



**FACULDADE UNA DE UBERLÂNDIA
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ERIC DAVI DE NEVES BARROS
NINO EDSON DA SILVA DO CARMO
PRISCILA DAMARES ARAÚJO
REGINALDO BARBOSA DOS SANTOS
RICARDO GONÇALVES**

**OTIMIZAÇÃO NA ESCOLHA DE COMPRESSORES NO PROCESSO DE
REFRIGERAÇÃO**

**UBERLÂNDIA – MG
2018**

**ERIC DAVI DE NEVES BARROS
NINO EDSON DA SILVA DO CARMO
PRISCILA DAMARES ARAÚJO
REGINALDO BARBOSA DOS SANTOS
RICARDO GONÇALVES**

**OTIMIZAÇÃO NA ESCOLHA DE COMPRESSORES NO PROCESSO DE
REFRIGERAÇÃO**

Trabalho apresentado à Faculdade UNA de Uberlândia, como parte das exigências à conclusão da disciplina Projeto Integrador III, do 10º período, do curso de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof: Marcos Muniz

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um programa/ferramenta computacional para controle de sistemas de refrigeração industrial.

No processo de cristalização de margarina tenta-se uma forma de controle de temperatura preventiva: com o plano de produção e os parâmetros dos compressores de amônia em mãos, o problema foi modelado para a utilização no Excel utilizando apenas formulas. Com isso, é possível não somente obter a melhor combinação possível de compressores para aquele dia de produção como também estipular o consumo elétrico daqueles compressores, prever a demanda elétrica e verificar a quantidade de fluido refrigerante que está sendo perdido no processo.

Palavras-chave: Refrigeração. Compressores. Excel. Combinação. Industria.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVA	14
3	OBJETIVO	15
4	METODOLOGIA	16
4.1	FERRAMENTA COMPUTACIONAL	16
4.2	OTIMIZAÇÃO.....	16
4.3	COMBINAÇÕES SIMPLES.....	17
4.4	CALORIMETRIA	18
4.4.1	Transferência de calor	18
4.4.2	Estados da matéria.....	19
4.4.3	Calor latente	20
4.5	REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL	20
4.5.1	Componentes do Sistema de Refrigeração por Compressão.....	21
4.5.2	Ciclo da Amônia.....	22
5	DESENVOLVIMENTO	23
5.1	MODELAGEM DO PROBLEMA.....	23
5.2	CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL	24
6	RESULTADOS	26
7	CONCLUSÕES	27
	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

No ano de 1860, na França, o imperador Napoleão III precisava encontrar um substituto à manteiga que pudesse ter um sabor similar e que fosse mais barata para alimentar os pobres e, principalmente, o exército. Para isso, ofereceu uma recompensa a quem encontrasse tal solução. Neste sentido, o químico Hippolyte Mège-Mouriés inventou uma substância chamada óleo margarina. Ao misturar gordura de vaca com butirina e água e deixando-a solidificar, a substância ficava muito similar com a manteiga. Posteriormente, em 1871, na Holanda, surgiu a primeira fábrica de margarinas do mundo. Graças a revolução industrial, a humanidade foi a um patamar jamais atingido. Com os produtos deixando de ser manufaturados e se tornando maquinofaturados, a produção passou a ser feita sob larga escala. Com isso, foi possível a existência de mais produtos no mercado, gerando assim a concorrência e possibilitando que a população pudesse ter mais possibilidades de escolha, sem o monopólio. A qualidade de vida das pessoas envolvidas nesse novo sistema que, mais adiante, seria chamado de capitalismo, aumentou consideravelmente: Indústrias de consumo primário (farmacêuticas e alimentícias, por exemplo) começaram a surgir, suprimindo as necessidades básicas de todos aqueles que estivessem envolvidos no sistema.

Devido às melhorias no processo de produção da margarina ao passar dos anos, hoje tem-se um processo muito bem estruturado. Existem várias etapas no processo de fabricação de margarinas, que são, resumidamente:

- Neutralização: Ao receber o óleo vegetal, deve-se eliminar a acidez separando dele os ácidos graxos;
- Branqueamento: Os resíduos da etapa anterior são retirados por meio da filtração, ficando assim com uma coloração branco-transparente;
- Desodorização: Nesta etapa retira-se qualquer forma de odor e sabor do óleo;
- Hidrogenação: Nem toda margarina passa por esta etapa do processo. Nela, é adicionado hidrogênio ao óleo para aumentar a durabilidade do alimento;

2 JUSTIFICATIVA

Devido ao alto custo de energia elétrica e aos seus aumentos de tarifas inesperados passou a se pensar no uso da energia de forma mais eficiente.

. Neste contexto, identificou-se que o processo de cristalização, onde a margarina aquosa torna-se um creme, é uma das etapas de produção que mais consome energia elétrica. Nesta etapa são utilizados sete compressores de amônia de modo que nenhum possui inversor de frequência devido aos cortes financeiros internos e tão pouco sistemas automatizados (denominados Sistema Auto-Stage). Vislumbrando uma solução de fácil implementação e baixo custo este trabalho é focado em um projeto de melhoria do sistema de refrigeração de margarinas

3 OBJETIVO

A partir do que foi exposto, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma ferramenta que auxilie o operador da sala de máquinas a escolher qual a melhor combinação de compressores para um determinado dia de produção.

- Objetivos específicos:
 - Coletar os principais ingredientes de cada margarina para efetuar os cálculos de calor específico e calor de fusão;
 - Coletar o valor da temperatura de entrada e de saída do cristalizador de cada margarina;
 - Coletar os dados de placa dos compressores de amônia;
 - Coletar os dados de placa dos motores dos compressores de amônia;
 - Modelar o problema e criar um programa computacional em Excel capaz de escolher os melhores compressores com base no plano de produção do dia;

4 METODOLOGIA

4.1 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O software utilizado para a execução dos trabalhos é o Microsoft Office Excel, um editor de planilhas que é produzido pela empresa Microsoft.

A grande vantagem do Excel é o fato de que nele é possível criar planilhas dinâmicas e automatizadas graças às funções, oriunda das linguagens de programação de alto nível, só que de forma extremamente facilitada.

4.2 OTIMIZAÇÃO

Empresas querem produzir o máximo possível gastando o mínimo de recursos possíveis: É essa a ideia central da otimização. A indústria vem cada vez mais buscando não apenas atingir seus objetivos, mas também de forma sustentável, ou seja, vêm buscando cada vez mais a eficácia aliada à eficiência.

Existem muitas vantagens na otimização de processos industriais, dentre eles a economia de recursos de qualquer natureza (dinheiro, materiais, pessoas, tempo e etc.). Além disso, tem-se a preservação ambiental, a qual a indústria tenta utilizar menos recursos naturais nos seus processos.

Basicamente, um problema de otimização é de simples resolução, bastando apenas conhecimentos de cálculos diferenciais. Geralmente, o problema é dividido em três etapas bastante intuitivas:

- Modelagem: Anota-se todas as variáveis do problema, relacionando suas leis físicas;
- Obtenção da Função: Obtém-se uma função física relacionando todas variáveis;

- Calculo Diferencial: Obtém-se por meio do cálculo diferencial os pontos críticos da função obtida anteriormente. Com isso, tem-se as melhores e as piores soluções para seu problema.

4.3 COMBINAÇÕES SIMPLES

Combinação simples é um tipo de agrupamento no estudo sobre análise combinatória. Os agrupamentos formados com os elementos de um conjunto serão considerados combinações simples se os elementos dos agrupamentos diferenciarem apenas pela sua natureza.

Se considerarmos o conjunto $B = \{A, B, C, D\}$ formados por 4 pontos não colineares (que não pertence a mesma reta), qual a quantidade de triângulos que podemos formar? Esse é um problema de análise combinatória, pois iremos formar agrupamentos. Nesse caso o agrupamento é formar triângulos utilizando 4 pontos não colineares. Se destacarmos dois agrupamentos formados teremos: ABC e BCA, esses são triângulos formados com os mesmos pontos, mas em ordens diferentes que torna os triângulos iguais. Portanto, os agrupamentos formados nesse exercício são combinações.

As combinações simples podem ser consideradas um tipo particular de arranjo simples, pois os agrupamentos formados nos arranjos são diferenciados pela ordem e pela natureza dos seus elementos. A combinação simples são esses arranjos diferenciados apenas pela natureza de seus elementos.

Considerando o exemplo acima veja todas as possibilidades de triângulos formados com os quatro pontos não colineares:

ABC, BAC, CAB, DAB

ABD, BAD, CAD, DAC

ACB, BCA, CBA, DBA.

ACD, BCD, CBD, DBC

ADB, BDA, CDA, DCA

ADC, BDC, CDB, DCB

Um Para encontrar essa quantidade de agrupamentos formados em uma combinação simples utilizamos a seguinte fórmula:

$$C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!}$$

$$p! (n - p)!$$

n é a quantidade de elementos de um conjunto

p é um número natural menor ou igual a n , que representa a quantidade de elementos que irão formar os agrupamentos.

4.4 CALORIMETRIA

Na termodinâmica existe um ramo que estuda as trocas de energia na forma de calor entre corpos: a calorimetria. Calor então é a transferência de energia térmica de um sistema para outro.

Tomando como exemplo dois corpos que possuem temperaturas diferentes. Ao serem colocados em contato térmico, a natureza tentará entrar em equilíbrio, criando um vetor gradiente na direção do corpo mais frio para o corpo mais quente. Contrário a esse gradiente surgirá um fluxo de calor, ou seja, o corpo mais quente começará a se esfriar e o mais frio começará a esquentar, até que ambos possuam a mesma temperatura.

4.4.1 Transferência de calor

A transferência de calor pode ocorrer de três formas: radiação, condução e convecção:

- **Radiação:** Também conhecida como irradiação, essa é a forma de transferência de energia térmica proveniente das ondas eletromagnéticas. Não é necessário que haja um meio para que ocorra a transferência, como podemos ver na transferência de calor entre o Sol e a terra.

Condução: É uma transferência que ocorre com a agitação das moléculas. Ao colocar uma barra de ferro em contato com o fogo, por exemplo, suas moléculas ficam agitadas e começam a chocar com outras moléculas da barra. Essa colisão transfere a energia mecânica de uma molécula para outra, que colide com uma terceira, e assim por diante.

Com isso, toda a temperatura é transmitida na barra. Metais são excelentes condutores de calor por terem facilidade de transferir essa energia mecânica quase que de forma elástica.

- **Convecção:** É a transferência que ocorre, principalmente, em gases e líquidos. Ao esquentar água em uma panela, a parte que está próxima ao fogo começa a aquecer. Esse aquecimento faz com que o líquido nessa área fique menos denso que o líquido frio, e então a parte quente troca de lugar com a fria por densidade. Então, a parte fria é aquecida até ficar com densidade menor que a outra, e há a troca de posição novamente. Esse ciclo se repete até que o fluido atinja o equilíbrio térmico com a chama. É por isso que, quando colocamos água para ferver, verificamos que a mesma fica agitada.

4.4.2 Estados da matéria

Para a física clássica, a matéria é encontrada em três estados físicos na natureza: sólido, líquido e gasoso. Fisicamente, o que determina o estado da matéria é o quão próximo estão as partículas que a constitui [22].

- **sólido:** É o estado em que um elemento se encontra quando as moléculas que o constitui estão extremamente próximas. Esse estado faz com que a matéria possui uma forma bem definida, volume constante e as forças moleculares predominantes são as de coesão (ou atração).

- **líquido:** Aqui, as moléculas estão mais afastadas que no estado sólido, mas seu volume ainda é constante. Existem mais forças de repulsão e a forma que a matéria se assume nesse estado depende do recipiente no qual elas estão situadas, além da facilidade de escoamento.

- **gasoso:** O movimento molecular nesse estado é o maior entre os anteriores. Pelo fato das forças moleculares predominantes serem de repulsão, não existe uma forma nem volume definido, apesar de tomarem as formas dos recipientes no qual estão situadas assim como no estado líquido. A característica marcante desse estado é a capacidade de compressão que a matéria tem quando está nesse estado.

4.4.3 Calor latente

Conforme falado anteriormente, a temperatura de um corpo muda quando um corpo recebe energia térmica. Quando há mudança no estado físico da matéria que está tendo sua temperatura alterada, essa energia térmica é chamada de calor latente ou calor de transformação [24]. Para calcular essa energia, temos a seguinte equação:

$$Q = m \cdot L \text{ [cal]}$$

Onde:

- Q: É o calor latente, em [cal];
- L: É o calor latente do material, em [cal/g];
- m: É a quantidade de massa, em [g];

Cada material possui seu calor latente, sendo este obtido experimentalmente. Ela indica a quantidade mínima de calor necessário para que um material mude seu estado físico.

4.5 REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

A manipulação térmica foi um dos maiores avanços da humanidade. Em estudos históricos, percebe-se a constante tentativa do ser humano de manipular calor: Em impérios antigos soberanos os grandes reis mandavam seus escravos trazer grandes pilhas de gelo para refrescarem as bebidas durante o verão. Com a invenção dos microscópios no século XVIII, descobriu-se a existência de microorganismos e que eles são os responsáveis pela decomposição dos alimentos. Mais tarde, conseguiram provar que é possível retardar a decomposição dos alimentos se este alimento for resfriado.

Com o passar dos tempos, todas as áreas da sociedade utilizam de máquinas térmicas: Freezers, aparelhos de ar-condicionado, geladeiras, compressores, e etc. Temos a refrigeração comercial, residencial e industrial.

4.5.1 Componentes do Sistema de Refrigeração por Compressão

Focando na refrigeração industrial onde o sistema foi aplicado, temos compressores de amônia para a refrigeração no processo de confecção de margarinas.

No ciclo de refrigeração da citado existem alguns componentes básicos, que são:

- Fluido Refrigerante: É o produto químico utilizado no processo de transporte de calor em sistemas de refrigeração. Na fábrica de margarina de Uberlândia, utilizam a amônia devido à sua grande capacidade de troca térmica e ao seu baixo preço.

- Compressor: É responsável por aspirar e comprimir o vapor resultante da troca térmica no evaporador. Esse vapor chega ao compressor em baixa pressão/temperatura e sai em alta pressão/temperatura.

- Condensador: É um trocador de calor instalado em ambientes externos. Ele condensa o gás superaquecido proveniente do compressor, fazendo-o retornar ao estado de líquido saturado [26].

- Válvula de Expansão: É uma válvula que permite a expansão do líquido saturado devido a um diferencial de pressão (queda de pressão) no refrigerante, resultando em uma mistura de líquido e vapor sub-resfriado.

- Evaporador: É um trocador de calor instalado no interior da câmara. Ele recebe o fluido refrigerante, amônia, na forma líquida (sub-resfriada), realizando troca térmica entre as paredes dos tubos do equipamento com a margarina. O resultado dessa transferência de calor faz com que o refrigerante evapore.

- Sub-Cooling: Sendo opcional e instalado apenas para aumentar a eficiência Energética, o sub-cooling é um trocador de calor que faz com que o vapor liberado pelo evaporador libere sua energia térmica na água, que está a temperatura ambiente.

- Trocador de Calor: É onde o fluido refrigerante irá fazer a troca térmica com a margarina. O trocador de calor é um equipamento que permite essa troca sem que os mesmos se misturem.

- Reservatório: É onde o fluido refrigerante fica estocado.

4.5.2 Ciclo da Amônia

Denominado pelos técnicos de refrigeração como ciclo da amônia, o processo de refrigeração se dá pelo seguinte protocolo:

- a) O líquido saturado sai do reservatório em alta pressão e a temperatura ambiente, passando então pelo sub-cooling. Com isso, a temperatura tem uma queda média de 15%, indo direto para a válvula de expansão;
- b) Na válvula de expansão, o líquido sofre uma queda brusca de pressão e temperatura, indo para temperaturas inferiores a 0°C;
- c) No evaporador, o fluido sub-resfriado recebe o calor proveniente da margarina, fazendo a amônia evaporar;
- d) O vapor gerado no interior do evaporador é aspirado pelo compressor e, logo em seguida, é comprimido a alta pressão e temperatura [26];
- e) Por último, o vapor superaquecido segue para o condensador, sendo liberado para o meio externo todo o calor recebido durante o processo de compressão, fazendo com que o fluido refrigerante volte ao estado de líquido saturado, fechando assim o circuito.

5 DESENVOLVIMENTO

Na fábrica de margarinas da BRF – Unidade Margarinas, existem sete compressores de amônia, de diferentes potências, todos interligados num único circuito de refrigeração. Antes da margarina ser cristalizada, ela passa por um processo de resfriamento sem mudança de estado. Então, a mesma vai para um trocador de calor, que está em contato com o sistema de refrigeração: de um lado do trocador, tem-se a amônia fria e, do outro, a margarina quente. Tendo em vista que os compressores podem operar simultaneamente, ou não, de acordo com o volume da produção, o objetivo deste trabalho é criar uma ferramenta capaz de mostrar ao operador de refrigeração qual a melhor combinação de compressores para um dado plano de produção no dia.

A plataforma escolhida para a confecção do programa foi o Excel pelo simples fato de que na BRF existe toda uma extensa burocracia na instalação de softwares de terceiros.

5.1 MODELAGEM DO PROBLEMA

O diagrama de blocos simplificado do sistema é visualizado na Figura 1. O projeto consiste de um programa que orientará o operador de frio da sala de máquinas a escolher o melhor compressor de amônia possível para um determinado plano de produção, visando a economia de energia e, ao mesmo tempo, que a carga térmica seja suprida.

Figura 1: ESQUEMA DO SISTEMA



Para resolver o problema, foi criada uma planilha no EXCEL contendo formulas que auxiliaria os operadores nas suas escolhas.

5.2 CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Coleta de dados de ingredientes das formulas de margarina e capacidade de linhas de produção;

Figura 2: Dados dos ingredientes da margarina.

Margarinas								
Nome	Código	Porcentagem		Cp	Ls	Ts (°C)	Ti (°C)	Tf (°C)
		Óleo	Água					
<i>Deline</i>	<i>DEL</i>	55,00%	45,00%	0,73	-40,88	38	36	15
<i>Qualy</i>	<i>QUA</i>	80,00%	20,00%	0,60	-23,10	33	38	12
<i>Claybom</i>	<i>CLA</i>	60,00%	40,00%	0,70	-37,32	32	37	12
<i>Becel Original</i>	<i>BEO</i>	65,00%	35,00%	0,68	-33,77	32	42	18
<i>Becel Manteiga</i>	<i>BEM</i>	50,00%	50,00%	0,75	-44,44	32	41	8
<i>Becel Pro-Activ</i>	<i>BPA</i>	50,00%	50,00%	0,75	-44,44	32	43	19

Figura 3: Capacidade das linhas de produção.

Linhas		
Linha	Código	Vazão (kg/h)
<i>Linha 02 - a</i>	<i>L2A</i>	<i>4580</i>
<i>Linha 02 - b</i>	<i>L2B</i>	<i>3500</i>
<i>Linha 03</i>	<i>L3</i>	<i>6875</i>
<i>Linha 04</i>	<i>L4</i>	<i>2700</i>
<i>Linha 05</i>	<i>L5</i>	<i>4760</i>

Utilizando as formulas de calorimetria conseguimos encontrar calor necessário em kcal/h para cristalização de margarinas e utilizamos os dados dos compressores para comparar quais atenderiam o processo.

Figura 4: Potência térmica em kcal.

Calor Necessário			
Linha	Produto	t (h)	Calor Mín. (kcal/h)
<i>L2A</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>L2B</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>L3</i>	<i>QUA</i>	<i>10,91</i>	<i>-323,79</i>
<i>L4</i>		<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>L5</i>	<i>BEO</i>	<i>9,45</i>	<i>-259,49</i>

Figura 5: Dados dos motores e compressores.

Dados dos Compressores			
Comp.	Potência (kCal/h)	Potência (CV)	Potência (kWh)
1	-220,7	175	128,63
2	-376,5	175	128,63
3	-376,5	175	128,63
4	-220,7	175	128,63
5	-246,7	200	147,00
6	-246,7	200	147,00
7	-225,9	175	128,63

Com 7 compressores disponíveis temos um total de 128 combinações diferentes. Com isso conseguimos dimensionar uma formula (fitness) capaz de fazer essa escolha automaticamente. Onde o resultado será o critério de escolha da melhor combinação.

$$Fitness = \frac{k}{P_{el} \cdot (P_{termFornecido} - P_{termNecessario})}$$

Onde:

- K: É uma constante. Ela é apenas para uma melhor visualização do valor da fitness, que tende a ser um valor muito pequeno. Experimentalmente, o valor ideal encontrado foi -10^{-6} .

- P_{el} : É a potência elétrica do compressor i , em [w];
- $P_{termicaFornecida}$: É a potência térmica fornecida pelo compressor, em [kCal/h];
- $P_{termicaNecessaria}$: É a potência térmica necessária para o processo, em [kCal/h];

6 RESULTADOS

Supondo que em um dia a fábrica de margarinas irá produzir 75.000 kg de margarina “QUA” na linha 3 e 45.000 kg de margarina “BEO”. Inserimos os dados conforme abaixo:

Figura 6: Resultados do processo

<i>Plano de Produção</i>		
Linha	Margarina	Quantidade (kg)
L2A		
L2B		
L3	QUA	75.000
L4		
L5	BEO	45.000
Total (kg)		120.000

<i>Informações</i>	
Potencia Necessária (kCal/h)	-583,28
Potencia Fornecida (kCal/h)	-597,20
ΔP (kCal/h)	-13,92
Consumo (kW/h)	2.431,99

<i>Melhor Combinação</i>							
Fitness	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
279,23	0	0	0	0	0	1	1

<i>Ajustes</i>	
Qualidade	1

E já temos como saída a potência necessária, fornecida, consumo aproximado (kWh) e a melhor combinação de compressores para o processo de refrigeração para o plano fornecido.

Em 4 dias de testes, teve-se estimado uma média de economia de 30.000,00 kWh mensais que é aproximadamente R\$ 7.000,00 mensais.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta de aplicação de uma ferramenta/programa computacional para otimizar a utilização de compressores para o processo de refrigeração de margarinas em uma indústria. Apesar dos resultados otimistas, infelizmente os testes de verificação da eficácia da metodologia foram realizados em apenas uma semana (devido ao corte de produção), e a quantidade de dados obtidos não foi suficiente para definir a confiabilidade do estágio em que a ferramenta pode chegar. Fica como sugestão para trabalhos futuros a inclusão de mais variáveis externas, como temperatura ambiente e umidade, além de melhoramentos na própria ferramenta, deixando-o mais abrangente possível. Não obstante, percebe-se que a metodologia utilizada apresenta grande potencial para otimização dos processos de refrigeração, de forma a melhorar a utilização da energia elétrica.

REFERÊNCIAS

Portal Alimentos Processados – Acessado 16/11/2018 16:55

<http://www.alimentosprocessados.com.br/industria-evolucao-industria-de-alimentose-bebidas-no-brasil.php>

[SEBRAE – Acessado 19/11/2018 15:14

Link:https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RJ/Menu%20Institucional/Sebrae_SET_dez12_alim.pdf

Carmichael, E B (Apr 1973). "Michel Eugene Chevreul. Experimental chemist and physicist: lipids and dyes". The Alabama journal of medical sciences. Pág. 223 a 232.

Portal ERP: CIOs Buscam Reduzir Custos – Acessado 13/11/2018 09:17

Link: <https://portalerp.com/noticias/2280-cios-buscam-otimizar-custo>

Luiz Sampaio, José (2005). Calorimetria. São Paulo: Atual Editora.

Portal Mundo Educação.

Link:<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/radiacao-conducao-conveccao.htm>.
Consultado em 24/11/2018 as 21:08.

Portal Mundo Educação.

Link: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/estados-fisicos-materia.htm>.
Consultado em 24/11/2018 as 21:14.

Portal Mundo Educação.

Link: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/calor-sensivel.htm>
Consultado em 24/11/2018 as 21:59.

Halliday, David (2011). Fundamentos de Física, 8ª ed, vol. 2.

Servidor de pastas da UFPR. Acessado 16/11/2018, as 01:29.

Link: https://docs.ufpr.br/~rudmar/refri/material/1_INTRODUCAO.pdf