

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA INSTALAÇÃO DE
GERAÇÃO DE VAPOR POR MEIO DO REAPROVEITAMENTO DE
ENERGIA EM LINHAS DE RETORNO DE CONDENSADO**

DANILO ROSSI DE OLIVEIRA CARDOSO

Uberlândia-MG

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA INSTALAÇÃO DE
GERAÇÃO DE VAPOR POR MEIO DO REAPROVEITAMENTO DE
ENERGIA EM LINHAS DE RETORNO DE CONDENSADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal de
Uberlândia (UFU), como requisito para a
obtenção do Diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

**Orientador: Prof. Dr. Arthur Heleno
Pontes Antunes**

Uberlândia-MG

2018

BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE DANILO ROSSI DE OLIVEIRA CARDOSO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM AGOSTO DE 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Daniel Dall'Onder dos Santos
Universidade Federal de Uberlândia

Ms. Abdul Orlando Cárdenas Gómez
Pós Graduação - Universidade Federal de Uberlândia

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada. Aos meus pais e irmãos por terem me dado forças para chegar onde cheguei. Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes pela confiança depositada em meu trabalho e pelos ensinamentos repassados ao longo da minha formação acadêmica. Ao meu amigo Dr. Juliano Okamoto Antunes pelos ensinamentos e disponibilidade ao me passar seu conhecimento sobre o assunto. A todos os amigos e envolvidos para que esse trabalho fosse possível.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com base em uma modificação de um sistema real de geração, distribuição e utilização de energia térmica na forma de vapor. O objetivo principal era aumentar a eficiência energética de uma fábrica de processo no interior do Estado de São Paulo. Para isso, foi realizado um estudo prévio para verificar a quantidade de vapor “flash” eliminado em uma planta já existente, antes da implementação de um possível novo sistema. Duas situações foram observadas, na primeira parte do condensado produzido por utilização indireta de vapor de toda a fábrica era perdido e na segunda, nenhum condensado era reutilizado. Após a análise do projeto inicial, foram realizadas modificações pertinentes, reutilizando por completo o condensado oriundo da utilização indireta de vapor de toda a planta industrial, para reduzir assim, a quantidade de combustível utilizado no gerador de vapor. Por fim, foi realizado uma análise quantitativa de energia e recursos financeiros para constatar a eficiência de implementação do novo processo, o qual funciona atualmente na fábrica em questão.

Palavras-chave: Vapor, energia térmica, vapor flash, condensado.

ABSTRACT

The present work was developed in a system of generation, distribution and use of thermal energy in the form of steam, to increase the energy efficiency of a process plant in the interior of the State of Minas Gerais. For this, a previous study was carried out to verify the amount of flash vapor eliminated before the implementation of a new system, in which part of the condensate produced by indirect use of steam of the whole factory was lost. After the analysis of the initial design, the relevant modifications were made, reusing by complete the condensate from the indirect use of steam of the whole industrial plant, to reduce the amount of fuel used in the steam generator. Finally, a quantitative analysis of energy and financial resources was carried out to verify the efficiency of implementation of the new process, which currently works in the plant in question.

Keywords: *Steam, thermal energy, flash vapor, condensate.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Válvula redutora de pressão autooperada. (Fonte: VECTOR, 2016)-----	27
Figura 2: Purgador de Boia. (Fonte: Silva Telles, 2016) -----	29
Figura 3: Vista em corte de Turbina a Vapor. (Fonte: FCIT, 2004) -----	29
Figura 4: Desaerador. (Fonte: Togawa, 2017) -----	30
Figura 5: Circuito Básico de Vapor. (Fonte: Borgnakke 2013) -----	31
Figura 6: Caldeira Aquatubular ICAVI (Fonte: www.icavi.ind.br , 2017)-----	33
Figura 7: Turbina de condensação / extração TGM (Fonte: www.grupotgm.com.br , 2015) -----	33
Figura 8: Condições de trabalho da turbina TGM (Fonte: Manual TGM, 2013) -----	34
Figura 9: Esquema da planta de Araxá – MG -----	35
Figura 10: Diagrama Pressão x Volume. -----	37
Figura 11: Esquema da planta de Araxá – MG -----	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condições de trabalho da turbina TGM (Fonte: Manual TGM, 2013) -----	28
Tabela 2: Parâmetros do sistema baseados nas condições de operação da turbina TGM-----	37
Tabela 3: Condições de trabalho dos equipamentos-----	38
Tabela 4: Carga Térmica de condensados dos equipamentos de troca indireta de calor-----	39
Tabela 5: Vazões de condensados e vapor flash dos equipamentos de troca indireta de calor-----	41
Tabela 6: Vazões e Carga térmica dos equipamentos após os purgadores-----	41

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	10
2 - OBJETIVO	10
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4 - METODOLOGIA	25
5 - ESTUDO DE CASO	26
5.2 - LAYOUT DAS PLANTAS	28
5.2.1 - Planta antiga (Araxá-MG).....	28
5.2.2 - Planta nova (Perdizes-MG).....	33
5.2.3 – Condições de operação	39
5.2.4 – Balanço de massa e energia	40
5.2.4.1 - Balanço de massa Araxá – MG:	42
5.2.4.2 - Balanço de massa Perdizes – MG:	43
5.2.4.3 - Balanço de Energia.....	44
5.2.5 - Cálculos dos Custos de Produção.....	45
5.2.5.1 - Consumo de Combustível no Gerador de Vapor:	45
6- CONCLUSÕES	47
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 - INTRODUÇÃO

A utilização de energia térmica contida no vapor é amplamente utilizada desde os adventos da Revolução Industrial, quando se inicia o uso de maquinários movidos a partir dessa forma de energia. Com uma evolução da indústria em si, a produção e a utilização de vapor estão presentes em grande parte das fábricas de processo na atualidade. Isso se deve ao fato de ser uma energia de fácil obtenção, já que seu insumo é a água proveniente do meio ambiente, e se produzida em condições regulamentares, com poucos danos à natureza.

Historicamente, a primeira utilização que se sabe do vapor, foi há mais de 1800 anos atrás, por Heron de Alexandria, aplicada à uma espécie de turbina chamada colípila, embora tenha sido um mecanismo visto como sendo sem utilidade. Ainda assim, a partir dessa época, inicia-se, mesmo que vagarosamente, estudos e pequenas aplicações utilizando o vapor. Somente por volta do século XVII, que o físico Denis Papin utilizou a expansão volumétrica e os princípios da termodinâmica para bombear água em um mecanismo bastante rudimentar. A partir daí, surgiram novas aplicações com maiores graus de tecnologia, principalmente na indústria. Dessa forma, foi em 1698 que Thomas Savery patenteou a primeira máquina utilizando vapor como fonte primária de energia. E assim deu-se uma base fundamental para a ocorrência da Revolução Industrial.

Atualmente, em algumas indústrias, parte da energia térmica provida pelo vapor é utilizada diretamente em algum processo de fabricação, sendo a outra, transformada em energia mecânica através da instalação de máquinas térmicas chamadas turbinas, a qual transforma-se em energia elétrica para suprir a demanda energética das fábricas ou de instalações próximas, a chamada cogeração de energia. O que de fato será bastante abordado nesse trabalho, tendo em vista que a nova fábrica alimentícia inaugurada na cidade de Perdizes, interior de Minas Gerais, foi projetada para suprir a demanda energética da cidade, além de fornecer energia térmica para os processos da fábrica em si.

O fato que mais importante é que o novo projeto fabril, feito em parceria com a Concessionária de Energia de Minas Gerais (CEMIG), tendo como objetivo suprir a demanda energética da fábrica, foi um evento essencial para garantir alimentação de energia elétrica para a cidade de Perdizes e sua população.

1.1 - OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo mostrar o aumento da eficiência energética de um sistema de geração, distribuição e utilização de energia térmica na forma de vapor, reutilizando vapor flash em

linhas de retorno de condensado em uma fábrica de processo, bem como demonstrar numericamente e esquematicamente a viabilidade do processo de melhoria com relação a equipamentos e custos financeiros.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo prévio à realização deste projeto passou por uma revisão da disciplina de Termodinâmica Clássica. Os conceitos básicos, bem como definições de equipamentos, serão detalhados nos tópicos a seguir.

- **Produção de Vapor**

O sistema de geração de vapor normalmente é composto por sistema de tratamento de água, sistema de alimentação de água da caldeira (tanque de condensado, desaerador, bombas de água), equipamentos da linha de combustível (tanques de armazenamento, cavaletes de redução de pressão, válvulas e atuadores), caldeiras ou geradores de vapor e outros componentes e equipamentos, dependendo da aplicação e necessidade de vapor.

O vapor é gerado por uma caldeira ou um gerador de vapor pela transferência do calor dos gases quentes à água. Quando a água absorve quantidade suficiente de calor muda da fase líquida para vapor (na verdade a mudança ocorre gradualmente). A quantidade necessária depende da temperatura inicial da água e da pressão na qual o vapor será gerado e pode ser obtida pela combustão de combustíveis ou da recuperação de calor residual de processos. No caso de caldeiras, a transferência de calor se dá dos gases de combustão à água através de superfície de troca térmica.

Especificamente nesse trabalho, as caldeiras que serão citadas nos 2 projetos utilizam o cavaco de eucalipto para a produção de energia térmica. Esse insumo é utilizado por ser de fácil obtenção, custo relativamente baixo comparado a outros por exemplo, e seu processo de produção é rápido. Além disso, o cavaco de eucalipto possui um poder calorífico considerável quando comparado a outras madeiras.

- **Variações de Temperatura e Calor**

Se um sistema de geração de vapor operar a uma pressão maior que a atmosférica, a temperatura de ebulição ou de saturação será superior a 100°C. Por exemplo, a uma pressão de 10 bar g, essa temperatura de saturação é de aproximadamente 183,2°C. Para atingir esta temperatura, a água necessita de uma maior quantidade de calor sensível.

Por outro lado, a medida em que a pressão de geração aumenta, o calor latente necessário para converter a água em vapor é menor. A pressões elevadas, as moléculas de vapor possuem menor grau de liberdade e, portanto, a quantidade de energia suplementar necessária para romper as forças de atração molecular é menor.

Considera-se uma caldeira como um recipiente fechado. O vapor, ao ser gerado dentro da caldeira, passa a exercer uma pressão sobre o meio, inclusive sobre a superfície da água contida nesse meio (de acordo com a da Lei de Pascal). Esse aumento de pressão fará com que a temperatura de saturação da água se torne maior, pois as moléculas necessitam de uma quantidade maior de energia para vencer a força de atração intermolecular.

- **Utilização do vapor saturado e superaquecido**

O vapor saturado é utilizado em processos de aquecimento, pois, o objetivo é aproveitar a energia térmica (calor latente / sensível / total) do mesmo. Além disso, sua geração é muito menos onerosa que a de vapor superaquecido.

O vapor superaquecido é utilizado para movimentação de máquinas (turbinas, bombas, etc.), onde se deseja aproveitar a potência mecânica. Nesse caso, o vapor deve estar totalmente isento de gotículas que podem causar erosão nas aletas das turbinas.

- **Cogeração, Geração de energia elétrica através de vapor produzido em caldeiras**

Com o aumento do custo da energia elétrica torna-se mais viável a produção de energia elétrica através da utilização do vapor gerado em caldeiras de pequeno e médio porte.

É importante citar antes de falar em cogeração ou geração de energia elétrica através de uma produção de vapor, que se saiba a diferença conceitual entre produção e pressão de trabalho de uma caldeira.

Para a geração de energia elétrica a partir do vapor precisa-se dos seguintes equipamentos: uma caldeira industrial, uma turbina com redutor e um conjunto gerador. Normalmente nos processos produtivos das indústrias, em geral, estas já possuem a caldeira e ficam tentadas a gerar a sua própria eletricidade. Isso nem sempre é possível pois para gerarmos energia elétrica deve-se fornecer energia térmica através do vapor, e essa energia nem sempre está disponível como apresentado a seguir.

Quanto mais energia térmica se fornece a turbina, maior será a quantidade de energia elétrica obtida. Logo o ideal é que se aumente a pressão de trabalho da caldeira e a temperatura o vapor, fazendo com que este passe de vapor saturado para vapor superaquecido.

Estes aumentos de pressão e temperatura ficam limitados a parte estrutural da caldeira, pois não se pode trabalhar com uma caldeira acima da pressão de trabalho para qual a mesma foi projetada e muitas vezes as caldeiras de pequeno porte não possuem superaquecedor.

No processo de cogeração o vapor superaquecido vai para a turbina, a qual aciona o redutor que por sua vez aciona o gerador produzindo a energia elétrica.

O que ocorre dentro de uma turbina de uma termoelétrica ou turbina para geração de vapor: o vapor entra na turbina no estado de vapor superaquecido, nestas condições o vapor está a uma alta temperatura em torno de 420 graus centígrados e é incolor.

A medida que o vapor cede energia para o acionamento da turbina este vai perdendo pressão e temperatura e vai passando da condição de superaquecido para a condição de saturado.

O vapor saturado sairá da turbina a uma pressão e uma temperatura baixa tendo cedido quase toda a sua energia para fazer com que a turbina gire acionando o redutor que por sua vez vai acionar o gerador.

O vapor que sai da turbina precisará ser resfriado até se transformar novamente em líquido para voltar a alimentar a caldeira fechando um ciclo entre a caldeira e a turbina.

Para que o vapor saturado se transforme em líquido tem-se na saída da turbina um condensador e um sistema de torres de resfriamento, necessitando de uma grande quantidade de água para realizar este trabalho.

Quando utilizamos vapor no processo industrial se faz necessário termos no meio da turbina uma saída de vapor, na pressão e temperatura desejada no processo industrial, para fazermos a extração do vapor.

- **Vasos de pressão**

O nome vaso de pressão (pressure vessel) designa genericamente todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formatação, finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado. Dentro de uma definição tão abrangente, inclui-se em uma enorme variedade de equipamentos, desde uma simples panela de pressão de cozinha, até os mais sofisticados reatores nucleares.

No entanto, destaca-se os vasos de pressão chamados de ‘equipamentos de processo’, que se definem como vasos de pressão presentes em indústrias de processo, que são as indústrias nas quais materiais sólidos ou fluidos sofrem transformações físicas e/ou químicas, ou as que se dedicam a armazenagem, manuseio e distribuição de fluidos. Dentre essas indústrias cita-se, entre outras, as refinarias de petróleo, as indústrias químicas e petroquímicas em geral, grande parte das indústrias alimentícias e farmacêuticas, a parte térmica das centrais termoelétricas, os terminais de armazenagem e de distribuição de petróleo, bem como as instalações de processamento de petróleo e/ou gás natural, em terra ou no mar.

- **Geradores de Vapor**

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.

Essa 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 alta temperatura, bem como as unidades mais simples de geração de vapor, comumente denominadas de caldeiras de vapor.

Na produção de energia mediante aplicação do calor que é gerado através da queima dos combustíveis nos geradores de vapor, desenvolve-se o seguinte processo evolutivo: a água recebe calor através da superfície de aquecimento; com aumento da temperatura e atingida a temperatura de ebulição, muda de estado transformando-se em vapor sob determinada pressão, superior à atmosférica, para uso externo. A potência calorífica do combustível converte-se assim em energia

térmica (calor) contida no vapor a alta pressão, que por sua vez transforma-se em mecânica por meio de processamento em máquinas térmicas adequadas para a obtenção de energia elétrica, hidráulica ou pneumática.

- **Caldeiras**

Essencialmente uma caldeira é um equipamento no qual a água é introduzida, e pelo fornecimento de energia térmica, é continuamente evaporada. Primitivamente montada sobre uma estrutura fechada de tijolos, o combustível era queimado (nas caldeiras de combustão) sobre uma grelha presente no interior da estrutura supracitada, sendo o calor direcionado diretamente para a parte inferior do recipiente, antes de sair em grande proporção para a atmosfera pelo duto da chaminé.

Os projetistas prontamente compreenderam que a transmissão do calor pelo método acima para um simples vaso de água era absolutamente ineficiente, sendo necessário proporcionar ao gerador de vapor um contato mais íntimo entre água e os gases da. Uma das formas de realiza-lo foi a de direcionar os produtos quentes da combustão através de tubos dispostos no interior do invólucro da caldeira.

Qualquer que seja o tipo de caldeira considerado, sempre será composta por três partes essenciais, que são: A fornalha ou câmara de combustão, a câmara de água e câmara de vapor.

Os condutos para descarga dos gases e a chaminé não formam parte integral da caldeira; constituem construções independentes que são adicionadas ao corpo resistente da mesma, não estando expostas à pressão do vapor.

A fornalha ou câmara de combustão é a parte da caldeira onde se queima o combustível utilizado para a produção do vapor. Se for empregado carvão ou lenha, a fornalha compõe-se de grelhas sobre as quais este é queimado; de um espaço livre para o desenvolvimento de chamas, denominado câmara de combustão e finalmente de um espaço localizado embaixo das grelhas denominado depósito de cinzas, pelo qual penetra o ar necessário à combustão.

Quando a caldeira queima combustíveis líquidos, gases ou produtos pulverizados, suprime-se as grelhas e o depósitos de cinzas; neste caso, a fornalha está constituída por uma câmara, no interior da qual, e mediante combustores ou queimadores, é injetado o combustível gasoso, líquido ou pulverizado, que queima ao entrar em contato com o ar comburente, que entra à fornalha através de portas especiais.

As câmaras de água e vapor constituem as superfícies internas da caldeira propriamente dita. Estão constituídas de recipientes metálicos herméticos de resistência adequada que adotam a forma de invólucros cilíndricos, coletores, tubos, etc., devidamente comunicados entre eles; na sua superfície interna contém água a ser vaporizada, estando a quase totalidade da superfície externa em contato com as chamas ou gases da combustão. A parte inferior deste recipiente recebe o nome de câmara de água; o espaço limitado entre a superfície da água e a parte superior denomina-se câmara de vapor.

Por último, os condutores de fumaça e a chaminé, dispostos na parte final do percurso que seguem os gases no interior da caldeira, tem como objetivo conduzir para o exterior os produtos da combustão que transmitem parte do seu calor para a água e vapor, através da superfície de aquecimento.

A chaminé tem também a função de aumentar a velocidade de descarga dos gases, produzindo uma tiragem natural que promove a entrada de ar à fornalha acelerando assim a combustão.

Da ideia de direcionar os produtos quentes da combustão através de tubos dispostos no interior da caldeira surgiu a projeto da caldeira denominada flamotubular ou fogotubular, que não somente aumenta a superfície de aquecimento exposta à água, como também produz uma distribuição mais uniforme de vapor em geração, através da massa de água.

Em contraste com a ideia precedente, o projeto de caldeiras aquatubulares mostrou um ou mais coletores unidos por uma grande quantidade de tubos através dos quais circulava a mistura de água e vapor. O calor flui do exterior dos tubos para a mistura. Essa subdivisão das partes sob pressão tornou possível a obtenção de grandes capacidades e altas pressões.

○ **Perdas identificadas em caldeiras**

A seguir ressaltaremos alguns itens que devem ser observados buscando uma operação eficiente nas caldeiras:

- Ação de gases dissolvidos na água de alimentação: as presenças de gases tais como O₂ e CO₂ causam corrosão nas superfícies metálicas das caldeiras;

- Água de alimentação não modulada (Efeito On-Off) causando queda de pressão na caldeira e choques térmicos;

- Presença de sólidos suspensos na água de alimentação;

- Presença de sólidos dissolvidos na água de alimentação (sílica, cálcio, magnésio, etc) causadores de incrustações nas áreas de troca;

- Perdas de calor motivadas por descargas excessivas;
- Comprometimento da segurança e rendimento da caldeira por descargas insuficientes.

Quando se trata do controle dos sólidos totais dissolvidos, pode ser feita de duas formas:

- De forma manual, através da análise físico-química da água que define a vazão que deve ser descarregada;
- De forma automática, através da leitura da condutividade elétrica de água.

○ **Descarga de fundo**

Na descarga de fundo são eliminadas as impurezas em suspensão existentes na água. Por serem mais pesadas, essas impurezas tendem a se depositar no fundo da caldeira, inibindo a transferência de calor e causando superaquecimento. Essa operação pode ser feita manual ou automaticamente.

O tempo de abertura da válvula de descarga não deve exceder a 5 segundos, sendo que a operação deve ser repetida de hora em hora.

De acordo com a legislação ambiental, os efluentes industriais não devem ser descarregados para o esgoto a altas temperaturas. No caso da descarga de fundo, o correto é direcionar os resíduos para um tanque, para que sofra o resfriamento antes de ser jogado no esgoto.

No caso de instalação com várias caldeiras, pode-se utilizar um único vaso de descarga, que deve ser previamente dimensionado para atender a demanda total.

● **Tubos e tubulações**

Tubos são condutos fechados, destinados principalmente ao transporte de fluidos. Todos os tubos são de seção circular, apresentando-se como cilindros ocos. A grande maioria dos tubos funciona como condutos forçados, isto é, sem superfície livre, com o fluido tomando toda a área da

seção transversal. Fazem exceção apenas as tubulações de esgoto, e às vezes as de água, que trabalham com superfície livre, como canais.

Chama-se de "tubulação" um conjunto de tubos e de seus diversos acessórios. A necessidade da existência das tubulações decorre principalmente do fato de o ponto de geração ou de armazenagem dos fluidos estar, em geral, distante do seu ponto de utilização. Usa-se tubulações para o transporte de todos os materiais capazes de escoar, isto é, todos os fluidos conhecidos, sendo eles líquidos ou gasosos, assim como materiais pastosos e fluidos com sólidos em suspensão. Para que ocorra o escoamento, todos os fluidos devem trabalhar nas faixas de variação de pressões e temperaturas usuais na indústria: desde o vácuo absoluto até cerca de 1000 MPa (= 100 kg/mm²), e desde próximo do zero absoluto até as temperaturas de metais em fusão.

- **Válvulas**

As válvulas são dispositivos destinados a estabelecer, controlar e interromper o fluxo em uma tubulação. São os acessórios mais importantes existentes nas tubulações, e que por isso devem merecer o maior cuidado na sua seleção, especificação e localização. Em qualquer instalação deve haver sempre o menor número possível de válvulas, compatível com o funcionamento da mesma, porque as válvulas são peças caras, onde sempre há possibilidade de vazamentos (em juntas, gaxetas etc.) e que introduzem perdas de carga, às vezes de grande valor. As válvulas são entretanto peças indispensáveis, sem as quais as tubulações seriam inteiramente inúteis. Por esse motivo, o desenvolvimento das válvulas é tão antigo quanto o das próprias tubulações.

Existe uma grande variedade de tipos de válvulas, algumas para uso geral, e outras para finalidades específicas. São os seguintes os tipos mais importantes de válvulas:

- **Válvula de bloqueio:** são válvulas que se destinam apenas a estabelecer ou interromper o fluxo, isto é, que só devem funcionar completamente abertas ou completamente fechadas. As válvulas de bloqueio costumam ser sempre do mesmo diâmetro nominal da tubulação, e têm uma abertura de passagem de fluido com seção transversal comparável com a da própria tubulação.

- **Válvulas de regulagem:** são às destinadas especificamente para controlar o fluxo, podendo por isso trabalhar em qualquer posição de fechamento parcial. Essas válvulas são às vezes, por motivo de economia, de diâmetro nominal menor do que a tubulação. As válvulas de borboleta e de diafragma, embora sejam especificamente válvulas de regulagem, também podem trabalhar como válvulas de bloqueio.
- **Válvulas redutoras de pressão (PCV):** regulam a pressão a jusante da válvula, fazendo com que essa pressão se mantenha dentro de limites preestabelecidos. Essas válvulas são automáticas, isto é, funcionam sem intervenção de qualquer ação externa. Em muitas delas o funcionamento se faz através de uma pequena válvula-piloto, integral com a válvula principal e atuada pela pressão de montante, que dá ou não passagem ao fluido para a operação da válvula principal. Tanto a válvula-piloto como a principal fecham-se por meio de molas de tensão regulável de acordo com a pressão desejada.

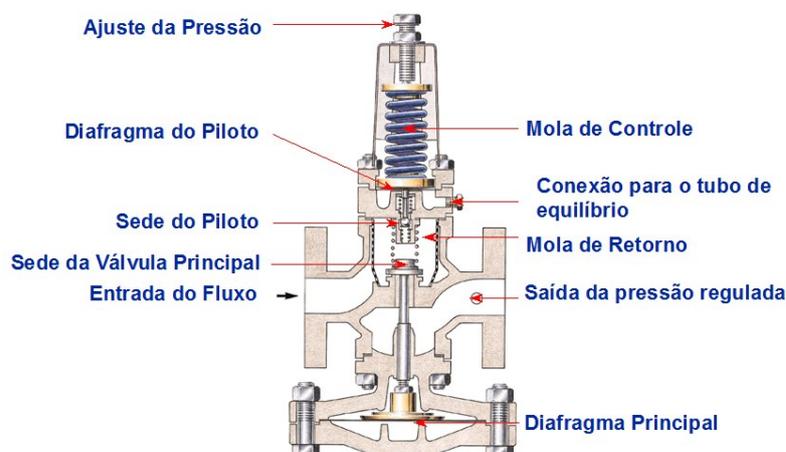


Figura 1: Válvula redutora de pressão autooperada. (Fonte: VECTOR, 2016)

- **Recuperação de condensado**

Se 1t/h de vapor é fornecido ao equipamento para o processo de aquecimento, então a mesma quantidade de condensado (1t/h) precisa ser descarregada a partir do equipamento. Recuperação de condensado é um processo de reuso da água e do calor sensível contido no condensado

descarregado. A recuperação do condensado, ao invés de jogá-lo fora, pode levar à economia significativa de energia, tratamento químico e recuperação da água.

Condensado pode ser reutilizado em muitos diferentes caminhos, por exemplo: como água de alimentação aquecida, enviando o condensado quente de volta para o desaerador da caldeira; como pré-aquecimento, para qualquer sistema de aquecimento que seja aplicável; como vapor, através de reuso do vapor flash; como água quente, para limpeza do equipamento ou outras aplicações de limpeza.

Reuso do condensado quente pode levar à redução considerável em termos de energia e recursos de água, bem como melhoria das condições de trabalho e redução da pegada de carbono da sua planta.

Condensado contém uma quantidade significativa de calor sensível que pode ser contada em torno de 10% a 30% da energia térmica inicial contida no vapor.

A alimentação da caldeira com o condensado de alta temperatura pode maximizar o resultado, pois menor energia térmica é necessária para transformar a água em vapor. Quando recuperado e reutilizado de maneira eficiente, o condensado pode tornar possível a redução do combustível da caldeira em torno de 10 a 20%.

Uma vez que todas impurezas coletadas durante o transporte do condensado estejam removidas, o condensado pode ser reutilizado como água de alimentação da caldeira, reduzindo o fornecimento da água e custos de tratamento, bem como custos associados com a água fria utilizada para reduzir a temperatura do condensado antes do descarte, quando aplicável.

Redução da necessidade de combustível da caldeira através da recuperação do condensado leva a menor poluição do ar através da redução das emissões de CO₂, NO_x e SO_x.

Adicionalmente, linhas de recuperação do condensado podem limitar também as nuvens de vapor para reduzir o ruído gerado a partir da descarga atmosférica do condensado e ajudar a prevenir o acúmulo de água no chão, melhorando de maneira considerável o ambiente de trabalho da planta.

Dependendo da quantidade de condensado a ser recuperado e reutilizado, outros benefícios que podem ser inclusos é a redução da necessidade de purga da caldeira através da alimentação da água de melhor qualidade e menor corrosão no sistema, já que a qualidade da água se torna mais consistente em toda a rede.

- **Purgadores**

Os purgadores de vapor (steam-traps) são dispositivos automáticos que separam e eliminam o condensado formado nas tubulações de vapor e nos aparelhos de aquecimento, sem deixar escapar o vapor. Por essa razão, esses aparelhos deveriam ser chamados, com mais propriedade, de "purgadores de condensado". A maioria dos purgadores, além de removerem o condensado, eliminam também o ar e outros gases incondensáveis (CO₂ por exemplo) que possam estar presentes.' Os purgadores de vapor são os dispositivos de separação mais importantes e de emprego mais comum tubulações industriais. São as seguintes as causas do aparecimento de condensado em tubulações de vapor:

— Em tubulações de vapor úmido o condensado se forma por precipitação da própria umidade.

— Em tubulações de vapor saturado o condensado aparece em consequência das perdas de calor por irradiação ao longo da linha.

— Em tubulações de vapor saturado ou superaquecido o condensado pode aparecer em consequência do arrastamento de água, proveniente da caldeira. — Em quaisquer tubulações de vapor, o condensado sempre se forma no período de entrada em operação, quando todo o sistema está frio (warm-up) e, também, quando o sistema é tirado de operação e o vapor vai se condensando aos poucos no interior da tubulação.

O condensado forma-se também em todos os aparelhos onde o vapor é usado como meio de aquecimento (re-fervedores, aquecedores a vapor, serpentinas, autoclaves, estufas etc.), como consequência da perda de calor do vapor. A remoção do condensado do ar e de outros gases existentes nas linhas de vapor deve ser feita pelas seguintes razões:

— Conservar a energia do vapor: o condensado não tem ação motora (máquinas a vapor) nem ação aquecedora eficiente (o vapor aquece cedendo o calor latente de condensação). A entrada ou a permanência do condensado nos aparelhos de aquecimento diminui grandemente a eficiência desses aparelhos.

— Evitar vibrações e golpes de aríete nas tubulações, causados pelo condensado, quando empurrado pelo vapor em alta velocidade. Esses golpes ocorrem principalmente nas mudanças de direção, extremos de tubulações, válvulas etc, porque as velocidades usuais para o vapor são muito maiores (20 a 100 vezes) do que as usadas para água e, também, porque o condensado é incompressível.

— Evitar a erosão rápida das palhetas das turbinas, que seria causada pelo impacto das gotas de condensado.

— Diminuir os efeitos da corrosão. O condensado combina-se com o CO_2 que possa existir no vapor formando o ácido carbônico, de alta ação corrosiva.

— Evitar a redução da seção transversal útil de escoamento do vapor devido à acumulação do condensado. Evitar o resfriamento do vapor em consequência da mistura com o ar e outros gases.

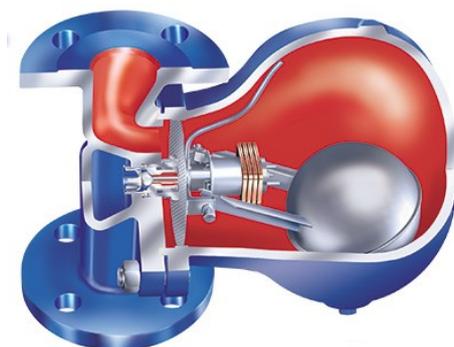


Figura 2: Purgador de Boia. (Fonte: www.bermo.com.br)

O purgador de boia, por exemplo, demonstrado na figura 2, é utilizado para grandes variações de pressão e vazão, drenagem instantânea sem perda de temperatura, drenagem de condensado na temperatura de ebulição, drenagem de condensado sem perda de temperatura, permite remoção do condensado livre de contrapressão, mesmo com extremas flutuações da pressão e vazão. Possui válvula de retenção incorporada para proteção contra reversão de fluxo, retirando a necessidade de válvula de retenção adicional na linha;

- **Vapor Flash**

Vapor flash é um nome dado para o vapor formado a partir do condensado quente no momento em que sua pressão for reduzida.

Vapor flash não é diferente do vapor normal, é somente um nome conveniente usado para explicar como o vapor é formado. Vapor normal ou "vivo" é produzido na caldeira, gerador de vapor, ou gerador de recuperação do calor perdido- já que o vapor flash ocorre quando o condensado

de alta pressão / alta temperatura é exposto à uma grande queda de pressão, como quando estiver saindo de um purgador.

Condensado de alta temperatura contém alta energia que não pode ser mantida em forma líquida sob uma pressão menor porque há mais energia que o requerido para manter água saturada a baixa pressão. O resultado é que parte da energia em excesso leva uma % do condensado ao vapor Flash.

- **Turbinas a Vapor**

Turbina a vapor, como visto na figura 3, é a máquina térmica que utiliza a energia do vapor sob forma de energia cinética. Deve-se transformar em energia mecânica a energia contida no vapor saturado ou superaquecido (preferencialmente) sob a forma de energia térmica e de pressão;

Essa máquina térmica possui um motor rotativo que converte em energia mecânica a energia contida do vapor a alta pressão que é gerado na caldeira. O elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados em torno da circunferência do eixo central, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a roda, fazendo-a girar. Essa energia mecânica é transferida através de um eixo para movimentar uma máquina, um compressor, um gerador elétrico ou uma hélice.

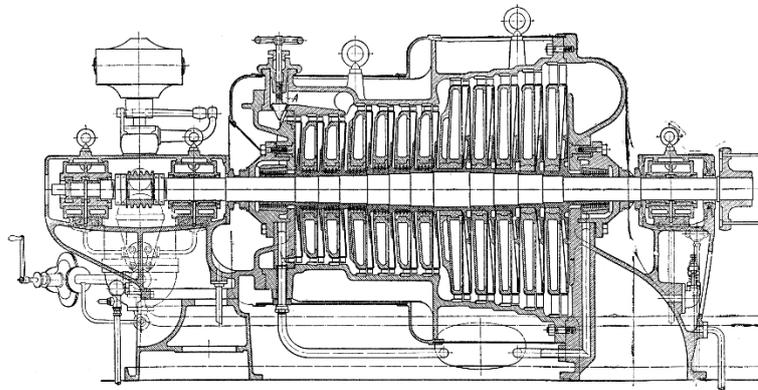


Figura 3: Vista em corte de Turbina a Vapor. (Fonte: FCIT, 2004)

- **Desaerador**

O desaerador é um equipamento térmico que tem por função remover o oxigênio da água através de processo mecânico, por esse ser corrosivo e danoso às caldeiras. Para isso, o desaerador

é abastecido com vapor, com o qual a água pulverizada entra em contato, aquecendo. Parte do vapor também condensa e parte sai pelo alívio de vapor.

Tipicamente, a água condensada pode atingir de 105 a 120 °C, por ser um tanque pressurizado, não havendo, dessa forma, a necessidade de tratamento químico para remoção de dióxido de oxigênio.

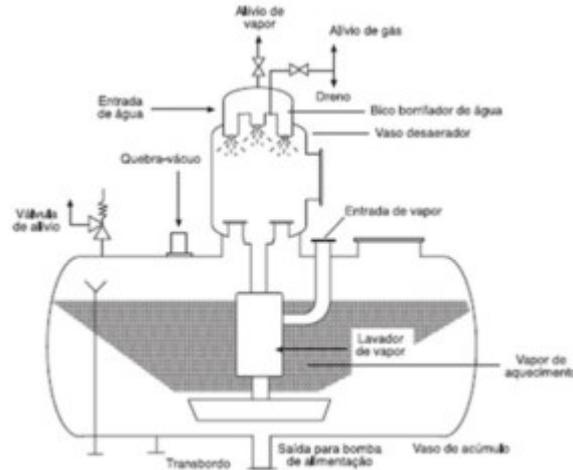


Figura 4: Desaerador. (Fonte: Togawa, 2017)

- **Circuitos de Vapor**

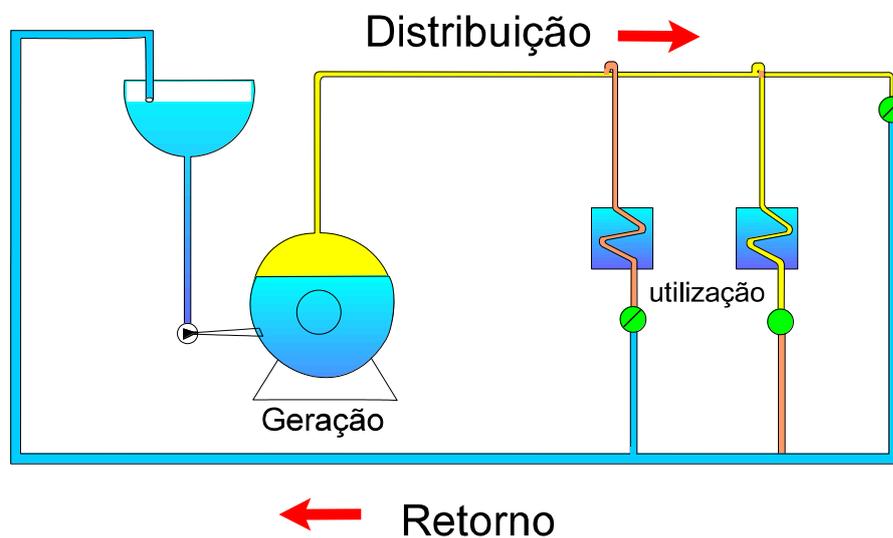


Figura 5: Circuito Básico de Vapor. (Fonte: Borgnakke 2013)

O vapor gerado na caldeira é transportado por tubulações de distribuição. A partir dessas tubulações, outras de menor diâmetro transportam o vapor até os equipamentos de forma individual

pelos chamados cavaletes de redução ou ramal. Inicialmente, o vapor transfere calor para as tubulações que se encontram frias, e essas tubulações trocam calor com a parte externa do sistema.

Nessa transmissão, parte do vapor se condensa e o condensado passa a ocupar as partes inferiores das tubulações, sendo empurrado pela massa de vapor circulante. Essa mesma transmissão se dá quando a válvula de alimentação de vapor de algum equipamento é aberta. O fluxo de vapor que sai da caldeira passa a ser contínuo, isto é, quanto maior a taxa de condensação, maior será a produção de vapor na caldeira para compensá-la. É óbvio que, nessas condições, maiores serão os consumos de combustível e de água.

Ao retornarmos o condensado para a caldeira, por se tratar de água aquecida, estaremos promovendo significativa economia no consumo de combustível, uma vez que menor será a quantidade de calor necessária para transformar essa água em vapor. Podemos dividir o ciclo em 4 partes: geração de vapor (caldeiras, etc); distribuição de vapor (tubulações de distribuição em geral); utilização de vapor (equipamentos consumidores de vapor); retorno de condensado.

4 - METODOLOGIA

Primeiramente, torna-se necessária uma análise do Gerador de Vapor e da Turbina utilizados nos processos, tanto na fábrica antiga, como na nova fábrica da empresa. Lembrando que modificações foram realizadas, porém, os equipamentos básicos são os mesmos (caldeira, desaerador, turbina, tubulações, equipamentos de produção, etc). A modificação se baseou tão somente em adequações no layout da fábrica visando reaproveitar o vapor que estava sendo eliminado para atmosfera (adaptações de tubulações e conexões). As plantas serão mostradas em breve no estudo de caso.

Basicamente, a diferença entre as plantas é a reutilização do vapor flash na fábrica de Perdizes. Em Araxá, esse vapor é eliminado do tanque flash para a atmosfera. Isso acontece por que seria inviável a instalação do sistema de reaproveitamento desse vapor em Araxá, tendo em vista que a distância dos trocadores de calor e o tanque flash é grande fazendo com que o vapor flash gerado se condensasse antes de chegar ao desaerador. Reaproveitando esse vapor flash, diminui a necessidade de alimentação de água da rede, impactando em um menor consumo de água e de energia, já que a água de alimentação externa está a uma temperatura mais baixa do que o vapor vindo do tanque flash ou da linha de extração da turbina de 10 bar para troca de calor direto.

Após as análises, torna-se possível a realização de um balanço energético para verificar-se o aumento do rendimento térmico do sistema da fábrica antiga. Após isso, realizou-se uma comparação à fábrica nova, e observou-se a economia financeira com a diminuição de gastos com combustível e água para o gerador com o reaproveitamento do vapor produzido.

5 - ESTUDO DE CASO

Esse trabalho irá demonstrar o aumento da eficiência energética de uma fábrica alimentícia real, realizando o reaproveitamento de condensado proveniente da utilização indireta de vapor produzido por uma caldeira aquatubular e logo após, utilizado em uma turbina de condensação (transforma parte do vapor em condensado devido à queda entrópica causada pelo impacto do vapor com suas pás) onde essa energia produzida é utilizada para suprir a demanda energética da própria fábrica ou como na fábrica de Perdizes, energia elétrica para suprir a população da cidade.

Para isso, foi realizado um estudo a partir de uma situação onde esse condensado produzido era eliminado para a atmosfera na forma de vapor flash, gerando gastos desnecessários para a empresa, e conseqüentemente maior consumo de combustível e água. Logo, no projeto de instalação da fábrica de Perdizes, foram feitas as modificações necessárias baseada nas falhas de projeto da fábrica de Araxá, onde o condensado produzido pela utilização indireta de vapor, é reaproveitado no sistema, diminuindo o consumo de combustível para o gerador de vapor, e conseqüentemente, reduzindo os custos financeiros para a fábrica.

Observa-se na Figura 11, a caldeira aquatubular utilizada, da marca ICAVI, com vazão de vapor de 55000 kg/h, pressão de 67 bar(a) e perda de 3% (por irradiação, calor sensível nas cinzas e nos gases de combustão, perdas de fuligem, perda de combustão incompleta etc.).



Figura 6: Caldeira Aquatubular ICAVI (Fonte: www.icavi.ind.br, 2017)

Inicialmente, a empresa possuía apenas uma planta na cidade de Araxá, interior do Estado de Minas Gerais, onde foi utilizada a mesma caldeira como geradora de vapor para o processo produtivo da planta. Com a ampliação e abertura de mais uma unidade na cidade de Perdizes, também no interior de Minas Gerais, utilizou-se os mesmos equipamentos, porém como dito anteriormente, com adequações no layout e adaptações em conexões de tubulação para garantir a economia de energia térmica.

A turbina, observada na Figura 7, utilizada nas duas Fábricas é da marca TGM (turbina de condensação / extração), fabricada para cogeração de energia (térmica/ elétrica).

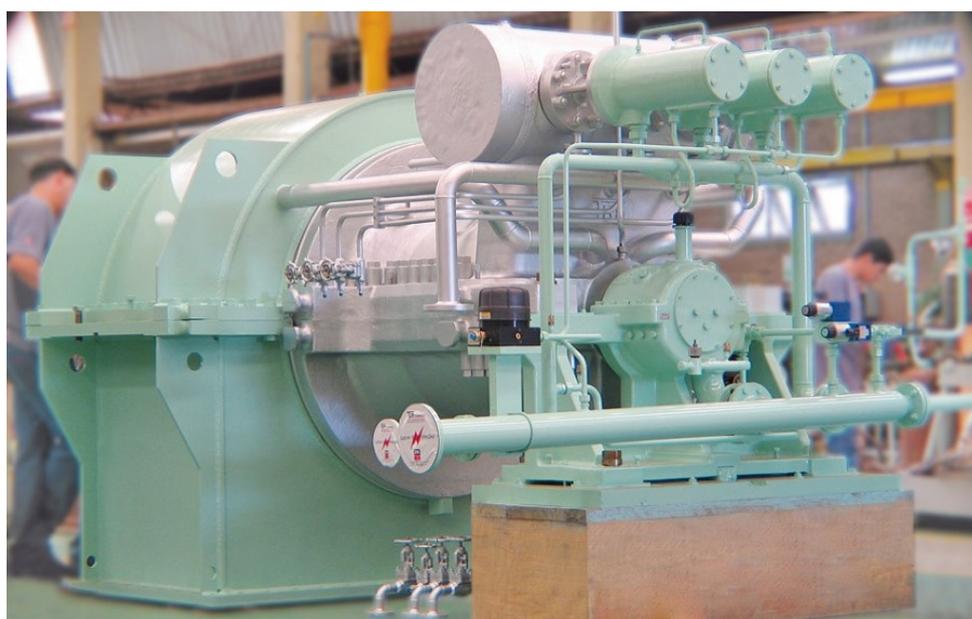


Figura 7: Turbina de condensação / extração TGM (Fonte: www.grupotgm.com.br, 2015)

Tal turbina, representada pela figura 7, funciona nas seguintes condições de trabalho de acordo com a tabela 1.

Condições de Trabalho

Máquina acionada	Gerador							
	CTE 25							
Modelo da turbina	1	2	3	4	5	6	7	
Condição de operação								
Potência nos bornes do gerador	7.500	7.500	7.500	7.420	8.600	4.350	5.580	kW
Pressão de vapor de entrada	67	67	67	67	67	67	67	bar(a)
Temperatura de vapor de entrada	490	490	490	490	490	490	490	°C
Vazão de vapor de entrada	51.500	41.000	41.500	30.800	48.300	40.700	51.500	kg/h
Pressão de vapor na tomada sem controle	30,16	-	23,16	-	34,83	22,68	27,06	bar(a)
Temperatura de vapor na tomada sem controle	388,2	-	365,0	-	408,4	364,4	377,3	°C
Vazão de vapor superaquecido na tomada	12.758	-	12.830	-	3.500	12.758	17.000	kg/h
Pressão de vapor na extração	10	10	10	10	10	10	10	bar(a)
Temperatura de vapor na extração	251,5	255,0	261,0	274,8	253,6	262,9	253,7	°C
Vazão de vapor superaquecido na extração (*)	22.874	21.582	4.151	3.080	23.000	22.878	28.500	kg/h
Pressão de vapor na saída	0,08	0,09	0,10	0,11	0,10	0,065	0,065	bar(a)
Temperatura de vapor na saída	41,5	43,8	45,8	47,7	45,8	37,6	37,6	°C
Vazão de vapor na saída	15.868	19.418	24.520	27.720	21.800	5.064	6.000	kg/h
Rotação da turbina	10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	RPM
Rotação da máquina acionada	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	RPM
Tolerância	1	-	-	-	-	-	-	%

Tabela 1: Condições de trabalho da turbina TGM (Fonte: Manual TGM, 2013)

A condição de Trabalho utilizada nas duas plantas em condições normais de produção foi a condição de operação 1.

A condição de operação 6 remete-se somente à partida técnica do equipamento. Sendo que o equipamento é desligado somente em casos de manutenção corretiva ou periódicas (preditiva ou preventiva) e retorna a partir de uma partida técnica à produção normal logo em seguida

5.2) LAYOUT DAS PLANTAS

5.2.1) Planta antiga (Araxá-MG)

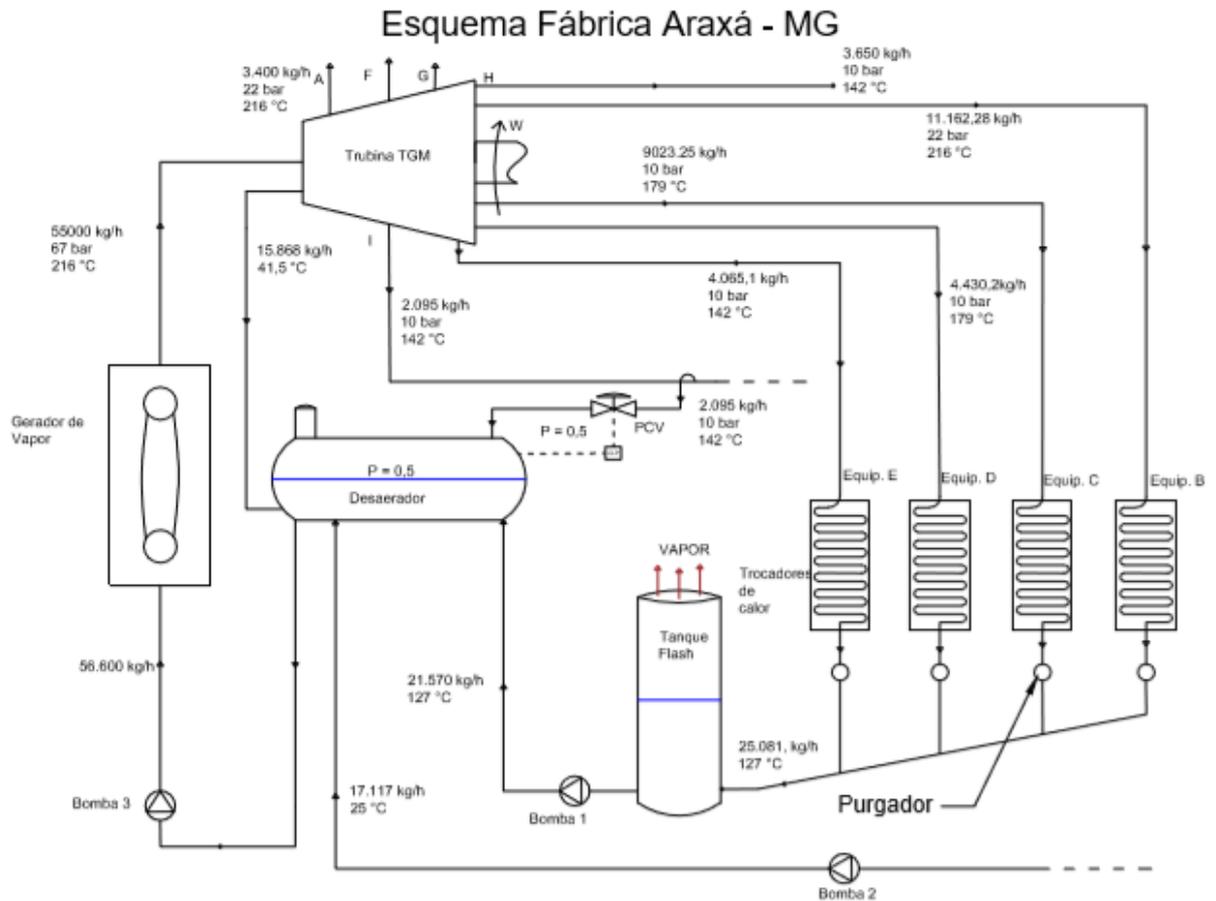


Figura 8: Esquema da planta de Araxá – MG.

Na primeira fábrica da empresa, o sistema é composto por um gerador de vapor (caldeira aquatubular) com vazão de saída, considerando as perdas - 3% (descarga de fundo, etc.) - de 55000 kg/h de vapor, com pressão de trabalho de 67 bar(a), conectada diretamente à uma turbina de condensação / extração TGM fabricada para cogeração de energia.

Essa turbina possui 9 pontos de extração de vapor, com determinadas vazões, pressões e temperatura, e são divididas para duas finalidades distintas. A primeira é utilização desse vapor de forma direta, ou seja, de acordo com o processo de utilização desse vapor na fábrica em si, esse é utilizado diretamente no processo, portanto o fluido resultante da troca térmica não pode ser reaproveitado por conta de mistura com outras substâncias inerentes ao processo produtivo. A segunda, e a que se deve atentar às análises, é utilização de vapor indireto, ou seja, aquele vapor que é utilizado no processo para troca térmica indireta, portanto não sendo contaminado pelo processo produtivo, e tendo como produto, a mesma água que saiu da turbina. Obviamente, que devido a troca térmica e que será analisar posteriormente, com propriedades termodinâmicas diferentes. O

que será verificado, é que a melhoria que será apresentada ao final das análises, está diretamente ligada a essa água previamente aquecida retornando á caldeira na maior quantidade possível e aumentando a eficiência do processo de produção, distribuição e utilização de vapor.

No sistema demonstrado pela figura 8, como dito antes possui vazão máxima de vapor de 55000 kg/h e pressão máxima de trabalho de 67 bar(a). Porém, contabilizando 3% de perdas no processo de produção de vapor, a vazão máxima de alimentação da caldeira é de 56650 kg/h de água, com pressão de 0,5 bar e 110 °C.

A turbina, possui 9 extrações de vapor, sendo 4 delas destinadas a utilização vapor indireta, e 5 delas para utilização de vapor direta. As linhas de extração para utilização de vapor direto estão representadas pelas letras A, F, G, H e I. Conforme o layout da planta, a linha de extração representada por A, opera a pressão de 22 bar, 216 °C e vazão 3400 kg/h. A linha F, opera a pressão de 10 bar, 142 °C e vazão de 1270 kg/h. A linha representada pela letra G, opera a pressão de 10 bar, 142 °C e vazão de 10160 kg/h. A linha representada pela letra H, opera a pressão de 10 bar, 142 °C e vazão de 3650 kg/h. Por fim, a linha representada pela letra I, opera a pressão de 10 bar, 142° a uma vazão de 1510 kg/h.

Da mesma forma, as linhas de extração que chegam aos equipamentos de utilização de vapor indireto estão representadas pelas letras B, C, D e E, sendo que a linha representada pela letra B, opera a pressão de 22 bar, 216 °C e vazão 9600 kg/h. A linha representada pela letra C, opera a pressão de 10 bar, 179 °C e vazão de 7760 kg/h. A linha representada pela letra D opera a pressão de 10 bar, 179 °C e vazão de 3810 kg/h. E a linha representada pela letra E opera a pressão de 10 bar, 142 °C e vazão de 400 kg/h.

Uma observação que deve-se fazer, é que o vapor proveniente da caldeira, ao entrar em contato com as pás da turbina, transformando o vapor superaquecido em condensado (diminuição da entropia). Esse condensado por sua vez, é extraído da turbina e direcionado, servindo como fluido de reposição ao desaerador, representado pelo número 4 no esquema. Isso é vantajoso, pois sendo esse líquido em estado saturado, com temperatura relativamente elevada e pressão igual à mantida no desaerador, diminui a necessidade de reposição de água fria proveniente de fonte externa, o que minimiza perda de carga térmica no sistema.

O desaerador tem como objetivo no sistema manter a pressão e temperatura constantes para alimentar a caldeira quando necessário, de acordo com a vazão de entrada do necessária do gerador de vapor. Sendo essa pressão, praticamente a mesma de entrada da caldeira (0,5 bar > Pressão do desaerador > 0,8 bar), considerando perda de carga na tubulação de escoamento. Assim garante,

além da ausência de oxigênio que é prejudicial a caldeira, água nos parâmetros corretos no gerador de vapor.

Uma observação importante que deve-se fazer sobre o desaerador nesse sistema específico da Fábrica de Araxá-MG, que além do sistema de inserção de condensado proveniente da turbina, o desaerador possui ainda 2 fontes de alimentação, sendo uma delas, de vapor e outra de água quente, sendo que essa segunda, será discutida em seguida. Em relação a alimentação de vapor, observa-se que em uma das linhas de vapor extraído da turbina, temos uma tomada de vapor que alimenta o desaerador, No entanto, como a pressão de trabalho (0,5 bar) no desaerador é muito menor do que qualquer linha de extração da turbina, foi instalada uma válvula controladora de pressão ou PCV (Pressure Control Valve), ou ainda, simplesmente válvula redutora de pressão. Isso com o intuito de garantir o fluxo de vapor da linha de extração para o desaerador na pressão correta. Vale ressaltar que essa válvula possui um atuador pneumático acionado por uma válvula piloto (CLP) que envia sinais elétricos de acordo com a mínima variação de pressão dentro do desaerador.

Em relação a alimentação de água no desaerador, o sistema assim como demonstrado no esquema, essa água é proveniente de um tanque de condensado ou também chamado de tanque flash.

Essa denominação “Tanque Flash” se deve ao fato desse tanque armazenar vapor flash e condensado provenientes dos processos de utilização indireta de vapor, representado pelos trocadores de calor 1, 2, 3 e 4 do esquema.

Percebe-se pelo gráfico da figura 9, que ao trocar calor no trocador de calor (reação de 4 para 1) e o vapor ser condensado, ele é direcionado ao purgador. E ao passar pelo purgador, devido à queda brusca de pressão (reação de 1 para 1'), parte desse condensado se torna vapor novamente.

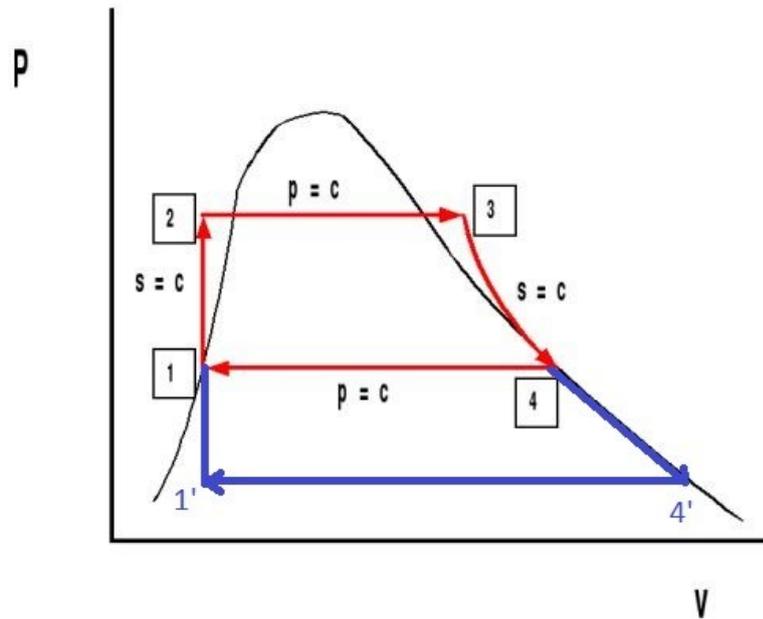


Figura 9: Gráfico Pressão x Volume.

O purgador, devido à queda de pressão funciona como uma válvula de expansão, já que ocorre uma diminuição da pressão a uma entalpia constante. A condensação é isobárica e ocorre sob temperatura constante, com redução da entalpia do fluido pela troca indireta de calor no trocador. Nota-se então, que o ponto 1' encontra-se na área de líquido com vapor.

Vale ainda dizer, que quanto maior a redução de pressão que ocorrer no purgador, mais vapor flash irá gerar ao fluido quando expandido no equipamento

Em sequência, toda a massa (condensado) que retorna dos processos de troca de calor indireta, como demonstrado do esquema, se dirige ao tanque flash a uma pressão de 0,5 bar, temperatura de 127 °C e vazão de 21570 kg/h.

Nesse layout da fábrica de Araxá – MG, o tanque flash não aproveita o vapor flash que armazena e é eliminado para a atmosfera sem ser aproveitado. E a água, a medida que a caldeira necessita de reabastecimento pelo desaerador, e bombeada pela bomba 1 até o desaerador.

Deve-se observar, que como dito, o desaerador, que funciona como um misturador, necessita manter sua pressão e temperatura constantes. Por isso, a medida que a caldeira precisa de água para manter a produção de vapor de acordo com a necessidade do processo, o desaerador solicita água para manter seus parâmetros constantes ao mesmo tempo que alimenta o gerador de vapor produzindo o vapor necessário, sendo provinda do tanque flash, do condensado proveniente da turbina ou da linha de extração de vapor proveniente da turbina a alta pressão e reduzida pela PCV.

diretamente no desaerador. Sendo assim, todo vapor que antes era eliminado, agora reutilizado no sistema, aumenta e muito o seu rendimento, como analisaremos no balanço de massa e energia posteriormente. E isso traz como consequência direta, redução no consumo de combustível no gerador de vapor, levando à economia financeira pela fábrica, como também veremos em breve.

5.2.3) Condições de operação

Comparando as duas fábricas analisadas, nota-se que os valores de pressão, temperatura e vazão estão sendo considerados iguais. No entanto, sabe-se que esses parâmetros de trabalho serem iguais é uma situação praticamente impossível de ocorrer, tendo em vista algumas diferenças de fabricação e montagem dos equipamentos e da estrutura das duas fábricas em questão, do tempo de funcionamento de cada uma, isso levando em consideração cumprimentos de planos de manutenção e etc. Por isso, considera-se valores semelhantes, por se tratarem de instalações que possuem maquinários de mesmo projeto, dimensões e condições de operação iguais. O que se quer evidenciar é exatamente a grande diferença de consumo de vapor entre as duas fábricas e como uma simples mudança resultou é uma alta economia de recursos energéticos e financeiros.

Quando se realiza um projeto de cogeração de energia como descrito nesse trabalho ou tão somente o de produção, distribuição e utilização de vapor, prevê-se a instalação de muitos outros componentes que não serão mostrados aqui, justamente por serem inerentes as duas fábricas e não acrescentarem dados às análises de aumento de rendimento do sistema. Ou seja, não se cita ou como viu-se nos sistemas, não está evidenciado diâmetro de tubulações, utilização de válvulas redutoras de pressão (PCV) e de controle de temperatura (TCV) para aplicação direta nos equipamentos de produção, purgadores, liras, cavaletes de redução, sistemas de by-pass, filtros, e vários outros componentes utilizados em dimensionamentos de linhas de vapor e retorno de condensado.

No entanto, vale ressaltar um ponto importante, que apesar de serem iguais nas duas fábricas, o tanque flash possui um sistema de controle de nível e de pressão para seu funcionamento que é essencial para o abastecimento do desaerador, constituído de inversores, sensores diferenciais de nível e pressão, entre outros itens. Ou seja, através de um sistema automatizado de controle de processo, é possível manter os parâmetros controlados de acordo com a necessidade da fábrica e do sistema de cogeração de energia.

Em todo sistema de vapor é primordial se retornar o condensado para o tanque de alimentação da caldeira. As vantagens são diversas:

- A água condensada é isenta de impurezas, reduzindo a necessidade de tratamento químico;

- Reduz as descargas de fundo e de superfície na(s) caldeira(s);

- A mesma se encontra a alta temperatura, reduzindo a quantidade de combustível necessária para a produção de vapor.

Pode-se afirmar que: “A cada 5/6°C de aumento nesta temperatura, reduzimos em 1% o consumo de combustível”.

- Está se reaproveitando a água no próprio sistema, reduzindo os custos de utilização de água nova;

- Reduz os efluentes a tratar, além de estar se adequando ao meio ambiente, não descartando água a 90 °C.

Não se considera as perdas nas nossas análises (perdas e carga térmica na tubulação, perdas de calor, consumo de água nos equipamentos, etc) para facilitar os cálculos e por que as perdas nas fábricas são semelhantes, exceto a perda que é foco desse trabalho (vapor flash produzido nos purgadores).

Quando se faz o reaproveitamento do vapor flash, os equipamentos dotados dos seus respectivos purgadores, devem estar próximos ao gerador de vapor, assim como o desaerador. Isso se deve ao fato de que caso a distância seja alta, ocorre excessiva perda de carga e calor, fazendo com que o vapor se condense novamente e não tenha a finalidade adequada, uma vez que o vapor tem a vantagem de se deslocar em qualquer sentido e direção sem impulsionamento de bombas, como funciona no líquido

Deve-se observar que o tanque flash tem por função principal servir de reservatório de água para a caldeira mediante sua necessidade e conseqüentemente da necessidade do sistema. Sendo assim, como dito, o desaerador mantém sua pressão, temperatura e nível de fluido constante de acordo com as condições operacionais das suas fontes de alimentação de água ou vapor. Que é o caso do tanque flash. Ou seja, dependendo da demandar energética da caldeira, o desaerador manda água para a caldeira ao mesmo tempo em que é repostado pelas fontes supracitadas (válvula PCV, tanque flash, condensado da turbina e água de alimentação da rede).

As duas plantas apresentadas se diferenciam tão somente na aplicação de um sistema reaproveitamento de vapor através da instalação de um coletor de vapor no tanque flash, permitindo que todo o vapor flash gerado na depressão dos purgadores pudesse ser reaproveitado no sistema. No entanto, a diferença entre as duas fábricas, apesar da pequena mudança e como será apresentado, resultou em grande economia energética, financeira e desempenhou um papel importante para a cidade de Perdizes no interior do estado de Minas Gerais.

5.2.4) Balanço de Massa e Energia.

Ao ser instalados os equipamentos como um todo nas duas fábricas, por um tempo foram realizados testes e modificações para que fosse possível operar nas melhores condições possíveis. Para isso, foram testados alguns cenários ou condições de operação para se obter o melhor rendimento do sistema e diversas situações de produção e cogeração de energia. Um exemplo disso, e já citado nesse trabalho, ocorre em paradas técnicas do sistema de produção de energia por qualquer motivo que seja: indisponibilidade de insumo, falha no sistema de segurança dos equipamentos ou segurança do trabalho em si, por motivos de manutenção, etc.

Outro ponto que devemos observar, é que em sistemas antigos de cogeração de energia, utilizava-se layouts semelhantes, mas com algumas diferenças, aos descritos nesse trabalho. No entanto, muitas das vezes não possuíam as melhorias tecnológicas que ocorreram durante os anos de estudos e de aumento de performance desses sistemas. Um exemplo disso, é que nos sistemas antigos, o desaerador eliminava parte do vapor flash que possui a fim de controlar a temperatura dos fluidos em seu interior e conseqüentemente a sua pressão de trabalho. Claro que com as evoluções tecnológicas, e em boa parte voltadas ao aumento de aplicações de automação e controle a esses sistemas mais modernos, possibilitou que esse controle de pressão e temperatura nesse equipamento fosse feito de forma mais inteligente e com menor variação possível. Dessa forma, possibilitou por fim, um maior controle de processo e conseqüentemente aumento da performance do sistema.

Após a exposição das características básicas das duas fábricas que estamos estudando, leia-se os parâmetros de pressão, temperatura e vazão trabalhados em cada uma das duas fábricas, foi feito uma compilação dos dados operacionais dos dois sistemas na tabela a seguir, mostrando várias condições de operação geral desses sistemas. Além disso, através da aplicação de fórmulas termodinâmicas, foi realizado também, e inseridos na tabela, dados relacionados a produção de energia das plantas. Logo após, baseado nesses dados, faremos o balanço final de energia e

finalmente evidenciaremos o ganho energético com a implementação da melhoria citada anteriormente na fábrica mais recentemente implantada.

Vale ressaltar, que a diferenças das condições de trabalho estão relacionadas as diferentes possibilidades de trabalho da turbina TGM, uma vez que consegue trabalhar em diversas condições de acordo com a necessidade do sistema de cogeração e de produção da fábrica em si. Ou seja, caso haja necessidade de alteração de parâmetros de temperatura e pressão em algum processo de produção que não possa ser alcançado simplesmente por modificações de tubulações e seus componentes, o recurso final possível é modificar a condição de operação da turbina, e obviamente, reconfiguração total do sistema de distribuição, utilização e retorno de condensado proveniente do vapor produzido na caldeira.

Condição operação TGM	1	2	3	4	5	6	7	Unidade
Vazão vapor caldeira	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	kg/h
Pressão	67	67	67	67	67	67	67	bara
Perda (DESCARGA FUNDO E ETC)	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	
Alimentação água caldeira	56.650	56.650	56.650	56.650	56.650	44.770	56.650	kg/h
Calor sensível	110,9	110,9	110,9	110,9	110,9	110,9	110,9	kcal/kg
Energia	6.282.485	6.282.485	6.282.485	6.282.485	6.282.485	4.964.993	6.282.485	kcal/h
Condensado processo	21.570	21.570	21.570	21.570	21.570	10.785	21.570	kg/h
Temperatura	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	°C
Energia	4.277.444	4.277.444	4.277.444	4.277.444	4.277.444	2.138.722	4.277.444	kcal/h
Condensado turbina TGM	15.868	19.418	24.520	27.720	21.800	5.064	6.000	kg/h
Temperatura	41,5	43,8	45,8	47,7	45,8	37,6	37,6	°C
Energia	658.522	850.508	1.123.016	1.322.244	998.440	190.406	225.600	kcal/h
Reposição "vapor" energia	2.095	1.796	1.372	1.062	1.566	4.101	2.768	kg/h
Temperatura	110	110	110	110	110	110	110	°C
Calor total (0,5 barg)	642,8	642,8	642,8	642,8	642,8	642,8	642,8	kcal/kg
Energia	1.346.519	1.154.533	882.025	682.797	1.006.601	2.635.865	1.779.441	kcal/h
Reposição "água" massa	17.117	13.866	9.188	6.298	11.714	24.820	26.312	kg/h
Temperatura	25	25	25	25	25	35	25	°C

Energia (não está sendo considerada acima)	427.931	346.648	229.696	157.444	292.851	868.714	657.793	kcal/h
--	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------

Tabela 2: Parâmetros do sistema baseados nas condições de operação da turbina TGM.

Nessa tabela, devem-se fazer algumas observações:

- A Condição de Operação 1, é a utilizada em produção normal das duas Fábricas.

- A Condição de Operação 6, é a utilizada em partidas técnicas da máquina.

Em sequência, vamos considerar as vazões, temperaturas de trabalho de cada equipamento do sistema, sendo eles de troca direta ou indireta de vapor, pressões de trabalho para fazermos os cálculos da quantidade de calor fornecida aos equipamentos e a quantidade de calor que retorna na forma de condensado ao tanque flash, sendo esse eliminado na forma de vapor (unidade Araxá – Mg) ou reaproveitado (unidade Perdizes – MG).

Pressão bar(a)	Temperatura °C	Quantidade de Calor sensível kcal/kg	Equipamento	Troca de calor	Vazão kg/h
22	216	221,2	A	Direto	3.400
22	216	221,2	B	Indireto	9.600
10	179	181,2	C	Indireto	7.760
10	179	181,2	D	Indireto	3.810
10	142	143,6	E	Indireto	400
10	142	143,6	F	Direto	1.270
10	142	143,6	G	Direto	10.160
10	142	143,6	H	Direto	3.650
10	142	143,6	I	Direto	1510

Tabela 3: Condições de trabalho dos equipamentos

Podemos observar que cada linha de vapor extraído da turbina, e utilizando as tabelas termodinâmicas em anexo, uma quantidade de massa de vapor com uma determinada quantidade de calor chega aos equipamentos. Dessa forma cada equipamento recebe uma carga térmica de acordo com a sua necessidade. Por exemplo, o equipamento B, recebe uma massa de 3.400 kg de vapor por

hora. E após um período de troca de calor de forma indireta no trocador de calor do equipamento de produção, fornece ao sistema uma quantidade de calor sensível de 221,2 kcal por quilograma de condensando. Sendo assim, após uma hora de trabalho do equipamento B, obtém-se na tubulação de saída do purgador do trocador de calor, 2.123.520 kcal. Da mesma forma, fazendo as análises de todos os equipamentos de troca de calor indireta, obtemos os seguintes dados:

Equipamento	Condensado Carga Térmica kcal/h
B	2.123.520
C	1.406.112
D	690.372
E	57.440

Tabela 4: Carga Térmica de condensados dos equipamentos de troca indireta de calor

Nos sistemas das duas fábricas que estamos estudando, a massa total de vapor que chegou aos equipamentos, retorna ao tanque de vapor flash, seja na forma de condensado ou na forma de vapor. Sendo assim, faremos uma análise do quanto de vapor é eliminado sem reaproveito. Para isso, faremos uma análise do quanto de vapor flash é gerado na saída dos purgadores dos equipamentos de troca de vapor indireta.

Para entendermos melhor a situação da formação do condensado, faremos as seguintes observações:

- Quando o condensado quente, gerado na troca térmica indireta dos equipamentos, submetido a uma determinada pressão é descarregado, sua temperatura alcança muito rapidamente o ponto de ebulição.
- O excedente de calor é utilizado na forma latente, fazendo com que parte desse condensado volte a evaporar.
- A quantidade de vapor novamente evaporado ou vapor flash que se forma para cada quilograma de condensado pode ser calculado da seguinte forma:

$$TR = \frac{Csa - Csb}{Clb} 100$$

onde:

TR = taxa de reevaporação (%).

Csa = calor sensível a alta pressão (kcal/kg).

Csb = calor sensível a baixa pressão (kcal/kg).

Clb = calor latente a baixa pressão (kcal/kg).

Para simplificar o método, pode-se utilizar a Figura 16:

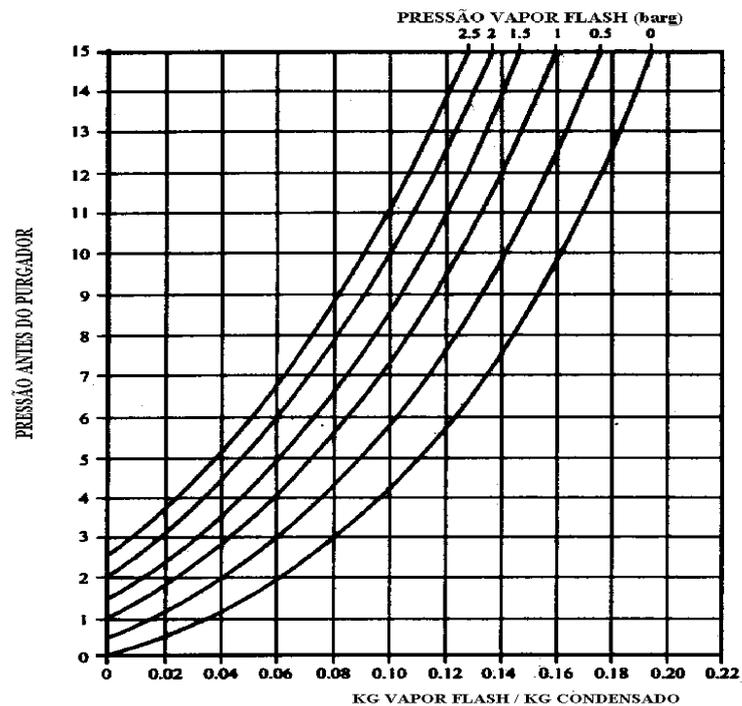


Figura 11: Gráfico de relação entre massa de vapor flash por massa de condensado com base na diferença de pressão a montante e jusante dos purgadores.

Como podemos observar, é necessário sabermos a pressão de saída do condensado antes do purgador. Como todos os equipamentos de produção com troca de calor indireta possui pressão de trabalho de 10 bar, e como vimos nos sistemas que a pressão de retorno do condensado é de 0,5 bar, concluímos através do gráfico que taxa de vapor flash é de 0,14 (kg de vapor flash / kg de condensado). Ou seja, do total de massa que entra nos trocadores de calor dos equipamentos, quando passa pelos purgadores, 14% é de vapor flash, e conseqüentemente 86% é de condensado. Logo, analisando os dados coletados, obtém-se:

Equipamento	Vazão vapor flash (kg/h)	Vazão de condensados pós purgador (kg/h)
B	1.562,8	9600
C	1.263,25	7.760
D	620,2	3.810
E	65,1	400

Tabela 5: Vazões de condensados e vapor flash dos equipamentos de troca indireta de calor.

Fazendo os mesmos cálculos sobre a quantidade de energia contida no vapor flash e no condensado após os purgadores, chega-se aos seguintes dados:

Equipamento	Vazão vapor flash (kg/h)	Vazão de condensado após purgador (kg/h)	Carga térmica Vapor flash (kcal/h)	Carga térmica condensado após purgador (kcal/h)
B	1.562,8	9600	345.691,36	2.123.520
C	1.263,25	7.760	228.900,9	1.406.112
D	620,2	3.810	111.015,8	690.372
E	65,1	400	9.244,2	57.440

Tabela 6: Vazões e Carga térmica dos equipamentos após os purgadores.

Podemos concluir então, que em 1 hora de produção normal nas duas Indústrias analisadas, considerando um fluxo constante de produção e de fluido no sistema, portanto considerando a Condição de Operação 1 da Turbina da TGM, chega ao Tanque Flash 3.512 kg de vapor, possuindo 694.852,26 kcal de Energia por hora.

Portanto, deixando de reaproveitar o vapor flash gerado da depressão dos purgadores, e que é o cenário da Fábrica de Araxá -MG, jogamos fora 694.852,26 kcal por hora de energia térmica. O que não ocorre na Fábrica de Perdizes, já que esse vapor reaproveitado é inserido diretamente no desaerador, reduzindo a necessidade de complemento através de uma das linhas de extração da

turbina, do complemento de condensado vindo da vindo do tanque flash (lembrando que pra chegar o condensado desse tanque ao desaerador, utiliza-se uma bomba, e portanto, mais gasto energético), e eliminando quase que completamente, a necessidade de reposição de água da rede em condições normais.

Faremos agora, uma análise de energia do sistema contabilizando o quanto de combustível economizamos ao reaproveitar o vapor flash produzido nos purgadores dos trocadores de calor. Primeiramente, faremos um balanço de vazão mássica das duas Fábricas. Então, compararemos a quantidade de energia gasta pelo gerador de vapor das Plantas industriais.

5.2.4.1) Balanço de massa Araxá – MG:

Vemos pela tabela de vazões relacionado a condição da turbina TGM, pela condição de trabalho 1 que a caldeira deve ser alimentada á uma vazão de água de 56.650 kg/h de água a 110 °C, portanto fornecendo uma massa de água de 6.282.485 kcal/h. Sendo assim, pelo sistema:

$$A_l = R_v + C_t + C_p + A_r$$

Onde:

A_l = Alimentação de água na caldeira

R_v = Reposição de vapor pela linha de extração da turbina

C_t = Condensado da turbina

C_p = Condensado do processo

A_r = Água da rede de reposição no desaerador

Logo:

$$A_r = A_l - R_v - C_t - C_p$$

$$A_r = 56.650 - 2.095 - 15.868 - 21.570$$

$$A_r = 17117 \text{ kg/h de água}$$

Ou seja, para repor água na caldeira para que o sistema seja possível e contínuo, é necessária uma vazão de água de reposição de 17.117 kg/h. Isso, considerando a água a uma temperatura de 25 °C, fornecendo ao sistema uma massa de água de 427.931 kcal/h.

5.2.4.2) Balanço de massa Perdizes – MG:

Como vimos, o vapor gerado nos purgadores na antiga fábrica era eliminado. Logo, considerando que 21.570 kg/h de condensado representa 86% da massa de água utilizada nos processos indiretos, com o novo sistema de reaproveitamento de vapor, iremos considerar nos cálculos então, 100% de utilização da massa de água que entra nos equipamentos de utilização indireta de vapor. Assim:

$$A_i = R_v + C_t + C_p + V_f + A_r$$

A_i = Alimentação de água na caldeira.

R_v = Reposição de vapor pela linha de extração da turbina.

C_t = Condensado da turbina.

C_p = Condensado do processo.

V_f = Vapor Flash do processo

A_r = Água da rede de reposição no desaerador.

Logo:

$$A_r = 56.650 - 2.095 - 15.868 - 21.570 - 3.512$$

$$A_r = 13.605 \text{ kg/h de água}$$

Ou seja, para repor água na caldeira para que o sistema seja possível e contínuo, é necessária uma vazão de água de reposição de 13.605 kg/h. Isso, considerando a água a uma temperatura de 25 °C, fornecendo ao sistema uma massa de água de 340.125 kcal/h.

Pode-se observar, que através do reaproveitamento do Vapor Flash, economiza-se 3.512 kg de água por hora de funcionamento.

Agora faremos o Balanço de energia para verificar a quantidade de calor que cada processo gasta.

5.2.4.3) Balanço de Energia

Da mesma forma como foi realizado o balanço de massa do sistema, para o balanço de energia, consideraremos que a energia necessária para fazer com que a caldeira entregue 55.000 kg/h de vapor, a 67 bar de pressão, devemos fornecer á caldeira 65.650 kg/h por hora a uma temperatura de 110 °C e pressão de 0,5 bar, totalizando então 6.282.485 kcal/h de energia.

Devemos lembrar que os valores de vazão e suas respectivas temperaturas demonstrados na tabela do sistema referem-se justamente ao balanço de energia realizado previamente para estabelecer as condições de funcionamento do sistema. Porém foi considerado somente a quantidade de energia provida pelo condensado gerado nos purgadores dos equipamentos de troca de calor indireta. Ou seja, a reposição de energia, agregada a vazão de reposição de vapor pela linha de extração da turbina, foi estabelecida para suprir à quantidade de energia necessária para o funcionamento ideal do gerador de vapor. Como veremos na planta de Perdizes – MG, quando considerado o vapor flash no sistema, veremos que a quantidade de energia necessária para produção de vapor na caldeira, será menor, portanto, o consumo de combustível também será menor.

Considerando então que todo vapor flash é reaproveitado no sistema, vamos calcular o quanto isso representa de energia inserida no processo.

Primeiramente, vemos no esquema representativo, isso embasado nas tabelas termodinâmicas da água, que após a depressão sofrida nos purgadores, a água se encontra a 127 °C.

Vimos também que a vazão de vapor flash do sistema é de 3.512 kg/h, a 127 °C, o que representa 696.328 kcal/h a ser inserido no sistema e no cálculo de balanço energético no sistema.

Assim:

$$E_{AI} = E_{Rv} + E_{Ct} + E_{vf} + E_{Cp} + E_{Ar}$$

Onde:

E_{AI} = Energia alimentação de água na caldeira.

E_{Rv} = Energia de reposição de vapor pela linha de extração da turbina.

E_{Ct} = Energia condensado da turbina.

E_{Cp} = Energia condensado do processo.

E_{vf} = Energia vapor flash

E_{Ar} = Energia água da rede de reposição no desaerador.

Logo:

$$EAI = 1.346.519 + 6.58.522 + 696.328 + 4.277.444 + 427.931$$

$$EAI = 7.406.744 \text{ kcal/h}$$

Ou seja, a caldeira precisa receber para seu funcionamento ideal 56.650 kg/h de água, a uma temperatura de 110 °C e pressão de 0,5 bar, contabilizando 6.282.485 kcal/h de energia. Com a utilização de vapor flash a quantidade de energia fornecida à caldeira nas condições de trabalho 1 prevista na tabela, a água estaria entrando na caldeira com 7.406.744 kcal/h., ou seja, a uma vazão de 56.650 kg/h de água, a água estaria sendo alimentada na caldeira a 130,7 °C.

Concluimos então, que com a reaproveitamento do vapor flash no sistema, e nas mesmas condições de trabalho, economiza-se 1.124.259 kcal/h de energia. Ou de melhor forma, economiza-se o mesmo valor de energia a ser gerada na queima de combustível na caldeira.

5.2.5) Cálculos dos Custos de Produção

5.2.5.1) Consumo de Combustível no Gerador de Vapor:

Nas duas Fábricas que estamos analisando, é utilizado cavaco de madeira de eucalipto para produção de energia térmica na caldeira, sendo que esse combustível possui poder calorífico de 4.300 kcal/kg.

Em Araxá – MG necessita-se de 6.282.485 kcal de energia por hora para evaporar 56.650 kg/h de água, ou seja, considerando o poder calorífico do cavaco de eucalipto, é necessário a queima de 1.461 kg ou 1,46 toneladas de cavaco por hora para suprir a demanda de energia na produção de vapor na caldeira.

Já em Perdizes – MG, necessita-se de 5.158.226 kcal de energia por hora para evaporar 56.650 kg/h de água, ou seja, considerando o poder calorífico do cavaco de eucalipto, é necessário a queima de 1.199,6 kg ou 1,19 toneladas de cavaco por hora para suprir a demanda de energia na produção de vapor na caldeira.

Ou seja, com o reaproveitamento de vapor flash no sistema, na nova Fábrica deixa-se de queimar 261,4 kg de cavaco de eucalipto por hora.

Considerando que o valor do cavaco de eucalipto para mercado interno com a umidade em que chega na Fábrica (30%), é em média R\$ 300,00 a tonelada, vamos ver quanto é economizado por dia na nova Fábrica.

Em Araxá – MG consome-se 1,46 toneladas de cavaco por hora. Logo, gasta-se R\$ 438,00 reais por hora de cavaco.

Em Perdizes – MG consome-se 1,199 toneladas de cavaco por hora. Logo, gasta-se R\$ 359,70 reais por hora com o consumo de cavaco de eucalipto.

Ou seja, de uma fábrica para outra, economizamos cerca de R\$ 78,30 reais por hora com queima desnecessária de cavaco de eucalipto. Pode parecer pouco a princípio tendo em vista a dimensão das duas Plantas, mas se considerar o funcionamento da Fábrica 24 horas por dia, vemos que é economizado R\$ 685.908,00 por ano.

Fazendo a mesma comparação com a água que é economizada, cerca de 3512 litros de água por hora, e levando em consideração o valor da água em no estado de Minas Gerais gira em torno de R\$ 3,79 por 1000 L, é economizado R\$ 13,27 reais de água por hora. Considerando o funcionamento da Fábrica 24 horas por dia, vemos que é economizado R\$ 116.300,15 por ano.

6- CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados, pode-se concluir que ao reaproveitar vapor flash no sistema da fábrica de Perdizes – MG, a Empresa como um todo, economiza R\$ 802.208,15 por ano. Claro, que se deve considerar paradas técnicas por alguma indisponibilidade de processo e variações no funcionamento das fábricas em relação a demanda de produção. Porém, vê-se que o valor economizado é consideravelmente alto, passando de meio milhão de reais, tornando o recurso disponível para ser empregado em outras oportunidades.

Além da economia financeira da mudança das duas fábricas, deve-se analisar a melhoria sobre aspectos ambientais, pois se é necessário menos energia produzida do gerador de vapor, necessita-se também de menor queima de cavaco, resultado na menor taxa de emissão de dióxidos, monóxidos de carbono, e outros poluentes. E se gasta menos água para o processo.

Para finalizar, deve-se lembrar de que as duas Fábricas foram construídas para cogeração de energia, ou seja, além da energia térmica que discutimos largamente aqui nesse trabalho, toda energia elétrica utilizada nas plantas é produzida pela própria empresa com a transformação da energia térmica vinda da caldeira em alta pressão transformando-se em energia mecânica (eixo rotativo) para que dessa foram se transforme em energia elétrica e seja utilizada.

Em especial, a Fábrica de Perdizes foi construída com apoio da CEMIG, tendo em vista que o órgão de distribuição de energia elétrica do Estado, não conseguiria suprir a cidade de Perdizes e atender as necessidades energéticas da Fábrica. Dessa forma, o Governo do Estado de Minas Gerais garantiu a instalação das estruturas de distribuição de energia da cidade até a Fábrica, para que a energia produzida complementasse a energia elétrica dos moradores das cidades próximas. Obviamente, que ao governo de Minas Gerias em troca forneceu benefícios plausíveis para que atendessem as necessidades dos dois lados.

Com isso, pode-se perceber que a nova Fábrica foi projetada para economizar recursos financeiros relacionados a gasto com insumos, cavaco e água, e para benefício coletivo em distribuição de energia elétrica para cidades próximas.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PERAGALLO TOREIRA, RAÚLL. **Geradores de Vapor**, 1995.

SILVA TELLES, PEDRO CARLOS. **Vasos de Pressão**, 2º Edição Atualizada, 1996.

SILVA TELLES, PEDRO CARLOS. **Tubulações Industriais**, 10º Edição, 2012.

SILVA TELLES, PEDRO CARLOS. **Tubulações Industriais**, 12º Edição, 2016.

NOGUEIRA, L. A. H.; **Turbinas a Vapor – Conceito, Operação e Manutenção –** Apostila FUPAI, Itajubá, MG, 2008.

DERR, LOUIS. **Cyclopedia of Engineering**, Chicago, IL: American Technical Society, 1911.

BORGNAKKE, CLAUDIUS. SONNTAG, RICHARD E. **Fundamentos da Termodinâmica**, 8º edição Norte Americana Traduzida, 2013.

"1ª Lei da Termodinâmica" em *Só Física*. **Virtuous Tecnologia da Informação**, 2008-2018