

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG

ENGENHARIA MECÂNICA

MÁRCIA HELENA LABRE LENTZ

ESTUDO DA VIABILIDADE DE COMBUSTÍVEIS: Gerador de Vapor

**Varginha
2011**

MÁRCIA HELENA LABRE LENTZ

ESTUDO DA VIABILIDADE DE COMBUSTÍVEIS: Gerador de Vapor

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Msc. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha
2011**

MÁRCIA HELENA LABRE LENTZ

ESTUDO DA VIABILIDADE DE COMBUSTÍVEIS: Gerador de Vapor

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /



Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes



Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos de trabalho, que muito contribuíram e me incentivaram durante todo esse período, a concluir mais uma etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que me proporcionou até hoje, por acreditar que posso ser muito mais que penso e ir mais longe do que imagino. Agradeço aos familiares que compartilharam os prazeres e dificuldades desta jornada, aos professores que exerceram a mais bela e complexa arte da inteligência que é educar, aos amigos de trabalho e as amizades cultivadas no convívio universitário.

“Os sonhos não determinam o lugar onde vamos chegar, mas produzem a força necessária para nos tirar do lugar em que estamos.”

Augusto Cury

RESUMO

Este trabalho trata-se de um estudo voltado para a viabilidade de um gerador de vapor que tem por característica do equipamento a possibilidade de consumir dois tipos de combustíveis distintos, gás natural ou óleo BPF. Caldeira ou gerador de vapor é um equipamento que tem como finalidade transformar o combustível (energia química) em energia térmica, que por sua vez aquece a água, que vira vapor e este sobre pressão, é empregado em um processo de fabricação de uma indústria. Através de dados e resultados levantados entre dois diferentes combustíveis a serem consumidos será possível analisar com mais clareza sobre o assunto, e assim auxiliando aos interessados, uma futura pesquisa de mercado que tem como objetivo a compra de tal equipamento, considerando para ambos os combustíveis a mesma capacidade de geração de vapor, a mesma pressão de trabalho admissível (PMTA), também para a análise serão considerados os seguintes indicadores: vantagens, desvantagens, consumo e custo final.

Palavras-chave: Caldeira. Combustível. Viabilidade.

ABSTRACT

This work it is a study on the feasibility of a steam generator that is characterized by the ability of equipment to consume two different types of fuels, natural gas or oil BPF. Boiler or steam generator is a device that aims to transform the fuel (chemical energy) into thermal energy, which in turn heats the water that turns it on steam and pressure, is employed in a manufacturing process of an industry. Using data collected and results between two different fuels to be consumed will be possible to more clearly about the subject, and thereby assisting those interested, a future market research that aims to purchase such equipment, considering for both fuels same capacity for steam generation, the same allowable working pressure (PMTA), also for the analysis will consider the following indicators: advantages, disadvantages, consumption and cost.

Keywords: boiler. Fuel. Viability

LISTAS DE FIGURAS E FOTOS

Figura 01 - Máquina a Vapor de Heron de Alexandria	14
Figura 02 - Máquina a Vapor de Thomas Newcomem	15
Figura 03 - Máquina a Vapor de James Watt	16
Figura 04 - Circulação de Gases Gerador Flamotubular	20
Figura 05 - Circulação de Gases Gerador Aquotubular	21
Figura 06 - Gerador de Vapor Dual.....	22
Figura 07 - Queimador	23
Figura 08 - Tanque de Serviço	23
Figura 09 - Matriz Energética no Brasil.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Mapa Comparativo Entre os Tipos de Combustíveis	30
Tabela 02– Tabela de Preços de Combustíveis na Indústria	33
Tabela 03 – Tabela do Custo Previsto Mensal - Combustível A	34
Tabela 04– Tabela de Preços do Gás Natural na Indústria.....	35
Tabela 05 – Tabela do Custo Previsto Mensal - Combustível B.....	35
Tabela 06 – Tabela de Equipamentos Elétricos para um Tanque de Serviço.....	37
Tabela 07– Tabela da Diferença de Valores em Reais dos Combustíveis	37
Tabela 08 – Tabela Consumo de Energia Elétrica	38
Tabela 09 – Tabela de Tarifas de Consumo de Energia Elétrica.....	39
Tabela 10 – Tabela de Valor Mensal de Gastos com Energia Elétrica	39
Tabela 11 – Tabela de Valor de um Gerador de Vapor Dual	40
Tabela 12 – Tabela de Valores Finais	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Histórico do Gerador de Vapor.....	14
2.2 Definição de Gerador de Vapor	16
2.2.1 Transferência de Calor.....	17
2.2.1.1 Transferência de Calor por Radiação	17
2.2.1.2 Transferência de Calor por Convecção	18
2.2.1.3 Transferência de Calor por Condução	18
2.3 Aplicação de um Gerador de Vapor	18
2.4 O Gerador de Vapor.....	19
2.5 Classificação de um Gerador de Vapor	19
2.5.1 Gerador de Vapor Flamotubular ou Fogotubulares.....	20
2.5.2 Gerador de Vapor Aquotubular	20
3 CALDEIRAS DUAL (BI-COMBUSTÍVEIS)	21
4 COMPONENTES.....	22
4.1 Queimador	22
4.2 Tanque de Serviço	23
5 COMBUSTÃO	24
6 COMBUSTÍVEIS.....	24
6.1 Óleo combustível.....	24
6.1.1 Tipos de óleos combustíveis.....	25
6.1.2 Classificação dos óleos combustíveis.....	25
6.1.2.1 Óleos combustíveis leves.....	25
6.1.2.2 Óleos combustíveis pesados	25
6.2 Óleo BPF	26
6.2.1 Utilização do óleo BPF em Equipamentos Térmicos.....	26
6.2.2 Vantagens	26
6.2.3 Desvantagens	26
6.3 Gás Natural	27
6.3.1 Classificação do Gás Natural.....	27
6.3.1.1 Gás associado	27

6.3.1.2 Gás não associado.....	28
6.3.2 Utilização do Gás Natural em Equipamentos Térmicos.....	28
6.3.2.1 Vantagens	28
6.3.2.2 Desvantagens	29
7 COLETA DE DADOS	29
7.1 Dados coletados de um Gerador de Vapor Dual	29
7.2 Dados coletados em um Cliente “X”	30
7.3 Mapa Comparativo Entre os Tipos de Combustíveis	30
7.4 Seleções do Combustível	31
7.5 Viabilidade de Instalação.....	31
8 MATERIAIS E MÉTODOS	31
8.1 Identificações dos Produtos Estudados	32
8.1.1 Combustível A.....	32
8.1.2 Combustível B.....	32
8.2 Indicadores para Análise dos Produtos Estudados	32
8.2.1 Custo do Produto	32
8.2.1.1 Custo Final de consumo - Combustível A.....	33
8.2.1.2 Custo Final de consumo - Combustível B.....	34
8.2.3 Consumo de Energia Elétrica	36
8.2.3.1 Consumo de Energia Elétrica do Combustível - A	36
9 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
9.1 Custo do Produto Final.....	37
9.2 Custo para Consumo de Energia Elétrica do Combustível A	38
9.2.1 Valor estimado de um Gerador de Vapor Dual	40
9.3 Resultado Final	40
10 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

As caldeiras ou geradores de vapor são equipamentos de constituição metálica que tem como finalidade, a produção de vapor através do aquecimento da água. As caldeiras produzem vapor para alimentar máquinas térmicas, cozimento de alimentos e de outros produtos orgânicos, calefação ambiental e outras aplicações do calor utilizando-se o vapor.

Para que uma caldeira inicie seu processo de geração de vapor se faz necessária uma fonte de energia empregada. Portanto os combustíveis são um fator de grande importância, fazendo com que a redução do custo final influa muitas vezes na escolha do modelo do equipamento. Atualmente encontramos várias fontes de alimentação de caldeiras tais como: a biomassa, na forma de resíduo de madeira, lenha, óleo BPF, o gás GLP e algumas o gás natural.

Ainda que alguns produtos suportem o custo da utilização de combustíveis mais nobres como o gás natural e o óleo, sempre há dúvidas de ordem técnica, questionando se este irá substituir o anterior de forma eficiente e econômica, justificando o investimento em um novo sistema de queima. Também há muitas dúvidas no setor industrial acerca da capacidade de irradiação das chamas geradas em cada caso, fazendo crer que os mais radiantes são bem mais eficientes, sem levar em conta a quantidade de energia gerada. Um fator importante nos dias atuais que devemos atentar é a emissão de gases que esta queima resultará.

Desta forma este trabalho traz um estudo numérico teórico comparativo do comportamento térmico, custo e benefício de dois combustíveis distintamente. Os combustíveis estudados são: gás natural e o óleo BPF.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo, analisar as contribuições teóricas que serão utilizadas para a estruturação deste estudo. Neste sentido, ele está dividido em sete seções. A primeira seção relaciona o ordenamento do capítulo, encadeando os assuntos selecionados de acordo com o eixo que rege a pesquisa.

2.1 Histórico do Gerador de Vapor

A utilização do vapor é um dos meios mais comuns para a transferência de energia. Seu uso é antigo e o primeiro indício da utilização do vapor se dá por volta do primeiro século da era cristã, onde um estudioso chamado Heron de Alexandria, construiu uma espécie de turbina a vapor, chamada eolípila.

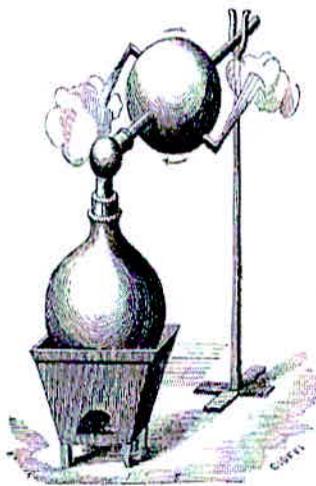


Figura 01 - Máquina a Vapor de Heron de Alexandria
Fonte - Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

Seu projeto era composto por uma esfera de metal e dois bicos, colocados em posições opostas. O funcionamento consiste no aquecimento da água colocada no interior da esfera que produzia o vapor, que por sua vez se expandia, escapando pelos bicos, fazendo a esfera girar, mas nenhum trabalho útil era produzido por esse movimento. Portanto, não havia nenhuma utilidade prática para esse projeto.

Muitos séculos mais tarde, a máquina a vapor foi à primeira maneira eficiente de produzir energia independentemente da força muscular do homem, do animal e da força do vento e das águas correntes. Sua invenção e uso foi uma das bases tecnológicas da Revolução Industrial.

Foi somente no século XVII, que o físico francês Denis Papin usou esse princípio para bombear água. O equipamento bastante rudimentar que ele inventou, era composto de um pistão dentro de um cilindro que ficava sobre uma fonte de calor e no qual se colocava uma pequena quantidade de água.

O primeiro gerador de vapor utilizado para fins industriais foi projetado por volta de 1698 por Thomas Savery e aperfeiçoada em 1712 por Thomas Newcomen e John Calley. Foi o primeiro equipamento dotado de manômetro de pressão, visor de nível, válvula de segurança e boca de visita.

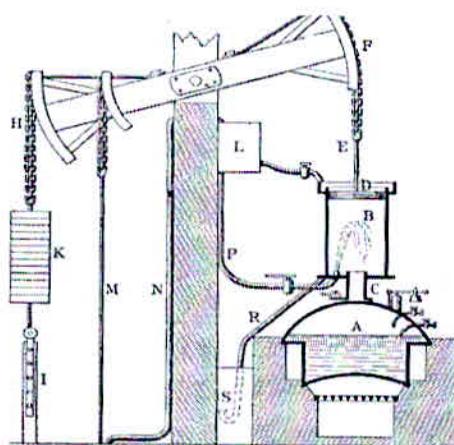


Figura 02 - Máquina a Vapor de Thomas Newcomen
Fonte - Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

Nessa máquina, o vapor gerado por um gerador era utilizado para a movimentação da haste ligado a um balancim que levanta um êmbolo, criando vácuo que retirava água de poços de minas inundados.

Em 1782, um construtor de instrumentos escocês chamado James Watt projetou e patenteou a máquina rotativa de ação dupla, prendendo o êmbolo do pistão a uma manivela ou um conjunto de engrenagens para produzir movimento rotativo e permitiu que essa máquina pudesse ser usada para impulsionar mecanismos, girar rodas de carroças ou pás para movimentar navios.

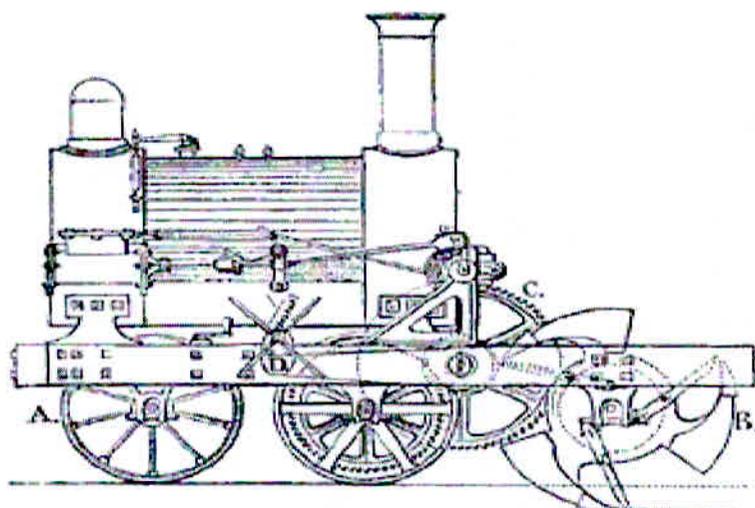


Figura 03 - Máquina a Vapor de James Watt
 Fonte - Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

No fim do século XVIII, as máquinas a vapor produzidas por Watt forneciam energia para fábricas, moinhos e bombas na Europa e na América.

No início do século XIX o aparecimento das caldeiras, que podiam operar com altas pressões e que foram desenvolvidas por Richard Trevithick na Inglaterra e por Oliver Evans nos Estados Unidos, tornou se a base para a revolução dos transportes uma vez que elas podiam ser usadas para movimentar locomotivas, barcos fluviais e, depois, navios.

2.2 Definição de Gerador de Vapor

Gerador de vapor é um equipamento que tem como finalidade a geração de vapor por transferência de calor, entre o combustível e a água, a uma determinada pressão e temperatura.

Segundo PERAGALLO (1995, p.147) "Gerador de vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor de água sob pressões superiores a atmosférica a partir da energia térmica de um combustível e de um elemento comburente, ar, estando constituído por diversos equipamentos associados e perfeitamente integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível."

"[...] Esta definição abrange todos os tipos de geradores de vapor, sejam os que vaporizam água, mercúrio, vapor de óxido de difenil – vapor de água ou fluidos de altas temperaturas, bem como as unidades mais simples de geração de vapor, comumente denominadas caldeiras de vapor."

Alguns ramos da engenharia como transferência de calor, estão presentes em praticamente 100% da teoria sobre geradores de vapor.

2.2.1 Transferência de Calor

A transferência de calor entre corpos ocorre sempre que existe uma diferença de temperatura entre eles.

Segundo PERA (1990, p.6-2) “[...] No caso específico de que trata este trabalho participam do processo dois fluidos, o portador de calor denominado gases de combustão e o receptor de calor que pode ser água, fluido térmico ou ar.”
“[...] A transferência de calor se verifica pelos três modos reconhecidos pela física: **radiação, convecção e condução.**”

2.2.1.1 Transferência de Calor por Radiação

Segundo PERA (1990, p.6-2) “[...] A radiação é um processo de transferência pelo qual o calor flui de um corpo de alta temperatura para outro de mais baixa, mesmo quando, entre os mesmos haja um espaço ocupado por gases ou simplesmente vácuo. O corpo de alta temperatura converte uma pequena parte da sua energia interna em ondas eletromagnéticas que emigram para o espaço. Quando encontram outro corpo de temperatura mais baixa cedem e incorporam esta energia. Todos os corpos emitem radiações continuamente dentro dos mais diversos comprimentos de ondas. [...]”

Nos geradores de vapor a troca de calor por radiação geralmente está presente na chama, proveniente da queima do combustível.

2.2.1.2 Transferência de Calor por Convecção

Segundo PERA (1990, p.6-25) “[...] A transmissão convectiva é, sobretudo dependente das leis que governam o escoamento dos fluidos. De fato o mecanismo é explicado pela combinação da condução e do transporte de massa, importando o conhecimento do tipo de escoamento, de laminar ou turbulento.

Além disso, o movimento do fluido pode ser assegurado pela diferença de densidades por efeito de variações na sua temperatura ou provocado pelo impulso de uma máquina, na primeira condição correspondendo a convecção natural e na segunda à convecção forçada.”

“[...] Nos geradores de vapor se apresentam todos esses mecanismos. No lado do fluido gasoso dificilmente se observa o escoamento laminar. Provoca-se o escoamento turbulento para melhorar o fluxo térmico. No lado água comparecem à convecção natural e a forçada cujos processos criaram tipos distintos de caldeiras conhecidas ou como caldeiras de circulação natural ou de circulação forçada.”

2.2.1.3 Transferência de Calor por Condução

Segundo PERA (1990, p.6-38) “[...] Quando dois corpos de diferentes temperaturas são colocados em contato, constata-se um fluxo de calor da fonte mais quente em direção à fonte mais fria.

A condução, entretanto, analisa o processo de transferência de calor que se verifica no interior de um próprio corpo, seja ele sólido, líquido ou gasoso, muito embora predomine como mecanismo distinto, principalmente nos corpos sólidos.

No que se refere à matéria em estudo, a condução interessa para analisar os efeitos de fluxo de calor escoado através das paredes metálicas dos tambores e tubos de caldeira. O aço aplicado na construção destes equipamentos é um bom condutor de calor.”

2.3 Aplicação de um Gerador de Vapor

O gerador de vapor é aplicado em vários setores industriais e o vapor gerado pelo equipamento, é aplicado nas mais diversas formas, tais como:

- ✓ **Indústria de bebidas:** nas lavadoras de garrafas, tanques de xarope, pasteurizadores.
- ✓ **Indústrias madeireiras:** no cozimento de toras, secagem de tábuas ou lâminas em estufas, em prensas para compensados.
- ✓ **Indústria de papel e celulose:** no cozimento de madeira nos digestores, na secagem com cilindros rotativos, na secagem de cola, na fabricação de papelão corrugado.

- ✓ **Indústrias de laticínios:** na pasteurização, na esterilização de recipientes, no aquecimento de tanques de água.
- ✓ **Frigoríficos:** nas estufas para cozimento, nos digestores, nas prensas para extração de óleo.
- ✓ **Indústria de petróleo e seus derivados:** nos trocadores de calor, nas torres de fracionamento e destilação, nos fornos, nos vasos de pressão, nos reatores e turbinas.

O gerador de vapor também é utilizado para geração de energia elétrica, onde o vapor produzido é injetado em turbinas que por sua vez movimentam um gerador de energia elétrica, mas este gerador de vapor é projetado para produzir vapor superaquecido, pois este tipo de vapor não danifica as turbinas.

Outras aplicações são atribuídas para o gerador de vapor, que não serão citados neste trabalho.

2.4 O Gerador de Vapor

“Essencialmente uma caldeira de vapor é constituída de um vaso fechado a pressão, com tubos, no qual se introduz água, que pela aplicação externa de calor se transforma continuamente em vapor.” (PERA, 1990 p. 1-1)

2.5 Classificação de um Gerador de Vapor

Os geradores de vapor podem ser classificados de acordo com:

- A classe de pressão;

Formalmente a Norma Regulamentadora (NR-13.1.9) [...] “as caldeiras são classificadas em 3 (três) categorias, conforme segue:

- a) caldeiras da categoria A: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 kgf/cm²);
- b) caldeiras da categoria C: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5.99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 (cem) litros;
- c) caldeiras da categoria B são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.”

- A posição dos gases quentes provenientes da combustão e da água que é utilizada para a geração do vapor.

Uma classificação mais precisa, apresenta muita dificuldade por existirem vários tipos fundamentais. Dividimos os geradores de uma forma geral em:

- Gerador de vapor Flamotubular;
- Gerador de vapor Aquotubular;

2.5.1 Gerador de Vapor Flamotubular ou Fogotubulares

Os geradores de vapor flamotubulares se caracterizam pela circulação dos gases de combustão pelo interior dos tubos do feixe tubular até a saída pela chaminé.

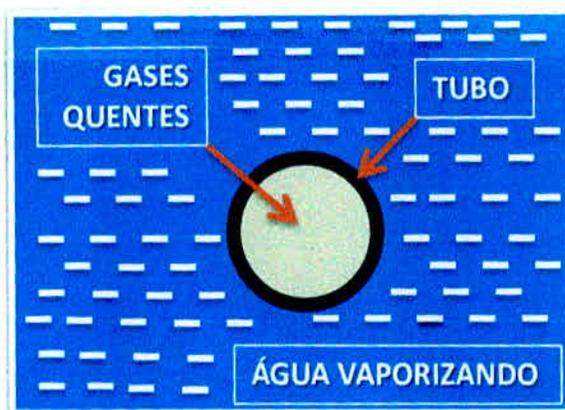


Figura 04 - Circulação de Gases Gerador Flamotubular
Fonte - O autor

2.5.2 Gerador de Vapor Aquotubular

Ao contrário dos geradores de vapor flamotubulares, os geradores de vapor aquotubulares caracterizam-se pela circulação externa dos gases de combustão nos tubos, que no seu interior são conduzidos a massa de água e vapor.

Para PERAGALLO (1995, p.147) “O emprego deste tipo de gerador resulta inevitável quando necessária a obtenção de grandes capacidades e elevadas pressões de vapor.”

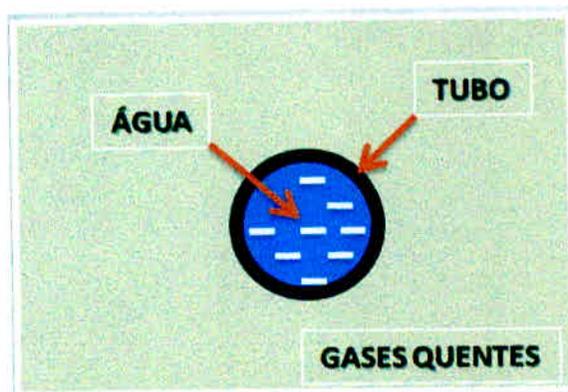


Figura 05 - Circulação de Gases Gerador Aquotubular
Fonte - O autor

3 CALDEIRAS DUAL (BI-COMBUSTÍVEIS)

São caldeiras fogotubulares, utiliza a melhor forma de troca de calor, a radiação do fogo. O queimador é desenvolvido exclusivamente para esta caldeira proporcionando boa penetração da chama na fornalha com excelentes níveis de transferência de calor.

As caldeiras fogotubulares ou flamutubulares se caracterizam pela circulação dos gases de combustão pelo interior dos tubos do feixe tubular da caldeira. Existem caldeiras fogotubulares verticais, porém, atualmente, as caldeiras horizontais são muito mais comuns. Nas caldeiras fogotubulares que operam com combustíveis líquidos ou gasosos, o queimador é instalado na parte frontal da fornalha. Nessa predomina a troca de calor por **radiação** e nas partes posteriores da caldeira (câmara de reversão e tubos) a troca de calor se processa por **convecção**. (Prof. Carlos Alberto Altafíni - 2002)



Figura 06 - Gerador de Vapor Dual
Fonte - www.caldeiras.com.br

4 COMPONENTES

Os componentes são equipamentos que auxiliam no processo para geração de vapor, geralmente é acoplada a caldeira.

4.1 Queimador

Um queimador é um equipamento que mediante o processo de combustão, tem por fim realizar a transformação de energia química de um combustível em calor. O combustível pode ser líquido ou gasoso.

Além de providenciar o calor numa caldeira ou qualquer outro dispositivo de aquecimento, o queimador controla também a temperatura de saída e pressão da caldeira e é essencial que a queima de combustível seja eficiente para que o consumo de combustível seja reduzido.

Para além destas funções, o queimador tem também um papel preponderante na estabilização de chama, ele deve também garantir que não haverá retorno de chama e nem seu deslocamento.

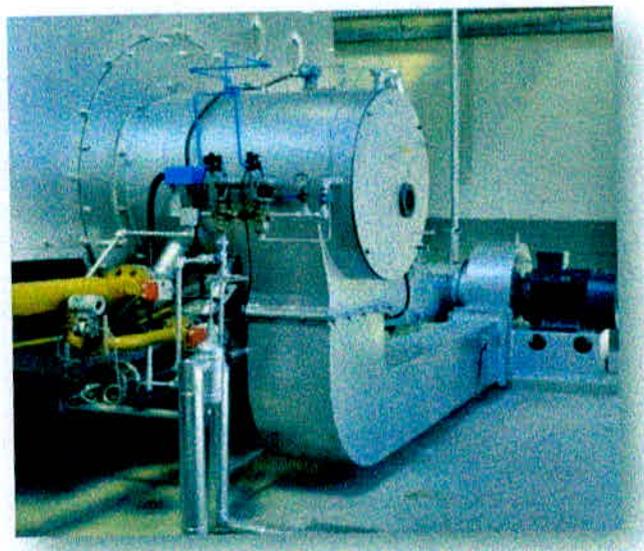


Figura 07 - Queimador
Fonte - www.caldeiras.com.br

4.2 Tanque de Serviço

O tanque de serviço ficam geralmente próximos ao equipamento utilizado para aquecer o combustível. Têm baixa capacidade e têm como função armazenar e aquecer os combustíveis líquidos e físcosos facilitando assim sua utilização antes da queima.

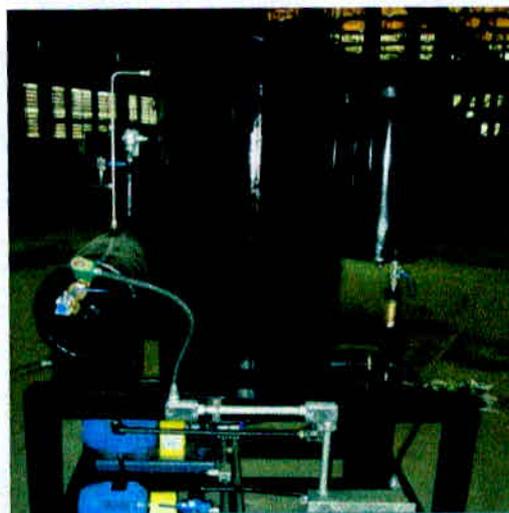


Figura 08 - Tanque de Serviço
Fonte - O autor

5 COMBUSTÃO

Para melhor entendimento do emprego dos combustíveis em um gerador de vapor, será definido o que venha ser o princípio da combustão.

Combustão, portanto é a reação rápida entre o oxigênio e os constituintes de um combustível, com a produção de calor e luz.

6 COMBUSTÍVEIS

O combustível, por sua vez, é toda a substância, natural ou artificial, no estado sólido, líquido ou gasoso, capaz de reagir com o oxigênio do ar, mediante escorvamento, liberando calor e luz.

Podem ser classificados como:

- Sólidos: Bagaço de cana, lenha e carvão;
- Líquidos: Álcool e óleo;
- Gasosos: Gás.

6.1 Óleo combustível

O óleo combustível é um derivado de petróleo. É também tratado como óleo combustível pesado ou ainda como óleo combustível residual, é a fração residual da destilação das frações mais leves de petróleo, como a gasolina, a nafta, o querosene e o óleo diesel (embora sob certos aspectos e algumas variações, especialmente as não voláteis, este seja um óleo combustível), entre outros, designadas em geral como frações pesadas, obtidas em várias etapas e processos do refino. A sua composição bastante complexa depende não só do petróleo que o originou, como também dos processos e misturas (composições) que sofreram nas refinarias, de modo que pode-se atender à várias exigências do mercado consumidor numa ampla faixa de viscosidade, adequada às suas aplicações (fornos, caldeiras, motores pesados, etc).

6.1.1 Tipos de óleos combustíveis

Em 1987, os óleos combustíveis no Brasil recebem novas denominações, passando a serem classificados em dois grandes grupos: o grupo “A” e o grupo “B”.

O grupo “A” é o grupo de óleos de altos teores de enxofre (maiores que 1%), e o grupo “B” o de baixos teores de enxofre (menores ou iguais a 1%).

6.1.2 Classificação dos óleos combustíveis

Os óleos combustíveis podem ser classificados com relação a sua viscosidade, basicamente em:

6.1.2.1 Óleos combustíveis leves

Menor viscosidade. Aqui entra o óleo diesel não volátil (cuja principal característica é não inflamar em contato com chama, quando encontra-se a pressão e temperatura ambiente). No Brasil o óleo diesel é volátil. São empregados em motores de combustão por compressão de médias e altas rotações (motores diesel).

6.1.2.2 Óleos combustíveis pesados

São divididos por sua vez em óleos APF (de alto ponto de fluidez) e óleos BPF (baixo ponto de fluidez). São utilizados em motores de grande porte e de baixa rotação, como os motores de grandes navios.

6.2 Óleo BPF

Entende-se por óleos combustíveis tipo 1A (BPF - baixo ponto de fluidez) os óleos produzidos a partir de frações pesadas resultante do processo de craqueamento do petróleo e que são utilizados como fonte de energia em fornos, caldeiras, aquecedores. Os óleos combustíveis tipo 1A (BPF) são constituídos de hidrocarbonetos e possuem uma elevada massa molecular representados pela família das parafinas, naftênicos e aromáticos.

6.2.1 Utilização do óleo BPF em Equipamentos Térmicos

6.2.2 Vantagens

Uma das grandes vantagens da utilização de óleos BPF em um equipamento térmico é seu baixo custo em relação aos demais combustíveis.

6.2.3 Desvantagens

- a) A presença de enxofre e vanádio no óleo, em maior ou menor proporção, gera chuva ácida ao meio ambiente e também corrosão nos equipamentos térmicos e seus periféricos.
- b) O excesso de ar de combustão, da ordem de 20%, necessário para promover a queima dos óleos combustíveis, acaba por gerar óxidos de nitrogênio (NOx), cuja formação é significativamente aumentada nos processos térmicos de alta temperatura;
- c) A dificuldade de ignição, quando a câmara de combustão está fria, concorre para a emissão de fuligem, principalmente no caso de óleos residuais;
- d) A exigência freqüente de manutenção geralmente causa dois tipos de problema: derrame de óleo e uso de solventes para limpeza de todos os componentes, cujos resíduos quase sempre são lançados no meio ambiente;

- e) Caso não se observe uma manutenção freqüente como limpeza de bicos e demais acessórios, e também a adequada regulagem da proporção ar-óleo, haverá certamente um excesso de emissões de fuligem e monóxido de carbono nos produtos da combustão, além disso, a reduzida eficiência térmica nessas condições exigirá um maior consumo de óleo combustível.

6.3 Gás Natural

Fonte energética de origem fóssil, o gás natural é derivado de uma mistura de hidrocarbonetos leves. É extraído de rochas porosas localizadas no subsolo marinho ou terrestre, e pode estar associado ou não ao petróleo.

Em condições normais de pressão e temperatura, permanece no estado gasoso. Não tem cor ou cheiro, e, por questões de segurança, é odorizado para poder ser transportado.

É o combustível fóssil mais limpo entre os utilizados hoje no Brasil. Quando queima para produzir energia, deixa no ar quantidades muito menores de resíduos que outros combustíveis. Por ser mais leve que o ar, se dissipa com grande facilidade, sem formar bolsões, o que reduz os riscos à saúde e aumenta a segurança.

6.3.1 Classificação do Gás Natural

Quanto à origem o Gás Natural é classificado em:

6.3.1.1 Gás associado

Encontrado dissolvido no petróleo cru e/ou formando uma camada protetora gasosa sobre ele (gás livre). Quanto mais fundo o poço, encontra-se mais gás do que petróleo. No Brasil cerca de 65% das reservas de GN e 85% de sua produção é de gás associado, e em todo mundo cerca de 40%.

6.3.1.2 Gás não associado

Encontrado em depósitos subterrâneos, não acompanhados de hidrocarbonetos em fase líquida.

6.3.2 Utilização do Gás Natural em Equipamentos Térmicos

As características do GN fazem dele uma excelente alternativa para os demais combustíveis.

6.3.2.1 Vantagens

- a) Encontra-se pronto para o consumo, não sendo necessário manipulações ou preparação antes da combustão.
- b) O gás natural é facilmente miscível com o ar, obtendo-se um contato íntimo entre o combustível e o ar, reduzindo-se o excesso de ar necessário para assegurar a combustão completa. É fácil o controle da atmosfera da fornalha, e a obtenção de uma chama longa, de combustão lenta, com liberação gradual e uniforme da energia.
- c) O gás se desloca e se manipula com facilidade. Basta uma válvula para regular com precisão as vazões de ar e gás.
- d) O GN praticamente não contém impurezas. Seus produtos de combustão têm baixos níveis de poluição, comparativamente aos outros combustíveis. O teor de enxofre do GN é muito inferior ao dos carvões e dos óleos combustíveis. Não origina deposição de resíduos que contaminam a produção ou que afetem a eficiência do equipamento e/ou instalações. Isto simplifica e diminui os custos de operação e manutenção.
- e) Em estado gasoso, o GN permite várias configurações e tipos de queimadores, além de grande flexibilidade no seu funcionamento. A eficiência dos sistemas de combustão à base de GN é em geral maior, porque permite maior flexibilidade de regulagem e controle dos equipamentos.

6.3.2.2 Desvantagens

- a) A densidade do gás natural é muito menor do que a dos combustíveis sólidos e líquidos. Isto leva a dificuldades de armazenamento e de transporte.
- b) Devido ao alto teor de hidrocarbonetos leves (alto teor de hidrogênio), os produtos da combustão possuem grande quantidade de vapor-d'água. Assim, o calor específico dos produtos é alto, as temperaturas de combustão são mais baixas e existem os problemas devido à condensação do vapor.
- c) A quantidade (em massa) de combustível dentro da fornalha é muito pequena. Isso torna a combustão muito sensível à variação de consumo de ar e combustível, e permite, em caso de necessidade, modificar a carga da fornalha instantaneamente. Ao mesmo tempo torna se crítico o controle da combustão, pois uma interrupção da alimentação provocará a extinção da chama, o que está vinculado ao perigo de explosão ao recomençar a alimentação. Por isso, nessas fornalhas normalmente são instalados vários queimadores.

7 COLETA DE DADOS

7.1 Dados coletados de um Gerador de Vapor Dual

O gerador de vapor utilizado em estudo será uma Caldeira Dual com as seguintes características:

- Pressão máxima de trabalho permitida (PMTP) - 12kgf/cm².
- Combustível a ser consumido - Óleo BPF / Gás Natural.

Pressão de trabalho: “É a pressão de vapor com a qual deve operar a caldeira.”
(PERA, 1990 p. 1-7)

7.2 Dados coletados em um Cliente “X”

Foram coletados também dados de campo referente a um cliente “X” que produziria:

- Produção de vapor - 20865 kg/h

Capacidade do gerador: É a capacidade do gerador de produzir o peso do vapor em uma hora. No Brasil, utiliza-se como unidade de medida o quilograma.

Consideraremos que esta caldeira estaria em pleno funcionamento 24hs/dia.

7.3 Mapa Comparativo Entre os Tipos de Combustíveis

Este mapa é um comparativo entre os tipos de combustíveis em um gerador de vapor, para melhor visualização do leitor.

Tabela 01 – Mapa Comparativo Entre os Tipos de Combustíveis

Características / Dados	Óleo BPF 1A	Gás Natural
Poder Calorífico (PCI)	8100 kcal/litro	9400 kcal/m ³
Massa específica	1013 kg/m ³	0.7768 kg/m ³
Preço	R\$ 0,92 (litro)	R\$ 2,10 (m ³)
Consumo	1569 kg/h	1524 Nm ³ /h
Estado físico a temperatura ambiente	Líquido	Gasoso
Queima de Combustíveis	14.1 (10 ⁶ ton NO ₂ / ano)	2.1 (10 ⁶ ton NO ₂ / ano)

Fonte: O autor

7.4 Seleções do Combustível

Neste tópico serão levantados alguns indicadores, importantes a serem observados para seleção do combustível a ser consumido, tais como:

- Armazenamento;
- Manutenção do equipamento;
- Facilidade de Combustão;
- Emissões em processos de combustão;
- Disponibilidade de compra no mercado;
- Consumo/ Custo final;

7.5 Viabilidade de Instalação

“Ao instalar uma nova fábrica, comprar novos equipamentos ou simplesmente alugar uma máquina, isto é, ao fazer um novo investimento, uma empresa deve fazer uma análise de viabilidade do mesmo. [...]” (CASAROTTO, 2000 p.104)

“Para se efetuar uma análise econômica de um investimento, é necessário um perfeito levantamento dos custos e das receitas adicionais, decorrentes deste investimento. [...]” (CASAROTTO, 2000 p.108)

8 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se deu numa empresa denominada “X”, do ramo de metalurgia, situada na cidade de Varginha – MG, considerando a mesma empresa sendo fabricante do produto estudado.

A pesquisa trata-se de um estudo da viabilidade de dois combustíveis distintos para o consumo de um gerador de vapor. Consideraremos a obtenção de um gerador de vapor Dual que tem por característica consumir hora um combustível, hora outro, com as mesmas condições de trabalho.

8.1 Identificações dos Produtos Estudados

8.1.1 Combustível A

No presente estudo identificaremos como Combustível A, o Óleo BPF 1A com as seguintes propriedades:

- Poder calorífico superior de 10265 kcal/kg
- Poder calorífico inferior de 9600 kcal/kg
- Massa específica que pode variar de 0,970 à 1,050 g/cm³

8.1.2 Combustível B

Será identificado como Combustível B, o Gás Natural, com as seguintes propriedades:

- Poder calorífico superior de 10000 à 12500 kcal/m³
- Enxofre total de 80 mg/m³
- Densidade relativa ao ar de 0.54 a 0.6
- Gás sulfúrico (H₂S) máximo de 20 mg/m³

8.2 Indicadores para Análise dos Produtos Estudados

8.2.1 Custo do Produto

Será abordado o custo do consumo final para o Combustível A e para o Combustível B, considerando o mesmo gerador de vapor, para os respectivos modelos.

Os valores apresentados a seguir foram fornecidos pela empresa "X" e serão expressos em R\$ (reais) para melhor visualização da análise.

8.2.1.1 Custo Final de consumo - Combustível A

Para o consumo do combustível A, foram coletados dados de campo referente a um cliente “X” que produziria 20865kg/h de vapor com pressão máxima de trabalho permitida (PMTP) de 12 kgf./cm².

O preço obtido para compra do óleo BPF, que será utilizado como referência para seguir com o desenvolvimento da análise será a BioEnergia NATAL.

Considerando que o gerador esteja em um regime de trabalho de 30 dias por mês e 24 horas por dia.

Tabela 22– Tabela de Preços de Combustíveis na Indústria



Preço (R\$)	
Combustível	Unidade
GLP	1.850,00 ton
Óleo BPF	970,00 ton
Gás Natural	0,73 N/m ³
Briquetes	200,00 ton
Lenha Eucalipto	96,00 ton
Cavaco Verde	81,00 ton

É importante observar que os valores relacionam-se a tonelada de combustível e não em m³.

Fonte: BioEnergia NATAL.

Tabela 3 – Tabela do Custo Previsto Mensal - Combustível A

Combustível A	
Preço do Óleo BPF (litro)	R\$ 0,92
Consumo de Óleo BPF	1569 kg/h
Custo Previsto Mensal	R\$ 1.039305,60

Fonte: O autor

8.2.1.2 Custo Final de consumo - Combustível B

Para o consumo do combustível B, foram coletados dados de campo referente a um cliente “X” que produziria 20865 kg/h de vapor com pressão máxima de trabalho permitida (PMTP) de 12 kgf./cm².

O fornecedor de gás natural, que será utilizado como referência para seguir com o desenvolvimento da análise será a COMGÁS, Companhia de Gás de São Paulo.

Considerando que o gerador esteja em um regime de trabalho de 30 dias por mês e 24 horas por dia.

Para cálculo do valor do consumo de combustível, a companhia fornecedora de gás natural, utiliza a seguinte equação (3)

$$I = F + (CM \times V) \quad (3)$$

Onde: I = Valor do Consumo de Gás Natural (R\$/mês)

F = Valor do Encargo Fixo (R\$/mês)

CM = Consumo Mensal de Gás Natural (m³)

V = Valor do Encargo Variável (R\$/mês)

Tabela 4– Tabela de Preços do Gás Natural na Indústria

Classes		Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
Classes	Volume m ³ /mês	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m ³
1	Até 50.000,00 m ³	132,52	1,324353	150,59	1,504947
2	50.000,01 a 300.000,00 m ³	20.734,16	0,912303	23.561,55	1,036708
3	300.000,01 a 500.000,00 m ³	34.556,93	0,866187	39.269,24	0,964303
4	500.000,01 a 1.000.000,00 m ³	38.796,98	0,857708	44.087,48	0,974668
5	1.000.000,01 a 2.000.000,00 m ³	56.127,67	0,840377	63.781,44	0,954974
6	> 2.000.000,00 m ³	86.711,24	0,825085	98.535,50	0,937597

Nota do Faturamento: Cada classe é independente. Aplica-se a cada uma delas um encargo variável e um encargo fixo.

Fonte: COMGÁS

Tabela 5 – Tabela do Custo Previsto Mensal - Combustível B

Combustível B	
Preço do GN/m ³	R\$ 2,10
Consumo de GN	1524 Nm ³ /h
Custo Previsto Mensal	R\$ 2.304288,00

Fonte: O autor

Com os dados levantados e a aplicação na equação (3), obtém o resultado do gasto com gás natural.

8.2.3 Consumo de Energia Elétrica

Para analisarmos o consumo de energia elétrica faz-se necessário ressaltar que será necessária a compra de um tanque de serviço para o combustível A, este componente por sua vez requer para seu funcionamento a utilização de energia elétrica.

Segundo MAMEDE (2010, p 552, 553) [...] “Antes de desenvolver quaisquer ações de eficiência energética que impliquem custos, deve-se inicialmente realizar um levantamento dos aparelhos elétricos instalados nos diferentes segmentos da indústria, conforme anteriormente indicado. Após obtidos esses resultados, é necessário realizar medições de parâmetros elétricos, tais como energia, demanda ativa e reativa, corrente, tensão e fator de potência”.[...] “No caso de motores com potência acima de 5 cv mas que operam de forma contínua e com carga uniforme, basta obter uma leitura instantânea ou de pequena duração em torno de quatro horas.”

Após o levantamento do equipamento, foi verificada a potência elétrica utilizada no equipamento em cavalo-vapor (cv).

Para efeito de cálculo de consumo de energia elétrica e melhor visualização posterior, há necessidade de transformar para quilowatts (kW).

Para a transformação será considerado: $1\text{cv} = 0.736\text{ kW}$.

Para a análise de consumo de energia elétrica e efeito de cálculos, a potência utilizada será a consumida, ou seja, é aquela que realmente está sendo utilizada durante o funcionamento do gerador de vapor.

O tanque de serviço fornecido pela empresa “X” possui a capacidade de 1000lts com temperatura 120°C e consumo de óleo 1575kg/h . É composto por duas **Bombas de óleo** e duas **resistências elétricas**. Portanto o consumo de energia elétrica para tal componente será conforme parágrafo anterior.

8.2.3.1 Consumo de Energia Elétrica do Combustível - A

Os componentes levantados no qual consomem energia elétrica para o tanque de serviço, estão indicados na Tabela 06.

Tabela 6 – Tabela de Equipamentos Elétricos para um Tanque de Serviço

Qtde	Equipamento	Potência Consumida (kW)
2	Resistência elétrica	45
2	Bomba de óleo	7,36
	Total	52,36

Fonte: O autor

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico será abordada a análise dos indicadores levantados no desenvolvimento do trabalho, para alguns indicadores, como Custo do produto final; Consumo de energia elétrica e Consumo de combustível, serão convertidos em valor monetário, para que se tenha uma melhor visualização, das diferenças entre os dois combustíveis.

9.1 Custo do Produto Final

Com base nos dados informados na Tabela 03 e Tabela 05, fez surgir a Tabela 07 que informa a diferença dos valores em reais para o consumo dos dois combustíveis.

Tabela 7– Tabela da Diferença de Valores em Reais dos Combustíveis

Combustível A	Combustível B	Diferença
R\$ 1.039.305,60	R\$ 2.304.288,00	R\$ 1.264.982,40

Fonte: O autor

Baseado nas informações contidas na Tabela 07 observa-se que a diferença entre os dois modelos de gerador de vapor, tem um valor de UM MILHÃO DUZENTOS E SESSENTA E QUANTO MIL NOVECIENTOS E OITENTA E DOIS REAIS E QUARENTA CENTAVOS.

Obs.: Nota-se que com a diferença de valores entre os dois combustíveis, é possível consumir duas vezes o combustível A.

Porém, não é somente este indicador que se leva em consideração para aquisição do produto.

9.2 Custo para Consumo de Energia Elétrica do Combustível A

O consumo de energia elétrica é o resultado do produto da potência em quilowatt pelo tempo que o equipamento está em funcionamento dados em horas, conforme equação (2).

$$C = P \times t \quad (2)$$

Onde: C = Consumo de Energia Elétrica (kWh)

P = Potência (kW)

t = Tempo (horas)

A Tabela 8 indica o consumo de energia elétrica para o aquecimento do combustível A, considerando que esteja em pleno funcionamento durante 24hs.

Tabela 8 – Tabela Consumo de Energia Elétrica

Componente	Consumo de Energia Elétrica (kWh)
Tanque de Serviço	1.256,64

Fonte: O autor

Com os dados da tabela anterior é possível uma estimativa de gastos mensais com energia elétrica, considerando dados da ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica.

Nos dados da tabela estão sendo considerado um valor médio nacional nos últimos meses do ano de 2011.

Como o gerador de vapor estudado é utilizado em indústrias, as tarifas consideradas estão em destaque na tabela e será utilizado o valor no Brasil e não nas regiões.

Na Tabela 9 observa-se que o valor da tarifa está em reais por megawatt hora (R\$/MWh), para efeito de análise, este valor será considerado em reais por quilowatt hora (R\$/kWh). Portanto o valor da tarifa será de aproximadamente de R\$ 0.24 kWh.

Tabela 9 – Tabela de Tarifas de Consumo de Energia Elétrica



Tarifas Médias por Classe de Consumo / Região (R\$/MWh)

Período: 2010

Nome Cubo	Data da Última Atualização					
Fornecimento de Energia Elétrica	17/11/2010 22:03:26					
Classe de Consumo/Região	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Brasil
Residencial	292,00	286,97	291,84	307,01	288,96	298,53
Industrial	222,38	219,88	239,60	245,82	224,37	234,28
Comercial, Serviços e Outras	276,45	302,45	307,09	286,09	264,65	285,02
Rural	206,76	217,03	215,07	203,41	173,09	194,37
Poder Público	285,37	330,12	333,84	304,92	289,65	309,35
Iluminação Pública	157,98	177,44	169,14	166,79	149,58	165,34
Serviço Público	179,58	201,46	213,27	214,25	194,69	205,63
Consumo Próprio	306,96	322,12	316,27	295,47	335,30	306,26
Rural Aquicultor	239,08	188,81	200,52	200,00	79,47	179,74
Rural Irrigante	127,50	148,00	180,35	192,76	142,39	158,58
Totais por Região	254,01	262,43	276,31	275,46	244,01	265,19

Fonte: ANEEL

Considera-se que o Tanque de Serviço esteja em um regime de trabalho de 30 dias por mês e 24 horas por dia.

Tabela 10 – Tabela de Valor Mensal de Gastos com Energia Elétrica

Componente	Valor Mensal (R\$)
Tanque de Serviço	301,60

Fonte: O autor

Baseado nos dados levantados, a Tabela 10 mostra os gastos com energia elétrica, que o combustível A está submetido para o funcionamento.

9.2.1 Valor estimado de um Gerador de Vapor Dual

Tabela 11 – Tabela de Valor de um Gerador de Vapor Dual

Gerador de Vapor	Valor Mensal (R\$)
Caldeira Dual	1.144.000,00

Fonte: O autor

A Tabela 11 mostra valor estimado de um Gerador de Vapor Dual.

9.3 Resultado Final

A partir dos resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho, foram observados vários indicadores que irão influenciar na escolha.

Para tais indicadores a Tabela 12 informa o resultado final para comparação entre os dois combustíveis estudados.

Tabela 12 – Tabela de Valores Finais

	Combustível A	Combustível B
Gerador de Vapor	R\$ 1.144.000,00	R\$ 1.144.000,00
Consumo de Combustível	R\$ 1.039305,60	R\$ 2.304.288,00
Consumo de Energia Elétrica	R\$ 301,60	R\$ -
Gastos no Primeiro Mês	R\$ 2.183.607,20	R\$ 3.448.288,00

Fonte: O autor

Os resultados obtidos deixam claro que o gasto mensal com o Combustível B é mais alto que o gasto com o Combustível A, onde se percebe que o maior agravante nos resultados é o gasto com consumo de combustível.

Conforme Figura 9 pode ter uma idéia porque o combustível (gás natural) tem o valor mais alto que o combustível (óleo BPF).

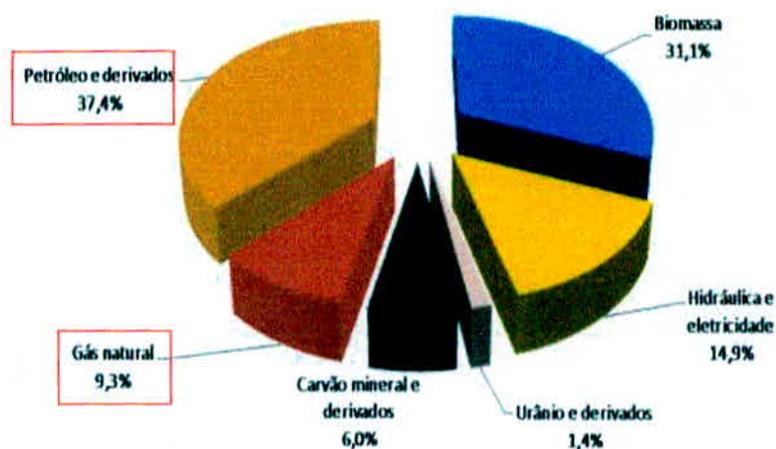


Figura 9 - Matriz Energética no Brasil.
Fonte - Ministério de Minas e Energia/BIGMA Consultoria

Observa-se que a disponibilidade de gás natural no Brasil é inferior aos derivados do petróleo.

10 CONCLUSÃO

No estudo da viabilidade de combustíveis de um gerador de vapor, podemos observar que ambos possuem diferentes vantagens e desvantagens ao serem aplicados em uma caldeira. Foram apresentados neste trabalho, dados, aplicações e comparações. Observamos que o GN possui maior vantagem em comparação ao óleo BPF, em contra partida seu custo final é muito maior.

O propósito deste trabalho é adquirir materiais necessários para pesquisa de campo, de forma que o pesquisador tenha as informações básicas para a escolha da fonte de energia empregada. Futuramente orientará o pesquisador nos pontos necessários para a escolha do combustível ou a obtenção de uma caldeira que tem por finalidade a opção da queima de ambos, o que lhe proporcionará uma maior segurança caso houver uma brusca mudança de custo ou a falta de um dos combustíveis no mercado.

REFERÊNCIAS

ANDRADE DE CARVALHO JR., João. **Emissões em processos de combustão**, São Paulo, Editora Unesp. 2003

FONTES DE ENERGIA. **Gás Natural**. Disponível em:
<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/gas-natural/>

GARCIA, Roberto. **Combustíveis e Combustão Industrial**. Editora Interciência 2002.

PERA, Hildo. **Geradores de Vapor de Água**. São Paulo Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica 1966.

STEAMMASTER. **Caldeiras**. Descrição de produtos. Disponível em:
<http://www.caldeiras.com/>

TORREIRA, Raul P. **Fluídos Térmicos**. Curitiba, Editora Hemus S.A. 2002

PREÇO DE COMBUSTÍVEIS. **Óleo BPF**. Disponível em:
<http://www.bioenergianatal.com.br/processo-compactacao.php>