

**unesp**  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**ANDERSON SATOSHI KUMAZAWA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS  
PREDITIVAS NA MANUTENÇÃO DE REATORES BATELADA**

Guaratinguetá  
2012

ANDERSON SATOSHI KUMAZAWA

ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS  
PREDITIVAS NA MANUTENÇÃO DE REATORES BATELADA

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias

Kumazawa, Anderson Satoshi

K964e Estudo de viabilidade da aplicação de técnicas preditivas na manutenção de reatores batelada / Anderson Satoshi Kumazawa – Guaratinguetá : [s.n], 2012.

51 f : il.

Bibliografia: f. 50-51

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias

1. Biodiesel I. Título

CDU 662.7

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS  
PREDITIVAS NA MANUTENÇÃO DE REATORES BATELADA**

**ANDERSON SATOSHI KUMAZAWA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTÔNIO WAGNER FORTI  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES  
UNESP-FEG

**DADOS CURRICULARES**  
**ANDERSON SATOSHI KUMAZAWA**

NASCIMENTO	01.01.1984
FILIAÇÃO	Alberto Kazuo Kumazawa Marie Kumazawa
2006/2012	Curso de Graduação UNESP/FEG – Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

de modo especial, à minha família, que me apoiou sempre.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe Marie Kumazawa que sempre me ajudou durante a realização do curso,

ao meu irmão Anselmo Hitoshi Kumazawa que também sempre estava me apoiando e fornecendo auxílio aos estudos,

ao meu orientador, prof. Dr. Mauro Hugo Mathias, que forneceu toda a ajuda necessária para a conclusão deste trabalho e me apoiou,

à minha namorada Emanuely Fernandes Ribeiro que me incentivou e deu grandes forças durante todos os estudos,

ao meu amigo Edson dos Santos Gonçalves que morou comigo durante o período da faculdade e forneceu muita ajuda para o curso e estadia na república estudantil,

e em especial, ao meu pai Alberto Kazuo Kumazawa que se encontra em paz, mas que me ensinou muito para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje e chegasse até aqui.

*“O sabor delicioso da vida está no ato de desafiar com coragem as adversidades.”*

*Daisaku Ikeda*

**KUMAZAWA, A. S. Estudo de viabilidade da aplicação de técnicas preditivas na manutenção de reatores batelada.** 2012. 51 p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade do uso de técnicas preditivas do tipo termografia, análise de vibração, correntes parasitas, líquidos penetrantes, exame visual e ultrassom em equipamentos do tipo reatores batelada, utilizados em uma empresa de produção de biodiesel. Este estudo é fundamentado na análise das práticas de manutenção corretiva e preventiva correntemente adotada na empresa em questão, do custo e tempo gasto para tais atividades e da possibilidade de economia e geração de lucro que pode haver após a aplicação destas técnicas sobre a análise da manutenção atual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodiesel, Manutenção Preditiva, Reator.

**KUMAZAWA A. S. A study of availability application of predictive techniques in the maintenance of batch reactors.** 2012. 51 p. Graduate work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

### **ABSTRACT**

This study aims to analyze the feasibility of using predictive techniques like thermography, vibration analysis, eddy current, liquid penetrant, visual examination and ultrasound in equipment as batch reactors of the type used in a biodiesel production company. This study is based on: analysis of the practices of corrective and preventive maintenance commonly adopted in the company in question, the cost and time spent for such activities and the potential savings and revenue generation that can be after implementation of these techniques on the analysis of maintenance current.

**KEYWORDS:** Biodiesel, Predictive Maintenance, Reactor.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Diagrama de blocos da produção do biodiesel.
- Figura 2 – Partes do reator R1: (a) superior e (b) inferior
- Figura 3 – Partes do reator R2: (a) superior e (b) inferior
- Figura 4 – Partes do reator R5: (a) superior e (b) inferior
- Figura 5 – Partes do reator S5: (a) superior e (b) inferior
- Figura 6 – Partes do reator S6: (a) superior e (b) inferior
- Figura 7 – Reator tipo batelada
- Figura 8 – Detalhamento da serpentina interna de aquecimento
- Figura 9 – Esquema do agitador
- Figura 10 – Serpentina externa de resfriamento
- Figura 11 – Gráficos das manutenções realizadas
- Figura 12 – Termovisor Ti100 da empresa Fluke
- Figura 13 – Exemplo de aplicação do termovisor em equipamentos térmicos
- Figura 14 – Medidor de vibração 805 da Fluke
- Figura 15 – Exemplo de aplicação do instrumento em bomba de água
- Figura 16 – Ampliação da tela do instrumento com dados de análise feita na bomba
- Figura 17 – Medidor de vibração 810 da Fluke
- Figura 18 – Aplicação do medidor 810 em bomba de água
- Figura 19 – Medidor de espessura SMEP-Top
- Figura 20 – Líquido penetrante VP-34
- Figura 21 – Revelador D 71
- Figura 22 – Detector de defeitos Nortec 500D por correntes parasitas
- Figura 23 – Aplicação do detector em uma peça de solda

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Número de serviços corretivos e soldagens nos reatores

Tabela 2 – Número de preventivas e substituições nos reatores

Tabela 3 – Tempos utilizados para manutenções nos reatores

Tabela 4 – Orçamento dos instrumentos de técnicas preditivas

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	Objetivo.....	15
<b>2</b>	<b>PROCESSO PRODUTIVO.....</b>	<b>16</b>
2.1	Definição do biocombustível.....	16
2.2	Sequencia de fabricação de biodiesel.....	16
2.2.1	Reação de transesterificação.....	17
2.2.2	Etapas da reação de transesterificação.....	17
2.2.2.1	Adição de matéria-prima e catalisador.....	17
2.2.2.2	Reação e separação de glicerina.....	17
2.2.2.3	Neutralização e desalcoolização.....	18
2.2.2.4	Lavagem.....	18
2.2.2.5	Secagem.....	18
2.2.2.6	Resfriamento e filtração.....	18
2.2.3	Reação de esterificação.....	20
2.3	Funcionamento do reator batelada.....	20
2.3.1	Sistema de aquecimento.....	24
2.3.2	Sistema de agitação.....	25
2.3.3	Sistema de vácuo (pressão).....	26
2.3.4	Sistema de resfriamento.....	26
2.3.5	Sistema de transferência.....	27
<b>3</b>	<b>AValiação DAS ABORDAGENS DE MANUTENÇÃO.....</b>	<b>29</b>
3.1	Manutenção corretiva.....	29
3.2	Manutenção preventiva.....	31
3.3	Análise dos dados coletados.....	32
<b>4</b>	<b>PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE ESTUDO PREDITIVO.....</b>	<b>34</b>
4.1	Medidas de controle de temperatura e pressão.....	34
4.2	Análise de vibrações mecânicas e movimento de ondas.....	36
4.3	Aplicação de ultrassom.....	39
4.4	Exame visual.....	40
4.5	Uso de líquidos penetrantes.....	41
4.6	Ensaio por correntes parasitas.....	42
<b>5</b>	<b>TEMPOS E CUSTOS.....</b>	<b>45</b>
5.1	Tempo e custo de funcionamento dos reatores.....	45
5.2	Tempo e custo dos operadores de manutenção.....	46
5.3	Orçamentos de produtos para técnicas preditivas.....	46
<b>6</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Atualmente a manutenção está presente em todas as indústrias em geral, seja ela mecânica, hidráulica, elétrica, entre outras. E dentre elas se destacam os tipos corretivos, preventivos ou preditivos. Contudo, nem todas elas utilizam estas três técnicas para manter a melhor conservação de peças ou equipamentos os quais são submetidos. O ideal seria que a aplicação da manutenção preditiva fosse cada vez mais adotada, porém, em algumas delas, ainda se utiliza apenas a manutenção corretiva e preventiva, devido à falta de estudo, de pessoas capacitadas ou de oportunidades para se realizar este tipo de análise nas empresas.

Neste trabalho é apresentado um estudo das abordagens de manutenção em reatores químicos do tipo batelada de uma indústria química de pequeno porte. A necessidade da avaliação das ferramentas de manutenção surge em decorrência da adequação da planta de produção de plastificantes para a produção de biocombustíveis, produto que na atualidade tem sido muito requisitado devido aos aspectos de sustentabilidade. As informações referentes ao processo produtivo do biocombustível contidas neste trabalho foram obtidas a partir do setor de produção da indústria mencionada.

Nesta empresa vêm sendo adotadas as técnicas de manutenção corretiva e preventiva em toda a cadeia produtiva. Com a introdução da produção de biocombustíveis na cadeia produtiva e com a perspectiva do aumento da demanda, justifica-se a análise da viabilidade da introdução de técnicas preditivas de manutenção.

O escopo do trabalho é análise da viabilidade de introdução de abordagens de ensaios não destrutivos adequados a uma proposta de manutenção preditiva a ser adotada nos reatores de batelada da empresa. A introdução desta nova filosofia de manutenção visa a redução de custo, aumento da disponibilidade de máquinas e aumento da produção.

### **1.1 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é a avaliação e análise da viabilidade de aplicação de técnicas preditivas de manutenção nos reatores de batelada da indústria de biocombustíveis em foco.

Neste estudo serão identificadas as ferramentas de ensaios não destrutivos mais adequados à estruturação da nova abordagem de manutenção.

## 2 PROCESSO PRODUTIVO

Para que se possa detalhar melhor este estudo preditivo sobre o objeto analisado, é necessário que se compreenda o processo de fabricação do biodiesel e como funciona o reator de batelada no qual acontecem as reações químicas.

### 2.1 Definição de biocombustível

Para o termo biocombustível (biodiesel), é utilizada a definição:

...óleos vegetais e gorduras animais são submetidos a uma reação química denominada transesterificação. Nesta reação, óleos vegetais e gordura animal reagem na presença de um catalisador (usualmente uma base) com um álcool (usualmente metanol) para produzir os alquil ésteres correspondentes (para o caso do metanol, os ésteres metílicos) da mistura de AG (ácido graxo) que é encontrada no óleo vegetal ou na gordura animal de origem (KNOTHE, 2009, p. 1).

No caso do reator batelada, segue a definição:

Reator descontínuo ou batelada, denotado por BR, iniciais do inglês “Batch Reactor”, é um tanque com operação descontínua e com conteúdo reacional geralmente agitado durante todo o tempo em que a reação está sendo conduzida (SILVEIRA, 2011, p. 210).

O processo produtivo de biodiesel, assim como toda reação química, necessita de um tempo estimado para que possa ser concluído. Somando todas as etapas de produção do biocombustível, chega-se a um valor total de dez horas, carga de tempo proporcional ao volume de produtos inseridos possíveis nos reatores, cujo valor total varia entre dezessete e vinte e dois mil litros. (informação verbal)<sup>1</sup> Essas cargas inseridas no reator para iniciar a produção são chamadas de bateladas.

### 2.2 Sequencia de fabricação do biodiesel

O biodiesel gerado na empresa foco é obtido a partir da reação química entre óleo vegetal e álcool. Nesta empresa a gordura animal é considerada imprópria para a produção do biodiesel, devido à elevada contaminação dos reatores. A reação química de óleo vegetal e o

---

<sup>1</sup> Informação fornecida pelo setor de produção da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

álcool pode acontecer de duas maneiras, a primeira seria pelo processo de transesterificação, e a segunda seria pela esterificação. (informação verbal)<sup>2</sup>

### 2.2.1 Reação de transesterificação

Sua reação de fabricação procede basicamente da seguinte maneira:



Este tipo de reação é chamada de *transesterificação*, onde ocorre a mistura de um tipo de óleo vegetal (soja, algodão...entre outros), também chamado de triacilglicerol, segundo Knothe (2009), com um tipo de álcool (utilizado aqui o metanol) e, a partir disso, são gerados produtos como a glicerina (glicerol) e o éster metílico (alquílico), sendo este último o biocombustível biodiesel.

Para que aconteça a reação dentro do reator, também é necessário, além das matérias-primas mencionadas, a utilização de um catalisador de reação, que faz com que o processo prossiga adiante. Neste caso é o Metilato de Sódio, considerado como a melhor opção para que resulte uma produção homogênea.

### 2.2.2 Etapas da reação de transesterificação

Para iniciar o processo de transesterificação, diversas etapas<sup>3</sup> são apresentadas: adição de matéria-prima e catalisador, fase de reação, separação de glicerina, neutralização, desalcoolização, lavagem, secagem, resfriamento e filtração.

#### 2.2.2.1 Adição de matéria-prima e catalisador

O catalisador e cada matéria-prima estão localizados em tanques separados, que estão ligados ao reator por tubulações feitas de aço carbono. Para fazer a adição do óleo vegetal e metanol, em quantidades especificadas em litros, são abertas as válvulas de cada tanque para que seja feita a transferência pelas tubulações. Então, terminado este carregamento, os

<sup>2</sup> Informação fornecida pelo setor de produção da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

<sup>3</sup> Informação fornecida pelo setor de produção da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

mesmos são aquecidos dentro do reator até uma temperatura de 65 °C, à pressão atmosférica. Após isso, o Metilato de Sódio também é inserido em uma certa quantidade, abrindo-se a válvula do tanque onde se encontra até que entre no reator, sendo também aquecido na temperatura de 65 °C .

#### **2.2.2.2 Reação e separação de glicerina**

Deste modo, todos estes produtos ficam em agitação por um período de uma hora, tempo suficiente e necessário para que reajam e possam formar a glicerina e o biodiesel. Para que se possa separar a glicerina do biodiesel, é necessário que se aguarde um período de trinta minutos, ainda na mesma temperatura, para que se separem por diferença de densidade. Sendo um subproduto pesado, a glicerina é inicialmente decantada pelo fundo do reator através da abertura de sua válvula de fundo, até que seja escoada para outro tanque onde fica depositada.

#### **2.2.2.3 Neutralização e desalcoolização**

O biodiesel que se formou a partir da reação está alcalino, devido ao catalisador. Então é feita uma adição de uma substância neutralizadora, o Ácido Cítrico. Este é inserido manualmente através do bocal que se encontra na parte superior do reator, em quantidade específica de quilos. Então é realizada mais uma agitação por um período de quinze minutos na temperatura de 60 °C. Terminado isso, é iniciada a formação de vácuo no reator, por volta de 600 mmHg, e com temperatura elevada a 85 °C, para que seja feita a retirada do excesso de álcool da reação. Este é então evaporado, saindo por outra tubulação do reator e direcionado a um vaso coletor, após sua condensação.

#### **2.2.2.4 Lavagem**

Este produto ainda sofre uma “lavagem”, ou seja, nele é adicionada uma quantidade de água em litros por outro tanque, para que o mesmo saia o mais limpo possível. Na temperatura de 85 °C ainda, é feita mais uma agitação de dez minutos, agora sem uso do vácuo. Então, é deixada a mistura em repouso por mais meia hora e drenada a água para outro tanque.

### 2.2.2.5 Secagem

Com possibilidade ainda de haver água no biodiesel, faz um processo de “secagem”, que seria o seu aquecimento até uma temperatura de 150 °C, aplicada a um vácuo de 600 mmHg e sob agitação. Assim, a água é evaporada rapidamente pela coluna ligada ao reator, sendo direcionada até um vaso coletor.

### 2.2.2.6 Resfriamento e filtração

O biodiesel então agora é resfriado dentro do reator até uma temperatura de 100 °C, sem uso de vácuo, e drenado pelo fundo do mesmo até o compartimento dos filtros. Neste local, o biodiesel é filtrado por folhas de papéis especiais que bloquearão os resíduos sólidos encontrados durante todo o processo de fabricação, e somente assim é direcionado a um tanque de produto final para a posterior comercialização pela empresa.

Na Figura 1 é mostrado o diagrama de blocos de todo o processo realizado dentro do reator até a finalização de produção do biodiesel.

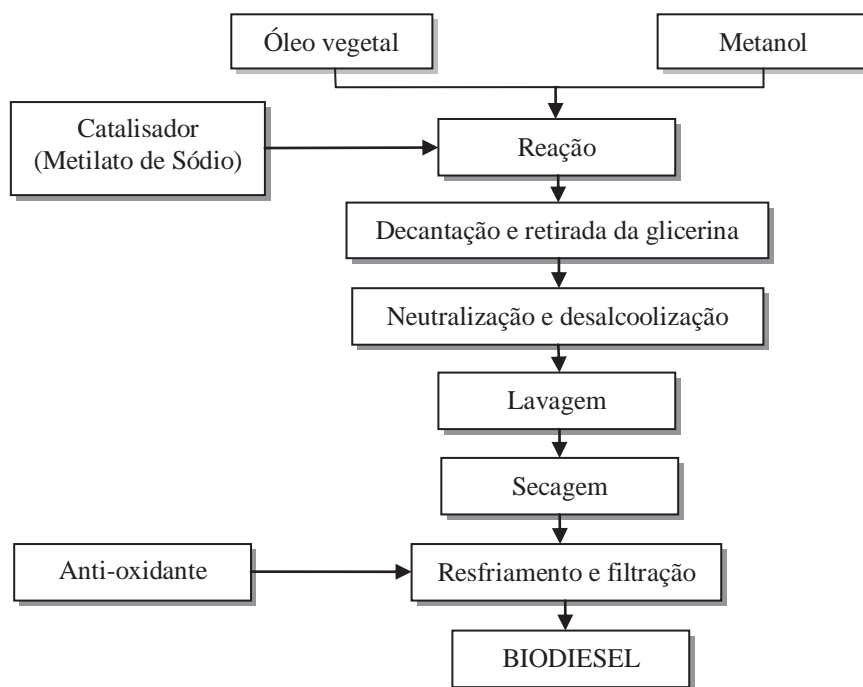


Figura 1 – Diagrama de blocos da produção do biodiesel.

### 2.2.3 Reação de esterificação

Durante o processo de transesterificação de óleo vegetal, após a separação de glicerina, o éster metílico, ao passar por uma neutralização pelo ácido cítrico, com o intuito de quebrar reações contendo sabões e catalisador, gera também produtos como o ácido graxo bruto e sais. Estes sais podem ser removidos pelo processo de lavagem, já os ácidos graxos bruto são destilados e acumulados para serem reutilizados com o intuito de gerar mais éster metílico ou biodiesel, a partir de sua reação com metanol. Este tipo de reação é chamada de esterificação.

O processo que acontece na reação de esterificação é bem semelhante com a de transesterificação, com exceção dos fatores:

- são utilizados apenas os reatores batelada de aço carbono;
- catalisador utilizado, neste caso é o PTSA (ácido paratolueno sulfônico);
- não existem processos para separação e decantação de glicerina;
- há a necessidade de realizar mais do que uma retirada de excesso de álcool no processo e lavagens;
- soda cáustica é utilizada no processo de neutralização;
- não é necessário o uso de antioxidante;
- água é gerada a partir da esterificação

### 2.3 Funcionamento do reator batelada

Na empresa estudada existem cinco reatores batelada, dos quais três deles são feitos basicamente de aço carbono (chamados R1, R2 e R5) e os outros dois de aço inoxidável (estes chamados de S5 e S6). Todos possuem a mesma estrutura, contudo os de aço inoxidável são utilizados necessariamente para a fabricação de biodiesel de esterificação, pois possuem maior resistência à corrosão.

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentadas as fotos com vistas frontais das partes superiores e inferiores dos reatores de batelada R1, R2 e R5:



(a)



(b)

Figura 2 – Partes do reator R1: (a) superior e (b) inferior



(a)



(b)

Figura 3 – Partes do reator R2: (a) superior e (b) inferior



(a)



(b)

Figura 4 – Partes do reator R5: (a) superior e (b) inferior

Nas Figuras 5 e 6 são ilustradas os reatores de batelada utilizados em fabricação de biodiesel de esterificação:



(a)



(b)

Figura 5 – Partes do reator S5: (a) superior e (b) inferior

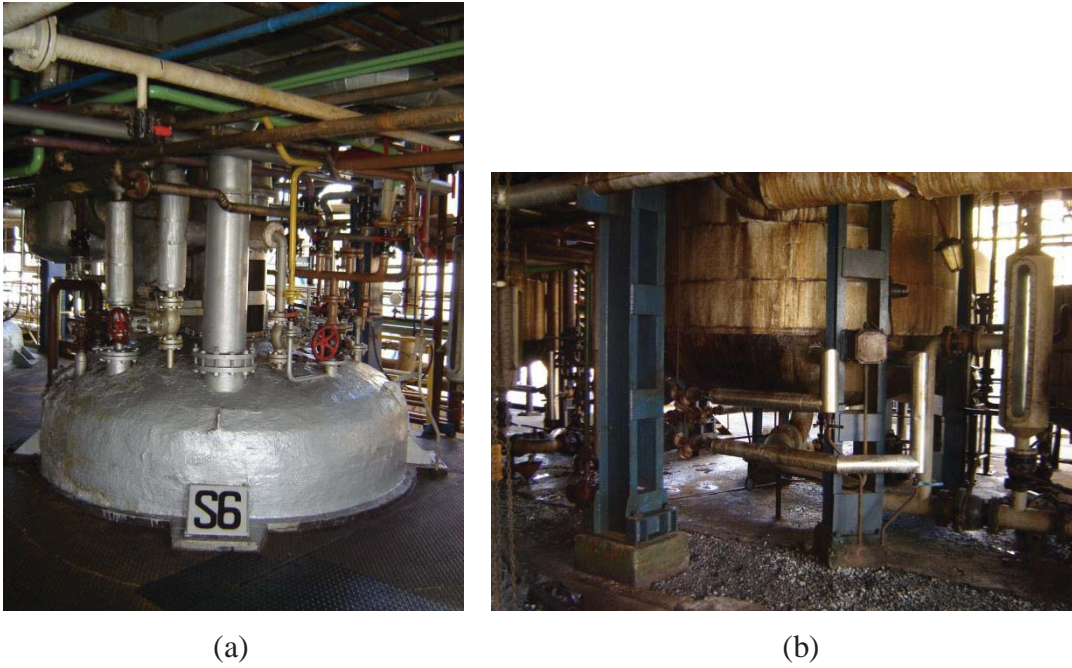


Figura 6 – Partes do reator S6: (a) superior e (b) inferior

Para melhor entendimento de seu funcionamento, é ilustrada na Figura 7 o formato do reator batelada, os itens que este possui e materiais do qual é composto.

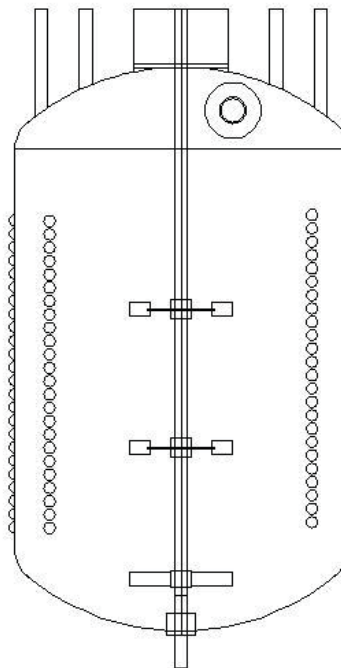


Figura 7 – Reator tipo batelada

O reator de batelada pode ser descrito nos seguintes subsistemas: sistema de aquecimento, sistema de agitação, sistema de vácuo (pressão), sistema de resfriamento e sistema de transferência.

### 2.3.1 Sistema de aquecimento

Para que as matérias-primas consigam reagir dentro do reator e consigam atingir uma temperatura elevada de até 150 °C dentro do reator, é utilizado vapor de água para tal objetivo. Este vapor é produzido através de caldeiras.

Os vapores percorrem a tubulação de aço carbono desde a sala das caldeiras até que cheguem na entrada do reator, cujo manuseio é feito pelos operadores nas válvulas reguladoras existentes. A partir do momento que ele deixa a tubulação de entrada, o vapor percorre uma serpentina, que existe dentro do reator, conforme ilustra a Figura 8:

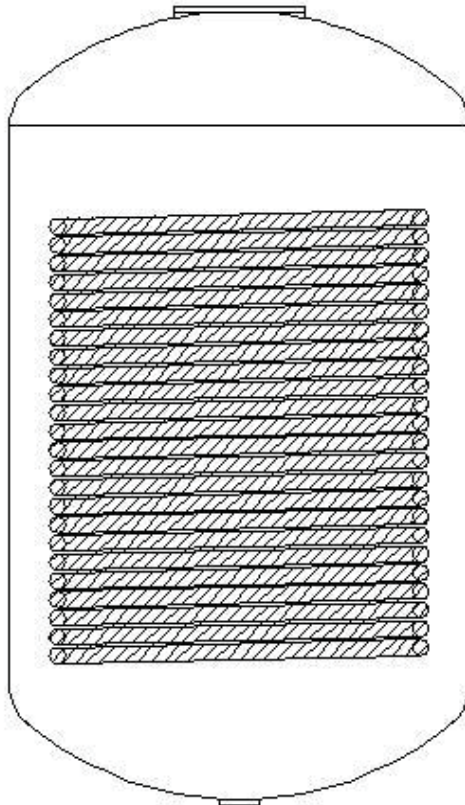


Figura 8 – Detalhamento da serpentina interna de aquecimento

Quando o vapor preenche todo o conteúdo da serpentina, esta se aquece por completo e transfere calor ao conjunto da massa de matéria-prima inserida no reator. Conforme a necessidade de aumento da temperatura, controla-se a mesma manualmente através do indicador que se encontra no reator pela parte externa, entre uma faixa de trabalho desde a temperatura ambiente até a máxima de 150 °C.

### 2.3.2 Sistema de agitação

A mistura das matérias-primas com o catalisador precisa sofrer agitação, de tal modo que consiga reagir por completo. Para isso, o reator é composto de um mecanismo agitador, também feito de aço carbono, conforme exemplifica a Figura 9:

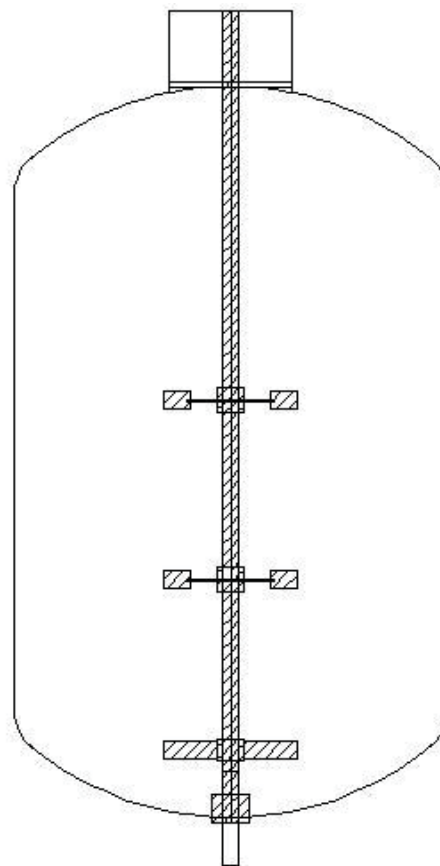


Figura 9 – Esquema do agitador

Trata-se de um eixo longo que possui três conjuntos de pás ao longo de seu comprimento, separadas de mesma distância, sendo dois deles formados com seis pás e um

conjunto com duas pás, este último na parte final do eixo rotativo. Assim que todas as matérias-primas se encontram prontas para que seja iniciada a agitação, este mecanismo é acionado pelo operador e o mesmo começa a girar em torno do eixo em uma velocidade constante, fazendo com que toda a massa se movimente no tempo que lhe foi estipulada.

O eixo junto das pás está acoplado a um motor de corrente alternada com capacidade o suficiente para que possa fazer a rotação na velocidade necessária. Neste mesmo sistema, também existe peças como o selo mecânico, redutores e mancais de fundo.

### **2.3.3 Sistema de vácuo (pressão)**

Neste sistema, o operador faz que o reator sofra “quebra” de pressão, ou seja, realize uma aplicação de vácuo ou pressão negativa em seu interior. Isto é necessário para quando precise ser feita a sucção dos produtos do interior do reator através da bomba de vácuo em conjunto com o sistema de regulação das válvulas.

A partir do momento que a bomba de vácuo é ligada, o reator é preenchido com pressão negativa, que até então estava em pressão atmosférica. Isso também é determinado conforme o andamento da reação.

Existe também outra bomba neste sistema que auxilia a entrada de vácuo. É a bomba de água para alimentação da bomba de vácuo, que faz com que esta seja alimentada com água durante o seu funcionamento, para que não ocorra alguma possível queima.

### **2.3.4 Sistema de resfriamento**

Após o estágio de retirada de água excedente do produto final do reator, este é resfriado pelo sistema de resfriamento que compõe o equipamento. A Figura 10 exemplifica a localização da serpentina externa de resfriamento:

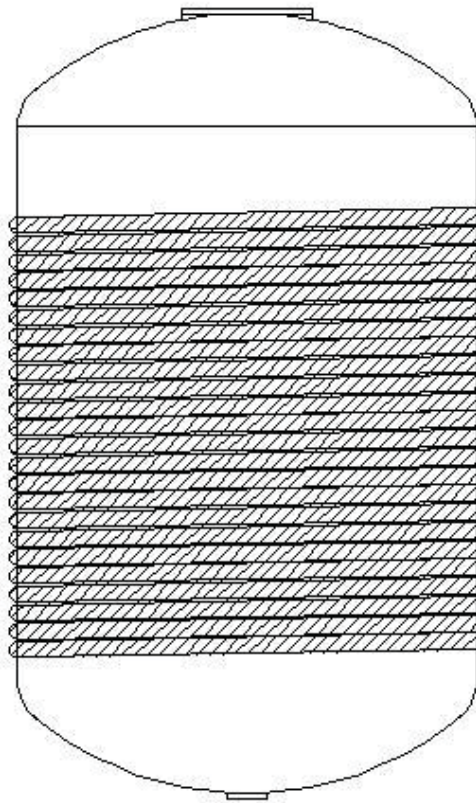


Figura 10 – Serpentina externa de resfriamento

A operação deste sistema é feita através da regulação das válvulas de entrada de água, que circula pela serpentina existente na parte externa do reator, dentro da camisa de resfriamento. Quando o líquido circula pelo interior desta serpentina, a carga de dentro do reator começa a ser resfriada pela troca de calor em um processo de condução térmica entre a camada externa da serpentina e a proteção térmica do reator, considerando que a água se encontra em temperatura ambiente e a carga da matéria-prima em temperatura com mais de 100 °C.

Existe também um indicador de temperatura no reator para este sistema de resfriamento com o objetivo de verificar a variação de temperatura necessária à matéria-prima em seu interior.

### **2.3.5 Sistema de transferência**

O sistema de transferência do reator compõe as bombas que fazem com que as cargas de óleo vegetal, metanol e água sejam transferidas dos tanques de abastecimento para o interior

de cada reator quando necessário. Neste mesmo sistema, também se encontram outras bombas responsáveis por realizar a retirada do produto acabado de dentro do reator para tanques de armazenamento, após a finalização do processo de esterificação.

### **3 AVALIAÇÃO DAS ABORDAGENS DE MANUTENÇÃO DOS REATORES**

Na empresa foco, até o presente vem sendo abordada manutenção corretiva em situações de falha repentina de equipamentos e também a manutenção preventiva, a qual ocorre de acordo com o planejamento estabelecido pela equipe de manutenção. É consenso da equipe de manutenção que a prática de manutenção preventiva tem sido adotada, no entanto, do diagnóstico realizado neste estudo, o que foi observado foi a preponderância da manutenção corretiva<sup>4</sup>.

Na empresa estudada, a hierarquia do setor de manutenção envolve a gerência industrial, o coordenador de manutenção, o responsável de manutenção e operadores de manutenção. A equipe de operadores envolve: pedreiros, mecânicos, encanadores, soldadores e eletricitas.

Na rotina das atividades de manutenção o responsável de manutenção emite a ordem de serviço aos operadores para a execução das ações corretivas e preditivas no ambiente da empresa. Conforme as ações de manutenção são identificadas e executadas, o responsável de manutenção preenche relatórios mensais reportando-os ao coordenador de manutenção. Esta ação orienta as decisões de compras e ou reparos a serem executados. As decisões das necessidades de manutenção são elaboradas através de reuniões mensais e anuais entre o coordenador e gerente de manutenção. A partir destas reuniões, são elaboradas as estratégias e logística de manutenção para definir as prioridades de compra e reparos necessários de forma a minimizar as paradas de equipamentos. A abordagem de esperar os problemas ocorrerem implicava em orçamentos elevados ao longo dos anos.

De um levantamento das manutenções realizadas em cinco reatores de batelada da empresa, serão discutidas as abordagens de manutenção adotadas relativas ao período de dezembro de 2010 a dezembro de 2011.

#### **3.1 Manutenção Corretiva**

Analisando a relação de manutenção dos cinco reatores, foram destacados diversos serviços corretivos realizados pelo setor responsável. Dentre eles, destacam-se os principais:

---

<sup>4</sup> Informação fornecida pelo setor de manutenção da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

- Reparos de selos mecânicos e ejetores
- Falhas em agitadores, motores elétricos e suas peças, e em bombas de transferência.
- Falhas em válvulas de ar comprimido, glicerina, ácido cítrico, óleo vegetal
- Falhas em separadores de fase
- Deficiência em isolamentos dos reatores e agitadores
- Vazamentos em linhas de tubulações de água líquida e vapor, óleo vegetal, metanol e ácido cítrico.
- Vazamentos em vaso de pressão e purgadores
- Soldas em serpentinas de aquecimento e resfriamento e nas tubulações de trocadores de calor dos reatores.

Fazendo o levantamento das manutenções corretivas e substituições realizadas nas peças e equipamentos pertencentes aos sistemas dos cinco reatores, chega-se aos números apresentados na Tabela 1, relativo ao período descrito.

Tabela 1 – Número de serviços corretivos e soldagens nos reatores

<b>Reator</b>	<b>Corretivas</b>	<b>Soldagens</b>
<b>R1</b>	23	4
<b>R2</b>	43	11
<b>R5</b>	48	4
<b>S5</b>	19	4
<b>S6</b>	25	8
<b>TOTAL</b>	<b>158</b>	<b>31</b>

Na maioria das vezes, foram aplicadas apenas técnicas corretivas repentinas nos equipamentos ou substituições de peças ou dos próprios equipamentos dos reatores conforme ocorria uma falha que o fizesse desgastar por completo, ou até mesmo sua quebra repentina.

Havia um setor exclusivo de manutenção onde os funcionários tinham a disposição diversos equipamentos para realizar os reparos necessários, como máquinas de solda, instrumentos para furação, torneamento, ar comprimido, sala equipada com microcomputador para uso de softwares necessários à parte elétrica e calibração, sala exclusiva para reparo de peças danificadas e depósito de ferramentas como chaves e alicates de aperto e corte.

Qualquer serviço de manutenção necessário à manutenção dos reatores que não existisse na empresa ou que não houvesse pessoal especializado para tal ação, devido à baixa existência deste tipo de atividade, era requisitado através de terceirização pela administração do setor de compras e pelos responsáveis de manutenção da área.

### **3.2 Manutenção preventiva**

Nos reatores analisados, também eram aplicadas manutenções preventivas. Além dos serviços corretivos que eram realizados quando ocorria algum defeito ou quebra de peças ou equipamentos do reator, eram também feitas eventuais substituições de peças com visível desgaste e também reposições de fluidos, como óleo lubrificante, de partes de um dos reatores que fossem necessárias, de acordo com o julgamento do operador de manutenção. Estas ações sempre eram reportadas ao responsável do setor.

Caso o reator cuja preventiva fosse necessária e estivesse em funcionamento devido à produção do biodiesel, era necessário esperar que a carga ficasse pronta e só assim poder realizar a devida manutenção. A ordem de liberação do reator viria pelo operador líder de produção, que informava o responsável da manutenção para dar início ao serviço preventivo.

Entre as diversas preventivas realizadas, destacam-se os principais tipos de acontecimentos nos reatores:

- Manutenções eventuais em camisa de resfriamento
- Manutenções eventuais em bombas de transferência, envolvendo selo mecânico e gaxetas
- Manutenções em válvulas
- Manutenções em controlador de temperatura
- Manutenções em serpentinas de aquecimento e resfriamento
- Manutenções em purgadores
- Manutenções e substituições de indicadores de temperatura
- Substituições de juntas e peças de bombas

Na Tabela 2 é mostrado o número de manutenções preventivas realizadas nos cinco reatores e de seu total no período mencionado anteriormente:

Tabela 2 – Número de preventivas e substituições nos reatores

Reator	Preventivas	Substituições
<b>R1</b>	18	18
<b>R2</b>	22	10
<b>R5</b>	20	19
<b>S5</b>	16	16
<b>S6</b>	21	11
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>	<b>74</b>

### 3.3 Análise dos dados coletados

Através dos números encontrados de corretivas, soldagens, preventivas e substituições nos reatores, é possível construir um gráfico para poder visualizar melhor a tendência de cada situação, o qual mostra a Figura 11:

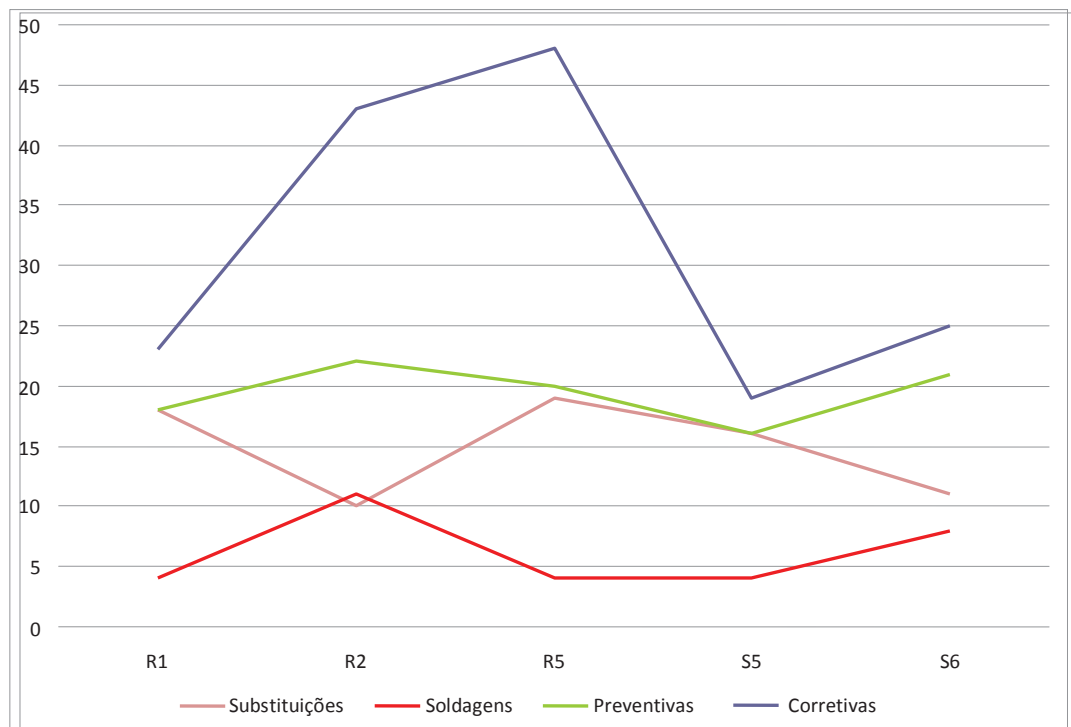


Figura 11 – Gráficos das manutenções realizadas

É possível perceber por cada linha de serviço realizado um padrão aproximado, com exceção da linha de corretivas que aparece oscilante entre os reatores R2 e R5. Isto pode até ser explicado devido a uma maior utilização de ambos os reatores nas produções que aconteceram no período analisado de 2011.

Quanto aos tempos utilizados para realizar todas as manutenções corretivas e preventivas em 2011 para os cinco reatores e seu total, considerando também os períodos de soldas e novas substituições realizadas, podem ser observados pelos valores da Tabela 3:

Tabela 3 – Tempos utilizados para manutenções nos reatores

<b>Reator</b>	<b>Tempo (h)</b>
R1	200,13
R2	260,49
R5	199,64
S5	225,73
S6	175,21
<b>TOTAL</b>	<b>1061,20</b>

## **4 PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE ESTUDO PREDITIVO**

Conforme visto anteriormente, foram aplicados diversos serviços corretivos de manutenção nos reatores batelada, combinadas com algumas preventivas periódicas. Analisando este tipo de serviço, verificou-se que há muita perda de tempo devido aos serviços realizados nos equipamentos e variados gastos com trocas preventivas em peças ou compras de novos itens para os reatores que poderiam ser reduzidos se fosse feita uma aplicação de técnicas preditivas combinadas em cima dos mesmos.

Então, este estudo entra nesta questão de uma possível aplicação de diversas técnicas preditivas no serviço de manutenção destes reatores batelada. Deste modo, pode-se obter muita economia de tempos nos serviços corretivos, tanto quanto a redução de seu número, e também menores gastos em compras de novas peças. Para isso, é preciso entender como funcionam estas técnicas e como é possível aplicá-las neste tipo de equipamento analisado.

Neste tópico, primeiro são apresentadas técnicas que são geralmente utilizadas para os serviços de manutenção preditiva (NEPOMUCENO, 2012) e pela quantidade de defeitos encontrados nos reatores, seriam muito efetivas para a diminuição dos mesmos, caso fossem aplicadas periodicamente no ritmo de trabalho do setor de manutenção da empresa. Em ordem preferencial de aplicação, as técnicas são:

- 1) Medidas de controle de temperatura e pressão
- 2) Análise de vibrações mecânicas e movimento de ondas
- 3) Aplicação de ultrassom
- 4) Exame visual
- 5) Uso de líquidos penetrantes
- 6) Ensaio por correntes parasitas

### **4.1 Medidas de controle de temperatura e pressão**

A mudança de temperatura em diversos pontos do reator e de seus componentes aparece com grande frequência, principalmente na parte de motores, bombas de transferência, serpentinas de aquecimento, camisas de resfriamento e trocadores de calor. Isto acaba proporcionando um enorme risco ao reator, pois gera enormes probabilidades de parada do funcionamento do mesmo em qualquer momento de uma produção do biodiesel, e para o

responsável da manutenção e seus operadores, maior quantidade de serviços corretivos podem surgir.

Baseando-se nisso, uma técnica preditiva de inspeção não destrutiva ideal para evitar com antecedência este tipo de problema de variação de temperatura nas variadas partes do reator batelada, seria a termografia, com aplicação através de um aparelho chamado termógrafo. Um operador, devidamente treinado para a utilização correta, aponta este instrumento em diversos locais do reator de onde se deseja realizar análise de temperatura através de uma tela do instrumento onde aparecem gráficos de cores que variam conforme a temperatura do local, normalmente desde o azul, representando a zona mais fria, ao vermelho, que seria a zona mais quente.

A Figura 12 mostra um exemplo de instrumento para este tipo de aplicação, chamado Termovisor, modelo Ti100, fornecido pela empresa Fluke:



Figura 12 – Termovisor Ti100 da empresa Fluke



Figura 13 – Exemplo de aplicação do termovisor em equipamentos térmicos

A aplicação deste instrumento em serpentinas de aquecimento, por exemplo, identificaria os pontos frágeis de sua superfície onde haveria maior incidência de rupturas devido à variação brusca de temperatura, ou seja, próximo do vermelho, como mostra o exemplo da Figura 13. O operador, observando isso na tela, seria então capaz de deduzir quando o equipamento necessitaria de manutenção, através de quais partes a serpentina poderia sofrer danos, antes que ele sofra paradas inesperadas. Esta aplicação seria de grande utilidade também no caso dos motores e bombas, que sofrem grande variação de temperatura em seu estado de funcionamento normal. Deste modo, seria possível analisar quando os mesmos necessitariam de manutenção e, assim, uma possível troca de peças ou, até mesmo, a sua substituição.

Outro método também muito eficaz para a antecipação deste problema seria a utilização de testes hidrostáticos, ou seja, a aplicação de uma pressão acima da pressão de trabalho da serpentina para identificar os pontos onde pode haver rupturas devido aos locais mais frágeis, como exemplo as partes onde houve serviços de solda anteriormente, causa bastante comum para aparecer orifícios durante o funcionamento do equipamento, ou na verificação de pressão das válvulas que compõe o sistema das tubulações e entrada de matéria-prima e saída dos produtos, outra causa com grande variação de problemas. É recomendado que se utilize água durante a aplicação deste teste devido ao risco de explosão do ar com a alta pressão. No entanto, este método já era aplicado na empresa, devido ao grande aparecimento de rupturas nas soldas na serpentina e por ser de baixo custo econômico. Isto seria também eficaz nas tubulações dos trocadores de calor, para verificar os mesmos tipos de problemas da serpentina.

#### **4.2 Análise de vibrações mecânicas e movimento de ondas**

Partes do reator onde possuem movimentos giratórios constantes através de um eixo, como os motores, selo mecânico e agitador, são envolvidos por vibrações mecânicas em grande parte do tempo. Uma aplicação de estudo do movimento das frequências e ondas geradas pelos seus movimentos, e análise de defeitos do tipo balanceamento e alinhamento seria muito útil para evitar quebras de peças dos mesmos ou identificar a necessidade do tempo de paradas para manutenção.

Atualmente existem diversos tipos de equipamentos com a finalidade de identificar a intensidade de vibração de uma máquina. Neste caso, serão mostrados dois exemplos de instrumentos bastante comuns em análises preditivas nas empresas: coletor de dados numéricos e scanner de vibração. Para isso, também é necessário que os operadores, que farão uso destes tipos de testes e equipamentos, sejam devidamente treinados para poder fazer a leitura e interpretação das frequências, dos gráficos e das ondas que poderão aparecer na tela do instrumento de análise de vibração utilizado.

Caso o coletor de dados numéricos seja a opção escolhida para o operador fazer a análise de vibração, é necessário que se faça um relatório dos dados obtidos através da medição de um equipamento entre vários intervalos de tempo. Por exemplo, caso se queira fazer a análise de um motor, poderia se medir sua rotação e frequências de vibração apontando o instrumento para o reator todos os dias e, no final de cada mês, utilizar os dados obtidos, inseri-los no computador em uma planilha eletrônica, gerar gráficos sobre eles e fazer um estudo sobre o comportamento de sua curva característica de vibração conforme o decorrer do tempo. Deste modo, é possível distinguir se o motor está tendo algum defeito caso a forma de onda analisada esteja se comportando fora de uma tendência padrão. É importante que se tenham análises anteriores para comparar com o valor atual obtido e fazer as devidas conclusões necessárias de manutenção.

Na Figura 14 é citado um exemplo de instrumento ideal para isso, o medidor de vibração 805 da empresa Fluke, com uma amostra de como aparecem os dados de vibração após uma medição feita pelo medidor em uma bomba de água.



Figura 14 – Medidor de vibração 805 da Fluke



Figura 15 – Exemplo de aplicação do instrumento em bomba de água

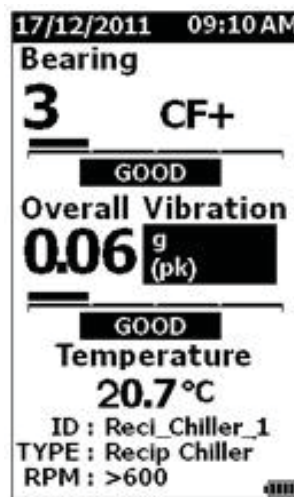


Figura 16 – Ampliação da tela do instrumento com dados de análise feita na bomba

A Figura 15 exemplifica uma aplicação de como utilizar o instrumento em uma bomba de água. Pode-se observar na Figura 16 que neste medidor aparecem variáveis em sua tela como o Crest Factor (CF), que indica o nível de falhas em rolamentos, o nível de vibração global, temperatura e rotação. De acordo com o estado do equipamento, o próprio medidor avalia se este permanece em boas condições (“good”, bom em inglês) ou não, facilitando o serviço do operador.

Caso seja utilizado o scanner de vibração, a análise poderá ser facilitada, como é o caso do Medidor 810 da Fluke, mostrado na Figura 17. Após a captura de dados de vibração do motor, o próprio instrumento gera os gráficos a partir dos dados coletados no próprio instrumento, facilitando o serviço de análise de falhas do operador que o manuseia. A Figura 18 ilustra uma aplicação na mesma bomba de água citada anteriormente. O custo deste é bem

maior em relação ao medidor 805, porém facilita muito a análise do operador. Aplicando este instrumento em um selo mecânico, por exemplo, seria bem interessante, pois normalmente é um equipamento que possui muito movimento giratório, de difícil acesso e com grandes chances de apresentar problemas devido às vibrações.



Figura 17 – Medidor de vibração 810 da Fluke



Figura 18 – Aplicação do medidor 810 em bomba de água

### 4.3 Aplicação de ultrassom

A medição de espessura pode ser facilmente analisada através da técnica com aplicação de ultrassom sobre o material o qual se deseja analisar. No caso do reator batelada, isto poderia ser utilizado para verificações de espessuras de tubulações de entrada das matérias-primas e saída dos produtos, no material isolador de sua superfície ou também para observação de espessura de seu próprio corpo e domo (parte superior do reator).

O aparelho que faz uso desta técnica utiliza o princípio do pulso-eco, onde após o seu apontamento em direção ao material, um sinal sonoro é emitido do mesmo, que percorre uma distância tal até atingir a outra parede do material e volta ao instrumento, marcando a medição de sua espessura. A partir desta análise, podem-se verificar também outras discontinuidades no seu material, como trincas e poros não esperados. A Figura 19 ilustra uma amostra de um medidor de espessura modelo SMEP-Top, da empresa END Araújo, que faz uso da técnica de ultrassom e pode ser aplicado no reator.



Figura 19 – Medidor de espessura SMEP-Top

O operador aplica o contato do medidor sobre o local de análise e no seu visor aparece a medida de espessura, conforme mostra também a Figura 19.

Todo operador que fará a utilização dos instrumentos em cima dos reatores deve ser treinado para seu correto uso e aplicação de ultrassom nos objetos analisados. Algumas limitações existem neste caso, como a utilização em materiais com espessura e diâmetro pequenos.

#### 4.4 Exame visual

A aplicação de um exame visual para detectar defeitos de funcionamento em um equipamento pode ser considerada bem simples, mas dependendo do modo como é realizado, pode ser muito efetivo para a prevenção de acidentes e falhas inesperadas. É preciso que o operador seja muito bem treinado para visualizar e identificar até os mínimos detalhes que possam progredir e gerar grandes preocupações no futuro do equipamento analisado.

Neste exemplo do reator, esta técnica pode ser utilizada em qualquer peça ou item que faça parte de seu corpo físico no geral. Por exemplo, ao realizar o exame visual sobre uma tubulação de entrada de óleo vegetal do reator, pode-se verificar se a mesma possui em sua superfície: índices de corrosão externa, vazamento do fluido por algum orifício não esperado, trincas na estrutura de curvas ou bolhas sob a proteção da camada de pintura.

Algumas limitações existem para esta técnica como a visualização no interior das partes a serem analisadas, caso não existam aberturas possíveis para o operador, ou na composição estrutural dos materiais de que são feitas, que a olho nu são impossíveis de serem vistas. Contudo, torna-se um método bastante eficaz por não utilizar nenhum instrumento ou dispositivo de grande dificuldade para sua realização. Apenas exige a sabedoria e conhecimento da pessoa que irá fazer o reconhecimento de defeitos do reator.

#### **4.5 Uso de líquidos penetrantes**

Como o exame visual, em certas vezes, não é capaz de encontrar porosidade ou trincas mais profundas dos materiais dos equipamentos analisados, a aplicação de líquidos penetrantes seria mais eficiente.

No caso do reator, ao iniciar a técnica penetrante, antes é necessário que se faça a limpeza do local sobre o qual será feita a análise. Deste modo, utiliza-se um líquido, normalmente fluorescente ou de cor forte, diferente da superfície, para que fique bem destacados os defeitos, que é aplicado sobre toda a superfície do reator. Após isso, faz-se a limpeza do mesmo com outro líquido apropriado e retirado o excesso. Então, aplica-se mais um líquido revelador, normalmente branco, para somente assim fazer revelar os defeitos, que podem variar entre linhas contínuas e pontilhadas, indicando as trincas e poros, respectivamente.

Nas Figuras 20 e 21 são mostrados exemplos, para este tipo de aplicação, de produtos da empresa Metal-Chek para líquido penetrante visível, tipo VP-34 e revelador, tipo D 71, respectivamente.



Figura 20 – Líquido penetrante VP-34



Figura 21 – Revelador D 71

Em épocas passadas, esta técnica foi utilizada algumas vezes na empresa, conforme confissões obtidas dos responsáveis da manutenção<sup>5</sup>, porém não foi mais utilizada devido à mudança de produtos produzidos e administração do setor. Contudo, trata-se de um método que seria muito efetivo a uma manutenção preditiva, pois possui grande simplicidade de aplicação devido a não ter necessidade de instrumentos complicados pelo operador, tem baixo custo e possui rápida eficiência na detecção de discontinuidades superficiais.

#### 4.6 Ensaio por correntes parasitas

Quando se deseja utilizar a energia eletromagnética para a manutenção preditiva de reatores, pode-se pensar nos métodos por correntes parasitas. São muito úteis para verificação de discontinuidades em materiais não-ferromagnéticos, principalmente em tubos onde

---

<sup>5</sup> Informação fornecida pelo setor de manutenção da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

envolvem trocas de calor. Existe outro método de correntes parasitas, que se baseia no mesmo princípio, porém não se enquadra neste estudo devido a sua ligação apenas aos materiais ferromagnéticos.

Esta técnica tem como principal objetivo detectar variações eletromagnéticas do material que será inspecionado por meio de um campo magnético alternado (NEPOMUCENO, 2012). O operador utiliza um instrumento constituído de uma tela onde aparecem as variações da corrente aplicada e de uma bobina indutora, cuja alimentação acontece por meio de corrente alternada, a qual é aplicada em direção ao material e que produz um campo magnético primário no mesmo, gerando correntes parasitas em seu interior. Estas últimas, consequentemente, produzem um campo magnético secundário, que é contrário ao primário. Conforme as correntes parasitas variam em intensidade no material, alterações locais de condutividade vão aparecendo neste campo secundário, que podem representar trincas ou descontinuidades com diferentes formas, ou composições variadas no material. Na Figura 22, é ilustrado um exemplo para aplicação de correntes parasitas de um detector de defeitos tipo Nortec 500D, da empresa Olympus, comercializado pela empresa Arotec.



Figura 22 – Detector de defeitos Nortec 500D por correntes parasitas

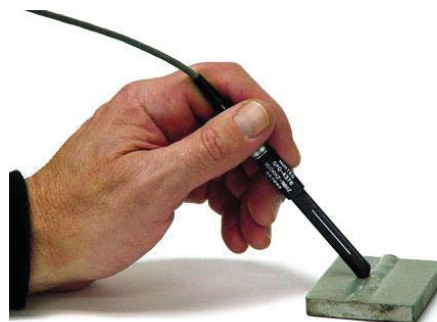


Figura 23 – Aplicação do detector em uma peça de solda

Este instrumento aplica a bobina, como mostra a Figura 23, por meio de um instrumento similar a uma caneta, em direção ao local analisado. Os dados são coletados e mostrados no detector pela tela do aparelho, gerando gráficos e informações referentes à aplicação.

O uso desta técnica em um trocador de calor existente no reator, por exemplo, pode ajudar a detectar falhas e defeitos que auxiliarão na definição de quando se devem realizar manutenções e possíveis trocas sem precisar que o mesmo equipamento pare de trabalhar e somente assim realizar uma corretiva.

## 5 TEMPOS E CUSTOS

Para realizar um estudo de economia de manutenção, antes é necessário que se entenda qual é o gasto obtido com o funcionamento total dos cinco reatores e o tempo utilizado pelo setor de manutenção para realizar os serviços corretivos e preventivos necessários para que se possa manter a produção na máxima disponibilidade.

### 5.1 Tempo e custo de funcionamento dos reatores

Analisando o tempo obtido de produção na empresa durante o período de um mês, chega-se a um valor de 3.600 horas totais, considerando que todos os cinco reatores trabalhem juntos, onde cada um funcione durante 24 horas ao dia. Eles apenas param quando: falhas repentinas aparecem em seu sistema, necessitando de serviços corretivos; o setor de manutenção estipula as preventivas para determinados itens que acredita que devam ser trocados; ou se a produção necessária foi atingida pela produção e não seja necessário utilizar os reatores no referente mês. Tudo isso acontece conforme a ordem do coordenador e do responsável, analisando sempre a necessidade de atrapalhar o mínimo possível da produção do biodiesel e garantindo a maior disponibilidade dos reatores.

Os tempos utilizados pela manutenção realizada nos reatores foram apresentados no item anterior. Quanto ao tempo não utilizado pela produção devido aos objetivos alcançados ao longo dos meses de 2011, chega-se a um valor médio de 2.000 horas. No entanto, este valor não será levado em conta para a análise dos resultados, pois varia muito conforme a ordem do cliente de quanto de biodiesel deve ser produzido para o mês.

De acordo com a empresa, o gasto por cada hora trabalhada do reator é próximo de R\$ 95,00 (informação verbal)<sup>6</sup>. Multiplicando este custo unitário pelo tempo total calculado de funcionamento no mês, chega-se a um custo de R\$ 285.000 gastos na produção de biodiesel dos cinco reatores.

Nestes cálculos são considerados o custo da energia, de utilidades (água, vapor), do gás natural utilizado e da compra das matérias-primas necessárias para desenvolver o biocombustível biodiesel.

---

<sup>6</sup> Informação fornecida pelo setor de PCP da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

## 5.2 Tempo e custo dos operadores de manutenção

No setor de manutenção da empresa, existem 18 funcionários trabalhando como operadores, conforme dito anteriormente, onde o custo por hora trabalhada de cada um deles é de R\$ 12,00 (informação verbal)<sup>7</sup>.

Eles trabalham em média por mês um total de 193,6 horas (22 dias úteis a 8,8 horas de trabalho por funcionário, considerando que o mês não tenha feriados). Deste modo, chega-se a um valor gasto médio mensal de R\$ 41.817,60 e médio anual de R\$ 460.000,00 pela empresa para manter todos os seus operadores de manutenção realizando os serviços que lhe forem estipulados.

Nestes cálculos, não se consideram os tempos de atuação dos responsáveis e coordenadores do setor, apenas dos operadores que realizam os serviços diretamente nos reatores, devido à verificação da necessidade no número de operadores na empresa.

## 5.3 Orçamentos de produtos para técnicas preditivas

Os instrumentos citados anteriormente para as possíveis aplicações práticas das técnicas preditivas exigem um custo de compra por parte da empresa, caso seja adotado o estudo.

Foram feitos orçamentos na Tabela 4 com fornecedores da região do Estado de São Paulo que disponibilizaram seus preços, materiais e informações necessárias para a divulgação de seus conteúdos.

Tabela 4 – Orçamento dos instrumentos de técnicas preditivas

<b>Técnica</b>	<b>Aparelho / Produto</b>	<b>Preço<sup>8</sup></b>	<b>Fornecedor</b>
Ultrassom	Medidor de espessura SMEP Top	5.450,00	END ARAUJO
Termografia	Termovisor Ti100	7.000,00	FLUKE
Líquidos penetrantes	Penetrante VP-34 e Revelador D 71	150,00	METAL CHEK
Correntes parasitas	Detector de defeitos NORTEC 500D	37.000,00	AROTEC
Vibração mecânica	Medidores de vibração 805 e 810	60.500,00	FLUKE
<b>TOTAL</b>		<b>110.100,00</b>	

<sup>7</sup> Informação fornecida pelo setor de manutenção da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

<sup>8</sup> Informação fornecida pelos fornecedores mencionados na tabela 4 em outubro de 2012.

De acordo com a informação passada pelos fornecedores, estes oferecem também aos seus clientes outros acessórios para os instrumentos, diversas condições para pagamento, treinamentos para os operadores ou serviços referentes que lhes interessem (informação verbal)<sup>9</sup>. No entanto, dependendo da empresa, cada uma dessas condições varia conforme a necessidade. Neste caso, como se trata de um possível estudo, são mencionadas apenas a compra dos instrumentos e quais seriam suas aplicabilidades nos reatores. Existe a possibilidade de utilizar serviços para as técnicas preditivas, porém isto necessitaria que os fornecedores comparecessem ao local e iniciassem testes e emitissem relatórios conclusivos informando qual seria o custo por reator e intervalo de aplicação dos serviços, garantindo a mesma ideia de manutenção preditiva.

---

<sup>9</sup> Informação fornecida pelos fornecedores mencionados na tabela 4 em outubro de 2012.

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A empresa destes reatores batelada possui em seu orçamento anual um valor monetário em torno de R\$ 200.000,00 para investimento na aquisição de novos equipamentos para os setores de produção e manutenção. Deste total, foi utilizado um valor médio de R\$ 50.000,00 em compras necessárias de outros equipamentos que auxiliam os reatores no processo produtivo (informação verbal)<sup>10</sup>, restando um valor útil de R\$ 150.000,00. Caso este estudo preditivo fosse aplicado nos reatores e aprovado pelo gerente industrial, seria possível, conforme visto que o gasto total com os novos instrumentos mostrados no item anterior é inferior ao restante útil do orçamento.

Analisando a questão do lucro obtido com a aplicação do estudo e considerando que o tempo gasto com as manutenções corretivas e preventivas diminuísse em 50% (sabendo que este mesmo tempo não pode ser totalmente utilizado, devido às necessidades de paradas para realizar as manutenções nos reatores), é obtido um tempo de 530 horas a mais para os reatores trabalharem 1 ano inteiro, sem interrupções por falhas eventuais. A partir de informações obtidas da empresa, multiplicando esse período pelo valor de R\$ 95,00 a hora, encontra-se um lucro anual por produção de R\$ 50.350,00 (informação verbal)<sup>11</sup>. Em pouco mais de dois anos, o gasto pela compra dos equipamentos preditivos mostrados neste estudo seria recuperado.

Também deve-se considerar a redução do tempo gasto pelos operadores com a aplicação das técnicas preditivas. Existe a possibilidade também da diminuição do número de operadores na área de manutenção dos reatores com isso, pois a grande maioria são ajudantes que auxiliam os operadores oficiais de manutenção do setor a realizar os serviços, principalmente os corretivos, devido ao grande volume de aparições nos reatores.

Com a aplicação dos serviços preditivos deste estudo, será possível estipular quando será necessária a realização das trocas de peças nos reatores, quais e quantas serão as pessoas que deverão realizar cada serviço. Deste modo, é possível haver uma redução de funcionários para este setor de manutenção, gerando menos custos para a empresa por manter funcionários extras.

---

<sup>10</sup> Informação fornecida pelo gerente industrial da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012.

<sup>11</sup> Informação fornecida pelo setor de PCP da empresa Bioverde, em Taubaté (SP), em janeiro de 2012

## 7 CONCLUSÃO

A partir das observações baseadas na empresa analisada de produção do biodiesel, com relação ao estudo realizado sobre os métodos atuais de manutenção corretiva e preventiva, verifica-se que a viabilidade de aplicação de técnicas preditivas sobre seus reatores batelada é possível.

Com a utilização do estudo, são diversos os benefícios que podem aparecer com o tempo: a existência de grandes possibilidades de redução de tempos gastos com os serviços corretivos e preventivos existentes; minimização nos custos de aquisições de novas peças e materiais necessários aos reatores; melhor aproveitamento dos operadores do setor de manutenção para outros equipamentos e áreas; maior disponibilidade dos reatores para o setor de produção, gerando um aumento no lucro da empresa na comercialização do biodiesel; e possível aumento de produção, proporcionando assim novos clientes. E para melhor desenvolvimento, existem empresas que fornecem treinamentos para os interessados nos assuntos mais específicos de ensaios não destrutivos. Se a empresa quiser investir em algum funcionário com isso, os resultados serão ainda melhores para a mesma. Conforme visto o orçamento, existem chances de utilizar o valor restante para desenvolvimento de operadores.

Desde o momento que se adquire os instrumentos preditivos, o setor de manutenção da empresa poderá, de mesmo modo, utilizá-los em outros equipamentos além dos reatores batelada, como as caldeiras, aparelhos de destilação e tratamento de utilidades que existem no setor industrial. Desta maneira, o benefício poderá ser maior, sendo que novos lucros, reduções de custos e tempo poderão aparecer com o decorrer do tempo, conforme os locais que forem aplicadas as técnicas não destrutivas. A decisão de adquirir todos os instrumentos preditivos ao mesmo tempo pode também não agradar à empresa devido aos altos custos imediatos. Por isso são citados em ordem preferencial no item 5, para o caso de uma proposta de aplicação individual.

É importante lembrar que existem ainda outras possibilidades de aplicações de manutenções preditivas e instrumentos no mercado de trabalho que não foram mencionados, devido aos tipos diferentes de equipamentos e materiais a que são destinados. Basta iniciar o estudo conforme mostrado em qualquer análise, verificando sempre quais as possibilidades existentes para o desenvolvimento, sem que prejudique os setores envolvidos e se há previsão de benefícios para a empresa ou indústria em questão.

## 8 REFERÊNCIAS

KARDEC, A; NASCIF, J; BARONI, T. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 136 p.

KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2009. 340 p.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008. v. 1, 501 p.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2012. v. 2, 472 p.

PEREIRA, M. J. **Técnicas Avançadas de Manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010. 80 p.

SANTOS, V. A. **Manual prático da manutenção industrial**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 301 p.

SANTOS, V. A. **Prontuário para Manutenção Mecânica**. 1. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 175 p.

SANTOS, V. A. **Prontuário para Projeto e Fabricação de Equipamentos Industriais**. 1. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 445 p.

SILVEIRA, B. I. **Produção de biodiesel: Análise e Projeto de Reatores Químicos**. 1. ed. São Paulo: Biblioteca 24horas, 2011. 414 p.

END Araújo. Ensaio não destrutivo. Pindamonhangaba, 2012. Comercializa medidores de espessuras por ultrassom, ultrassom, transdutores, blocos de calibração (bloco padrão), cabos, conectores, medidores de camadas de películas, holiday detector e fontes carregadoras.

Desenvolvido por Wdsweb. Disponível em: <<http://www.endaraujo.com/produtos.htm>>. Acesso em: 23 out. 2012.

FLUKE Corporation. São Paulo, 2012. Líder mundial em ferramentas de teste e software para manufatura, distribuição, e serviços elétricos e eletrônicos. Disponível em: <<http://www.fluke.com/fluke/brpt/Products/default.htm>>. Acesso em: 22 out. 2012.

METAL-CHEK. Bragança Paulista, 2012. Comercializa e produz toda a linha de consumíveis para Líquido Penetrante (LP) e Partícula Magnética (PM) e acessórios para a realização desses ensaios. Revende e importa luminárias especiais para ensaios pelos métodos com fluorescência, assim como acessórios especiais para medição de luz e campo magnético. Desenvolvido por Rudek Wydra. Disponível em: <<http://www.metalchek.com.br/produtos>>. Acesso em: 23 out. 2012.

OLYMPUS Corporation. São Paulo, 2012. É uma empresa internacional em mercados industriais, médicos e consumidores, especializada em óptica, eletrônica e engenharia de precisão. Disponível em: <<http://www.olympus-ims.com/pt>>. Acesso em: 22 out. 2012.