Tabela 9: Espessura do isolamento – Tanque de água quente<sup>1</sup>

	Redução [W]	Espessura [m]	Volts [m]	Preço [R\$]	<sup>2</sup> T.A. [h:min]	<sup>3</sup> T.R. [h:min]	<sup>4</sup> Temperatura [°C]
30%	1270,410	0,001	1 2,00	13,96	2,60	3,66	55,50
40%	1088,923	0,002	1 2,00	13,96	2,55	4,27	51,67
50%	907,436	0,003	2 4,00	27,92	2,51	5,12	47,80
60%	725,949	0,003	2 4,00	27,92	2,47	6,40	44,04
70%	544,461	0,006	3 6,00	41,88	2,43	8,53	40,18
80%	362,974	0,011	6 12,00	83,76	2,39	12,80	36,36
90%	181,487	0,024	12 25,00	174,50	2,36	25,59	32,54

<sup>1</sup>Algoritmo para os cálculos apresentado no apêndice D.

<sup>2</sup>T.A.: Tempo de aquecimento estimando.

<sup>3</sup>T.R.: Tempo de resfriamento estimando para o tanque de água quente (80°C → 70°C).

<sup>4</sup>Temperatura estimada para a superfície externa do tanque.

Tabela 10: PAYBACK – Espessura do isolamento – Tanque de água quente

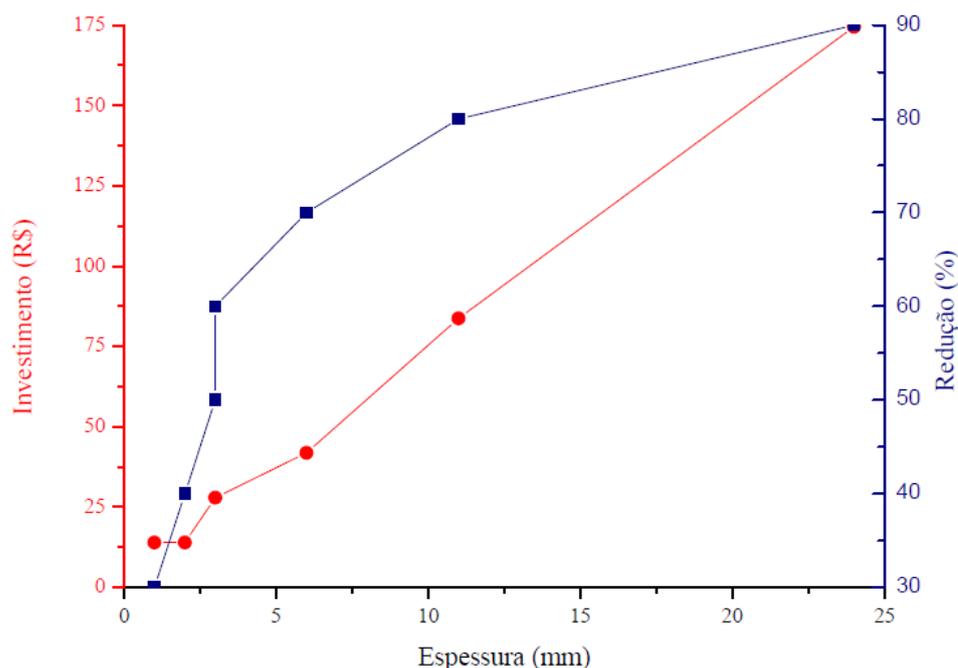
Redução [%]	Investimento [R\$]	Tempo de operação mensal [h]	Redução no gasto de energia mensal [R\$]	PAYBACK [mês]
30	13,96	29,79	52,13	0,18
40	13,96	27,30	76,87	0,14
50	27,92	24,89	100,79	0,23
60	27,92	22,56	123,92	0,19
70	41,88	20,30	146,32	0,25
80	83,76	18,11	168,00	0,44
90	174,50	15,99	189,00	0,83

Fonte: do autor, 2019.

O Gráfico 4, mostra que ocorre uma desaceleração no crescimento da redução de calor após a espessura de 3 mm, correspondendo a 60% de redução, além disso o Gráfico 4 mostra que nessa mesma espessura ocorre o encontro entre tempo e temperatura, mostrando que está é a espessura adequada para o isolamento.

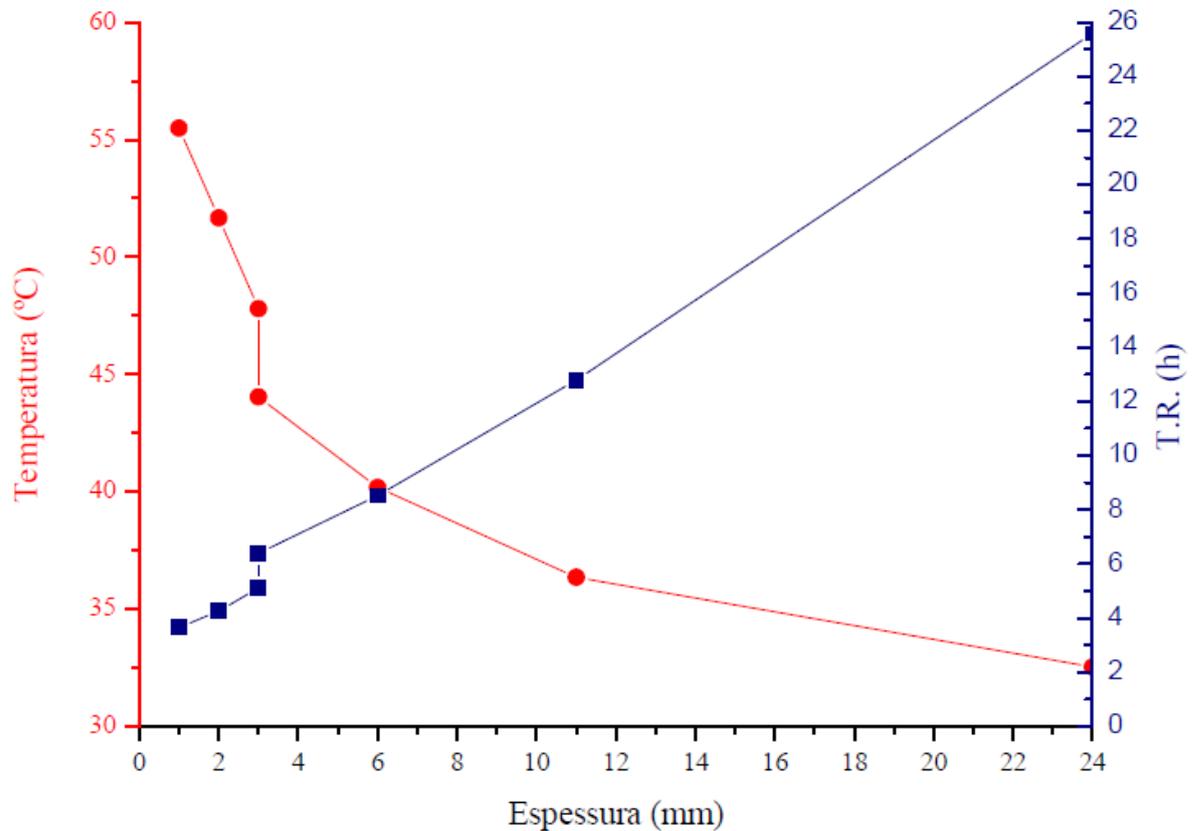
No entanto, de acordo com a Tabela 9 e 10, o retorno financeiro se dará em todos os caso em menos de um mês, visto isso se optou pela espessura 1,4 cm correspondendo a um pouco mais de 80% que resultará em um ganho na operação de aquecimento de aproximadamente 20 minutos, e conseguirá manter a água dentro da faixa desejada de um dia para o outro.

Gráfico 4: Espessura do isolamento x Investimento x Redução (Tanque de água quente)



Fonte: do autor, 2019.

Gráfico 5: Espessura do isolamento x temperatura x tempo (Tanque de água quente)



Fonte: do autor, 2019.

Devido a válvulas e informações apresentadas no tanque o responsável pela empresa achou conveniente não realizar o isolamento de todo o corpo tanque. A Tabela 11 apresenta a estimativa de redução para o tanque parcialmente isolado.

Tabela 11: Transferência de calor do tanque de água quente isolado<sup>1</sup>

<b>Dimensões</b>			
L	Comprimento [m]	1,000	0,300
<b>Resistência condutiva – Tanque de água quente</b>			
$k_T$	Condutividade térmica – Tanque de água quente [W/m.K]	15,000	15,000
$R_{COND.T}$	Resistência condutiva – Tanque de água quente [K/W]	6,739E-04	2,246E-03
<b>Resistência condutiva – Isolamento</b>			
$k_I$	Condutividade térmica – Isolamento [W/m.K]	0,035	-
$R_{COND.ISO}$	Resistência condutiva – Isolamento [K/W]	1,956E-01	-
<b>Resistência convectiva – Interna</b>			
$h_I$	Coefficiente de transferência de calor interno [W/m <sup>2</sup> .K]	60,000	60,000
$R_{CONV.I}$	Resistência convectiva – Interna [K/W]	8,697E-03	2,899E-02
<b>Resistência convectiva – externa</b>			
$h_E$	Coefficiente de transferência de calor externo [W/m <sup>2</sup> .K]	18,000	18,000
$R_{CONV.E}$	Resistência convectiva – Externa [K/W]	2,606E-02	9,069E-02

<b>Resistência – Total</b>			
$R_T$	Resistência – Total [K/W]	2,310E-01	1,219E-01
<b>Transferência de calor</b>			
$T_I$	Temperatura – Interna [°C]	79,200	79,200
$T_E$	Temperatura – Externa [°C]	47,600	71,200
$T_\infty$	Temperatura Ambiente [°C]	29,00	29,00
$q$	Transferência de calor [W]	221,52	411,74
$q_T$	Transferência de calor – Total [W]	633,26	
$\eta$	Redução [%]	65	

<sup>1</sup>Cálculos apresentado no apêndice D.

Fonte: do autor, 2019.

### 3.4.3.1 Verificação da redução da transferência de calor

O tanque de água quente inicialmente levava em torno de 2 h e 26 minutos para sair da temperatura ambiente até a temperatura desejada (80 °C). Após o isolamento o mesmo levou aproximadamente 2 h e 18 minutos para alcançar temperatura desejada. Essa redução no tempo de aquecimento equivale a uma redução de 60% na transferência de calor. A Figura 9 mostra o tanque após o isolamento.

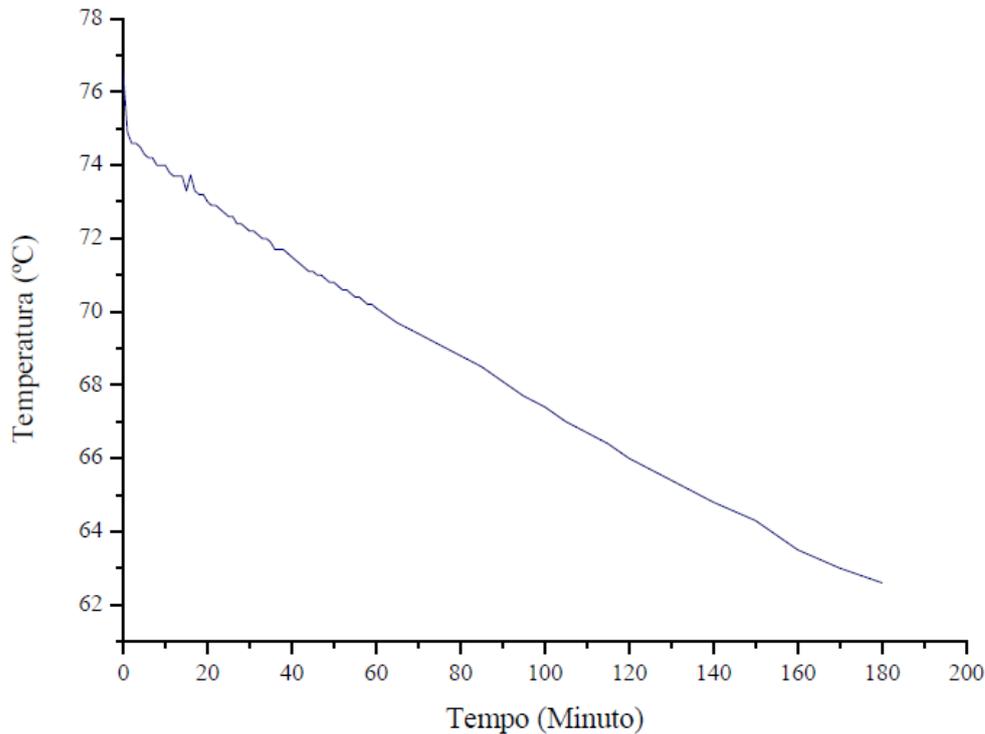
Figura 9: Tanque de água quente isolado



Fonte: do autor, 2019.

Com objetivo de se confirmar a redução na transferência de calor, foi acompanhado a variação de temperatura com tempo. As informações coletadas estão apresentadas no Gráfico 6.

Gráfico 6: Temperatura x Tempo



Fonte: do autor, 2019.

Analisando o Gráfico acima é possível estimar uma transferência de calor de aproximadamente 215 W correspondendo a uma redução de 60% na transferência de calor. (Apêndice F).

#### 3.4.3.2 PAYBACK

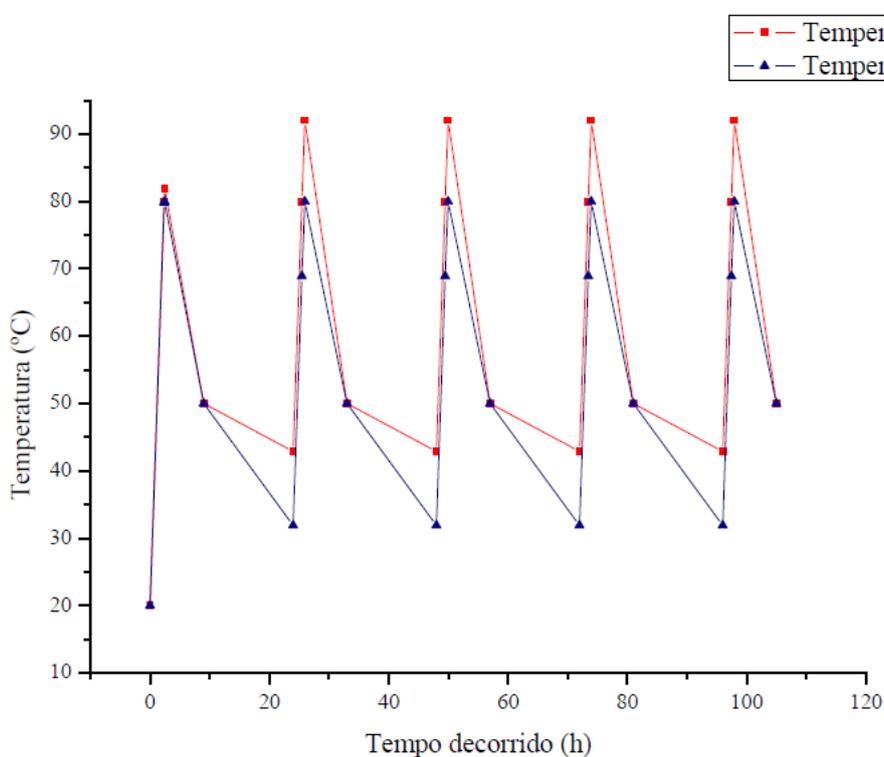
Seguindo as hipóteses listadas no item “3.4.1.1 Gasto de energia” foi estimada o tempo de operação após o isolamento em comprado com o tempo antes do isolamento. A Tabela 12 em conjunto com o Gráfico 7 mostra a comparação entre as rampas de temperatura, antes e após o isolamento.

Tabela 12: Rampa de temperatura – Tanque de água quente - Sem isolamento x Com isolamento

	Tanque sem isolamento			Tanque isolado		
	Hora [h:min]	Tempo decorrido [h]	Temperatura [°C]	Hora [h:min]	Tempo decorrido [h]	Temperatura [°C]
1° DIA	08:00	0,00	20	08:00	0,00	20
	10:23	2,40	80	10:21	2,36	80
	17:00	9,00	50	17:00	9,00	50
2° DIA	08:00	24,00	37	08:00	24,00	43
	09:42	25,70	80	09:27	25,45	80
	17:00	33,00	50	17:00	33,00	50
3° DIA	08:00	48,00	37	08:00	48,00	43
	09:42	49,70	80	09:27	49,45	80
	17:00	57,00	50	17:00	57,00	50
4° DIA	08:00	72,00	37	08:00	72,00	43
	09:42	73,70	80	09:27	73,45	80
	17:00	81,00	50	17:00	81,00	50
5° DIA	08:00	96,00	37	08:00	96,00	43
	09:42	97,70	80	09:27	97,45	80
	17:00	105,00	50	17:00	105,00	50

Fonte: do autor, 2019

Gráfico 7: Rampa de temperatura – Tanque de água quente - Sem isolamento (Temperatura\*) x Com isolamento (Temperatura)



Fonte: do autor, 2019

O Gráfico acima mostra que houve uma redução na queda de temperatura do sistema. De acordo com Tabela 13 mesmo não alcançando a redução esperada, o retorno sobre o investimento ainda se dará em aproximadamente 2 meses e 15 dias.

Tabela 13: PAYBACK - Isolamento do tanque de água quente

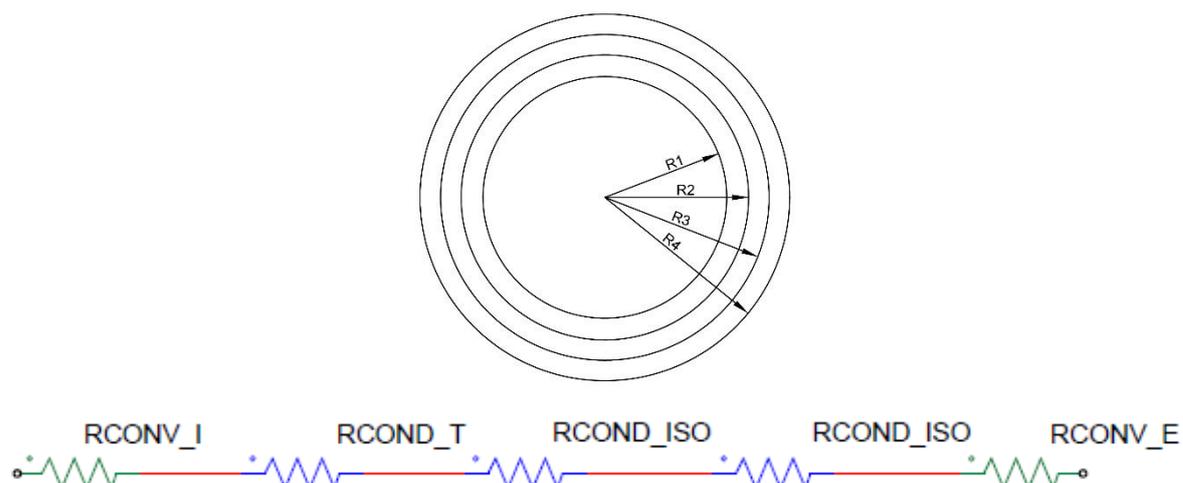
Redução [%]	Investimento [R\$]	Tempo de operação mensal [h]	Economia de energia mensal [R\$]	PAYBACK [mês]
60	97,72	16,43	39,44	2,48

Fonte: do autor, 2019

### 3.4.4 Cálculo da espessura do isolamento – Banco de Frio

A variável manipulada para o cálculo da espessura do isolamento foi a quantidade de calor transmitida como mostrado na Tabela 14. A Figura 10 representa o sistema por meio de resistências térmicas após o isolamento.

Figura 10: Sistema de resistências térmicas



Fonte: do autor, 2019.

Tabela 14: Espessura do isolamento – Banco de Frio<sup>1</sup>

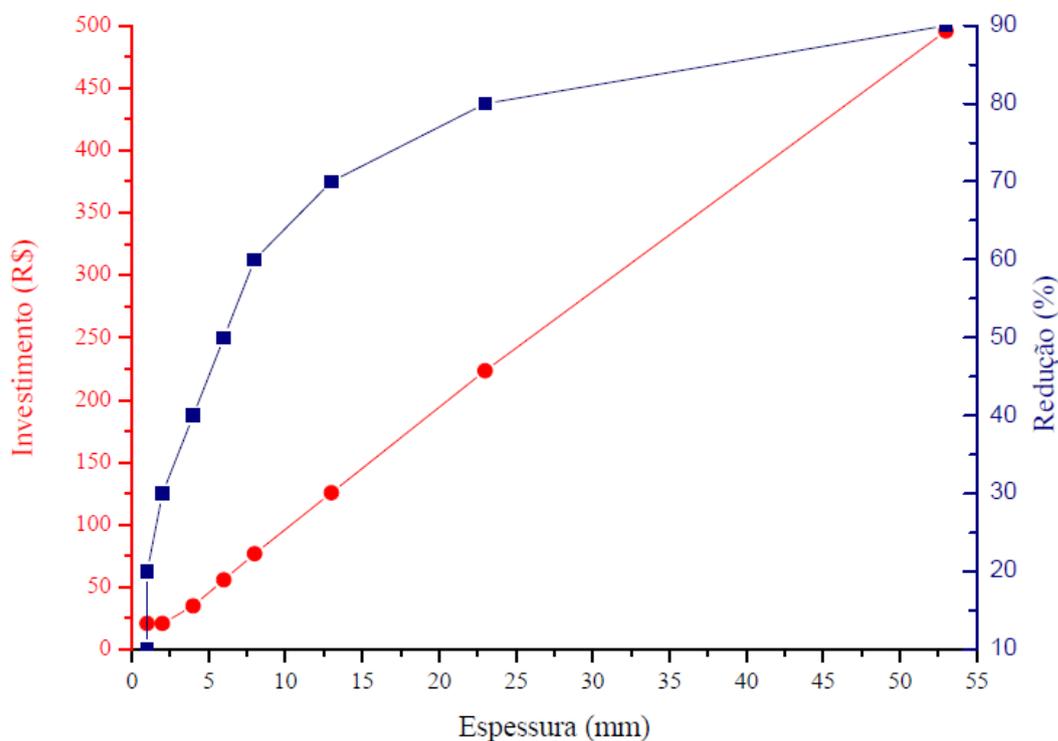
	<b>Redução</b> [W]	<b>Espessura</b> [m]	<b>Volts</b> [m]	<b>Preço</b> [R\$]	<b><sup>2</sup>Temperatura</b> [°C]
10%	522,360	0,001	1 3,00	20,94	29,86
20%	464,320	0,001	1 3,00	20,94	29,59
30%	406,280	0,002	1 3,00	20,94	29,31
40%	348,240	0,004	2 5,00	34,90	29,04
50%	290,200	0,006	3 8,00	55,84	28,77
60%	232,160	0,008	4 11,00	76,78	28,50
70%	174,120	0,013	7 18,00	125,64	28,22
80%	116,080	0,023	12 32,00	223,36	27,95
90%	58,040	0,053	27 71,00	495,58	27,68

<sup>1</sup>Algoritmo para os cálculos apresentado no apêndice D.

<sup>2</sup>Temperatura estimada para a superfície externa do tanque.

Fonte: do autor, 2019

Gráfico 8: Espessura do isolamento x Investimento x Redução (Banco de frio)



Fonte: do autor, 2019

O Gráfico 8, mostra que ocorre uma desaceleração no crescimento da redução de calor após a espessura de 8 mm, correspondendo a 60% de redução. O ponto de desaceleração indica o ponto com menor PAYBACK.

#### 3.4.4.1 Verificação da redução da transferência de calor

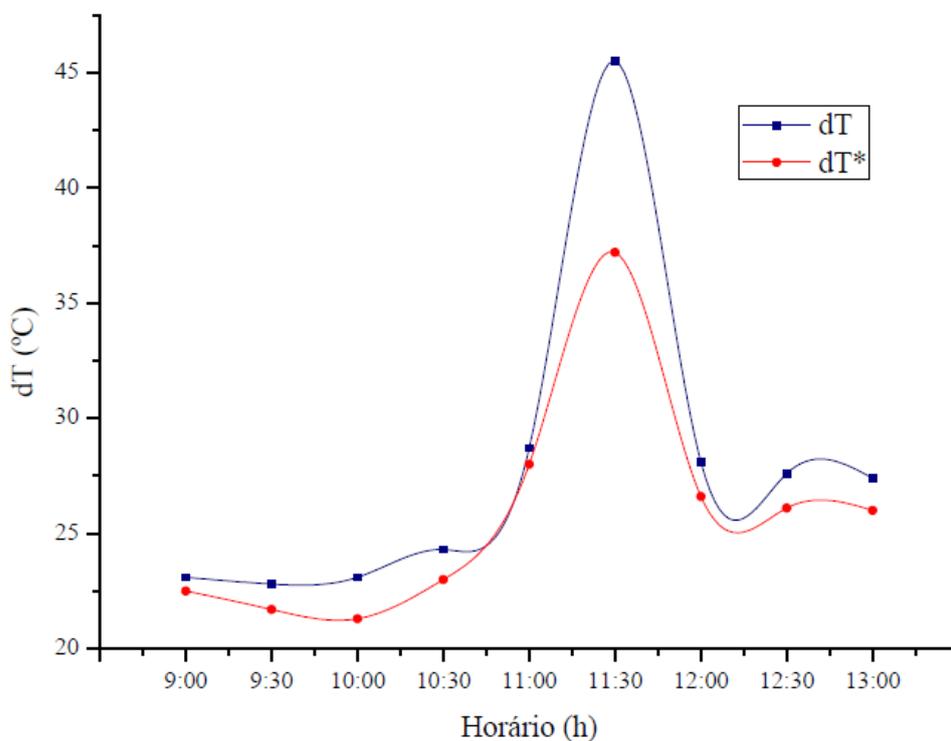
Para verificação da redução da transferência de calor e, principalmente a redução da variação de temperatura entre a parede externa e interna do banco de frio, os cálculos de transferência de calor foram realizados novamente (Tabela 15) em conjunto com o acompanhamento da variação de temperatura após o isolamento do tanque (Gráfico 9).

Tabela 15: Transferência de calor do banco de frio isolado<sup>1</sup>

<b>Dimensões</b>		
$r_1$	Raio interno [m]	0,417
$r_2$	Raio externo do banco de Frio [m]	0,420
$r_3$	Raio externo da borracha [m]	0,440
$r_4$	Raio externo do Isolante [m]	0,448
$L$	Comprimento [m]	1,300
<b>Resistência condutiva – Banco de frio</b>		
$k_{BF}$	Condutividade térmica – Banco de frio [W/m.K]	0,200
$R_{COND.BF}$	Resistência condutiva – banco de frio [K/W]	4,388E-03
<b>Resistência condutiva – Borracha</b>		
$k_B$	Condutividade térmica – Borracha [W/m.K]	0,170
$R_{COND.B}$	Resistência condutiva – Borracha [K/W]	3,350E-02
<b>Resistência condutiva – Isolamento</b>		
$k_I$	Condutividade térmica – Isolamento [W/m.K]	0,035
$R_{COND.I}$	Resistência condutiva – Isolamento [K/W]	1,627E-01
<b>Resistência convectiva – Interna</b>		
$h_I$	Coefficiente de transferência de calor interno [W/m <sup>2</sup> .K]	60,000
$R_{CONV.I}$	Resistência convectiva – Interna [K/W]	4,893E-03
<b>Resistência convectiva – Externa</b>		
$h_E$	Coefficiente de transferência de calor externo [W/m <sup>2</sup> .K]	165,000
$R_{CONV.E}$	Resistência convectiva – Externa [K/W]	1,656E-03
<b>Resistência – Total</b>		
$R_T$	Resistência – Total [K/W]	2,072E-01
<b>Transferência de calor</b>		
$T_I$	Temperatura – Interna [°C]	0,700
$T_E$	Temperatura – Externa [°C]	37,900
$T_\infty$	Temperatura Ambiente [°C]	29,00
$q$	Transferência de calor [W]	-124,58
$\eta$	Redução [%]	80%

Fonte: do autor, 2019

Gráfico 9: Comparação da variação de temperatura do banco de frio com e sem isolamento.



dT: Variação de temperatura sem isolamento.

dT\*: Variação de temperatura com isolamento.

Fonte: do autor, 2019

De acordo com a Tabela 11, houve uma redução na transferência de calor acima do esperado, isso pode ter como causa a aplicação do isolamento, pois aplicando as 4 voltas estipuladas, a espessura do isolamento ficou um pouco maior que 8 mm e/ou a mudança nos coeficientes de transferência de calor.

O Gráfico 8 mostra que houve uma redução significativa na variação de temperatura após o isolamento do banco de frio (Figura 11).

Figura 11: Banco de frio isolado



Fonte: do autor, 2019

#### 3.4.4.2 PAYBACK

A estimativa de quanto tempo o investimento com isolamento trará retorno, foi feita levando em consideração o gasto de energia apresentado no item “3.4.1.4 Gasto com energia – Banco de frio” em comparação com uma estimativa realizado em condições semelhantes após o isolamento. Estima-se que a temperatura do fluido se manterá após o isolamento por 22 h e 51 min, e que o sistema de refrigeração precisará atuar por 1 hora para que o fluido volte a temperatura desejada. Isto representa uma redução no consumo de energia de 80% trazendo o retorno do investimento em 1 mês e 13 dias, como observado na Tabela 16.

Tabela 16: PAYBACK – Banco de frio

<b>Redução</b> [%]	<b>Investimento</b> [R\$]	<b>Economia de energia mensal</b> [R\$]	<b>PAYBACK</b> [mês]
80	76,78	80,11	1,64

Fonte: do autor, 2019

## 4 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho pode-se concluir que, o isolamento dos equipamentos não se faz necessário apenas que se almeja a redução do gasto com energia, visto que as vezes essa redução representa um pequeno valor, mas se faz necessária para entender outras necessidades da empresa, como questões relacionadas com a segurança.

Ao se analisar a redução da transferência de calor dos equipamentos, verificasse que o tanque de água quente obteve uma redução abaixo do esperado, e o banco de frio acima do esperado, evidenciando que o isolamento bem aplicado é tão ou mais importante que o material utilizado como isolante.

Ao realizar os cálculos de retorno do investimento, considerando o custo/desperdício atual, a empresa terá uma economia de aproximadamente R\$ 120 mensal com o dimensionamento e nova espessura do isolante escolhido, e trará o retorno a empresa apenas após 1 mês e 14 dias de funcionamento da empresa como mostra a Tabela 18.

Tabela 17: PAYBACK

<b>Investimento</b> <b>[R\$]</b>	<b>Economia de energia mensal</b> <b>[R\$]</b>	<b>PAYBACK</b> <b>[mês]</b>
174,5	119,55	1,46

Fonte: do autor, 2019

Como sugestão para continuidade desse trabalho, sugere-se para a maior eficiência energética da empresa o isolamento dos dutos por onde passa o fluido do banco de frio, e também a substituição do fluido atual (água), por uma mais eficiente como o etanol ou etilenoglicol.

## REFERÊNCIAS

- ANALOGICA. **Medidores de Temperatura com Sensor Termopar**. Disponível em: <<http://www.analogica.com.br/arquivos/nt-008--medidores-temperatura-com-sensor-termopar.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2019.
- BASTOS, V. **Conforto e segurança no trabalho**. 1. ed. Palhoça: UnisulVirtual, 2011.
- BREJAS. **Fazer Cerveja - O Processo de Fabricação de Cerveja**. Disponível em: <<https://www.brejas.com.br/fazer-cerveja.shtml>>. Acesso em: 6 out. 2019.
- CAMTEC. **Princípio e características técnicas para termoresistências PT-100**. Disponível em: <<http://camtec.com.br/?p=conteudo&id=197>>. Acesso em: 6 out. 2019.
- ÇENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.
- CERVBRASIL. **“A indústria de cerveja na América Latina é muito focada na redução do consumo de água e energia” – Cerv Brasil – Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**. Disponível em: <[http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/a-industria-de-cerveja-na-america-latina-e-muito-focada-na-reducao-do-consumo-de-agua-e-energia/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/a-industria-de-cerveja-na-america-latina-e-muito-focada-na-reducao-do-consumo-de-agua-e-energia/)>. Acesso em: 6 out. 2019.
- DEMO, P. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Brasileiro, Tempo, 2012.
- FORD, T. L. C. **Material compósito com raspas de pneu e látex para isolamento térmico**. Disponível em: <[http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n37/Artigo 3 \(pag27-35.pdf\)](http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n37/Artigo%203%20(pag27-35.pdf))>. Acesso em: 1 out. 2019.
- FREITAS, C. F. **Brasil atinge a marca de mil cervejarias registradas – Catalisi**. Disponível em: <<https://catalisi.com.br/brasil-atinge-a-marca-de-mil-cervejarias/>>. Acesso em: 6 out. 2019.
- INCROPERA, F. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- KAPUNO, R. R. A.; RATHORE, M. M. **Engineering Heat Transfer**. Disponível em: <<http://movelovesun.com/ebooks2/?q=Engineering+Heat+Transfer+By+M+M+Rathore+R+Kapuno>>. Acesso em: 8 set. 2019.
- KERLINGER, F. N. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. 9. ed. São Paulo: EPU, 2003.
- KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. São Paulo: E. Blücher, 1998.
- LAPOLLI, C. **MERCADO DA CERVEJA 2018**. Disponível em: <[https://s3-usa.s3.amazonaws.com/c/308468798/media/5cb723ad8b361/MERCADO CERVEJEIRO 2018-2019.pdf](https://s3-usa.s3.amazonaws.com/c/308468798/media/5cb723ad8b361/MERCADO_CERVEJEIRO_2018-2019.pdf)>. Acesso em: 6 out. 2019.

MARIA, A. **Eficiência energética na produção de cerveja - Agência Envolverde.** Disponível em: <<https://envolverde.cartacapital.com.br/eficiencia-energetica-na-producao-de-cerveja/>>. Acesso em: 6 out. 2019.

NOVUS. **Controlador N1200.** Disponível em: <[https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/manual\\_n1200\\_v20x\\_d\\_portuguese.pdf](https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/manual_n1200_v20x_d_portuguese.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2019.

OLIVEIRA, P. J. **Transmissão de Calor-Condução Estacionária: Raio Crítico de Isolamento.** Disponível em: <<http://webx.ubi.pt/~pjpo/TransCal6.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2019.

SENSE. **Medição de Temperatura em Processos Industriais Variáveis de Processo Temperatura.** Disponível em: <[https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq13/Apostila\\_Temperatura\\_Rev\\_A.pdf](https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq13/Apostila_Temperatura_Rev_A.pdf)>. Acesso em: 7 out. 2019.

SILVEIRA, R. G. DA. **Análise Térmica de Sistema de Refrigeração Direta em Fermentadores Cilíndricos.** Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91713/silveira\\_rg\\_me\\_bauru.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91713/silveira_rg_me_bauru.pdf?sequence=1)>.

TELLES, P. C. DA S. **Tubulações industriais: materiais, projeto, montagem.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

TERMOBLOCK. **Ficha Técnica Termo Block Subcobertura.** Disponível em: <[http://www.termoblock.com.br/download/catalogo\\_termoblock\\_subcobertura.pdf](http://www.termoblock.com.br/download/catalogo_termoblock_subcobertura.pdf)>. Acesso em: 1 out. 2019.

VA. **VA Isolamento Térmico.** Disponível em: <<http://www.vaisolamentotermico.com.br/>>. Acesso em: 8 out. 2019.

VIEIRA, E. **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA O CONTROLE DO PROCESSO DE BRASSAGEM NA FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL.** Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8453/1/PG\\_COELE\\_2017\\_2\\_18.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8453/1/PG_COELE_2017_2_18.pdf)>. Acesso em: 3 out. 2019.

**ANEXOS**

### ANEXO A – Ficha técnica Termoblock

Dados Técnicos – Termoblock Subcobertura	
Descrição	Manta de espuma PEBD com células fechadas e película aluminizada.
Composição Básica	Poliétileno
Aplicação	Isolante térmico e acústico
Particularidades	Impermeável. Não desprende fibras ou partículas

Características técnicas	Norma
Temperatura de trabalho	-70 °C a + 90 °C
Condutividade térmica	0,035 W.(m.K) <sup>-1</sup> a 22°C
Emissividade do revestimento	0,11
Reação ao fogo	R2 ou R1
Densidade	33 ± 5 kg.m <sup>-3</sup>
Resistência à tração	2,6 kg.cm <sup>-2</sup> com 24,5 kg/m <sup>-3</sup>
Apresentação	Rolos em sacos plásticos

MODELO	Espessura (mm)	Comp. (m)
1 Face aluminizada		
SC 02 100 050	2	50

Tolerância de espessura: ± 10% - Tolerância de comprimento: ± 1,5% - Tolerância de largura: ± 3%

Redução no fluxo de calor	
Irradiado	1 face aluminizada – 74,5 %
Conduzido – Espessura da manta	2 mm – 41,5%

## APÊNDICE

**APÊNDICE A – Memorial de cálculo: Transferência de calor do tanque de água quente**

$$R_{\text{CONV.I}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L \cdot h_1} = \frac{1}{2 * \pi * 0,315 \text{ m} * 1,3 \text{ m} * 60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 6,478 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{COND.T}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_T} = \frac{\ln\left(\frac{0,325 \text{ m}}{0,315 \text{ m}}\right)}{2 * \pi * 1,3 \text{ m} * 15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 2,551 \times 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{CONV.E}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot h_E} = \frac{1}{2 * \pi * 0,325 \text{ m} * 1,3 \text{ m} * 18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 2,093 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{CONV.I}} + R_{\text{COND.T}} + R_{\text{CONV.E}}$$

$$R_{\text{Total}} = 2,766 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$q_r = \frac{(T_i - T_\infty)}{R_{\text{total}}} = \frac{(79,2 - 29)^\circ\text{C}}{2,766 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 1814,871 \text{ W}$$

**APÊNDICE B – Memorial de cálculo: Transferência de calor do banco de frio**

$$R_{\text{CONV.I}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L \cdot h_I} = \frac{1}{2 * \pi * 0,417 \text{ m} * 1,3 \text{ m} * 60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 4,893 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{COND.T}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_T} = \frac{\ln\left(\frac{0,420 \text{ m}}{0,417 \text{ m}}\right)}{2 * \pi * 1,3 \text{ m} * 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 4,388 \times 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{COND.ISO}} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_T} = \frac{\ln\left(\frac{0,440 \text{ m}}{0,420 \text{ m}}\right)}{2 * \pi * 1,3 \text{ m} * 0,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 3,35 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{CONV.E}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot h_E} = \frac{1}{2 * \pi * 0,440 \text{ m} * 1,3 \text{ m} * 165 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 1,686 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{CONV.I}} + R_{\text{COND.T}} + R_{\text{COND.ISO}} + R_{\text{CONV.E}}$$

$$R_{\text{Total}} = 4,447 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$q_r = \frac{(T_i - T_\infty)}{R_{\text{total}}} = \frac{(1,63 - 27,44)^\circ\text{C}}{4,477 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}} = -580,40 \text{ W}$$

### APÊNDICE C – Memorial de cálculo: Espessura do isolamento

```

%program Raio_externo_N_R
#Última gravação: 14/10/2019;segunda-feira;12:41
#Software: GNU Octave 3.1.50;mEd 3.4.3
#Autor: Vitor Hugo de Campos Luiz
#Objetivo: Calcular o raio externo do isolamento
clear all;
#Subrotinas

%var

%begin
clc;

printf("\n\n Transferência de calor desejada = ");
q=input("");

rn=r2;
r1=[Colocar Valor];
r2=[Colocar Valor];
L=[Colocar Valor];
k1=[Colocar Valor];
ki=[Colocar Valor];
he=[Colocar Valor];
hi=[Colocar Valor];
ti=[Colocar Valor];
ta=[Colocar Valor];

A=(2*3.14*L*(ti-ta))/q;
B=1/he;
C=1/(r1*hi);
D=(log(r2/r1))/k1;

```

```
#Cálculo das raízes pelo método N-R
```

```
erro=1000;
```

```
n=0;
```

```
while(erro>10^-7)
```

```
n=n+1;
```

```
resp1=r2*exp((A-(B/rn)-C-D)*ki)-rn;
```

```
resp2=r2*(exp((A-(B/rn)-C-D)*ki))*(ki/(he*(rn^2)))-1;
```

```
rn1=rn-(resp1/resp2);
```

```
erro=abs(rn1-rn);
```

```
rn=rn1;
```

```
endwhile;
```

```
e=rn-r2;
```

```
v=e/0.002;
```

```
m=v*r2*2*3.14;
```

```
P=6.98*m;
```

```
printf("\n Raio externo %g",rn);
```

```
printf("\n Espessura %g",e);
```

```
printf("\n Voltas %g",v);
```

```
printf("\n Metros %g",m);
```

```
printf("\n Preço %g",P);
```

```
%end.
```

**APÊNDICE D – Memorial de cálculo: Transferência de calor do tanque de água quente isolado**

$$R_{\text{CONV.I.M}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L \cdot h_I} = \frac{1}{2 * \pi * 0,315 \text{ m} * 1,0 \text{ m} * 60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 8,421 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{CONV.I.m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L \cdot h_I} = \frac{1}{2 * \pi * 0,315 \text{ m} * 1,0 \text{ m} * 60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 2,899 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{COND.T.M}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_T} = \frac{\ln\left(\frac{0,325 \text{ m}}{0,315 \text{ m}}\right)}{2 * \pi * 1,0 \text{ m} * 15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 3,316 \times 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{COND.T.m}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_T} = \frac{\ln\left(\frac{0,325 \text{ m}}{0,315 \text{ m}}\right)}{2 * \pi * 0,3 \text{ m} * 15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 2,246 \times 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{COND.ISO}} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_T} = \frac{\ln\left(\frac{0,339 \text{ m}}{0,325 \text{ m}}\right)}{2 * \pi * 1,0 \text{ m} * 15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 1,923 \times 10^{-1} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{CONV.E.M}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot L \cdot h_E} = \frac{1}{2 * \pi * 0,339 \text{ m} * 1,0 \text{ m} * 18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 2,608 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{CONV.E.m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot h_E} = \frac{1}{2 * \pi * 0,325 \text{ m} * 0,3 \text{ m} * 18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} = 9,069 \times 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Total.M}} = R_{\text{CONV.I.M}} + R_{\text{COND.T.M}} + R_{\text{COND.ISO}} + R_{\text{CONV.E.M}}$$

$$R_{\text{Total.M}} = 2,271 \times 10^{-1} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Total.m}} = R_{\text{CONV.I.m}} + R_{\text{COND.T.m}} + R_{\text{CONV.E.m}}$$

$$R_{\text{Total.m}} = 1,219 \times 10^{-1} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$q_{r.M} = \frac{(T_i - T_\infty)_M}{R_{Total.M}} = \frac{(79,20 - 29)^\circ\text{C}}{2,271 \times 10^{-1} \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 221,52 \text{ W}$$

$$q_{r.m} = \frac{(T_i - T_\infty)_m}{R_{Total.m}} = \frac{(79,20 - 29)^\circ\text{C}}{1,219 \times 10^{-1} \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 411,74 \text{ W}$$

$$q_{r.ISO} = q_{r.m} + q_{r.M} = 633,23 \text{ W}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{q_{r.ISO}}{q_r}\right) \cdot 100 = 65\%$$

### APÊNDICE E – Balanço de energia: Tanque de água quente isolado

Balanço de energia simplificado antes do isolamento

$$\frac{dE}{dt} = Q_E - Q_S$$

$$\frac{dT}{dt} \cdot c_p \cdot \rho \cdot V = (Q_E - Q_S)$$

$$Q_S = Q_E - \frac{(T - T_0)}{t} \cdot c_p \cdot \rho \cdot V$$

$$Q_S = 12 \text{ kW} - \frac{(80 \text{ °C} - 25 \text{ °C})}{2,44 \text{ h} \left| \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right|} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 400 \text{ L} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| = 0,560 \text{ kW}$$

Balanço de energia simplificado após o isolamento

$$Q_S = 12 \text{ kW} - \frac{(80 \text{ °C} - 25 \text{ °C})}{2,37 \text{ h} \left| \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right|} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 400 \text{ L} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| = 0,220 \text{ kW}$$

**APÊNDICE F – Determinação de transferência de calor de acordo com o “Gráfico 4”**

$$q = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$q = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 400 \text{ L} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| * \frac{13,9 \text{ }^\circ\text{C}}{10800 \text{ s}} = 215,193 \text{ W}$$