

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
ALLAN ODLANIER TRAZZI EVARISTO**

**APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO TÉRMICO PARA REDUÇÃO DA
EVAPORAÇÃO DO ETANOL EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO**

**CASCADEL – PR
2018**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
ALLAN ODLANIER TRAZZI EVARISTO

**APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO TÉRMICO PARA REDUÇÃO DA
EVAPORAÇÃO DO ETANOL EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Eng.º Me. Eliseu Avelino Zanella Junior

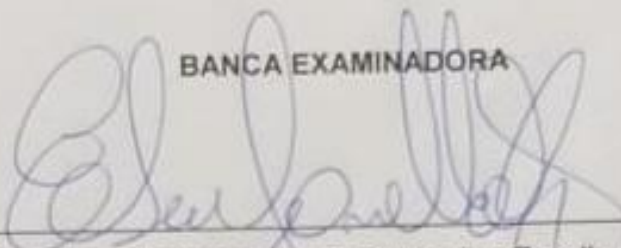
CASCADEL – PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGAZ
ALLAN ODLANIER TRAZZI EVARISTO

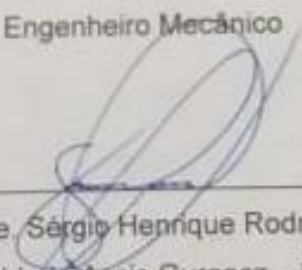
APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO TÉRMICO PARA REDUÇÃO DA
EVAPORAÇÃO DO ETANOL EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor(a) Eliseu Avelino Zanella Junior.

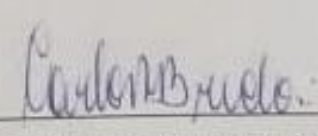
BANCA EXAMINADORA



Orientador Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Junior.
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Me. Sérgio Henrique Rodrigues Mota.
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Me. Carlos Alberto Breda.
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo sobre tanques de armazenamento de etanol em usinas sucroalcooleiras, visando inibir a taxa de evaporação de etanol a fim de diminuir a perda do produto. Com objetivo de reduzir as perdas de etanol por evaporação, implementando um revestimento térmico para a diminuição de absorção de carga térmica, assim deixando a temperatura do combustível menor e diminuindo a formação de gases do mesmo, que por sua vez estes gases são liberados para o meio ambiente, com isso ocorre o desperdício do etanol. Através de um estágio realizado em uma usina, nota-se que ocorre uma perda significativa de etanol através da evaporação, uma vez que os tanques de armazenagem ficam expostos ao sol sem nenhum tipo de revestimento. Com isso, a ideia de um estudo para diminuir essa taxa de evaporação e o desperdício do produto. Após coleta de dados ocorrerá o cálculo para escolha do revestimento capaz de suprir a necessidade do projeto e com um custo benefício que justifique sua implantação.

Palavras-chaves: Revestimento Térmico, Evaporação do Etanol e Tanque de Armazenagem de Etanol em Indústrias Sucroalcooleiras.

ABSTRACT

The present work deals with the study on ethanol storage tanks in sugar and ethanol plants, aiming to inhibit the evaporation rate of ethanol in order to reduce the loss of the product. In order to reduce the losses of ethanol by evaporation, by implementing a thermal coating for the decrease of absorption of thermal load, thus leaving the temperature of the fuel smaller and decreasing the formation of gases thereof, which in turn these gases are released and the ethanol is wasted. Through a trainee program at a ethanol plant, it is noted that a significant loss of ethanol through evaporation occurs, since the storage tanks are exposed to the sun without any type of coating. Thereby the idea of a study to decrease this rate of evaporation and the waste of the product. After data collection, the calculation to choose the coating capable of supplying the need of the project and with a cost-benefit that justifies its implantation will occur.

Keywords: Thermal Coating, Ethanol Evaporation and Ethanol Storage Tank in Sugar and Alcohol Industries.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os principais componentes de um tanque de armazenamento	16
Figura 2 – Valores de distribuição do etanol	20
Figura 3 – Lavagem da cana.....	22
Figura 4 - Moagem	22
Figura 5 – Eliminação de impurezas	23
Figura 6 – Fermentação, Destilação e Desidratação	23
Figura 7 - Armazenamento.....	24
Figura 8 – Convecção natural sobre uma esfera quente estática	26
Figura 9 – Convecção forçada sobre uma esfera quente estatica	26
Figura 10 - Radiação	27
Figura 11 – Condutividade Lã Cerâmica	33
Figura 12 – Grafico espessura isolante x custo.....	35
Figura 13 – Feltro de Lã de Rocha FSR-32	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condutividade x Densidade X Temperatura Manta de Lã de Rocha.....	30
Tabela 2 – Condutividade térmica Feltro de Lã de Rocha	31
Tabela 3 – Condutividade Manta Lã de Vidro	32
Tabela 4 – Dados de evaporação	38
Tabela 5 – Diametro do tanque e Temperatura de entrada do etanol.....	38
Tabela 6 – temperatura no periodo determinado	39
Tabela 7 – Valor dos isolantes	40
Tabela 8 – Custo dos isolantes para inibir a evaporação.....	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo da área superficial do tanque	18
Equação 2 – Massa do etanol	21
Equação 3 – Condução de calor	25
Equação 4 – Equação fundamental da calorimetria.....	28
Equação 5 – Cálculo espessura do isolante.....	34
Equação 6 – Área do isolante em função do número de camadas	43
Equação 7 – Valor monetário do isolamento.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A: Área.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

API: American Petroleum Institute.

A_t: Área Total.

Cal/g°C: Caloria por Grama Grau Celsius.

CO₂: Dióxido de Carbono.

C_p: Calor Específico.

D: Diâmetro

H: Altura.

IPI: Imposto Sobre Produto Industrializado.

K: Condutividade térmica.

Kcal/h: Quilocaloria por hora.

Kg/m³: Quilograma por Metro Cúbico.

Kg: Quilograma.

L: Espessura.

M: Massa.

m: Metro.

m²: Metro Quadrado.

m³: Metro Cúbico.

mm: Milímetro.

N: Numero de camadas.

NBR: Norma Brasileira.

°C: Grau Celsius.

Q: Calor.

R\$: Valor Monetário em Reais.

T: Temperatura.

V: Volume.

W/Kg°C: Watt por Quilograma Grau Celsius.

W/m°C: Watt por Metro Grau Celsius.

W: Watt.

Δt: Variação de Temperatura.

δ: Densidade.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 PROBLEMAS DA PESQUISA.....	14
1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	14
1.4 OBJETIVOS	15
1.4.1 Objetivo Geral	15
1.4.2 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 TANQUES DE ARMAZENAGEM DE ETANOL EM INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS.	16
2.1.1 Classificação dos tanques de armazenamento	16
2.1.2 Cálculo da Área superficial do Tanque.....	18
2.2 EVAPORAÇÃO DO ETANOL.....	19
2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	24
2.4 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	25
2.4.1 Condução	25
2.4.2 Convecção	26
2.4.3 Radiação	27
2.5 CALOR SENSÍVEL	27
2.6 REVESTIMENTO TÉRMICO.....	28
2.6.1 Materiais Isolantes Básicos	28
2.6.2 Formas de Isolantes térmicos	29
2.6.3 Manta de Lã de Rocha MIT 48	30
2.6.4 Feltro de Lã de Rocha FSR-32.....	31
2.6.5 Manta de Lã de Vidro MI 39 CT	32
2.6.6 Lã Cerâmica THERMOFELT 6.....	33
2.6.7 Cálculo da Espessura do Isolante	33
2.6.8 Escolha do Isolante Por Viabilidade Econômica	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4 RESULTADOS ESPERADOS	38
4.1 INFORMAÇÕES LEVANTADAS	38

4.2 CÁLCULO ÁREA SUPERFICIAL	40
4.3 CÁLCULO MASSA DE ETANOL EVAPORADO	40
4.4 CÁLCULO DO CALOR NECESSÁRIO PARA EVAPORAR A MASSA DE ETANOL.....	41
4.5 DIMENSIONAMENTO DOS ISOLANTES	41
4.5.1 Espessura Manta Lã de Rocha MIT- 48.....	41
4.5.2 Espessura do Feltro Lã de Rocha FSR-32.....	42
4.5.3 Espessura da Manta Lã de Vidro MI 39 CT.....	42
4.5.4 Espessura da Lã Cerâmica THERMOFELT 6	42
4.6 VALORES MONETARIOS DOS ISOLANTES.....	42
4.6.1 Valor do Isolamento Manta Lã de Rocha MIT-48.....	43
4.6.2 Valor do Isolamento Feltro de Lã de Rocha FSR-32.....	44
4.6.3 Valor do Isolamento Manta de Lã de Vidro MI 39 CT.....	44
4.6.4 Valor do Isolamento Lã Cerâmica THERMOFELT6	44
4.7 ESCOLHA DO ISOLANTE ECONOMICAMENTE MAIS VIÁVEL	45
4.8 TEMPO PARA O ISOLANTE SE PAGAR	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5.1 CONTRIBUIÇÕES	48
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
6 REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo Lima et al. (2001), a indústria sucroalcooleira possui alta importância econômica devido à produção de açúcar, sendo o país o maior exportador do mundo. E de etanol como um competidor dos combustíveis fósseis. Atualmente o Brasil é o segundo maior produtor de álcool do mundo.

O etanol de cana é reconhecido no mundo inteiro como uma importante fonte de energia limpa e renovável (ÚNICA, 2012).

Os tanques de armazenamento são equipamentos essenciais para o funcionamento de uma unidade operacional (BARROS, 2014).

Por motivos econômicos, geopolíticos e ambientais, as atenções do mundo se voltam para fontes alternativas de energia, em especial para o etanol. Tal combustível desperta de modo crescente o interesse de pesquisadores, empresas e governos.

A partir de dados coletados em campo, nota-se que com a radiação solar o etanol recebe carga térmica, elevando a temperatura do combustível, onde ocorre a sua evaporação gerando gases do mesmo. Estes gases por sua vez ficam armazenados no topo dos tanques de estocagem. Conforme ocorre a entrada de combustível, estes gases são expulsos do tanque e jogados para o ambiente, ocorrendo assim a perda do produto.

Observando que estes tanques não usam nenhum tipo de isolante térmico ou sistemas para redução da temperatura do etanol, justifica-se este estudo, visando assim a implantação de um revestimento cuja finalidade é diminuir a formação de gases e, conseqüentemente, o desperdício do combustível.

Estes gases que estão nos tanques, além de serem perdidos, quando estão em grande quantidade (tanque vazio) podem gerar riscos, uma vez que são inflamáveis e mediante a qualquer faísca ou descargas elétricas podem ocorrer explosões.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente projeto propõe inibir a evaporação do etanol em tanques de armazenamento de indústrias sucroalcooleiras utilizando revestimento térmico, uma vez que se perde uma quantidade significativa de combustível por evaporação.

Por fins econômicos, pode-se diminuir essa perda, melhorando a produtividade e a quantidade de combustível que será gerada, uma vez que atualmente procura-se fazer tudo da forma mais rentável. Visto que foram gastos tempo e recursos para a produção e por fim parte do produto será perdida de forma tão “simples”.

Sendo assim uma boa oportunidade para a engenharia na criação de formas de inovação, não só para revestimento de tanques de armazenamento de etanol, mas podendo talvez ser aplicado posteriormente em outras áreas que necessitem diminuir sua perda por evaporação.

1.2 PROBLEMAS DA PESQUISA

Quais as características um revestimento térmico deve ter para ser capaz de inibir a evaporação do etanol em tanques de armazenagem em indústrias sucroalcooleiras.

1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

O projeto se limita na análise de dados de um tanque para armazenamento de etanol com capacidade de 5.484.200 litros de combustível em uma usina de álcool, localizado na região centro oeste do estado do Mato Grosso, durante o período de 28/06/2018 à 23/07/2018. Tendo assim o objetivo de dimensionar e escolher um revestimento viável e capaz de inibir a evaporação do combustível causada pela absorção de calor.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

- Dimensionar o revestimento térmico viável capaz de inibir a evaporação do etanol de um tanque de armazenagem em uma usina sucroalcooleira.

1.4.2 Objetivos Específicos

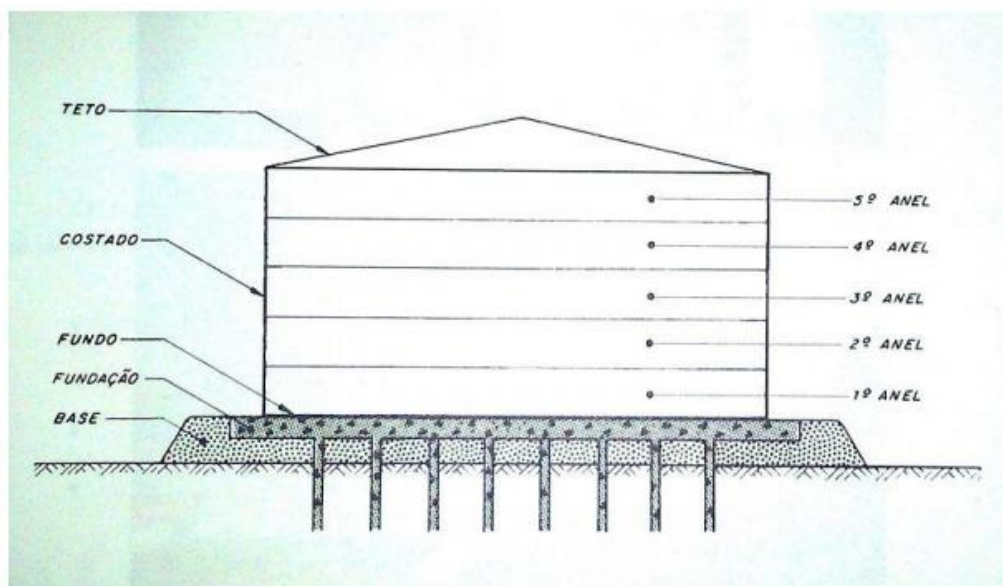
- Coletar dados com a usina quanto a quantidade de etanol evaporado, dimensões do tanque e temperatura no interior do tanque.
- Calcular a quantidade de calor necessária para evaporar a massa de etanol.
- Pesquisar isolantes térmicos possíveis a serem usados e seus valores.
- Calcular a espessura do isolamento que inibe a evaporação.
- Pesquisar valores de produção e distribuição do etanol.
- Verificar a viabilidade de uso do isolamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TANQUES DE ARMAZENAGEM DE ETANOL EM INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS.

Segundo Barros (2014), no Brasil, existe uma norma para a construção de tanques de armazenagem. A norma NBR 7821 – Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados – publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Porém, a norma mais utilizada nas indústrias é a norma regulamentadora americana API 650 – Welded Steel Tanks for Oil Storage – do American Petroleum Institute (API). Os principais componentes de um tanque de armazenagem são mostrados na figura 1.

Figura 1- Os principais componentes de um tanque de armazenagem



Fonte: BARROS,2014

2.1.1 Classificação dos tanques de armazenagem

Os tanques de armazenagem são classificados em função da natureza do seu teto:

- Tanques de Teto Fixo
- Tanques de Teto Móvel
- Tanques de Teto com Diafragma Flexível
- Tanques de Teto Flutuante (BARROS, 2014)

No referente estudo leva-se em conta apenas tanques de teto fixo.

Os tanques de armazenamento devem ter o fundo cônico, com um caimento mínimo de 1:120 do centro para a borda se os diâmetros forem grandes, pois o local onde ocorre a saída do produto é localizado no costado do equipamento. Já os tanques que possuem diâmetro com até 6m podem ter o fundo plano. (BARROS, 2014).

As chapas do centro do fundo possuem espessuras menores do que as chapas das laterais do tanque. Isso ocorre devido à posição em que são construídas, pois são fixadas diretamente sobre a base de concreto feita no solo. Sendo assim, as únicas tensões que as chapas do fundo sofrem são as tensões de compressão no sentido transversal. Para uma melhor montagem e soldagem utilizam-se chapas de no mínimo $\frac{1}{4}$ polegadas (6,35mm) de espessura. (BARROS, 2014).

A pressão hidrostática nos tanques (vasos cilíndricos verticais), variam do topo do tanque onde a pressão é mínima, até a parte inferior do tanque onde a pressão é máxima. Com isso, se o tanque for dimensionado levando em consideração a espessura calculada em função do fundo, o mesmo irá ficar superdimensionado, elevando o custo básico do projeto. Se o tanque for dimensionado levando em conta os cálculos de espessura da parte superior do tanque, o mesmo vai ficar subdimensionado e assim não será possível demonstrar a sua confiabilidade. (BARROS, 2014).

Para a lateral do tanque deve-se considerar espessura superior a 1.1/2 polegadas (40mm). Devem receber tratamentos térmicos de tempera ou normalização, posteriormente revenidas, acalmadas e através da técnica de grão fino devem ser fabricadas e em seguida realizar testes de impacto (BARROS, 2014).

O método mais preciso para a uma equalização do peso global e custo do projeto é o API 650 como corpo de normal e o uso do método ponto variável de projeto. Com este método pode-se construir tanques com diâmetros grandes e com máxima espessura permitida. (API 650, 2013).

Usando a norma, pode-se escolher a espessura mínima para as chapas laterais, onde se baseia em requisitos básicos de montagem e valores estruturais encontrados em norma, onde não é preciso acrescentar nenhum valor a mais na espessura, como um valor de espessura para corrosão. (BARROS, 2014).

Os tanques de armazenamento são equipamentos soldados e na maioria das vezes não são tratados termicamente, para alívio de tensões. Por isso é preciso limitar

uma espessura máxima da chapa lateral para evitar que ocorra fratura frágil (Propagação rápida de trincas). O fator que gera esta falha é resultado de uma concentração de tensão, ocorrendo assim uma trinca. Através da norma API, o valor da espessura máxima deve-se levar em conta o material utilizado para o projeto do tanque. (BARROS, 2014).

Nos anéis da lateral se encontram juntas, onde as mesmas são defasadas em 1/3 do comprimento do tamanho da chapa, não podendo ter acúmulos de juntas verticais em um mesmo local da lateral do tanque (BARROS, 2014).

Os tanques de armazenamento têm uma função muito importante para o refino, produção, transporte e distribuição do combustível. Precisam de processos de tratamentos para evitar danos ao meio ambiente e futuras consequências para a segurança. Por isso, uma inspeção e manutenção complexa se faz necessária no mesmo (IBP).

Devido ao grande volume transportado, armazenado e as espessuras mínimas utilizadas em sua construção, podem ocorrer acidentes de grandes proporções. As manutenções e inspeções precisam de atenção elevada das empresas, pois o custo do equipamento é elevado. (IBP).

2.1.2 Cálculo da Área superficial do Tanque

Segundo o site Mundo Da Educação, a área superficial pode ser calculada com o somatório da área lateral mais a área do topo do tanque, de acordo com a equação 1.

Equação 1 – Área Superficial do Tanque

$$A = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) + \pi \cdot D \cdot H \quad (1)$$

Onde:

A= Área superficial [m²]

D= Diâmetro do Tanque [m]

H= Altura do tanque [m]

2.2 EVAPORAÇÃO DO ETANOL

Desde o surgimento dos veículos flex no Brasil em 2003, o uso do etanol em substituição à gasolina evitou a adição de mais de 100 milhões de toneladas de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Essa quantidade equivale a, por exemplo, dois importantes países da América do Sul - Colômbia e Peru, juntos - deixarem de emitir CO₂ por um ano. Diferentemente da gasolina e do diesel, o etanol praticamente não contém enxofre, partículas e outros poluentes da atmosfera (UNICA, 2012).

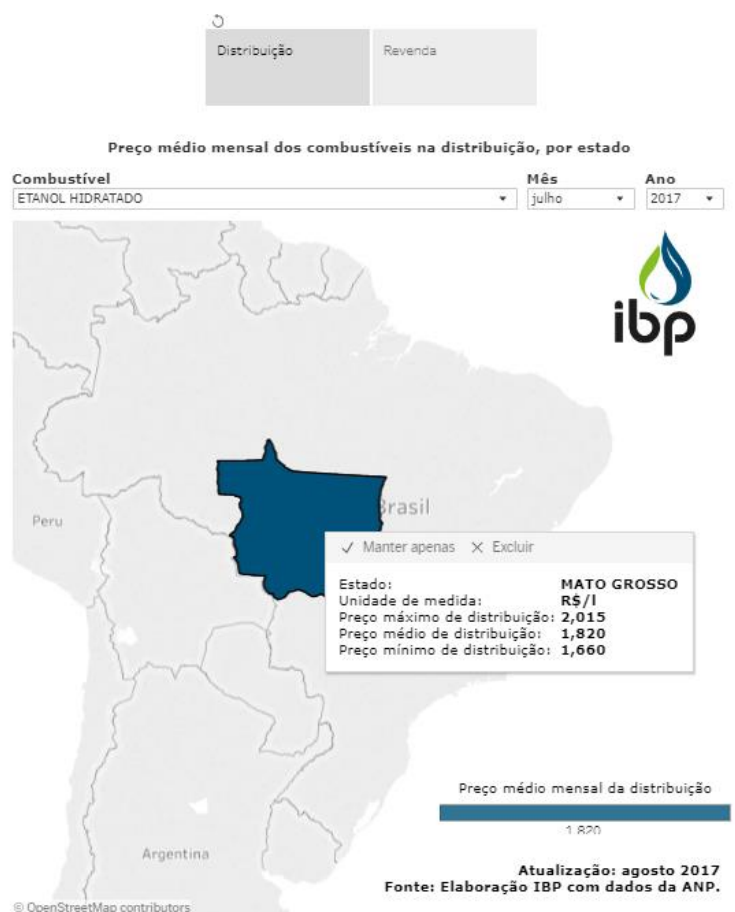
Segundo Royalfic (2014), o etanol, conhecido como álcool, é um combustível renovável, pois pode ser fabricado a partir da cana de açúcar e milho, cujo processo de produção segue os seguintes passos:

- Corte: O corte da cana pode ser manual ou mecanizado.
- Lavagem: São retiradas impurezas da cana, desde terra ou outros elementos. Figura 3.
- Moagem: Processo onde a cana é triturada, liberando o melado. Figura 4.
- Eliminação de impurezas: Ocorre a filtragem e aquecimento do melado para eliminar microrganismos. Figura 5.
- Fermentação: Quando o caldo está 100% puro ele sofre a fermentação, onde a partir disto apenas 10% de todo caldo se transforma em vinho fermentado, que contém o etanol. Figura 6.
- Destilação: Processo onde o vinho é separado e libera apenas o etanol, através de evaporação, o resultado disto é um etanol com grau 96%. Figura 6.
- Desidratação: Responsável pela retirada de água que se encontra no etanol, onde o mesmo passa a ter um grau de 99,5%. Figura 6.
- Armazenamento: Após todo o processo, o combustível é armazenado em tanques e posteriormente distribuído para empresas. Figura 7.

Conforme o estudo realizado pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, o custo de produção do litro de etanol está próximo de R\$ 1,50. A expectativa é que em 2020 o valor chegue próximo a R\$ 0,90. Esta redução será possível pelo desenvolvimento tecnológico e biotecnológico (NOVA CANA).

Segundo o Instituto Nacional de Petróleo, o valor médio do etanol para distribuição pode ser observado pela figura 2.

Figura 2 – Valores de distribuição do etanol.



Fonte: Instituto Nacional De Petróleo

No Brasil, toda a gasolina, seja ou não para uso automotivo, contém de 20% a 25% de etanol anidro (0,4% de água, em volume). A quantidade exata varia, conforme decisões políticas e econômicas governamentais. Praticamente todos os postos de combustíveis do país oferecem etanol hidratado puro (4% de água, em volume) para carros a álcool e modelos flex. Atualmente, quase 90% dos carros fabricados no Brasil possuem tecnologia flex (UNICA, 2012).

Segundo Persson (2011), a consequência do aumento do volume de etanol produzido é que o volume de etanol a granel transportado, manipulado e armazenado aumentará substancialmente nos próximos anos. Ao mesmo tempo, o diâmetro e o volume dos tanques de armazenamento também aumentarão.

A evaporação é a transformação de estado físico do líquido para o gasoso, que ocorre lentamente. Quando falamos que um elemento evapora facilmente significa que ele é volátil, a pressão de vapor dele é grande, ou seja, existem muitas moléculas no estado de vapor em relação às moléculas no estado líquido. A volatilidade gera uma maior preocupação quando o composto é inflamável como o etanol, onde deve-se tomar cuidado para não deixar recipientes abertos. A ligação intermolecular é a responsável por um composto ser mais ou menos volátil (OI EDUCA).

Esses vapores são formados devido a uma característica química do combustível, chamada volatilidade. Segundo (SOUZA, 2004b) volatilidade é a tendência de um líquido a evaporar.

No momento em que o tanque tem abertura para a atmosfera, através das conexões ou aberturas existentes, vapores armazenados ali saem e logo se espalham pela vizinhança. (PEREIRA; GOMES; OLIVEIRA, 2008).

A partir da temperatura de 13 °C o etanol começa a emitir vapores que, em contato com outras fontes de calor, possibilita que ele entre em combustão. (NOVA CANA).

Segundo Nova Cana, a densidade do etanol é 789 Kg/m³.

Calor específico se entende como a capacidade térmica mássica, que se relaciona com a quantidade de calor recebida e a sua variação térmica; o calor específico do etanol é 0,59 cal/g°C (MUNDO DA EDUCAÇÃO)

Segundo Indústria Hoje, a massa de etanol pode ser calculada utilizando sua densidade e seu volume através da Equação 2.

Equação 2 – Massa do etanol

$$M = \delta \times V \quad (2)$$

Onde:

M= Massa [Kg]

δ = Densidade [Kg/m³]

V = Volume [m³]

Figura 3 – Lavagem da cana.



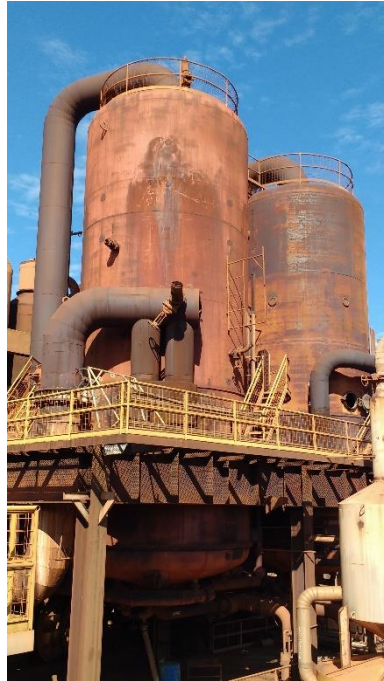
Fonte: Próprio autor

Figura 4 – Moagem.



Fonte: Próprio autor

Figura 5 – Eliminação de impurezas.



Fonte: Próprio autor

Figura 6 - Fermentação, Destilação e Desidratação.



Fonte: Próprio autor

Figura 7 – Armazenamento.



Fonte: Próprio autor

2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor influi em diversas áreas da engenharia, englobando processos que envolvem variação de energia em sua forma térmica.

Segundo Incropera et al (2008), “transferência de calor é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura no espaço.”

De acordo com Kern (1987), a transmissão de calor ocorre segundo uma diferença de temperatura entre uma fonte e um receptor de calor.

Kern (1987) explica que a transferência de calor busca estabilizar um sistema, onde a energia cedida por um corpo deve ser a mesma absorvida por outro corpo, quando se delimita o volume de controle do sistema.

Seguindo a lei da termodinâmica, toda energia cedida por um corpo é absorvida por outro, através de mecanismos de transferência de calor.

2.4 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor pode ocorrer de três maneiras diferentes: condução, convecção e radiação. Onde, para ocorrer a transferência de energia é necessária uma diferença de temperatura, esta transferência só cessa quando os dois meios atingem a mesma temperatura.

2.4.1 Condução

“Condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas.” (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

A condução de calor por um meio, depende da sua área, diferença de temperatura entre corpo e meio em que está exposto, pois quanto maior a área de transferência de calor, maior será o calor absorvido.

O fator determinante na taxa de condução de calor é a condutividade térmica, pois indica a capacidade de um material transmitir calor.

Segundo Çengel e Ghajar (2012), o calor de condução que ocorre por uma camada plana se dá pela diferença de temperatura, área superficial, condutividade térmica e inversamente proporcional a espessura da camada. Equação 3. Como o tanque apresenta grandes dimensões, pode-se considerar como uma camada plana.

Equação 3 – Condução de calor.

$$Q = \frac{KxAx(T1 - T2)}{L} \quad (3)$$

Onde:

K = Condutividade térmica [W/m°C].

A = Área superficial [m²].

T_{1,2}= Temperaturas [°C]

L = Espessura da camada [m].

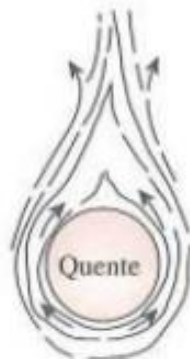
2.4.2 Convecção

Convecção é a transferência de calor entre uma superfície sólida, líquida ou gás próximo, que se movimenta e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

A convecção pode ser natural ou forçada.

- A convecção natural ocorre pela diferença de densidade no fluido ocorrendo devido a gradientes de temperatura. Figura 8.

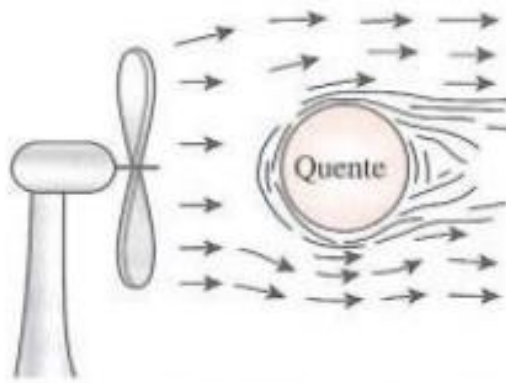
Figura 8 - Convecção natural sobre uma esfera quente estática.



Fonte: Çengel e Ghajar (2012)

- Convecção forçada ocorre devido a uma força externa que pode ser por um ventilador, bomba ou vento, forçando o fluido a fluir sobre determinada superfície. Figura 9.

Figura 9 - Convecção forçada sobre uma esfera quente estática.



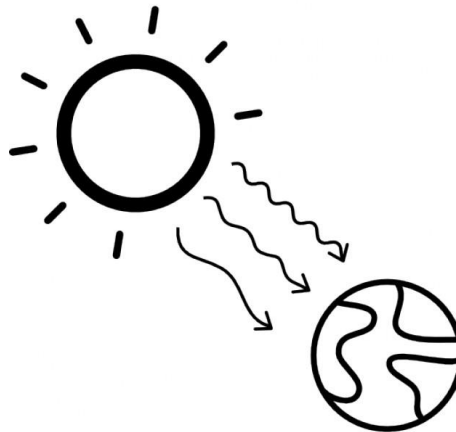
Fonte: Çengel e Ghajar (2012)

2.4.3 Radiação

Radiação é a energia que a matéria emite na forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons) como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

A radiação, diferente das outras formas de transferência de calor, não necessita de um meio para que ocorra a transferência de energia, com isso o modo como ela se propaga é mais rápido que as outras. Estamos a todo momento expostos a essa radiação, um exemplo é o sol, que transmite energia para a terra. Figura 10.

Figura 10 – Radiação



Fonte: Freepik

2.5 CALOR SENSÍVEL

O calor sensível é a quantidade de calor que um corpo recebe de qualquer fonte sem que o mesmo mude seu estado físico. Este fenômeno segue a equação fundamental da calorimetria, equação 4, que diz que a quantidade de calor para elevar a temperatura de um corpo é igual ao produto da sua massa, variação de temperatura e calor específico, que é uma constante de proporcionalidade dependente da natureza do corpo. (SÓ FÍSICA, 2018).

Equação 4 - Equação fundamental da calorimetria

$$Q = MC_p\Delta t \quad (4)$$

Onde:

Q = Calor Sensível [W]

M = Massa [Kg];

C_p = Calor específico [W/Kg°C];

Δt = Variação de temperatura [°C];

2.6 REVESTIMENTO TÉRMICO

Segundo Zanella (2015), o isolamento térmico tem a função de proteger as superfícies quentes, como as paredes de uma caldeira, ou frias, como as paredes de uma câmara frigorífica, utilizando materiais de baixa condutividade térmica (k). Como o objetivo é diminuir os fluxos de calor e quanto menor o valor de k , menor deverá ser a espessura necessária para uma mesma capacidade isolante.

O isolante adequado precisa ser leve de modo a não causar esforços de forma desnecessária no equipamento isolado, principalmente no caso de automóveis, barcos, aviões, ou ainda no caso de tetos ou outros locais de fábricas e edifícios onde o material terá de ficar suspenso. No geral, pode-se dizer que, quanto maior a resistência mecânica do material isolante, maior será o número de aplicações do mesmo, além do que apresentará menor fragilidade, o que é bem-vindo nos processos de transportes e na facilidade de montagem. (Zanella 2015 P.186).

Como o revestimento térmico será usado em tanques com combustíveis inflamáveis, se faz necessário que o mesmo não seja inflamável.

2.6.1 Materiais Isolantes Básicos

Os isolamentos usados na indústria, em sua maioria são feitos dos seguintes materiais: lã de vidro, plásticos expandidos, sílica diatomácea, vermiculita, lã de rocha, amianto, silicato de cálcio, carbonato de magnésio, aglomerados de fibras vegetais, cortiça. (Boabaid 2009. P.03).

A lã de rocha ou lã mineral e a lã de vidro, são obtidas fundindo minerais de sílica em um forno e enviando a massa fundida em um jato de vapor a grande velocidade. O produto que surge é parecido com a lã, que é incombustível e quimicamente inerte, devido aos espaços entre as fibras que contem ar por isso apresenta baixa condutividade.

A cortiça é proveniente de uma casca de uma árvore onde apresenta uma estrutura com ar enclausurados entre as células. (Boabaid 2009. P.04)

Os plásticos expandidos são basicamente poliestireno expandido e poliuretano expandido que são produzidos a partir de matérias plásticas, onde durante a fabricação sofrem uma expansão, causando formações microscópicas de bolhas internas. (Zanella 2015 P.186).

2.6.2 Formas de Isolantes térmicos

Os isolantes térmicos podem ser formados de inúmeras maneiras, variando apenas a sua constituição e o modo como serão usados. Alguns exemplos usualmente encontrados:

- Calhas: Podem ser utilizados em paredes cilíndricas, são feitos com plásticos expandidos, fibra de vidro com resinas fenólicas e cortiça, etc.
- Mantas: Este tipo de isolamento pode ser usado em diversos tipos de superfícies, planas, curvas ou irregulares, podendo ser usadas em tubulações, fornos, etc.
- Placas: Usualmente este tipo de isolamento pode ser aplicado em superfícies planas, como nos fogões, câmaras de resfriamento, etc.
- Flocos: usados para fazer o isolamento em locais com difícil acesso ou na produção de mantas costuradas com telas metálicas e fabricados a partir de lãs de rocha e vidro.
- Cordas: São usados em equipamentos ou locais onde estão sujeitos a montagem e desmontagem periódicas para fins de manutenção, encontramos estes em válvulas, registros, cabeçotes, juntas, etc.

- Pulverizados ou Granulados: Utilizados para preenchimentos de vãos com difícil acesso e em superfícies irregulares. (Boabaid 2009. P.04-07).

2.6.3 Manta de Lã de Rocha MIT 48

Apresenta resistência a altas temperaturas e um grau de conformação elevado, facilitando sua instalação. Uma de suas faces contém uma tela com arame galvanizado que pode ser utilizada como elemento de fixação.

São altamente indicadas para revestir superfícies cilíndricas, válvulas, flanges e tubulações com diâmetros variados. Existem em diferentes espessuras, 50, 63, 75 e 100 mm. O valor 48 encontrado na sua especificação indica a densidade da manta de lã de rocha, neste caso sua densidade é de 48 Kg/m³.

A condutividade térmica do material depende da sua densidade e da sua temperatura de operação. Tabela 1. (ISAR).

Tabela 1- Condutividade x Densidade x Temperatura Manta de Lã de Rocha.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Produto	Temperatura de Operação (°C)							
	0	100	200	300	400	500	600	700
MIT - 48	0,028	0,038	0,050	0,062	0,080			
MIT - 64	0,027	0,037	0,049	0,061	0,079	0,100		
MIT - 80	0,029	0,037	0,046	0,057	0,071	0,087	0,107	
MIT - 96	0,028	0,034	0,042	0,051	0,062	0,074	0,089	0,105

Fonte: ISAR

Possuem baixos coeficientes de condutividade térmica, ótimo custo benefício, podendo ser utilizadas como revestimento acústico, e não atacam as superfícies onde estão instaladas. Com relação a saúde, o material da lã de rocha não é cancerígeno.

Mas sua característica mais relevante para o estudo é em relação a seu comportamento ao fogo. Por serem incombustíveis, é o tipo de revestimento ideal para aplicação em tanques de armazenagem de etanol. (ISAR)

2.6.4 Feltro de Lã de Rocha FSR-32

São muito utilizadas em revestimentos termo acústicos, pois apresentam facilidade de instalação, diminuindo assim as perdas de material na instalação e apresentam baixos índices de condutividade térmica. Podem ser aplicados em coberturas, forros, telhas, equipamentos térmicos. (ISAR).

O fator 32 indica a densidade do material, que neste caso é 32 Kg/m³, onde sua espessura pode ser 25 ou 50mm. Sua condutividade térmica varia de acordo com a temperatura de operação a que estará submetida. Tabela 2. (ISAR).

Tabela 2 – Condutividade térmica Feltro de Lã de Rocha.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Produto	Temperatura de Operação (°C)								
	25	50	100	150	200	250	300	350	400
FSR - 32	0,032	0,034	0,039	0,044	0,050	0,057	0,062	0,075	0,081

Fonte: ISAR

Apresentam uma alta resiliência, que é a capacidade de recuperar sua espessura original após sofrer alguma deformação, também é repelente à água na forma líquida. Por apresentar baixa condutividade térmica, reduzem o fluxo de calor entre as superfícies e não atacam a superfície onde está instalada. A lã de rocha não apresenta componentes cancerígenos.

Por ser incombustível, este material pode ser aplicado de forma segura em tanques de armazenagem de etanol. (ISAR). Podem também ter revestimentos superficiais de alumínio reforçado.

2.6.5 Manta de Lã de Vidro MI 39 CT

Este material apresenta resistência a altas temperaturas, com um alto grau de conformação, utilizados para revestir caldeiras, turbinas, tubulações de grandes diâmetros, trocadores de calor.

A manta MI 39 CT apresenta uma densidade de 60 Kg/m³, podendo ser encontrada na espessura de 50, 75 e 100mm. Por ter baixos índices de condutividade térmica, são ótimas para isolantes térmicos. Com a sua variação de espessura e seu fácil manuseio, pode ser empregada em diversos ramos da engenharia, apresentando um bom custo benefício. Tabela 3. (ISAR)

Tabela 3 – Condutividade Manta Lã de Vidro.

Condutividade térmica (Kcal/m.h.°C)						
Temperatura de operação (°C)						
Produto	0	50	100	150	200	250
MI 46 CT	0,028	0,030	0,034	0,040	0,046	0,054
MI 41 CT	0,028	0,030	0,033	0,037	0,041	0,047
MI 39 CT	0,027	0,029	0,032	0,036	0,039	0,043

Fonte: ISAR

Para ambientes ao ar livre, é de extrema importância um revestimento com chapas de alumínio para que sua fixação fique ideal. Por ser um material incombustível, é uma ótima opção para revestir tanques de armazenamento de etanol.

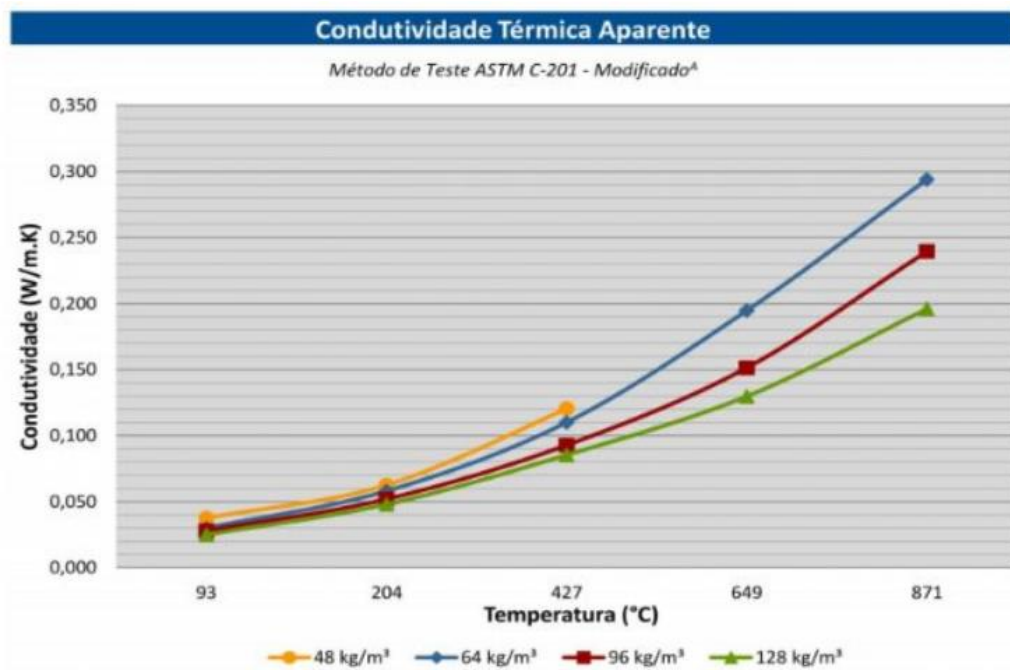
O material não é corrosivo então não ataca as superfícies onde estão instalados. (ISAR)

2.6.6 Lã Cerâmica THERMOFELT 6

A lã cerâmica é um material leve, resistente, flexível, baixa condutividade térmica, resistente a corrosão. São aplicadas em caldeiras, trocadores de calor, turbinas, tanques de armazenamento e isolamento em geral.

Apresenta uma densidade de 96 Kg/m^3 e pode ser encontrado em diversas espessuras, variando de 25 a 100 mm. A sua condutividade térmica depende da temperatura de trabalho. Figura 11. (ISAR)

Figura 11 – Condutividade Lã Cerâmica.



Fonte: ISAR

Este material pode ser aplicado em paredes corta fogo, o que faz dele um ótimo material para ser usado nos tanques pois não são materiais inflamáveis. Apresenta um alto índice a corrosão, ótima elasticidade e facilidade de manuseio.

2.6.7 Cálculo da Espessura do Isolante

Para conseguir dimensionar a espessura do isolante capaz de inibir a evaporação do etanol, se faz necessário a utilização da equação de condução de calor

(1), de forma manipulada. Onde precisamos da área superficial de troca térmica, a quantidade de calor responsável pela elevação da temperatura.

Com o cálculo da espessura, podemos encontrar valores monetários para o isolamento e com isso, avaliar sua viabilidade.

Segundo Boabaid (2010), a espessura do isolamento térmico pode ser calculada da seguinte forma:

Equação 5 – Cálculo espessura do Isolante.

$$L = \frac{k \cdot A \cdot \Delta t}{Q} \quad (5)$$

Onde:

L= Espessura do isolante [m]

K= Condutividade do isolante [w/m°C]

A= Área superficial [m²]

Δt = Diferença de temperatura [°C]

2.6.8 Escolha do Isolante Por Viabilidade Econômica

Quando se aumenta a espessura de isolante de qualquer superfície, a perda de calor da superfície diminui, porém, por outro lado aumenta o custo do isolamento. A espessura mais economicamente viável do isolamento é aquela na qual a soma do custo anual da perda de calor e do custo anual do isolamento seja mínimo. (Boabaid 2009. P.08).

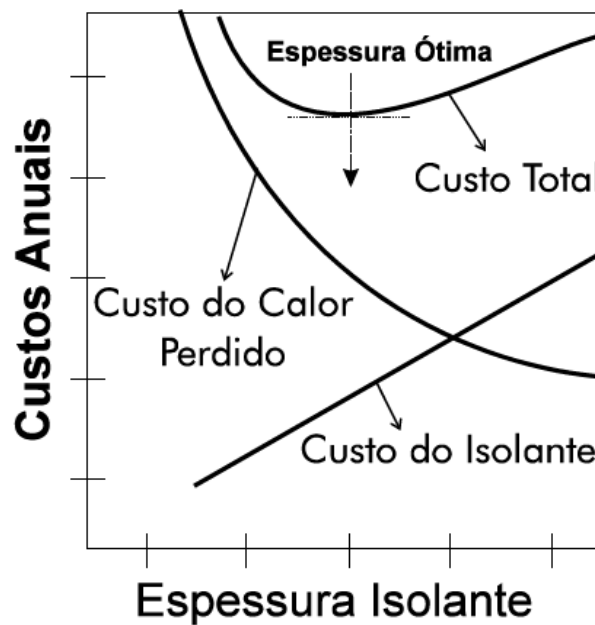
A base para o cálculo consiste em determinar a quantidade de calor perdida considerando a implantação de diversas espessuras de isolamento, obtendo-se o valor total de calor anual, levando em conta o tempo de funcionamento do equipamento. O valor em quilocalorias deve ser transformado em reais por ano, assim descobre-se o valor total da produção de calor. (Zanella 2015 P.188)

Encontrando o custo do isolamento nas diversas espessuras calculadas e colocando em um gráfico tendo no eixo x a espessura do isolamento e no eixo y o

custo anual, obtém-se uma curva decrescente para o custo do calor perdido, e uma curva ascendente para o custo do isolamento.

Levando em conta a soma dos custos (custo do calor perdido mais custo do isolamento), surgirá uma curva que deverá passar por um mínimo, ou seja, para determinada espessura de isolante haverá um custo mínimo anual. A espessura ideal do isolante é aquela que apresenta um custo total (custo do calor perdido + custo do isolante) mínimo, como pode ser observado na figura 12. (Zanella 2015 P.188)

Figura 12 – Grafico Espessura Isolante x Custo.



Fonte: Boabaid 2009

3 METODOLOGIA

O referente estudo se baseia em uma pesquisa de campo, pois os dados da pesquisa serão obtidos diretamente da realidade do objeto de estudo. Segundo Antônio Carlos Gil, o estudo de campo é mais aprofundado no que se refere às questões abordadas no estudo, onde utilizamos técnicas de observação direta das atividades. O pesquisador faz a maior parte do trabalho pessoalmente, pois é de extrema importância o mesmo estar presente no meio onde será realizada a pesquisa e permanecer no local o maior tempo possível, e por esse fator, pode-se dizer que este estudo oferece maior credibilidade e respostas mais confiáveis. Porém, o estudo de campo requer muito tempo do pesquisador e pelo fato da pesquisa ser feita por uma única pessoa, pode ocorrer um subjetivismo na análise dos dados obtidos.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar um estudo, a coleta de dados tem grande importância, pois são a base de todo o trabalho. Em sua grande maioria, as usinas não têm um controle da quantidade de etanol perdida por evaporação, logo, para o presente estudo a empresa se disponibilizou a monitorar a quantidade de etanol que foi evaporado no período de 28/06/2018 à 23/07/2018. Tabela 4.

Juntamente com os dados de evaporação, foram necessários os dados dos tanques de armazenamento de etanol, como altura, diâmetro e espessura. A temperatura em que o combustível se encontra no momento em que entra no tanque é um dos principais parâmetros levantados. Num grau de relevância de dados, a quantidade de etanol evaporado está no topo, logo abaixo está a temperatura de entrada do etanol em seguida as dimensões do tanque. Tabela 5.

Os dados restantes podem ser obtidos sem depender da usina de etanol. As informações referentes às temperaturas climáticas máximas e mínimas na região onde se encontra a usina no período determinado foram obtidas através da Tabela 6. O valor monetário de cada isolante térmico é obtido pela Tabela 7. Tendo como base valores citados no Item 2.2, encontramos o custo de produção, e pela Figura 2 citada anteriormente, o valor de distribuição do etanol.

Com todos os dados coletados, o primeiro passo é calcular a área superficial do tanque de etanol através da Equação 1, utilizando as medidas concedidas pela

usina na Tabela 5. Após calcular a área, pode-se obter a quantidade de calor necessária para evaporar a massa de etanol, que pode ser calculada pela Equação 2, utilizando dados da tabela 6 e com o calor específico citado no item 2.2 aplicados na Equação 4.

Após calcular o calor necessário para evaporar o etanol, segue-se para o dimensionamento do isolante térmico, levando em consideração os materiais citados no item 2.4. Para calcular esta espessura utiliza-se a Equação 5, levando em consideração a área superficial do tanque, diferença de temperatura, quantidade de calor e a condutividade térmica de cada isolante.

Calcula-se a espessura necessária de cada isolante para inibir a evaporação utilizando os quatro materiais citados no item 2.4. Após calcular a espessura dos quatro isolantes, deve-se utilizar a Tabela 7, para obter o valor monetário, levando em conta a espessura e área total.

Uma vez calculado o valor monetário da quantidade necessária de isolante térmico, utilizando dados citados no item 2.2, deve-se comparar este valor com a somatória dos gastos para produção e o valor de revenda do combustível. Esta comparação deverá indicar em meses o tempo necessário para cobrir os custos de compra do revestimento.

4 RESULTADOS ESPERADOS

4.1 INFORMAÇÕES LEVANTADAS

Para dar início aos cálculos, foram executados alguns levantamentos quanto as informações necessárias que servem como base para os cálculos.

Tabela 4 – Dados de Evaporação

			ENTRADA	SAÍDA
			5.086.065	0
VOLUME EVAPORADO EM RELAÇÃO COM SAÍDA (1)-(2)	L		5.086.065	
	%		100,000	
VOLUME EVAPORADO EM RELAÇÃO À MEDIÇÃO DIÁRIA (1)-(3)	L		105.391	
	%		2,072	

Fonte: Usina de Etanol

Tabela 5 – Dimensões do Tanque e Temperatura de Entrada Etanol

Tanque	3								
Capacidade (L)	5.484.200								
Diâm. Interno (m)	23,08								
Altura útil (m)	13,11								
Altura total (m)	13,48								
Cor	Branca								
Material	Aço 1020 A36								
Anel	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
Espessura das chapas (mm)	13,3	13,4	9,3	8,6	8,8	7,0	7,1	7,1	7,1
Temperatura entrada etanol (°C)	20,0								

Fonte: Usina de Etanol

Tabela 6 – Temperaturas no Período determinado

qui 28/06	33°/22°	0 mm	0 cm	29°/19°
sex 29/06	34°/18°	0 mm	0 cm	29°/19°
sáb 30/06	33°/19°	0 mm	0 cm	29°/19°
dom 01/07	33°/22°	0 mm	0 cm	29°/18°
seg 02/07	33°/19°	0 mm	0 cm	29°/18°
ter 03/07	33°/21°	0 mm	0 cm	29°/18°
qua 04/07	34°/18°	0 mm	0 cm	29°/18°
qui 05/07	34°/18°	0 mm	0 cm	29°/18°
sex 06/07	34°/17°	0 mm	0 cm	29°/18°
sáb 07/07	33°/18°	0 mm	0 cm	29°/18°
dom 08/07	33°/17°	0 mm	0 cm	29°/18°
seg 09/07	18°/15°	0 mm	0 cm	29°/18°
ter 10/07	18°/14°	0 mm	0 cm	29°/18°
qua 11/07	26°/14°	0 mm	0 cm	29°/18°
qui 12/07	32°/19°	0 mm	0 cm	29°/18°
sex 13/07	34°/17°	0 mm	0 cm	29°/18°
sáb 14/07	35°/18°	0 mm	0 cm	29°/18°
dom 15/07	35°/19°	0 mm	0 cm	29°/18°
seg 16/07	35°/20°	0 mm	0 cm	29°/18°
ter 17/07	35°/19°	0 mm	0 cm	29°/18°
qua 18/07	34°/20°	0 mm	0 cm	29°/18°
qui 19/07	34°/20°	0 mm	0 cm	30°/18°
sex 20/07	35°/18°	0 mm	0 cm	30°/18°
sáb 21/07	21°/15°	0 mm	0 cm	30°/18°
dom 22/07	29°/13°	0 mm	0 cm	30°/18°
seg 23/07	33°/16°	0 mm	0 cm	30°/18°

Fonte: Accuweather

Tabela 7 – Valor dos Isolantes

ISOLAMENTO	ESPESSURA	VALOR/m ²
MANTA LA ROCHA MIT-48	100mm	R\$48,92
FELTRO LA ROCHA THERMAX-FLEX 32	50mm	R\$18,50
MANTA LA VIDRO MI 39CT	50mm	R\$65,45
MANTA F. CERAMICA THERMOFELT - 96	100mm	R\$145,13

Fonte ISAR

Obs. Acréscimo de 10% de IPI

4.2 CÁLCULO ÁREA SUPERFICIAL

Utilizando a Equação 1 com base nos dados da Tabela 5, obtém-se o diâmetro de 23,08 metros e uma altura de 13,11 metros, possibilitando calcular a área:

$$A = \left(\frac{\pi \times 23,08^2}{4} \right) + \pi \times 23,08 \times 13,11 \quad A = 1370 \, m^2$$

4.3 CÁLCULO MASSA DE ETANOL EVAPORADO

Utilizando dados da tabela 4, com o volume de etanol de 105.391 litros, pode-se calcular a sua massa, levando em conta a sua densidade citada no item 2.2.

$$m = 789 \times \frac{105391}{1000} \quad m = 83153,5 \, kg$$

Porém, este valor é referente à massa evaporada no intervalo de 26 dias, devendo transformar este valor em Kg/h, para isso divide-se esta massa por 26 com intuito de deixar em Kg/dia, e em seguida divide-se por 24 para obter o valor em Kg/h.

$$m = \frac{83153,5}{26 \times 24} \quad m = 133,3 \, kg/h$$

4.4 CÁLCULO DO CALOR NECESSÁRIO PARA EVAPORAR A MASSA DE ETANOL

Após realizar o cálculo da área superficial e da massa de etanol evaporada, pode-se calcular o calor necessário para que ocorra essa evaporação, utilizando a Equação 4, com o valor de C_p citado no item 2.2, a temperatura em que o etanol entra no tanque e por fim levando em consideração o pior caso de temperatura externa 35°C.

$$Q = 133,3 \times 0,59 \times (35 - 20) \quad Q = 1180 \text{ Kcal/h}$$

O calor deve ser utilizado em watts, e para isso deve-se fazer uma simples transformação, onde 1 Kcal/h = 0,86 W, logo, a quantidade de calor será:

$$Q = 1180 (\text{Kcal/h}) / 0,86 = \boxed{1372,0 \text{ W}}$$

4.5 DIMENSIONAMENTO DOS ISOLANTES

Tendo como base o calor que precisa ser rejeitado, calculado anteriormente, área superficial do tanque, diferencial de temperatura e utilizando os valores de condutividade térmica dos isolantes citados no item 2.4, é possível calcular qual espessura o isolante deve ter para que seja possível inibir a evaporação do etanol, levando em consideração o diferencial de temperatura. Para realizar o dimensionamento, usa-se a equação 5.

$$L = \frac{k \cdot A \cdot \Delta t}{Q}$$

4.5.1 Espessura Manta Lã de Rocha MIT- 48

Obtendo o valor da condutividade térmica pela Figura 11 e utilizando dados previamente calculados, a espessura deste isolamento será:

$$L = \frac{0,029 \times 1370 (35 - 20)}{1372} \quad \boxed{L = 0,44 \text{ m}}$$

4.5.2 Espessura do Feltro Lã de Rocha FSR-32

Obtendo o valor da condutividade térmica pela Figura 12 e utilizando dados previamente calculados, a espessura deste isolamento será:

$$L = \frac{0,032 \times 1370 \times (35 - 20)}{1372} \quad \boxed{L = 0,48m}$$

4.5.3 Espessura da Manta Lã de Vidro MI 39 CT

Obtendo o valor da condutividade térmica pela Figura 13 e utilizando dados previamente calculados, a espessura deste isolamento será:

$$L = \frac{0,028 \times 1370 \times (35 - 20)}{1372} \quad \boxed{L = 0,42m}$$

4.5.4 Espessura da Lã Cerâmica THERMOFELT 6

Obtendo o valor da condutividade térmica pela Figura 13 e utilizando dados previamente calculados, a espessura deste isolamento será:

$$L = \frac{0,025 \times 1370 \times (35 - 20)}{1372} \quad \boxed{L = 0,38m}$$

4.6 VALORES MONETARIOS DOS ISOLANTES

Para saber o valor que custara o isolamento, utiliza-se dados da Tabela 7, comparando a espessura necessária com o valor especificado por metro quadrado. Lembrando que o isolante precisa ser aplicado em várias camadas para atingir a espessura necessária para inibir a evaporação. Utilizando as Equações 6 e 7, aplicadas nos quatro isolantes propostos, pode-se obter seus valores monetários.

Equação 6 – Área do Isolante em Função do Número de Camadas

$$A = N \times A_t \quad (6)$$

Onde: A = área total isolamento [m^2]
 N = número de camadas do isolante
 A_t = Área superficial do tanque [m^2]

Equação 7 – Valor monetário do isolamento

$$R\$ = A \times Valor/m^2 \quad (7)$$

Onde: A = Área total de isolante térmico [m^2]
 $Valor/m^2$ = valor monetário do isolante por metro quadrado [R\$]

4.6.1 Valor do Isolamento Manta Lã de Rocha MIT-48

A espessura do isolante fornecida pelo fabricante é de 100mm. Para satisfazer a condição de inibir a evaporação, se faz necessário o uso de 5 camadas de isolante. Logo, a área do isolamento será 5 vezes a área do tanque.

$$A_{\text{isolamento}} = 5 \times 1372m^2 \quad A = 6860m^2$$

De acordo com a Tabela 8, o custo do metro quadrado deste isolamento é R\$ 48,92 acrescido de 10% de IPI.

$$\text{Logo, o valor total será: } R\$ = (6860 \times 48,92) + 10\% \quad \boxed{R\$ = 369.150,32}$$

4.6.2 Valor do Isolamento Feltro de Lã de Rocha FSR-32

A espessura do isolante fornecida pelo fabricante é de 50mm. Para satisfazer a condição de inibir a evaporação, se faz necessário o uso de 10 camadas de isolante. Logo, a área do isolamento será 10 vezes a área do tanque

$$A_{\text{isolamento}} = 10 \times 1372\text{m}^2 \quad A = 13720\text{m}^2$$

De acordo com a Tabela 8, o custo do metro quadrado deste isolamento é R\$ 18,50 acrescido de 10% de IPI.

$$\text{Logo, o valor total será: } R\$ = (13720 \times 18,50) + 10\% \quad \boxed{R\$ = 279.202,00}$$

4.6.3 Valor do Isolamento Manta de Lã de Vidro MI 39 CT

A espessura do isolante fornecida pelo fabricante é de 50mm. Para satisfazer a condição de inibir a evaporação, se faz necessário o uso de 9 camadas de isolante. Logo, a área do isolamento será 9 vezes a área do tanque

$$A_{\text{isolamento}} = 9 \times 1372\text{m}^2 \quad A = 12348\text{m}^2$$

De acordo com a Tabela 8, o custo do metro quadrado deste isolamento é R\$ 65,45 mais 10% de IPI.

$$\text{Logo, o valor total será: } R\$ = (12348 \times 65,45) + 10\% \quad \boxed{R\$ = 888.994,26}$$

4.6.4 Valor do Isolamento Lã Cerâmica THERMOFELT6

A espessura do isolante fornecida pelo fabricante é de 100mm. Para satisfazer a condição de inibir a evaporação, se faz necessário o uso de 4 camadas de isolante. Logo, a área do isolamento será 5 vezes a área do tanque

$$A_{\text{isolamento}} = 4 \times 1372\text{m}^2 \quad A = 5488\text{m}^2$$

De acordo com a Tabela 8, o custo do metro quadrado deste isolamento é R\$ 145,13 mais 10% de IPI.

Logo, o valor total será: $R\$ = (5488 \times 145,13) + 10\%$ R\$= 876.120,80

4.7 ESCOLHA DO ISOLANTE ECONOMICAMENTE MAIS VIÁVEL

Após realizar os cálculos de custo dos isolantes, monta-se uma tabela para realizar a escolha do material com menor custo.

Tabela 8 – Custo dos Isolantes Para Inibir a Evaporação

Isolante	Valor
Manta Lã de Rocha MIT-48	R\$= 369.150,32
Feltro de Lã de Rocha FSR-32	R\$= 279.202,00
Manta de Lã de Vidro MI 39 CT	R\$= 888.994,26
Lã Cerâmica THERMOFELT 6	R\$= 876.120,80

Fonte: próprio autor

Tendo como base os dados da Tabela 8, o isolante com menor custo é o Feltro de Lã de Rocha FSR-32, com um valor de 279.202,00 Reais, apresentado na figura 13.

Figura 13 - Feltro de Lã de Rocha FSR-32



Fonte: ISAR

4.8 TEMPO PARA O ISOLANTE SE PAGAR

Como o isolante a ser usado já foi selecionado, é possível calcular o tempo necessário para que o mesmo se pague, tendo como base o custo de produção do etanol e o seu valor de distribuição na região centro-oeste do Estado do Mato Grosso, ambos dados citados no item 2.2 e com a quantidade de etanol evaporado, pois este foi produzido e acabou sendo perdido pela evaporação.

Sabendo que o custo de produção do litro de etanol está em R\$1,50 e o custo de distribuição médio em R\$ 1,82. Tendo base no valor em litros de etanol evaporado podemos calcular o quanto a usina gastou para produzir o combustível que foi perdido.

$$\text{R\$}_{\text{perdido}} = 105391 \times 1,50 \quad \text{R\$} = 158.086,50$$

Este é o valor mensal em reais que a usina gasta para produzir o combustível que será perdido pela evaporação.

Pode-se calcular também a quantidade em reais que a usina deixou de ganhar com a distribuição deste combustível.

$$\text{R\$}_{\text{lucro perdido}} = 105391 \times 1,82 \quad \text{R\$} = 191.811,62$$

Este é o valor em reais por mês que a usina deixa de lucrar com a venda do combustível que foi perdido.

Logo, o prejuízo da usina por mês com a evaporação do etanol, é o somatório do valor perdido mais o valor que deixa de ganhar com a revenda do combustível.

$$\text{R\$}_{\text{prejuízo}} = 158.086,50 + 191.811,62 \quad \boxed{\text{R\$} = 349.898,12}$$

Este é o valor em reais que a usina tem de prejuízo por mês. Para o isolamento se pagar deve-se analisar seu custo, juntamente com o prejuízo mensal da usina.

Para isso, utiliza-se o isolamento com menor custo de compra, sendo este o Feltro de Lã de Rocha FSR-32, pois apresenta o menor custo no valor de R\$ 279.202,00, com isso, levaria menos de um mês para que o isolamento se pague. A partir desta comparação, fica evidente que o uso do revestimento é viável, e se for levado em conta a vida útil do isolamento, fica ainda mais evidente sua viabilidade.

Como será utilizado à temperatura ambiente e revestido por chapas metálicas, sua durabilidade será de muitos anos, não podendo ser quantificado, pois estes apresentam certa validade quando usados em altas temperaturas. Como neste caso a temperatura será a do ambiente, pode-se dizer que o isolamento será útil por tempo indeterminado, a menos que ocorra algum acidente, choque físico, incêndio, qualquer evento que danifique sua estrutura física e propriedades químicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração a busca por melhorias e aperfeiçoamentos dentro das indústrias sucroalcooleiras, pode-se enfatizar a partir do presente trabalho a importância de buscar a diminuição da perda de combustível utilizando revestimento térmico, pois foi obtido um resultado satisfatório. Através deste foi possível dimensionar um revestimento capaz de inibir a evaporação de etanol e ao mesmo tempo ter uma boa viabilidade econômica.

Para que o sucesso do trabalho fosse possível, a coleta de dados foi essencial. Os dados de quantidade de etanol evaporado, dimensões do tanque e temperatura interna do mesmo, concedidos pela usina são os principais fatores, sem eles o estudo não seria possível, uma vez que dependia destes dados para calcular a quantidade de calor necessária para evaporar a massa de combustível. Para realizar este procedimento foi levado em conta dados climáticos coletados no período de estudo.

Tendo como base dados obtidos mediante pesquisa e dados calculados, foram encontrados possíveis isolantes para serem usados. Foi levado em conta também, o fato de não serem inflamáveis e o cálculo da espessura necessária para inibir a evaporação de etanol. Assim, encontra-se o valor monetário total do isolante térmico a ser utilizado e o compara com o custo de produção do etanol somado ao valor que a usina deixa de arrecadar com sua venda, possibilitando verificar a viabilidade de usar um revestimento térmico em um tanque de armazenagem de etanol em uma usina sucroalcooleira.

5.1 CONTRIBUIÇÕES

Algo estar em correto funcionamento não significa que não possa ser aperfeiçoado. Este pensamento pode ser considerado como a maior contribuição do presente estudo, uma vez que usinas de etanol existem há vários anos e atualmente não utilizam um revestimento térmico em seus tanques, que como foi comprovado anteriormente, inibe a evaporação de etanol e tem seu custo coberto em menos de um mês, promovendo um aumento no lucro da empresa, e diminuindo assim o desperdício do combustível e também a poluição do meio ambiente.

Ao implantar o objetivo de inibir perdas, possibilita-se que vários outros ramos e equipamentos adotem o revestimento térmico, possibilitando aumentar a produtividade e diminuir o desperdício. É essencial que engenheiros pensem em soluções para uma empresa, sistemas ou equipamentos, mesmo que no presente não se faça necessário ocorrer tal mudança. Uma vez que atualmente, uma “simples” alteração, neste caso um isolamento térmico, pode aumentar a lucratividade em números expressivos, pois após implantar tal isolamento a empresa deixa de perder aproximadamente R\$350.000,00 por mês, e sabendo que a vida do revestimento é praticamente infinita, conseguimos aumentar por mês o lucro da empresa em R\$350.000,00. Se for levado em conta que uma usina tem em torno de 6 a 8 tanques de 5.000.000 de litros e algumas utilizam tanques de 10.000.000 de litros fica evidente a utilização do revestimento térmico.

O mundo está passando por transformações, sempre buscando um maior nível de aproveitamento em tudo que está sendo produzido. Este estudo dá um passo além, ao pensar no futuro onde a produção de etanol tende a crescer à medida que os combustíveis fósseis tendem a se extinguir. Com o aumento de produção, o valor do combustível pode ser diminuído e com isso, um possível aumento em seu consumo.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do referido estudo, sugiram possibilidades de aplicações que podem ser estudadas, visando aumentar a produtividade e evitando desperdício através dos mesmos, sendo estes:

- Viabilidade do Uso de Revestimento Térmico em Tanques de Armazenagem com capacidade 10.000.000 de Litros.
- Sistema de Refrigeração Para Reduzir a Evaporação em Tanques de Armazenagem.
- Viabilidade de Usar Revestimento Térmico em Caminhões tanque.

6 REFERÊNCIAS

- ACCUWEATHER. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/cuiaba/44281/june-weather/44281?monyr=6/1/2018&view=table>> Acessado em 21 de ser. De 2018
- API 650: 2013. **WELDED TANKS FOR OIL STORAGE**. 12 ED. MARÇO 2013.
- BARROS, Stenio Monteiro de. **Tanques de Armazenamento**. Rio de Janeiro. Universidade Petrobras. Julho de 2014.
- Carlos Boabaid Neto, M.Eng. 2009 - Volume 2. **isolamento térmico**.
- ÇENGEL, Y. A., GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa**. 4. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2012
- ELISEU AVELINO ZANELLA JUNIOR, 2015. **Princípios de Transferência de Calor**.
- FREEPIK. **Símbolo da radiação solar**. Disponível em: <https://br.freepik.com/icones-gratis/simbolo-da-radiacao-solar_733501.htm> Acessado em 20 de set. de 2018.
- Gil, Antônio Carlos, 1946 – **Como elaborar projetos de pesquisa/ Antônio Carlos Gil – 4. Ed.** São Paulo: Atlas, 2002.
- INCROPERA, F. P., BERGMAN, T.L., DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (IBP). **Fórum Tanques de Armazenamento**. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/eventos/forum-tanques-de-armazenamento/>> Acessado em 12 de ago. de 2018.
- ISAR. Isolamentos térmicos e acústicos. **ISOLAMENTOS TÉRMICOS**. São Paulo.
- KERN, Donald Q. **Processos de transmissão de calor**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.
- Lima, U.A.; Basso, L.C.; Amorim, H.V., **Produção de etanol**. In: Lima, U.A.; Aquarone, E.; Borzani, W.; Schmidell, W. (Ed.) **Biotecnologia Industrial**, São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2001.
- MUNDO DA EDUCAÇÃO. **Área do cilindro**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/matematica/area-cilindro.htm>> Acessado em 12 de ago. de 2018.
- MUNDO DA EDUCAÇÃO. **Calor específico**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/calor-especifico.htm>> Acessado em 20 de ago. de 2018.

NOVA CANA. **Cana será apresentada como fonte de energia limpa na europeia green week**, São Paulo. 18/06/2009. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/88910092036979688/cana-sera-apresentada-como-fonte-de-energia-limpa-na-europeia-green-week/>>. Acessado em 10 de ago. de 2018.

NOVA CANA. **Custo de produção de etanol 2G será menor do que de 1G até 2020**, 2015. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/bndes-custo-producao-etanol-2g-menor-1g-2020-240315/>>. Acessado em 20 ago. de 2018.

NOVA CANA. **Propriedades Físico-Químicas do etanol**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/propriedades-fisico-quimicas/>>. Acessado em 14 ago. de 2018.

OI EDUCA. **Por que o álcool evapora?** Disponível em: <<http://www.oieduca.com.br/artigos/voce-sabia/por-que-o-alcool-evapora.html>> Acessado em 14 de ago. de 2018.

PEREIRA, V. B. DE; GOMES, P. L.; OLIVEIRA, E. A. D. N. **Estratégias ambientais em postos de combustíveis: o caso de posto de combustível ecológico**. In: IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói: Brasil, 2008.

PERSSON, H., 2011, **A Unique ethanol fire project**, Industrial Fire Journal.

ROYALFIC. **Como é produzido o etanol**, 2016. Disponível em: <<https://www.royalfic.com.br/como-e-produzido-o-etanol/>>. Acessado em 13 de ago. de 2018.

SÓ FÍSICA. **Calorimetria**. Disponível em <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Calorimetria/calor.php>> Acessado em 03 de out. de 2018.

SOUZA, S. G. **Um estudo sobre a evolução das câmaras de combustão dos motores do ciclo otto a gasolina e sua aplicação ao etanol hidratado como combustível alternativo**, 2004 b.