

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR – MG**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**  
**IASMIN ARIANE DE CARVALHO**

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM TROCADOR DE  
CALOR DE PLACAS DO TIPO CHEVRON**

**FORMIGA-MG**

**2018**

IASMIN ARIANE DE CARVALHO

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM TROCADOR DE CALOR  
DE PLACAS DO TIPO CHEVRON

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Química do UNIFOR-MG, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química.  
Orientador: Prof. M.e. Emerson Paulino  
dos Reis.

FORMIGA-MG

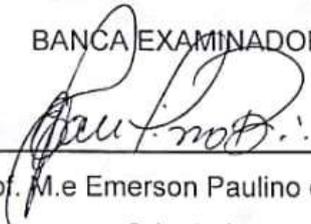
2018

lasmin Ariane de Carvalho

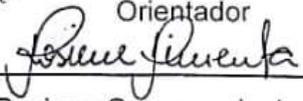
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM TROCADOR DE CALOR  
DE PLACAS DO TIPO CHEVRON

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Química do UNIFOR-MG, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química.  
Orientador: Prof. M.e Emerson Paulino  
dos Reis.

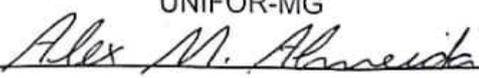
BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M.e Emerson Paulino dos Reis

Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta

UNIFOR-MG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. D.r Alex Magalhães de Almeida

UNIFOR-MG

Formiga, 9 de novembro de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UNIFOR-MG

C331 Carvalho, Iasmin Ariane de.  
Análise de eficiência energética de um trocador de calor de placas do  
tipo chevron / Iasmin Ariane de Carvalho. – 2018.  
39 f.

Orientador: Emerson Paulino dos Reis.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química)-Centro  
Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Trocador de calor. 2. Eficiência energética. 3. Energia. I. Título.

CDD 660.2842

Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária  
Rosana Guimarães Silva – CRB6-3064

## **Agradecimentos**

A Deus por sempre que precisei, me deu forças para continuar e jamais desistir, sem Ele não teria chegado onde cheguei.

A minha mãe, que mesmo quando tinha medo deu machucar, me apoiou para continuar.

A Mãinha minha avó, que sempre cuidou de mim, e sempre que caí estava ao meu lado me ajudando a levantar.

A tia Celina e tia Marília, pelo incentivo que eu precisava nas horas certas e fundamentais.

Ao meu pai, pelos seus conselhos na hora certa.

Ao Guilherme que esteve ao meu lado nessa jornada.

Ao Prof. Me. Emerson Paulino dos Reis, que me orientou todas às vezes que necessitei.

Aos meus professores, pelos ensinamentos e amizade compartilhada nesses anos.

Ao UNIFOR-MG pela infraestrutura.

## RESUMO

A eficiência energética vem ganhando visibilidade com o passar do tempo, por seus indicadores de sustentabilidade energética, sendo eles, ambiental, social, econômico e tecnológico. Este trabalho tem como objetivo a elaboração do projeto em um trocador de calor de bancada de placas do tipo Chevron, para verificar a viabilidade energética e econômica na reutilização da água quente que é descartada pelo trocador, assim mostrando os indicadores e seus respectivos resultados. O projeto foi desenvolvido para uma bancada de pesquisa, que é utilizada em laboratório para teste e estudos sobre trocadores de calor tipo placas, com um sistema de aquecedor de água à gás, medidores de vazão, rotâmetro, sensores de temperatura, circuito de tubulação, válvulas de bloqueio, bomba e caixa d'água. Avaliaram-se a energia trocada entre a água quente que veio do aquecedor a gás e a água fria, consumo de gás, energia térmica contida na água, economia energética e a financeira. Segundo os resultados obtidos, o consumo energético é de 11,84 kW com um consumo de gás de 1 kg/h.. Já com o projeto proposto o consumo energético é de 7,7 kW/h com um consumo de gás de 0,35 kg/h no projeto proposto, custando R\$ 2,08. A economia energética foi de 35% e a financeira de 64%, com o experimento proposto o payback do projeto é de 53 horas, com experimentos de 1 hora cada. Sendo validado a eficiência energética nesse projeto.

Palavras-chave: Trocador de calor. Eficiência energética. Energia.

## ABSTRACT

Energy efficiency has been gaining visibility over time, for its indicators of energy sustainability, being they, environmental, social, economic and technological. This work aims to design the project in a plate heat exchanger of Chevron type, to verify the energy and economic viability in the reuse of the hot water that is discarded by the exchanger, thus showing the indicators and their respective results. The project was developed for a research bench, which is used in laboratory for testing and studies on plate type heat exchangers, with a gas water heater system, flow meters, rotor, temperature sensors, piping circuit, lock valves, pump and water tank. The energy exchanged between the hot water that came from the gas heater and the cold water, gas consumption, thermal energy contained in the water, energy and financial savings were evaluated. According to the results obtained, the energy consumption is 11.84 kW with a gas consumption of 1 kg / h .. Already with the proposed project the energy consumption is of 7.7 kW / h with a consumption of gas of 0, 35 kg / h in the proposed project, costing R \$ 2.08. The energy savings were 35% and the financial contribution was 64%, with the proposed experiment, the payback of the project is 53 hours, with experiments of 1 hour each. Being validated the energy efficiency in this project.

Keywords: Heat exchanger. Energy efficiency. Energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1: Fatores de conversão, unidade de energia .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2: Matriz energética mundial.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 3: Matriz energética brasileira.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 4: Selo do PROCEL.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 5: Trocador de calor de duplo tubo.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6: Trocador de calor casco e tubo.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 7: Trocador de calor tipo placa.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 8: Desenho do trocador de calor.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 9: Foto do trocador de calor .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 10: Desenho do projeto proposto .....</b>	<b>30</b>
<b>Quadro 1: Características da bomba usada.....</b>	<b>32</b>
<b>Quadro 2: Produtos e seus estimados valores.....</b>	<b>32</b>

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1: Relação vazão volumétrica com a variação de temperatura em suas devida correntes .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 2: Consumo de gás .....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – ampere;  
Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica;  
CEMIG – Companhia energética de Minas Gerais;  
Cofins – contribuição para o Financiamento da Seguridade Social;  
Cp – calor específico;  
CPP – Chamada Pública de Projetos;  
Di – diâmetro interno;  
Do – diâmetro externo;  
E – energia;  
E.E – eficiência energética;  
GEE – gases de efeito estufa;  
h – hora;  
Hz – hertz;  
ICMS – imposto sobre circulação de mercadorias e serviços;  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia;  
J – Joule;  
K – Kelvin;  
kg – quilograma;  
kW – quilowatt;  
L – litros;  
M – massa;  
m – metro;  
 $\dot{m}$  - vazão mássica;  
MME – ministério de minas e energia;  
 $\eta$  – eficiência energética;  
PEE – programa de eficiência energética;  
PIS – programa de Integração Social;  
PROCEL – programa nacional de conservação de energia elétrica;  
Q – taxa de calor;  
RGR – reserva Global de Reversão;  
s – segundos;

T – temperatura;

V – volts;

VR – rotâmetro;

$\Delta$  – delta;

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>122</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEORICO.....</b>	<b>155</b>
<b>3.1</b>	<b>Energia .....</b>	<b>155</b>
<b>3.2</b>	<b>Consumo energético no mundo e no Brasil .....</b>	<b>177</b>
<b>3.3</b>	<b>Problemas energéticos.....</b>	<b>199</b>
<b>3.4</b>	<b>Eficiência energética.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5</b>	<b>Trocador de Calor .....</b>	<b>233</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>266</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>288</b>
<b>5.1</b>	<b>O projeto .....</b>	<b>288</b>
<b>5.2</b>	<b>O experimento .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise financeira.....</b>	<b>322</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>344</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>355</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia está em tudo. No momento que levanta, ao momento que acorda.

Para Viana et al. (2012), a energia está no cotidiano. Estando presente em diversas maneiras. Como por exemplo, quando se usa motores ou músculos, quando se acende o queimador de um fogão, quando se alimenta ou mesmo quando se informa pela televisão ou nos jornais, que frequentemente se referem a alguma questão energética no Brasil ou no mundo. Por esta diversidade, o campo dos estudos energéticos é vasto, cobrindo desde o uso dos recursos naturais até os aspectos relacionados ao desempenho das modernas tecnologias, permitindo uma abordagem que considera apenas os temas de caráter técnico ou envolva seus componentes socioeconômicos e ambientais, inclusive quanto à sua evolução histórica e suas perspectivas futuras.

Segundo Viana et al. (2012, p. 13) “uma definição usual, encontrada em muitos livros, afirma que ‘energia é a medida da capacidade de efetuar trabalho’”. Essa definição só se aplica a alguns tipos de energia, como a mecânica e a elétrica, que, em princípio são totalmente conversíveis em outras formas de energia. Mas quando se estuda melhor sobre a definição do calor, nota-se que essa definição está errada, já que só parte da sua energia se converte em trabalho.

Ainda de acordo com Viana et al. (2012, p. 14) “em 1872, Maxwell propôs uma definição que pode ser considerada mais correta do que a anterior: ‘energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança’”. Sendo que essa definição refere-se à mudança de condições, como alterações do estado de um sistema.

Com as mudanças e evoluções da humanidade, tudo em sua volta está numa constante evolução, e na área de energia não seria diferente, ela está sempre se transformando. No mundo nota-se que são utilizadas mais as fontes de energia finitas, sendo elas consideradas energias não renováveis, como será desenvolvido nos tópicos a seguir, alguns pesquisadores afirmam que daqui uns anos não será mais possível a utilização dessas fontes de energia, e por isso a importância do estudo mais aprofundado sobre a eficiência energética, para ter meios de uma energia limpa e sem danos.

Segundo Plano Nacional de Energia 2030, a eficiência no uso da energia, em especial a elétrica, está na pauta no mundo desde os choques do petróleo na

década de 70, quando ficou patente que as reservas fósseis não seriam baratas para sempre, nem o seu uso seria sem prejuízos para o meio ambiente. Logo se descobriu que o mesmo “serviço de energia” (iluminação, força motriz e os usos que proporciona, aquecimento, condicionamento ambiental, equipamentos eletroeletrônicos, etc.) poderia ser proporcionado com menos gasto de energia, com repercussões econômicas, ambientais, sociais e culturais. Equipamentos e hábitos de uso passaram a ser analisados também sob o ponto de vista de sua eficiência energética, verificando-se que muitos deles eram “economicamente viáveis”, ou seja, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia cujo uso evitava (sic) (BRASIL, 2006-2007).

Ciente da importância do desenvolvimento da eficiência energética, muitas empresas e colaboradores estão pesquisando sobre o assunto. Como por exemplo a Cemig, que possui o Programa de Energia Inteligente, que é um programa focado em eficiência energética, consiste em diversos projetos plurianuais e socioambientais. (Cemig).

Uma das áreas que pode ser bem empregada na eficiência energética, é a transferência de calor, com o equipamento de trocador de calor, que de acordo com Çengel e Ghajar (2012, p. 629) “são equipamentos que facilitam a troca de calor entre dois fluidos que se encontram em diferentes temperaturas, evitando a mistura de um com o outro”.

Dada a importância da eficiência energética no contexto atual da humanidade, este trabalho tem como objetivo demonstrar como se pode aplicar esse conceito reaproveitando a água quente que sai do trocador de calor retornando-a para a entrada, observando com isso, a eficiência energética no aproveitamento térmico. Este processo será feito de modo que a água quente que sairá do trocador de calor irá voltar para o trocador, testando em um trocador de calor de bancada tipo placa, obtendo assim os indicadores de sustentabilidade energética, sendo eles, ambiental, social, econômico e tecnológico.

Este trabalho se divide em seis partes, iniciando por essa introdução. O objetivo geral do trabalho. O referencial teórico, em que é apresentado um estudo bibliográfico sobre o tema proposto. A metodologia que apresenta dados específicos sobre como, quando e quais os procedimentos utilizados na realização do projeto. A análise de dados que mostram os resultados obtidos no projeto e por fim as considerações finais, concluindo o trabalho e propondo algumas melhorias a serem realizadas.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo geral é demonstrar como se pode aplicar o conceito de reaproveitamento da água quente que sai do trocador de calor retornando-a para a entrada, observando com isso, a eficiência energética no aproveitamento térmico.

O projeto será elaborado no laboratório de operações unitárias, situado na Universidade de Formiga UNIFOR-MG. Em um trocador de calor de placas do tipo Chevron.

### 3 REFERENCIAL TEORICO

O referencial teórico abordará temas relevantes para o foco do trabalho, tais como energia e seus tipos, consumo energético no mundo e no Brasil, problemas energéticos, eficiência energética e trocador de calor.

#### 3.1 Energia

A energia não pode ser criada ou destruída, a energia é transformada, sendo mudada de uma forma para outra, como nos conversores de energia.

Segundo Santos et al., (2006) a energia se apresenta de diversas formas, que podem ser convertidas entre si. É importante observar ainda que apenas nos processos de conversão se identifica a existência de energia, que surge na fronteira do sistema como calor ou como trabalho. De forma sucinta, calor é definido como o fluxo energético decorrente de diferença de temperatura, enquanto trabalho se entende como todo processo análogo à elevação de um peso.

Existem diferentes formas de energia. Sendo algumas delas a energia química, térmica, mecânica, elétrica e nuclear:

- a) energia química: é a energia liberada ou formada em uma reação química, como acontece nas pilhas e baterias. (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR).
- b) energia térmica: está relacionada à temperatura, ou seja, quanto mais quente um objeto, mais energia térmica há nele. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA).
- c) energia mecânica: “a forma de energia que pode ser convertida completa e diretamente em trabalho mecânico por um dispositivo mecânico ideal como uma turbina ideal”. (Çengel Y. A; Boles M. A., 2006, p.47)
- d) energia elétrica: Cada átomo é formado por três tipos de partículas: prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons e nêutrons estão no centro do átomo, chamado núcleo e os elétrons estão em movimento em volta do núcleo. Em materiais metálicos, os elétrons podem caminhar, levando energia de um local para outro, por exemplo, da tomada pelo fio até a televisão. Esse movimento é chamado de energia elétrica ou eletricidade. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA).

e) energia nuclear: também chamada energia atômica é obtida por interações no núcleo de um átomo. Seja pela fissão (onde o núcleo atômico se divide em duas ou mais partículas) ou divisão de núcleos pesados no urânio, tório e plutônio, seja pela fusão (na qual dois ou mais núcleos se unem para produzir um novo elemento) ou junção de núcleos leves, como o do hidrogênio. (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR).

Com o passar do tempo, a busca de conhecimento e pesquisa encontraram algumas fontes de energia, sendo elas classificadas como renováveis e não renováveis.

As fontes de energia renováveis são consideradas inesgotáveis, pois suas qualidades se renovam constantemente ao serem usadas. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA).

As fontes de energia não renováveis são finitas ou esgotáveis. Para a maioria delas, a reposição na natureza é muito lenta, pois resulta de um processo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão. Quanto mais usamos as fontes de energia não renováveis, menos teremos no estoque total. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA).

Segundo Oliveira (2005, p. 21) “O princípio de Joule ou princípio da conservação da energia, afirma que a energia de um estado de equilíbrio independe do processo utilizado para atingi-lo”. Isso significa que independentemente do caminho que a reação irá tomar a energia será a mesma.

Vê se através da FIG. 1 as unidades de medidas e sua equivalência em joule, auxiliando no momento da conversão.

Figura 1 – Fatores de conversão, unidade de energia

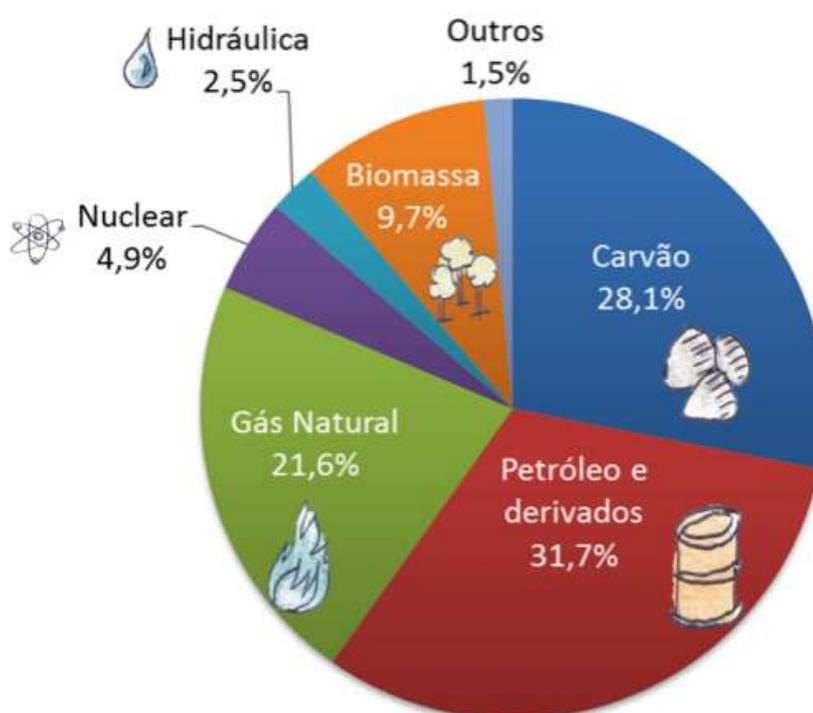
Unidade	Símbolo	equivalência em joule
caloria	cal	4,187 J
quilowatt-hora	kWh	$3,6 \times 10^6$ J
tonelada equivalente de petróleo	tEP	$41,87 \times 10^9$ J
Terawatt-ano	TW-ano	$31,5 \times 10^{18}$ J
British Thermal Unit	Btu	$1,055 \times 10^3$ J
barril de petróleo equivalente (159 litros)	bbl	$6,212 \times 10^6$ J
metro cúbico de gás natural	m <sup>3</sup>	$41,23 \times 10^3$ J

Fonte: VIANA et al. 2012. p. 29.

### 3.2 Consumo energético no mundo e no Brasil

Vê se através da FIG. 2, a matriz energética mundial. Nota-se que a matriz energética mundial é diferente de matriz elétrica, sendo que a matriz energética mundial representa o conjunto de fontes de energia, englobando tudo, como movimentar carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade.

Figura 2 – Matriz energética mundial



Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015.

Nota-se que as fontes de energia não renováveis, como o petróleo, gás natural e o carvão, são mais utilizadas totalizando 81,4%; já as renováveis totalizam 12,2% e a nuclear e outras 6,4%.

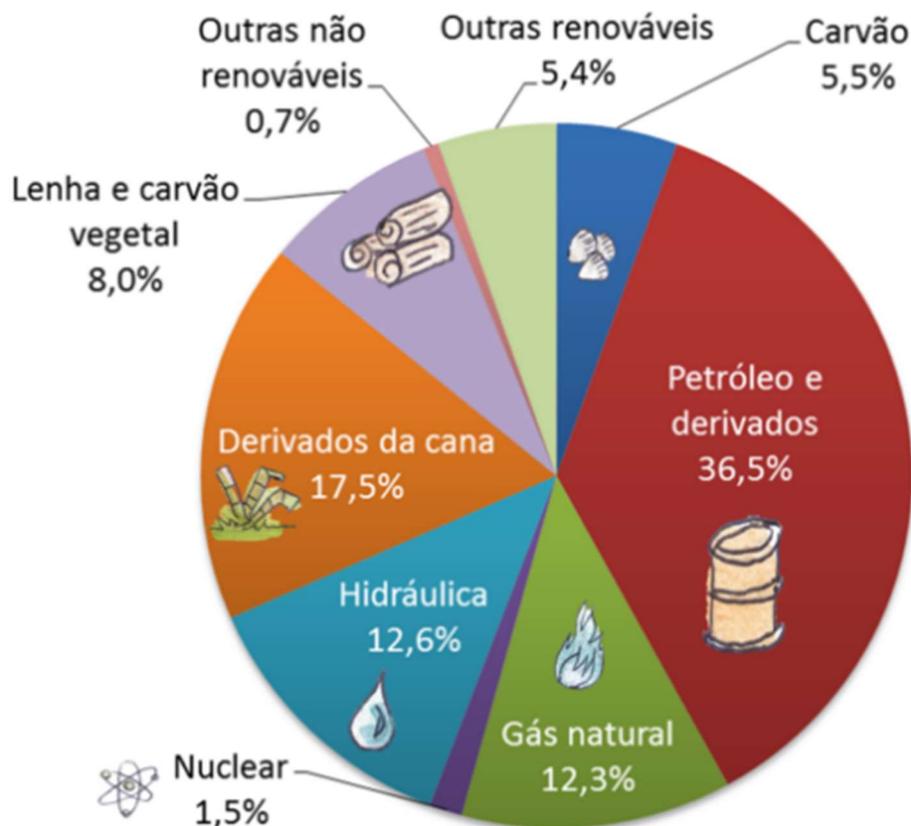
No Brasil, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) passou a ter direito a 20% dos recursos financeiros que as distribuidoras de eletricidade devem investir em ações de Eficiência Energética. Conforme o Ministério de Minas e Energia (MME), com base nos recursos alocados pelas distribuidoras nos últimos tempos, a lei pode direcionar ao Procel cerca de R\$ 100 milhões por ano. As novas regras estão presentes na Lei nº 13.280 (BRASIL, 2016).

Sendo assim a Lei de Eficiência Energética é um dos principais componentes do marco legal da política de eficiência energética no Brasil, constituindo-se num instrumento eficaz e efetivo de política pública. Por outro lado, a sua implementação demanda, por parte do poder executivo, um importante esforço para a elaboração das regulamentações específicas e dos programas de metas, bem como de planos para a fiscalização e estudos de impacto para o acompanhamento sistemático de todo o processo. Há, ainda, inúmeros aspectos da governança da aplicação da Lei que são passíveis de aperfeiçoamentos e melhorias contínuas. (CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2014)

De acordo com Moreira Franco (2018), a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), do total pago na conta de luz no Brasil, 38,3% referem-se a encargos e tributos (11,83% encargos, 21,4% ICMS médio e 5,1% PIS/Cofins). Outros 35,5% correspondem ao preço da energia, 16,3% são o custo de distribuição e 5,88% de transmissão.

Vê se através da FIG. 3 que a matriz energética brasileira é muito diferente da mundial. Mesmo que no Brasil o consumo de energia de fontes não renováveis seja maior comparado com o de fontes renováveis, o país usa mais fontes renováveis que no resto do mundo. Assim fontes renováveis totalizam 41,1%, quase metade da matriz energética brasileira.

Figura 3 – matriz energética brasileira.



Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016.

Com essa característica do Brasil consumir mais energia das fontes renováveis que em outros países, conclui que o Brasil emite menos emissão de gases de efeito estufa (GEE) por habitante que a maioria dos outros países.

### 3.3 Problemas energéticos

“Muitos países estão enfrentando dificuldades para suprir a demanda crescente de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, fornecer recursos energéticos para suprir seu crescimento econômico. Cabe, cada vez mais, ao poder público conhecer o comportamento dos consumidores para criar mecanismos que promovam o uso racional de energia nos diferentes setores e, assim, otimizar o uso de energia pela sociedade”. (Jannuzzi, 2005 apud Altoé et al., 2017, p.285).<sup>1</sup>

Um dos problemas dos países em desenvolvimento é a falta de energia suficiente a preços acessíveis. Parte da solução poderá estar no desenvolvimento das novas fontes de energia. As preocupações quanto às emissões de carbono e aos seus efeitos no clima. E a possível diminuição das reservas convencionais de carbono significam que o mundo e, especialmente, os países em desenvolvimento debatem-se com sérias dificuldades em melhorar os níveis de vida e em expandir as suas economias (CENTRO REGIONAL DE INFORMAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS).

Um grande problema mundial está ligado à emissão de gases de efeito estufa, que são gerados através da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, seja elétrica, industrial, para movimentar os carros, entre outras. Essa grande emissão de gases de efeito estufa está contribuindo para o aumento da temperatura da terra (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA).

Segundo Moreira (2017), com o aumento da demanda por energia e água, diversas mudanças climáticas vêm sendo confirmadas. Com isso, são implantadas ações coordenadas em nível mundial para reduzir o impacto dessas demandas, visando ao aumento da eficiência dos diversos setores produtivos.

---

<sup>1</sup> Jannuzzi, G. M. Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. *Energy Policy*, v.3, p.1753-62, 2005.

### 3.4 Eficiência energética

Eficiência energética é fazer mais com menos energia, sendo uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia. Podendo chamar de eficiência energética a relação entre a quantidade de energia consumida por determinado equipamento ou aparelho e a quantidade de energia efetivamente utilizada por ele para realizar a tarefa a que se propõe. (Info Escola navegando e aprendendo).

“A Eficiência Energética, sistematicamente aplicada, traz benefícios à sociedade, ao setor elétrico, às distribuidoras e ao meio ambiente” (BRASIL ENERGIA), sendo assim todos ganham.

Com o passar dos anos foram criados programas, leis e ajudas de pesquisas para desenvolver e conhecer o que é eficiência energética e sua importância, principalmente nesse tempo de progresso que estamos vivendo.

O programa de eficiência energética PEE, que é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, tem como “objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia, por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA). Com ele busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada, além de promover a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica. Outras agências também investem no programa, como por exemplo a CEMIG.

O projeto, PEE, que está em constante desenvolvimento, em julho de 2013, segundo Raad e Carvalho (2017, p.8) “ganhou uma nova dimensão com a introdução da obrigatoriedade de realização anual de, pelo menos, uma chamada pública de projetos – CPP pelas distribuidoras de energia elétrica”. Nos primeiros três anos de CPP, o mercado vem amadurecendo técnica e qualitativamente, assim como os processos de Chamada Pública das concessionárias. O site Light oferece serviços online aos usuários, para ajudar a entender todo o processo acesse, “Grupo Light, Quem Somos, Eficiência Energética, Chamada Pública de Projetos”. (Light)

Já o programa energia inteligente, da CEMIG, tem o Projeto Energia Cidadã, que “possibilita a substituição de equipamentos de alto consumo (lâmpadas, geladeiras e chuveiros) por outros mais eficientes e econômicos, reduzindo o

consumo e a demanda de energia nas casas dos consumidores de baixa renda de MG”. Orientando assim os consumidores sobre o consumo energético, tendo o objetivo de beneficiar aproximadamente 110 mil famílias de Minas Gerais, entre 2017 e 2018. (CEMIG). Sendo que a CEMIG tem outros projetos sociais e culturais em desenvolvimento.

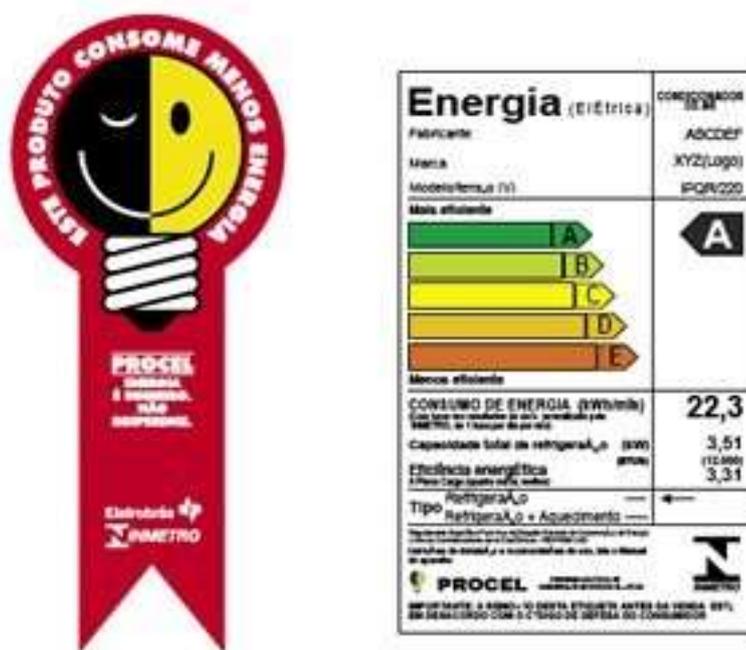
Outra distribuidora de energia no Brasil é a ELEKTRO, que atende principalmente em São Paulo. Ela tem como objetivo em seu programa de Eficiência energética, contribuir para a preservação dos recursos naturais. “Promover a utilização racional da energia elétrica e o combate ao desperdício e contribuir na ampliação da consciência da sociedade sobre o tema, subsidiando o desenvolvimento econômico e social da área em que se atua”. (ELEKTRO).

Um dos programas mais conhecidos é o programa nacional de conservação de energia elétrica, mais conhecido como PROCEL.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL, criado em 1985, coordenado pelo MME e operacionalizado pela Eletrobrás, o PROCEL foi convertido em Programa de Governo por meio de Decreto em 1991. O Programa é constituído por diversos subprogramas, dentre os quais se destacam ações nas áreas de iluminação pública, industrial, saneamento, educação, edificações, prédios públicos, gestão energética municipal, informações, desenvolvimento tecnológico e divulgação. As ações de marketing, notadamente a Etiquetagem, o Selo e o Prêmio PROCEL, são responsáveis por cerca de 98% dos resultados do Programa. O Programa utiliza recursos da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão - RGR - fundo federal constituído com recursos das concessionárias, proporcionais ao investimento de cada uma. Utiliza, também, recursos de entidades internacionais. (Souza et. al, 2009, p. 14).

Vê se através da FIG. 4, o selo do PROCEL, que sinaliza de A até E, utilizado em aparelhos eletrodomésticos para indicar a eficiência energética. Onde nos níveis A são mais eficiente, B, C, D e E menos eficiente. O selo também indica: a) nome do fabricante, b) a marca, c) o modelo do equipamento, d) a aplicação, e) valores representativos da produção mensal de energia representando a produção de energia economizada, f) em porcentagem, o índice médio de eficiência, e g) a assinatura do Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia (INMETRO), que exerce a fiscalização do cumprimento das leis metrológicas e a da qualidade de produtos e serviços vigentes no país, e também a assinatura do PROCEL (CONSUMO EM PAUTA, 2010).

Figura 4 – Selo do PROCEL



Fonte: CONSUMO EM PAUTA. 2010.

A fórmula 1 é utilizada para calcular a eficiência energética:

$$\eta = \frac{E_{util}}{E_{consumida}} = \frac{E_{consumida} - Perdas}{E_{consumida}} = 1 - \frac{Perdas}{E_{consumida}} \quad (1)$$

Onde:

$E_{consumida}$ : equivale ao que está entrando no sistema; como a energia nunca desaparece, apenas muda de forma, a palavra consumida refere-se efetivamente ao aporte de energia.

Perdas: o que está sendo utilizada;

$\eta$ : eficiência energética, sendo que quanto mais próximo o  $\eta$  está de 1, maior será a eficiência energética do aparelho.

Existem várias aplicações de eficiência energética, sendo elas nas indústrias e até dentro de sua casa.

Segundo Moreira (2017, p. 1) “a energia solar é o maior recurso energético de que a humanidade dispõe. De forma intrigante, a energia proveniente do Sol é gerada a partir do fenômeno de fusão nuclear nas suas camadas mais internas”.

Ainda de acordo, Moreira (2017, p. 2) “a energia solar pode ser convertida diretamente para o aquecimento da água, por intermédio dos coletores solares de baixa e alta eficiência, ou pode ser diretamente transformada em energia elétrica por

intermédio de dispositivos de conversão de energia solar, tais como os painéis fotovoltaicos”.

Pesquisadores da área, acreditam que a energia solar terá uma parcela considerável na matriz energética mundial futuramente.

De acordo com Moreira (2017), outro modelo dessas aplicações são os sistemas denominados self-contained, que tem como objetivo resfriar e filtrar o ar, distribuindo-o para um ambiente climatizado. Esse sistema permite a renovação do ar por entrada de ar externo, filtrado, o que assegura uma qualidade de ar interno superior. Segundo Moreira (2017, p. 318) “a tecnologia de ciclos de absorção baseados na mistura de água e brometo de lítio é bastante difundida comercialmente. Por questões operacionais intrínsecas, essa tecnologia só se aplica a sistemas de ar condicionado, cujas temperaturas de evaporação sejam superiores a 5 °C”.

De acordo com Barros, Borrelli e Gedra (2015, p. 74), “na existência de trocadores de calor instalados entre os coletores solares e o reservatório, torna-se possível a utilização de líquidos com aditivos, que reduzem os efeitos de congelamento, pro-longando a vida útil dos coletores (sic)”.

### 3.5 Trocador de Calor

Um trocador de calor ou permutador de calor é um dispositivo usado para a transferência de calor eficiente de um meio para outro. Tem a finalidade de transferir calor de um fluido para o outro, encontrando-se esses a temperaturas diferentes. Os meios podem ser separados por uma parede sólida, tanto que eles nunca se misturam, ou podem estar em contato (INCROPERA, 2007 apud MARTINELLI et al. 2017, p. 31).<sup>2</sup>

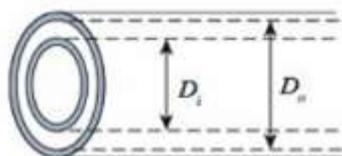
Segundo Bergman et al. (2017, cap. 11) “tipicamente, os trocadores de calor são classificados em função da configuração do escoamento e do tipo de construção”, que podem ser tubo duplo, casco e tubo além do de placa.

O trocador de calor de tubo duplo, segundo Çengel e Ghajar (2012) é formado por dois tubos concêntricos com diferentes diâmetros, assim tendo um espaço anular concêntrico de diâmetro interno ( $D_i$ ) e diâmetro externo ( $D_o$ ), assim um fluido escoava através do tubo enquanto o outro escoava através do espaço anular (FIG. 5).

---

<sup>2</sup> INCROPERA, F.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. New York, 2007.

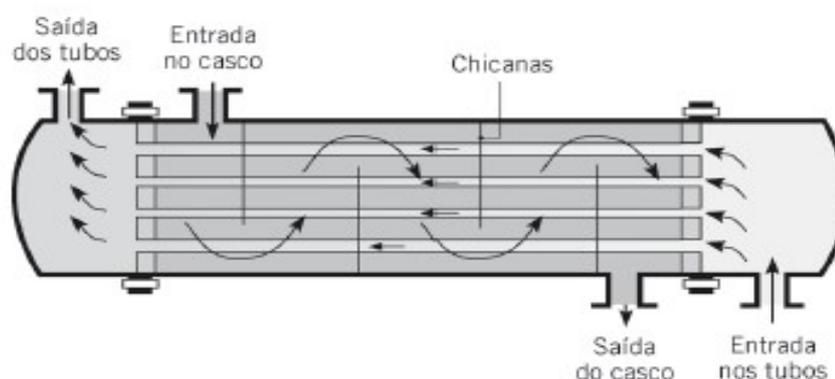
Figura 5 – Trocador de calor de duplo tubo



Fonte: ÇENGEL e GHAJAR, 2012, p. 492.

Os trocadores de calor casco e tubo, caracterizam-se em função dos números de passes no casco e nos tubos, normalmente são instaladas chicanas para aumentar o coeficiente convectivo no fluido no lado do casco, através da indução de turbulência e de um componente de velocidade na direção do escoamento cruzado. Além disso, as chicanas apoiam fisicamente os tubos, reduzindo a vibração dos tubos induzida pelo escoamento (FIG. 6). (BERGMAN et al., 2017, cap. 11).

Figura 6 – Trocador de calor casco e tubo

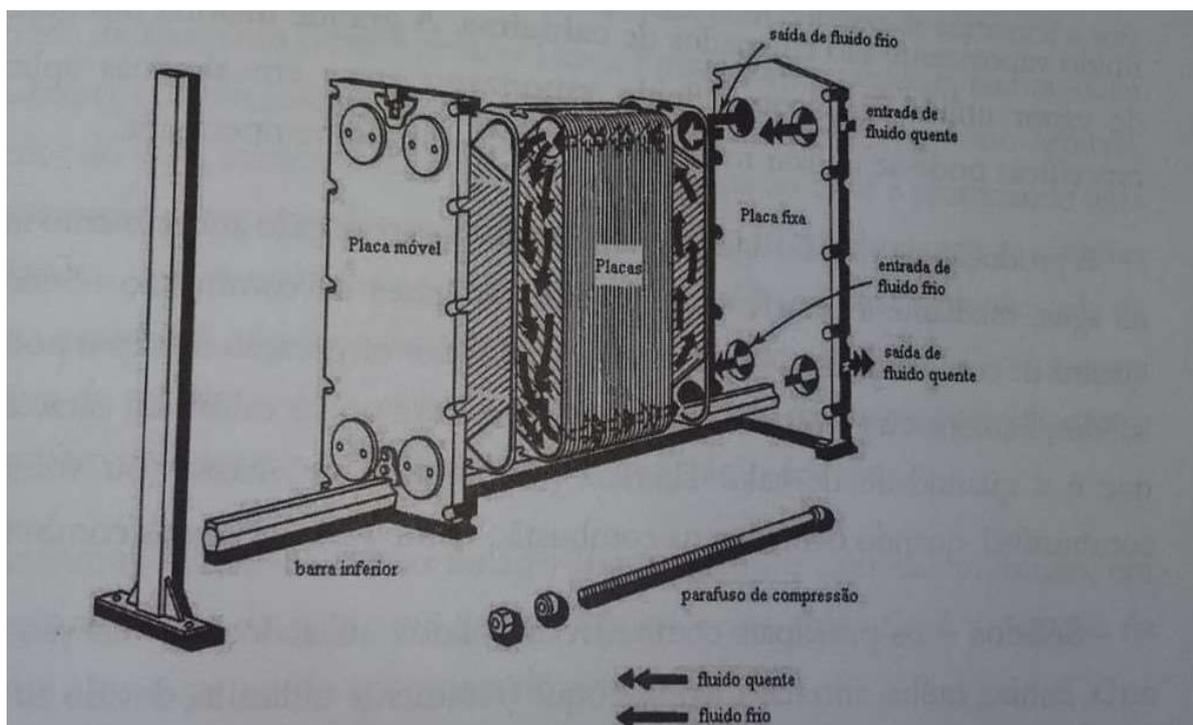


Fonte: BERGMAN et al., 2017, cap. 11.

Já os trocadores de calor tipo placas, “foram introduzidos por volta do ano 1930, para processos de aquecimento e resfriamento, e foram rapidamente aceitos por atingirem altas taxas de transferência de calor com baixa diferença de temperaturas” (FIG. 7) (SRIHARI et al. 2005 apud GUTIERREZ, 2013, p. 29).<sup>3</sup>

<sup>3</sup> SRIHARI, N. et al. Transient response of plate heat exchangers considering effect of flow maldistribution, 2005.

Figura 7 – Trocador de calor tipo placa



Fonte: GAUTO E ROSA, 2011, p. 101.

As vantagens dos trocadores de calor tipo placas em relação aos outros tipos de trocadores são apresentadas a seguir (KAKAÇ; LIU, 2002; ABU-KHADER, 2012 apud GUTIERREZ, 2013, p. 30)<sup>4</sup>:

- Higienização viável, que permite a limpeza e a inspeção completa de cada placa;
- Alta taxa de transferência de calor, o que permite uma boa eficiência térmica mesmo com pequena diferença de temperatura entre fluidos;
- Turbulência induzida no escoamento em baixa velocidade;
- Viabilidade econômica para fabricação em aço inoxidável;
- Construção compacta e modular que permite acomodar várias seções de troca térmica em um mesmo pedestal;
- Flexibilidade, que permite mudanças em seu arranjo, número de placas e de passes visando uma otimização do processo.

Segundo Novais (2016, p. 4) “trocadores de calor mais econômicos, compactos e mais eficientes vem sendo desenvolvidos para atender as exigências da indústria, e neste aspecto o trocador de calor a placas tem um grande destaque”.

<sup>4</sup> KAKAÇ, S.; LIU, H. Heat exchangers: selection, rating and thermal design. Boca Raton, 2002.

## 4 METODOLOGIA

Atualmente a bancada de pesquisa em análise, é utilizada em laboratório para teste e estudo sobre trocador de calor tipo placas. A bancada é constituída de um trocador de calor 11 placas metálicas corrugadas (em aço inox), de área de troca térmica de 0,333 m<sup>2</sup>, as placas foram montadas segundo configuração de passe simples (cinco passes simples para cada fluido quente e frio). O sistema aquecedor de água à gás possui capacidade de aquecimento de 8 litros/minuto até 65 ° C. Os medidores de vazão, 2 unidades, são do tipo rotâmetro, para os fluidos (água) quente e frio. Há também 04 sensores de temperatura ligados nas entradas e saídas dos fluidos quente e frio conectados a um painel de indicadores. O circuito de tubulação é todo constituído em PVC térmico, havendo 04 válvulas de bloqueio (VB1; VB2; VB3 e VB4), que permitem realizar as mudanças de configuração de vazão de contracorrente.

A água utilizada durante as pesquisas vem por gravidade de uma caixa de água, alimentando uma entrada no aquecedor a gás para entrar no trocador de calor como água quente e a outra entrada como água fria no trocador de calor. Após as duas águas trocarem calor no trocador de calor são destinadas à rede de esgoto.

Portanto pretende-se recircular a água quente que sai do trocador de calor e realimentar o aquecedor a gás através de uma bomba, para isso se faz o estudo de viabilidade econômica e energética desse propósito, assim o estudo está baseado em:

Realizar um experimento coletando os dados de vazão de entrada de água quente e fria no trocador de calor e as temperaturas de entradas e saídas das águas fria e quente, com esses dados analisara se a energia trocada entre a água quente que veio do aquecedor a gás e a água fria, através da Equação 2.

$$Q = \dot{m} * C_p * (T_{sai} - T_{ent}) \quad (2)$$

Onde Q é a taxa de calor de energia dado em J/s,  $\dot{m}$  é a taxa de escoamento de massa da corrente dado em Kg/s,  $C_p$  é o calor específico para o fluido dado em J/Kg\*K,  $T_{entrada}$  temperatura de entrada e  $T_{saída}$  temperatura de saída usando K.

A fim de validar a energia contida na água quente que passou pelo aquecedor a gás, será calculada a energia consumida para o aquecimento dessa água através dos dados de placas do fornecedor, através da Equação 3:

$$\text{Razão da vazão} = \frac{\text{Consumo de água}}{\text{Vazão do gás}} \quad (3)$$

$$\text{Consumo relativo} = \text{Porcentagem da potência} * \text{potência nominal} \quad (4)$$

$$\text{Energia que saiu do gás} = \text{consumo} * \text{rendimento} \quad (5)$$

Observe que as três equações 3, 4 e 5, dependem uma da outra, tendo três etapas, que um resultado dependerá do outro, para obter o que deve ser analisado, que é a quantidade de energia que saiu do gás, que será dado em kW.

Será dimensionado um reservatório para coleta da água quente que sai do trocador de calor para ser bombeado para o aquecedor a gás e a bomba de recirculação. Esse reservatório será considerado isotérmico e não haverá perdas de temperaturas durante o transporte da água.

De posse dos dados de consumo energético da bomba será recalculado o consumo de gás para se ter a mesma temperatura de saída do aquecedor a gás, porém a temperatura de entrada não será mais a temperatura da saída da caixa de água e sim da saída do trocador de calor.

Com os dados dos cálculos, (com e sem a bomba de recirculação) será obtida a viabilidade energética e valorando os consumos energético de gás e da bomba de recirculação será obtida a viabilidade econômica do projeto proposto.

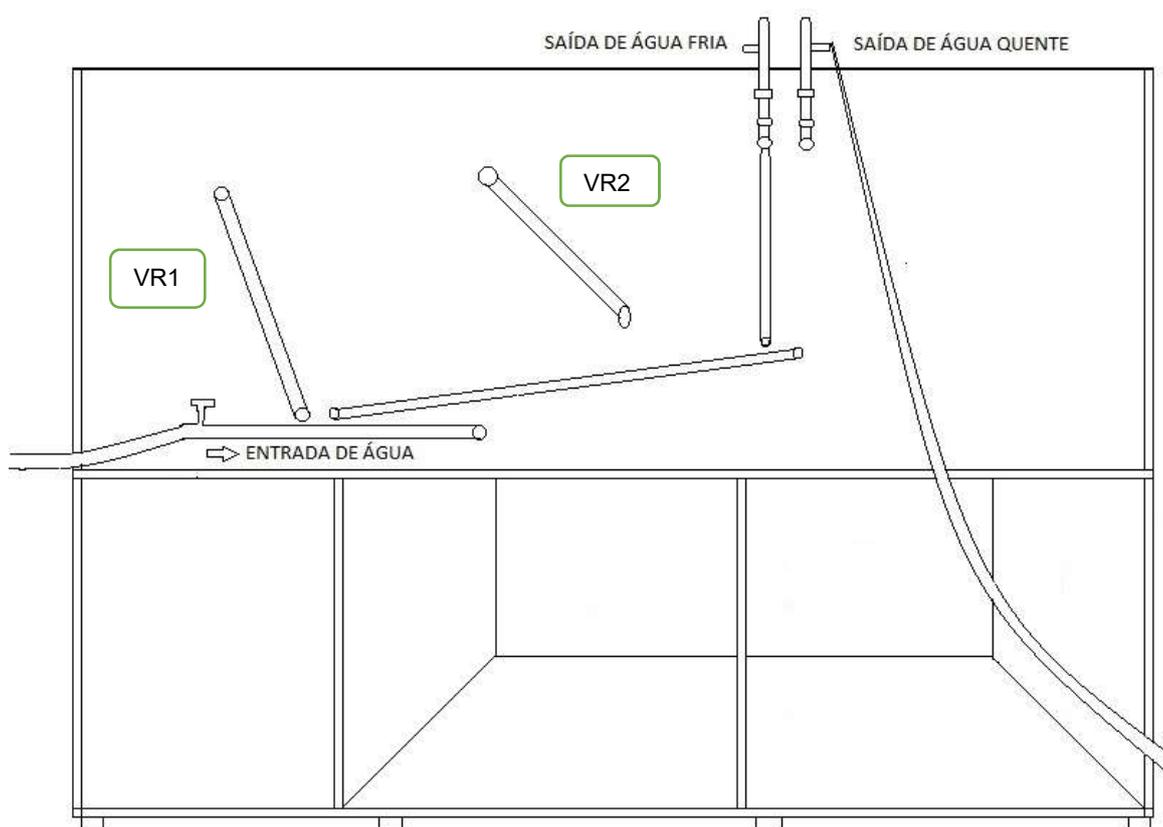
## 5 RESULTADOS

Este capítulo mostra a análise dos dados coletados no projeto, com o objetivo de verificar se é viável ou não, a utilização da água quente que sai do trocador de calor, para reutilizá-la no trocador de calor.

### 5.1 O projeto

O projeto foi desenvolvido para um trocador de calor tipo placa modelo Chevron, sendo contracorrente, 11 placas, área do trocador  $0,333 \text{ m}^2$  (FIG. 8).

Figura 8 – Desenho do trocador de calor



Fonte: A AUTORA, 2018.

Nota que a água que entra no trocador de calor vem de uma caixa d'água em cima do laboratório de operações unitárias, que foi elaborado o projeto, trazida pela gravidade, que depois distribui a água para os rotômetros o da direita para a esquerda é o VR1 que é o usado pelo gás GLP para aquecer a água, e o VR2 que

estará fechado nos processos, nota-se que depois do procedimento a água quente e fria que saem do trocador de calor são descartadas. A FIG. 9 nos mostra a foto do trocador de calor utilizado na análise do processo de frente.

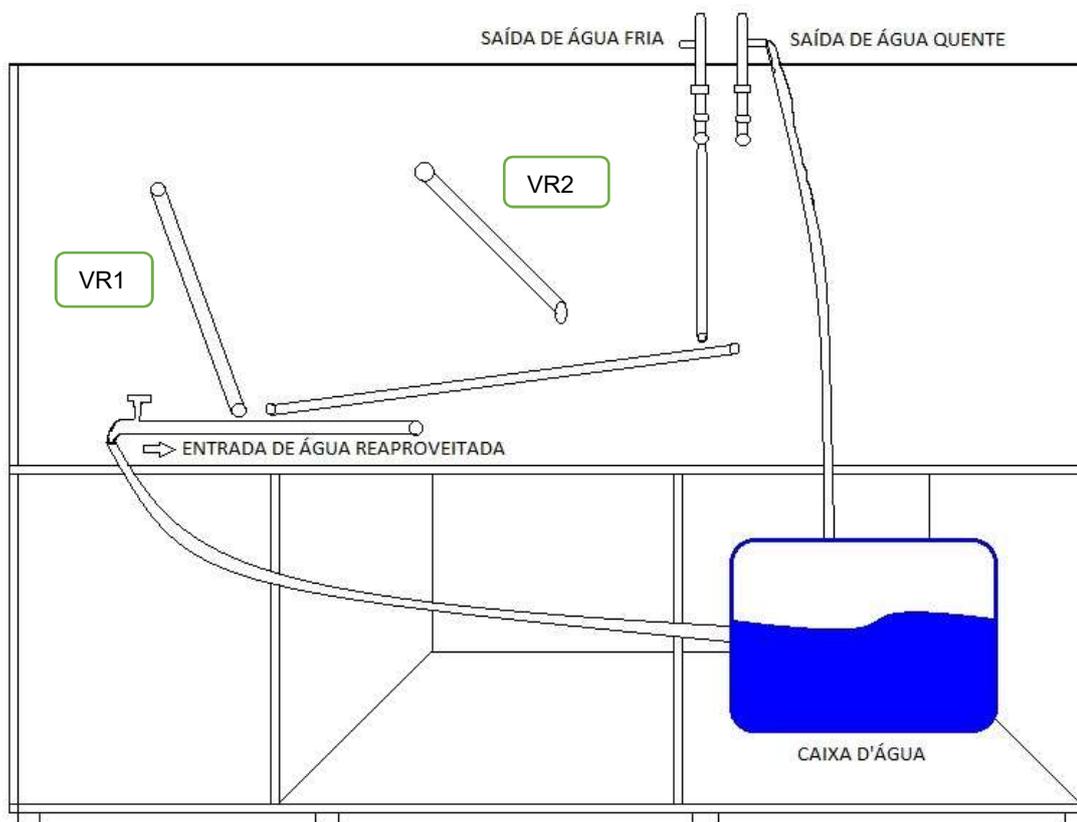
Figura 9 – Foto do trocador de calor



Fonte: A AUTORA, 2018.

Da esquerda para a direita tem o painel elétrico que informa as temperaturas, tem equipamento que contém as placas, tendo quatro entradas sendo duas em cima água fria e água quente e duas em baixo água fria e água quente mudando suas entradas dependendo do processo escolhido, o do experimento foi contra corrente, essas entradas no equipamento se conecta com o cano de saída em cima. Depois tem o VR2 o rotâmetro que para esse experimento ficou fechado, em seguida vem aquecedor a gás, e por fim o VR2 o rotâmetro que é usado para aquecer a água quente. Na FIG. 10 tem o esboço do projeto proposto.

Figura 10 – Desenho do projeto proposto



Fonte: A AUTORA, 2018.

Pode-se observar que a água quente que sai do trocador de calor irá fluir para a caixa d'água que suporta 30 L, onde será instalada uma bomba que deverá estar submersa na água, quando a água quente alcançar o nível de 10 L, a bomba irá retornar à água quente no trocador de calor.

## 5.2 O experimento

Segue na TAB. 01 os dados que foram utilizados para a análise das temperaturas. O experimento utilizado foi de contra corrente, que relaciona a vazão volumétrica pré-determinada e a vazão mássica, com as temperaturas de entrada e saída dos fluidos quente e frio.

TABELA 01 – Relação vazão volumétrica com a variação de temperatura em suas devidas correntes

Corrente fria				Corrente quente			
Vazão	Vazão	T <sub>entra</sub>	T <sub>sai</sub>	Vazão	Vazão	T <sub>entra</sub>	T <sub>sai</sub>
Volumétrica	mássica	(K)	(K)	Volumétrica	mássica	(K)	(K)
(x 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s)	(Kg/s)			(x10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s)	(Kg/s)		
1,67	0,017	302,5	323,2			326,1	317,3
3,33	0,033	302,2	323,8			331,5	315,6
5,00	0,050	301,6	323,5			336,6	314,4
6,67	0,067	301,4	321,4	5,00	0,0831	338,5	312,9
8,33	0,083	301,3	319,8			341,3	311,9
10,00	0,100	301,0	316,5			342,4	310,7
<b>Médias</b>		301,0	335,0			335,0	313,0

Fonte: A autora (2018).

Observando a TAB. 01 e fazendo as médias, nota-se que T média de entrada da água no trocador de calor será de 301 K, e a T média de saída da água no trocador de calor será de 335 K, depois irá sair do trocador à 313 K, indo assim para a caixa d'água. A água permanecerá na caixa até alcançar o nível proposto de 10 L, assim que alcançar o nível a bomba retornará para o trocador com a temperatura de 313 K. Repetindo o processo e saindo novamente a 335 K.

O gás utilizado foi o GLP em um aquecedor modelo KO 12M 1BNLP1–Grande, as características e as propriedades do aquecedor para uma vazão de 12 água l/min de água e um  $\Delta T$  de 20 °C são: o consumo de gás é de 1,43 Kg/h, com o rendimento sobre PSC 86%, a potência nominal nas condições padrão GLP são 283,2 Kcal/min, em 16.994 kcal/hora e 19,8 kW.

Com a análise de dados observa que a potência é de 19,8 kW para um  $\Delta T$  de 20 °C, nota que com a média, a água entrou a 301 K e saiu a 335 K, tendo um  $\Delta T$  de 34 °C, considerando o consumo linear, a potência será de 33,6 kW para os 12 l/min.. Aplicando as equações 3, 4 e 5 têm os seguintes resultados para consumo e potências. A razão será de 0,4166 que multiplicado pela potência de 33,6 kW têm um consumo para a nova vazão de 14 kW, com a eficiência de 0,86 a energia transferida do gás para a água quente foi de 12,04 kW.

Aplicando a equação 2 para encontrar a taxa de calor (Q), considerando a vazão mássica ( $\dot{m}$ ) de 0,0833 Kg/s, calor específico ( $c_p$ ) de 4,19 kJ/kg\*K e as temperaturas (T) de 335 K e 301 K, saída e entrada, irá verificar que o gasto de energia

foi de 11,86 kW, analisando os resultados nota-se que são valores aproximados, validando assim as equações 3, 4, 5 e 2.

Considerando agora que a água que entra no aquecedor não é mais a que vem do reservatório à 301 K mas sim do novo reservatório de água quente e está a 313 K e aplicando novamente a equação 2, tem-se que o novo consumo de gás para se manter a mesma temperatura de saída no aquecedor de 335 K foi de 7,68 kW ou seja, uma economia de 4,18 kW.

Para desenvolver o projeto, foi usada uma bomba para dimensionar a água quente que saia do trocador de calor e retorna-la ao trocador, assim foi escolhida a bomba de modelo HBO 450. Suas características seguem no QUADRO 1

QUADRO 1 – Características da bomba usada

Características	Propriedades	Unidades
Consumo	15	W
Frequência	60	Hz
Vazão máxima	2300	l/h (possui regulagem)
Tensão	110 a 220	V
Diâmetro externo do bico	5/8	Polegadas

Fonte: A autora (2018).

Observa-se que a bomba possui ventosas para fixação e deve permanecer totalmente submersa na água.

### 5.3 Análise financeira

O orçamento do projeto proposto e os gastos que formam efetuados para a realização da experiência, pode ser visto através do QUADRO 2.

Quadro 2 – Produtos e seus estimados valores

Itens	Produtos	Valor (R\$)
1	Caixa plástica Container 30L	39,99
2	Bomba Submersa De Aquário Fontes Lagos Hbo 450	150,00
3	Mangueira 5/8 com 1,5m Dreno Ar Condicionado Split	3,30
—	Total gasto	193,29

Fonte: A autora (2018).

Com a análise de energia efetuada, encontrou uma diferença, entre a água que é descartada depois de ser usada no trocador de calor, e a água quente que sai e é reutilizada dentro do trocador. Observa-se na TAB. 2 os dados de consumo de energia.

TABELA 02 – consumo de gás GLP

Consumo de gás			
Aplicações	Razão da vazão	$\Delta$ de Temperatura ( $^{\circ}$ C)	Consumo de gás (kg/h)
Recomendado		20	1,43
Experimental	0,4166	34	0,59
Proposto	0,6	12	0,35

Fonte: A autora (2018).

Observando na TAB. 02, o valor que deve ser acrescido pela razão entre o  $\Delta T$  de 34  $^{\circ}$ C pelo  $\Delta T$  de 20  $^{\circ}$ C que está informando na propriedade do aquecedor, é de 0,59 kg/h. o consumo de gás utilizado atualmente é de 1,43 kg/h. A diferença proposta é que o  $\Delta T$  da aplicação é de 12 $^{\circ}$ C e a nova razão fica em 0,35 kg/h o novo consumo de gás.

Considerando que os experimentos foram realizados num intervalo de tempo de 1h, o custo da energia elétrica é de R\$ 0,80 de acordo com a conta de energia da CEMIG do mês de junho, e o custo de gás é de R\$ 5,76 1 kg, tem-se, o consumo energético atual de 11,84kW com um consumo de gás de 1kg/h que custa R\$ 5,76 por experimento.

Já com o projeto proposto o consumo energético será de 7,7 kW, com um consumo de gás de 0,35kg/h e de energia elétrica de 0,015kW, custará R\$ 2,08

A economia energética foi de 35% e financeira de 64%. O payback desse projeto seria de 53 experimentos.

Lembrando que o projeto foi elaborado por pessoas capacitadas, mas sem o custo de mão de obra. Tendo esse custo em mente o projeto ficará mais caro.

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um estudo de análise da eficiência energética com finalidade de verificar a viabilidade do projeto, se reutilizando a água quente que sai do trocador de calor teria uma economia de gás GLP e de energia. Seu objetivo principal foi analisar e verificar a eficiência energética num trocador de calor de bancada tipo placa do tipo Chevron.

A contribuição do projeto realizado foi a confirmação da viabilidade econômica e energética no processo proposto, em que a água quente que sai do trocador de calor de bancada tipo placa será reutilizada no trocador. É sim econômico, o gás GLP que é usado e a energia que está armazenada na água quente, o calor.

As escolhas dos equipamentos foram feitas embasadas em um estudo visando um investimento bom, viável e econômico. Concluindo com isso que se pode aplicar o projeto de eficiência energética. A economia energética foi de 35% e a financeira de 64%. Assim usando o projeto proposto em 53 horas se paga o projeto. Notando que esse é preço sem orçamento de mão de obra.

Dessa forma com este trabalho espera-se, através da abordagem direta e simples, fornecer a iniciativa de busca a eficiência energética, que é uma abordagem mais inovadora, comparadas a algumas que estão sendo investida. Obtendo assim indicadores de eficiência energética: ambiental, econômica, social e tecnológica.

## REFERÊNCIAS

ABU-KHADER, M. M. Plate heat exchangers: Recent advances. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 4, p.1883 – 1891, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Informações técnicas. Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética. **Eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ped-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

Altoé, L. et al. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. Estudos avançados, 2017.

BARROS, B. F; BORELLI, R; GEDRA, R. L. **Eficiência energética** técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos. São Paulo: Érica, 2015.

BERGMAN, T. L. et al. **Fundamento de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

BRASIL ENERGIA. Geração. **Artigo: A importância da eficiência energética e seus benefícios à sociedade**. Disponível em: <<https://brasilenergia.editorabrasilenergia.com.br/artigo-importancia-da-eficiencia-energetica-e-seus-beneficios-sociedade/>>. Acesso em: 04 mai.2018.

BRASIL. Governo do Brasil. Assuntos. Infraestrutura. **Nova lei fortalece ações de eficiência energética**. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/infraestrutura/2016/05/nova-lei-fortalece-acoes-de-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia – MME. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, DF, 2006-2007.

CEMIG. **Conservação e eficiência energética**. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/en-us/Company\\_and\\_Future/Sustainability/Programs/Energy\\_Efficiency/Pages/default.aspx](http://www.cemig.com.br/en-us/Company_and_Future/Sustainability/Programs/Energy_Efficiency/Pages/default.aspx)>. Acesso em: 23 fev. 2018.

\_\_\_\_\_. Sociais. **Energia cidadã**. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/sustentabilidade/nossos\\_programas/sociais/Paginas/energia\\_cidada.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/sociais/Paginas/energia_cidada.aspx)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

\_\_\_\_\_.; GHAJAR A. J. **Transferência de calor e massa**: uma abordagem prática. 7. ed. São Paulo: Ltda, 2012.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Resultados do procel – ano base 2014**. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

CENTRO REGIONAL DE INFORMAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Atualidades**. Disponível em: <<https://www.unric.org/pt/actualidade/23842>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

CONSUMO EM PAUTA. Tira-dúvidas. Energia elétrica. **Selo PROCEL**. Disponível em: <<http://www.consumoempauta.com.br/para-que-serve-o-selo-procel-2/>>. Acesso em: 03 jun. 2018.

ELETROBRAS ELETRONUCLEAR. Saiba mais. Espaço do conhecimento. Pesquisa. **O que é energia**. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/SaibaMais/Espa%C3%A7odoConhecimento/Pesquisaescolar/Oque%C3%A9energia.aspx>>. Acesso em: 4 mai. 2018.

ELEKTRO. Acesso rápido. **Eficiência Energética**. Disponível em: <<https://www.elektro.com.br/sustentabilidade/programa-de-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética. ABCDEnergia. **Energia e aquecimento global**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/energia-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

\_\_\_\_\_. ABCDEnergia. **Fontes de energia**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

\_\_\_\_\_. ABCDEnergia. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#TOPO>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

FELICÍO, R. S. **Dimensionamento de trocadores de calor aplicados à refrigeração da água do molde de um processo de lingotamento contínuo**. 2012. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Guaratingueta, Guaratinguetá, 2012.

GAUTO, M. A.; Rosa, G. R. **Processos e operações unitárias da indústria química**. Rio de Janeiro: Ciência moderna Ltda, 2011.

GUTIERREZ, C. G. C. C. **Análise dinâmica de um processo contínuo de pasteurização em trocadores de calor a placas**. 2013. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

INCROPERA, F.P., 2007, **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7. Ed. New York; John Wiley & Sons.

INFO ESCOLA NAVEGANDO E APRENDENDO. Ecologia. **Eficiência energética**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/ecologia/eficiencia-energetica/>>. Acesso em: 01 mai.2018.

INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~abe/lista/msg08620.html>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

Jannuzzi, G.M. Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. *Energy Policy*, v.3, p.1753-62, 2005.

KAKAÇ, S.; LIU, H. **Heat exchangers: selection, rating and thermal design**. Boca Raton, 2002.

LIGHT. Quem somos. Eficiência energética. **Chamada Pública de Projetos**. Disponível em: <[http://www.light.com.br/grupo-light/Quem-Somos/eficiencia-energetica\\_chamada-publica.aspx](http://www.light.com.br/grupo-light/Quem-Somos/eficiencia-energetica_chamada-publica.aspx)>. Acesso em: 22 set. 2018.

MARTINELLI et al. Projeto de um protótipo de trocador de calor. **Téchne**, São Paulo, v. 25, n. 243, p. 30 – 43, jun. 2017.

MOREIRA FRANCO. Artigo do Ministro Moreira - **Ouvir e negociar, eis a questão!** 29/05/2018. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/artigo-do-ministro-moreira-ouvir-e-negociar-eis-a-questao-?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Foutras-noticias%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_32hLrOzMKwWb%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-1%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D3](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/artigo-do-ministro-moreira-ouvir-e-negociar-eis-a-questao-?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Foutras-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_32hLrOzMKwWb%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3)>. Acesso em: 30 mai. 2018.

MOREIRA, R. S. M. (Org.). **Energia renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: Ltda. 2017.

NOVA CASA FLORÊNCIO Comércio de bombas e motoristas LTDA. Bombas de água. **Bomba Submersa De Aquário Fontes Lagos Hbo 450**. Disponível em: <<https://www.novacasaflorencio.com.br/bombas-de-agua/bomba-submersa-de-aquario-fontes-lagos-hbo-450/>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

NOVAIS, A. F. **Roteiro operacional de aula prática bancada de trocador de calor tipo placa eco**. Santa Catarina: Ltda, 2016.

Oliveira, M. J. **Termodinâmica**. São Paulo: Livraria da física, 2005.

Raad A.; Carvalho C. M. C. P. Chamadas Públicas de Projetos do PEE da Light. **REVISTA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**, Brasília-DF, p. 8 – 10, jun. 2017

Roméro, M. A.; Reis. L. B. **Eficiência energética em edifícios**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2012.

Santos, A. H. M. et al. **Conservação de energia**: eficiência energética de equipamentos e instalações. 3. ed. Itajubá: fupai, 2006.

Souza, H. M. et al. Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 7, p. 7 – 26, jan/jun. 2009.

SRIHARI, N. et al. Transient response of plate heat exchangers considering effect of flow maldistribution. **International Journal of Heat Mass Transfer**, v. 48, n.15, p. 3231 – 3243, 2005.

VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência energética**: fundamentos e aplicações. 1. ed. São Paulo [s.n.], 2012.