

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CURSO DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Nome: João Bruno da Silva	Código: 1162438	Telefone: (43)999245146	E-mail: jbs.jbruno@gmail.com
Orientador: Marcelo Favoretto Castoldi E-mail: marcastoldi@utfpr.edu.br		Assinatura do orientador:	

**CORNÉLIO PROCÓPIO**  
**DEZEMBRO/2017**

JOÃO BRUNO DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA DE UM  
TURBO GERADOR A VAPOR**

Proposta para Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho De Conclusão De Curso 2, do curso de Tecnologia em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Favoretto Castoldi

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**DEZEMBRO/2017**

**JOÃO BRUNO DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA DE UM TURBO  
GERADOR A VAPOR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 13:30h do dia 01 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof.(a) **Marcelo Favoretto Castoldi**  
Professor(a) Orientador(a)  
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

---

Prof.(a) **Rodrigo Rodrigues Sumar**  
Professor(a) Convidado(a)  
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

---

Prof.(a) **Wagner Fontes Godoy**  
Professor(a) Convidado(a)  
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
1.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA .....	5
1.3 JUSTIFICATIVA .....	7
1.4 OBJETIVOS .....	8
1.4.1 Objetivo Geral .....	8
1.4.2 Objetivos Específicos .....	8
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	<b>9</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>10</b>
3.1 GERADOR DE ENERGIA .....	10
<b>4 SOLUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>14</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Para a produção do etanol, tem-se dois processos distintos ao processo que são considerados em uma Destilaria de etanol industrializada como o coração do processo: Caldeira e o gerador de energia com acionamento a vapor.

As necessidades energéticas de uma destilaria autônoma, relacionadas às demandas de calor, eletricidade e energia mecânica, são atendidas pela planta de cogeração que consome a biomassa residual gerada no processo. O bagaço de cana, atualmente empregado como combustível em todas as usinas de cana-de-açúcar existentes no país, é consumido em sistemas a vapor que, ao operarem com maior eficiência, propiciam a redução do consumo de combustível e/ou aumento da geração de excedentes de eletricidade.

O processo produtivo demanda vapor a baixa pressão, normalmente a 2,5 bar, como fonte de calor para processos de tratamento e evaporação do caldo e destilação do etanol. O consumo de vapor pode variar em função do grau da tecnologia e da integração térmica existente, o que influencia diretamente o consumo de combustível na caldeira. Além disso, sistemas de cogeração que operam com turbinas de extração-condensação necessitam baixos consumos de vapor de processo para que o último estágio das turbinas tenha condições de operar com vazões suficientes para justificar o investimento.

Os sistemas de preparo da cana e de extração do caldo também são consumidores de vapor para acionamento das turbinas, que fornecem energia mecânica aos picadores, desfibradores e ternos de moenda. Normalmente, a extração de vapor para atendimento dessa demanda ocorre a 22 bar de pressão, sendo que a vazão varia de acordo com a eficiência da turbina de acionamento. A substituição das antigas turbinas de simples estágio por turbinas multiestágio, de

maior eficiência, vem ocorrendo em muitas usinas e destilarias, o que possibilita o aumento da geração de excedentes de eletricidade no sistema de cogeração.

Em uma forma bem simples explicada segundo descrito no site da Embrapa, a cogeração feita nas usinas de cana-de-açúcar ocorre da seguinte forma: o bagaço ao ser queimado gera energia térmica em forma de vapor e energia elétrica. Em uma fornalha o bagaço é queimado, enquanto o vapor é produzido em uma caldeira, esse vapor gira uma turbina que, por estar interligada ao eixo de um gerador, faz com que o mesmo entre em movimento, e assim gera energia elétrica.

A operação segura e eficiente de uma caldeira é extremamente dependente da qualidade da água disponível para alimentação da mesma. De nada adianta a instalação de um equipamento ultramoderno, com todos os acessórios/ periféricos disponíveis e automatizado totalmente se não é levada em consideração a qualidade da água e o tratamento químico aplicado. Como se sabe, a água tem uma tendência a dissolver uma série de substâncias, tais como sais, óxidos/ hidróxidos, diversos materiais e inclusive gases, motivo pelo qual nunca é encontrada pura na natureza. Além das espécies dissolvidas, pode apresentar material em suspensão, tais como argila, material orgânico, óleos, etc. A presença de todas estas impurezas muitas vezes causa problemas no uso da água para geração de vapor, podendo formar incrustações e/ ou acelerar os processos corrosivos.

Chama-se gerador, alternador ou dínamo a máquina que converte energia mecânica em eletricidade. O princípio básico é a indução eletromagnética descoberta por Michael Faraday. Se um condutor se move através de um campo magnético, de intensidade variável, induz-se naquele uma corrente. O princípio oposto foi observado por André Marie Ampère. Se uma corrente passa através de um condutor dentro de um campo magnético, este exercerá uma força mecânica sobre o condutor. Os geradores têm duas unidades básicas: o campo magnético,

que é o eletromagneto com suas bobinas, e a armadura – a estrutura que sustenta os condutores que cortam o campo magnético, e transporta a corrente induzida em um gerador. Em geral, a armadura é um núcleo de ferro doce laminado, ao redor do qual se enrolam, em bobinas, os cabos condutores.

## 1.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

No caso concreto que será abordado neste trabalho, houve um grave problema nas turbinas a vapor da Usina Destilaria Americana (DASA). Esse problema foi ocasionado pelo aumento de Alcalinidade Hidróxida na água do reservatório de água da Caldeira.

No momento posterior à inicialização da produção na fábrica, houve um “entupimento na esteira de retorno da caldeira”, problema esse que ocorre quando o bagaço da cana em excesso na produção acaba travando as esteiras que transportam esse bagaço para a queima na caldeira. Os entupimentos causaram a queda de vapor chegando à 11Kgf/cm, sendo que normalmente a caldeira tem como uma pressão de trabalho de 21Kgf/cm<sup>2</sup>. Nesse momento a concentração da alcalinidade aumentou e arrastou pelo vapor e foi parar em todas as turbinas, o que solidificou essa concentração nos feche-rápido e multiválvulas das turbinas, ocasionando o travamento das mesmas, que tem como função acelerar e desacelerar o gerador de energia.

Esse evento fez com que a rotação do Gerador de Energia, que tem como rotação de trabalho 1800rpm, chegasse a 2500rpm, elevando a velocidade a ponto de centrifugar o ventilador de resfriamento da bobina do gerador, o que causou uma vibração excessiva de 17 a 20 mm/s<sup>2</sup>, sendo que o máximo de vibração permissível é de 7 mm/s<sup>2</sup>. As Figuras 1 e 2 exibem as válvulas que controlam o a entrada de vapor nas turbinas, enquanto as Figuras 3 e 4 mostram o ventilador de resfriamento antes e após o disparo do gerador, respectivamente.



Figura 1 – Multi válvulas (controlam a entrada de vapor nos estágios da turbina).

Fonte: Autoria própria



Figura 2 - Válvula de entrada de vapor.

Fonte: Autoria própria



Figura 3 – Ventilador de resfriamento interno antes do disparo.

Fonte: Autoria própria





Figura 4 – ventilador de resfriamento interno após o disparo.

Fonte: Autoria própria

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Com os problemas apresentados, mostra-se interessante desenvolver um sistema de segurança das turbinas na Destilaria Americana a fim de amenizar possíveis incidentes ou acidentes. Com isso, a melhor maneira é interromper o fornecimento do vapor nas entradas das turbinas do gerador de energia quando algum problema é detectado.

Assim, existe a necessidade de identificar as causas e buscar soluções para o ocorrido. Atualmente não há nenhum procedimento manual a ser feito para que não ocorra o problema, o que é grave uma vez que este pode evoluir rapidamente.

Importante mencionar que os fatos citados anteriormente podem voltar a ocorrer e, além dos problemas já apresentados, a máquina poderia “saltar” da base e atingir alguém por causa da vibração excessiva.

Ressalte-se, ainda, que os resultados alcançados a partir deste trabalho poderão ser aplicados em outras empresas que tiverem o mesmo problema ou até mesmo de forma preventiva.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema que interrompa a alimentação de vapor através de válvulas automáticas se a velocidade do gerador ficar acima do máximo permitido.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Tem-se como objetivos específicos deste trabalho:

- Estudar o problema que ocasionou a parada de fábrica.
- Estudar os dispositivos que atendem a aplicação.
- Realizar testes com equipamentos de simulação para que se possa garantir a parada quando a fabrica estiver em produção.

## 2 MÉTODO DE PESQUISA

Para a realização deste trabalho, inicialmente será feito um estudo do acionamento de um gerador de energia elétrica acionado por vapor, desenvolvendo a faixa de operação de rotação do equipamento.

Será também necessário fazer um estudo dos equipamentos e dispositivos necessário e quais atendem a aplicação.

Após a realização das etapas anteriores, serão realizados ensaios a fim de se reproduzir os resultados e verificar possíveis erros. Para os ensaios, será utilizado um simulador de rotação.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados alguns conceitos teóricos para conclusão deste trabalho. Dentre eles, será apresentado o funcionamento de um gerador de energia elétrica através de energia mecânica.

#### 3.1 Geradores de Energia

Para que um circuito elétrico funcione, é preciso que seja fornecida energia potencial elétrica para as cargas que ficam livres dentro dos condutores que o integram. O elemento responsável para ceder essa energia potencial elétrica para as cargas denomina-se gerador elétrico.

A função básica de um gerador elétrico é converter energia de outras formas em energia elétrica. Como exemplos estão citados aqui alguns tipos de energia que podem ser convertidas em energia elétricas: energia eólica, energia térmica, energia mecânica, energia química e etc.

Turbina é um gerador rotativo que converte em energia mecânica a energia de uma corrente de água, vapor d'água ou gás. O elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados ao redor de sua circunferência, 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. As turbinas se classificam como hidráulicas ou de água, a vapor ou de combustão. Atualmente, a maior parte da energia elétrica mundial é produzida com o uso de geradores movidos por turbinas.

Turbinas a vapor são usadas na geração de energia elétrica de origem nuclear e na propulsão de navios com reatores nucleares. Nas aplicações que necessitam tanto de calor como de eletricidade, uma caldeira de alta pressão gera o vapor e consegue-se, através da turbina, a temperatura e a pressão necessárias ao processo industrial.

O funcionamento da turbina a vapor baseia-se no seguinte princípio termodinâmico: quando o vapor se expande, diminui sua temperatura e reduz sua energia interna. Essa redução da energia interna se transforma em energia mecânica pela aceleração das partículas de vapor, o que possibilita dispor diretamente de uma grande quantidade de energia.

#### 4. SOLUÇÃO

Conforme estudos realizados e tendo o objetivo realizado com ênfase e já colocado em operação, nesse capítulo será mostrado os dispositivos usados para a aplicação.

Um sistema de segurança que considera a rotação de trabalho da turbina, fazendo com que um sensor indique a rotação e um controlador comparando a rotação de trabalho e uma rotação determinada pelo operador automaticamente, fechava as válvulas de entrada de vapor turbina e eliminar paradas não programadas da produção.

A partir de um sensor de rotação será monitorado a rotação da turbina do gerador, essa indicação será feita por um controlador digital, conforme ilustrado pela Figura 5.



Figura 5 – Controlador Digital.

Fonte: Aatoria própria

Já sabendo a rotação de trabalho da turbina, foi pré-determinado um valor a ser comparado com o real, fazendo com que no momento em que a rotação real ultrapasse o valor pré determina no controlador, o sistema de controle acione um contactor auxiliar com alimentação 12 Vcc vindo de baterias. Os disjuntores de proteção e o contator auxiliar são mostrados na Figura 6.



Figura 6 - Disjuntor de proteção e contator auxiliar 12 Vcc.

Fonte: Autoria própria

O contator auxiliar é responsável por acionar uma valvula solenóide pneumática que também tem como alimentação elétrica em 12 Vcc. Tal solenóide atuará uma válvula de vapor automática acionada por um atuador pneumático que fará a interrupção da entrada de vapor para a turbina do gerador. A Figura 7 ilustra o sistema com a proposta deste trabalho implementada.

É necessária a alimentação elétrica dos dispositivos, contator e solenóide sere 12 Vcc porque no momento da interrupção da entrada de vapor, a parada do gerador é por inercia, mas a geração da energia elétrica é interrompida. Assim, com a alimentação dos equipamento sendo 12 Vcc vindo de um bateria, não há necessidade que se tenha geração de energia do turbo gerador para que o sistema de segurança funcione.



Figura 7 - Valvula on/off automatica.

Fonte : Aatoria própria

## REFERÊNCIAS

Fogaça, J. R. V. **MUNDO CANA**. Disponível em : <

<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/processo-producao-alcool.htm> >

acesso em: 10 ago.2017

HIRSCH, Saul. **Turbinas a Vapor**. Apostila de Fontes Alternativas de Energia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

WEG. **Características e especificações de geradores**. Disponível em: <http://www.weg.net/files/products/Weg-curso-dt-5-caracteristica-e-especificacoes-de-geradores-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>. . Acesso em: 17 jun.2017

SILVEIRA, José Luz. Cogeração. UNESP, São Paulo, 2009.

MARMONTEL, Camila F. F; SILVA, Joyce M; OLIVEIRA Lisandra L; POLIONI, Marcelo C. **Turbina a Vapor**. Disponível em. <http://www.webartigos.com/artigos/turbina-a-vapor/57271/>> Acesso em 30 jul.2017

HIRSCH, Saul. Turbinas a Vapor. Apostila de Fontes Alternativas de Energia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.