

ENGENHARIA DE MATERIAIS – UMA FERRAMENTA ESSENCIAL NO CONTEXTO DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Autor: Edgard Gabriel Seidner¹

¹ Consultor Autônomo

Na atualidade, já se tem utilizado largamente inúmeras metodologias/técnicas gerenciais, visando a uma melhor eficiência na disponibilidade dos equipamentos de plantas industriais, bem como na redução dos custos de manutenção. Dentro desse enfoque, apresenta-se aqui a importância da Engenharia de Materiais no contexto da Engenharia de Manutenção, cuja função abrange fundamentalmente as atividades de análise de falha e de seleção de materiais, ambas aplicadas aos componentes de máquinas dos equipamentos. A contribuição dessas atividades para atingir as metas de lucratividade das empresas está na redução/eliminação da ocorrência de falhas em serviço, bem como em uma melhor vida útil apresentada por novos materiais utilizados nesses componentes de máquinas.

Palavras-Chave: análise de falha; seleção de materiais; redução de custos de manutenção.

INTRODUÇÃO

Várias formas de gestão de ativos das empresas têm sido implementadas visando atingir as metas de lucratividade estipuladas, bem como a satisfação de seus respectivos clientes.

Além das inúmeras metodologias/técnicas gerenciais que atualmente vêm sendo adotadas pelas empresas – como RCM, FMEA e MASP, entre outras –, apresentaremos aqui o papel da Engenharia de Materiais no contexto da Engenharia de Manutenção, a qual enfoca as atividades de análise de falhas e seleção de materiais.

Nesse sentido, o presente trabalho buscará elucidar como se conduz, na prática, cada uma das duas atividades da Engenharia de Materiais no contexto da Engenharia de Manutenção.

MÉTODOS

Serão apresentados a seguir os conceitos e as técnicas relacionadas com as atividades de análise de falha e de seleção de materiais.

Análise de Falha

A atividade de análise de falha de componentes dos equipamentos industriais tem a finalidade de determinar a causa fundamental (causa raiz) de sua ocorrência por meio de uma metodologia que toma por base conceitos da literatura técnica dos últimos 70 anos, os quais vêm se aprimorando constantemente.

A partir da determinação da causa fundamental, atinge-se o objetivo principal, ou seja, evitar ao máximo a reincidência da falha em questão.

Dessa forma, obtém-se maior confiabilidade operacional do equipamento e, ao mesmo tempo, minimizam-se acidentes que envolvem pessoas (segurança no trabalho) e/ou o meio ambiente.

Na sequência será apresentada uma abordagem completa da análise de falha.

Conceito de Falha

Entende-se por falha de um componente de um equipamento o momento em que deixa de desempenhar a função para a qual foi projetado.

Nesse conceito e de forma geral, as falhas são classificadas em dois tipos: por deterioração e por fratura.

No caso de falhas por fratura, basicamente ocorrem por mecanismos de comportamento dúctil ou frágil, determinado pelas características do material empregado na fabricação do componente, bem como pelas condições de serviço às quais está submetido.

HISTÓRICO

Uma vez apresentado o conceito de falha, pode-se afirmar que, na grande maioria dos casos, ocorre por mecanismo de fratura do componente, ou seja, pela separação em duas ou mais partes.

Ainda de forma conceitual, o estudo de falhas por fratura é denominado de fractografia, que trata fundamentalmente da interpretação das superfícies de fratura do componente falhado.

O estudo das superfícies de fratura teve origem na Segunda Guerra Mundial, durante a qual ocorreram cerca de 5 mil fraturas catastróficas dos famosos navios Liberty, conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1. Fratura Frágil – Navios Liberty

Tipos de Falha

- A. Falhas por Deterioração
- ✓ Desgaste
 - ✓ Corrosão
 - ✓ Empenamento/Distorção
 - ✓ Fluência
- B. Falhas por Fratura
- ✓ Fratura Dúctil/Frágil
 - ✓ Fratura por Fadiga
 - ✓ Fratura por Corrosão
 - ✓ Fratura por Fluência

Mecanismo de Falha

De forma geral, as falhas ocorrem basicamente a partir de um mecanismo de nucleação e propagação de uma trinca até o momento em que a seção resistente do componente não suporta mais a tensão atuante, vindo a fraturar ou deteriorar.

Essa nucleação origina-se em uma descontinuidade na superfície ou no interior do componente.

Dos tipos de falhas apresentados, aquele que ocorre com maior frequência é o de fratura por fadiga, a envolver a grande maioria dos casos fratura em eixos de máquinas.

A Figura 2 apresenta, de forma didática, o mecanismo de fratura por fadiga.

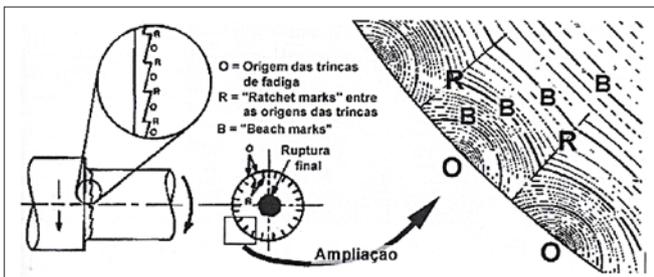


Figura 2. Mecanismo de Fadiga

Causas Raízes

Como já abordado anteriormente, o objetivo fundamental em se realizar uma análise de falha é determinar a causa raiz (uma ou mais), da ocorrência. A Figura 3 busca evidenciar tal objetivo.



Figura 3. Causa Raiz

Entre as principais causas raízes, podem-se destacar as seguintes:

- ✓ Imperfeição no Material
- ✓ Falha devido a Projeto
- ✓ Deficiência de Fabricação
- ✓ Condições de Operação/Manutenção Inadequadas

Considerando-se o mecanismo de fratura por fadiga – e agora conhecendo-se as principais causas desse tipo de ocorrência –, deve-se evitar ao máximo regiões de concentração de tensão, as quais acabam sendo locais preferenciais para a nucleação de trincas. As Figuras 4 e 5 contribuem para o entendimento dessa questão.

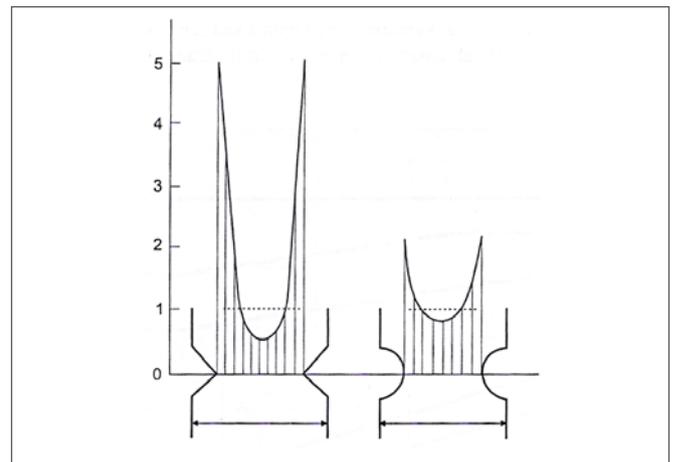


Figura 4. Nível de Tensões x Severidade

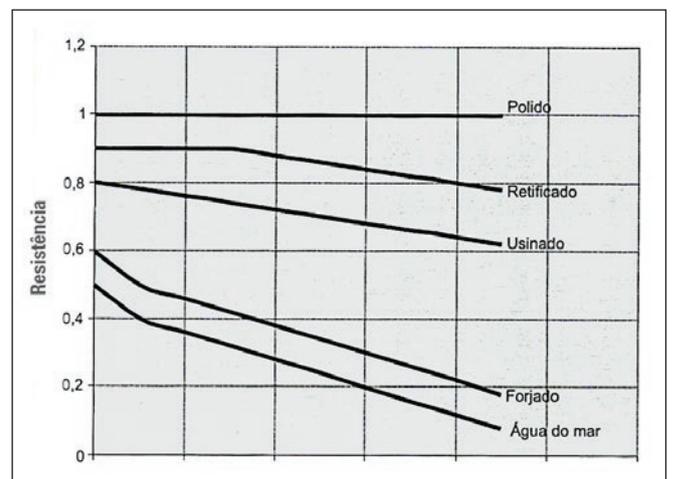


Figura 5. Resistência x Acabamento Superficial

FORMAS DE PREVENÇÃO

A prevenção de falhas objetiva utilizar, além das ações proativas de características gerenciais, fundamentalmente a manutenção preditiva, que exige preferencialmente os seguintes monitoramentos:

- ✓ Análise de Vibração
- ✓ Termografia
- ✓ Análise de Óleo/Ferrogafia
- ✓ Ensaios Não Destrutivos: Ultrassom
- ✓ Réplica Metalográfica

Como outras ferramentas técnicas, pode-se considerar:

- ✓ Alteração de Projeto
- ✓ Seleção de Materiais
- ✓ Garantia de Qualidade no Fornecimento

Metodologia de Condução de uma Análise de Falha

A metodologia consiste em uma sequência de ações, conforme as etapas descritas abaixo:

a) Análise Visual

A partir do momento da ocorrência da falha, o analista responsável deve ser comunicado o mais rápido possível, para que realize o quanto antes sua análise visual inicial *in loco* e possa observar em detalhes os componentes envolvidos na falha, bem como o entorno, conforme ilustrado na Figura 6.



Figura 6. Análise Visual

Nessa análise visual, deve-se:

- ✓ observar inicialmente o componente falhado, dando ênfase às superfícies de fratura;
- ✓ analisar os demais componentes do equipamento, verificando eventuais marcas ou detritos, que podem ser importantes na análise;
- ✓ documentar fotograficamente;
- ✓ identificar e selecionar regiões do componente falhado para futuras análises de laboratório.

b) Ensaios Não Destrutivos

Após a análise visual, determinar os ensaios não destrutivos que deverão ser realizados, ainda com o objetivo de não deixar de registrar qualquer evidência que possa contribuir na determinação da causa da falha.

c) Análises de Laboratório

As principais análises de laboratório que costumam fazer parte de uma análise de falha são as seguintes:

- ✓ Análise Química
- ✓ Ensaios Mecânicos: Tração, Dureza
- ✓ Exame Metalográfico
- ✓ Microscopia Eletrônica: Fractografia (Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV); Microanálise (Espectroscopia de raios X por Dispersão em Energia – EDS)
- ✓ Registro Fotográfico Detalhado

d) Considerações Técnicas

Desde que o analista é informado da ocorrência da falha, cabe-lhe efetuar um completo levantamento de dados, os quais serão fundamentais nas considerações técnicas. Esse levantamento deve conter:

- ✓ Desenhos e Especificações Técnicas
- ✓ Histórico de Ocorrências
- ✓ Condições Operacionais e de Manutenção
- ✓ Informações de Pessoas Envolvidas: Inspetor; Operador; Engenheiro

Ao mesmo tempo, o analista deve realizar uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de, junto com os demais dados levantados, contribuir para a elucidação da causa da falha.

e) Elaboração do Relatório Técnico

Com base nas etapas anteriores, neste ponto da análise já se torna possível elaborar um relatório técnico, cujo modelo padrão apresenta os seguintes tópicos:

- ✓ Objetivo
- ✓ Documentos e Especificações
- ✓ Histórico
- ✓ Análises Efetuadas
- ✓ Considerações Técnicas
- ✓ Conclusões e Recomendações
- ✓ Referências Bibliográficas

Seleção de Materiais

Na atividade de seleção de materiais, no escopo da Engenharia de Materiais, há os seguintes tópicos:

- ✓ Melhorar o Desempenho do Componente em Serviço
- ✓ Garantir a Qualidade de Fornecimento do componente, através de otimização de especificação técnica de compra
- ✓ Avaliar resultados de análises de laboratório
- ✓ Propiciar suporte técnico na análise de propostas alternativas de especificação de material por parte dos fornecedores

O mercado disponibiliza grande variedade de materiais de engenharia para a fabricação dos componentes dos equipamentos, os quais podem ser classificados em materiais metálicos e não metálicos, conforme sumarizado na Tabela I.

Tabela I. Materiais de Engenharia

Materiais de Engenharia		
Metálicos	Ferrosos	Aço: Aço-C; Aço-Liga
		Ferro Fundido: Cinza/ Nodular
	Não Ferrosos	Alumínio / Cobre
Níquel / Super Ligas		
Não Metálicos	Elastômeros/Plásticos	
	Vidros/Materiais Cerâmicos	
	Fibra de Carbono/Kevlar	

A seguir apresenta-se mais detalhadamente cada um dos tópicos da atividade de seleção de materiais citados anteriormente:

Melhoria de Desempenho

De maneira geral, plantas industriais possuem equipamentos de fornecedores tanto nacionais quanto internacionais. Nesse contexto, os desenhos dos componentes contêm, na maioria das vezes, especificações de material designadas através de normas técnicas ou mesmo referências comerciais.

No estudo de melhoria de desempenho, é função básica do analista tomar conhecimento do material especificado, inicialmente pelos dados contidos no desenho e ou em especificação técnica do componente. Na ausência desses dados, caso possível, deve-se buscar identificá-lo através de análises de laboratório efetuadas no componente original.

Conhecendo-se o material empregado na fabricação do componente, pode-se recomendar uma nova especificação de material com base na aplicação do componente, bem como na relação custo-benefício.

Garantia de Qualidade no Fornecimento

Em situações que envolvam um componente de grande importância no equipamento, ou mesmo com elevado custo de aquisição, cabe o desenvolvimento de uma especificação técnica de compra, na qual devem fazer parte os seguintes tópicos:

- ✓ Especificação de Material
 - Norma Técnica; N.º do Material; Referência Comercial
 - Composição Química (%)
 - Requisitos de Propriedades
 - Mecânica – LRT; LE; A
 - Térmica – Condutibilidade
- ✓ Certificados
 - Composição Química
 - Ensaios Mecânicos e Físicos
 - Ensaios Não Destrutivos

Resultados de Análises de Laboratório

Em certas situações se faz necessária a realização de análises de laboratório, com o objetivo de certificar-se das verdadeiras características do material.

Por exemplo, durante um procedimento de soldagem de uma chapa de aço-carbono que não se conseguia concluir, verificou-se, por um exame metalográfico, que se tratava de ferro fundido, cuja soldabilidade é mais complexa.

Por outro lado, para efeito de eventuais confrontações com certificados emitidos por parte dos fornecedores, normalmente se avaliam os resultados de análises químicas e ensaios mecânicos.

Consultoria em Engenharia de Materiais

I. Departamento de Compras

É bastante usual, durante um processo de compra, os fornecedores apresentarem propostas com especificações de material diferentes das solicitadas. Muitas vezes podem ser especificações com outras designações ou mesmo similares.

II. Outros Departamentos

Desde a engenharia básica até a inspeção de recebimento de uma empresa, existem necessidades de esclarecimentos quanto a questões relacionadas a especificação/ seleção de materiais. Apesar da atual tentativa de especificar materiais conforme normas técnicas, ainda é comum constar nos desenhos técnicos referências comerciais ou mesmo informações complementares nas quais o material especificado pode ainda não ficar evidente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados alguns casos práticos na utilização das atividades de análise de falha e de seleção de materiais, dentro da ferramenta da Engenharia de Materiais.

Análise de Falha

a) Fratura de Eixo de Motor Elétrico

A falha em questão diz respeito à fratura da extremidade de um eixo de um motor elétrico responsável pelo sistema de acionamento de basculamento do conversor de aciaria de uma planta siderúrgica integrada.

Na Figura 7, uma representação dessa instalação.

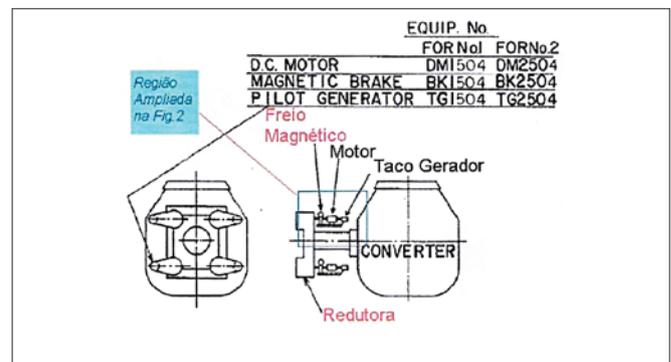


Figura 7. Esquema Geral da Instalação

A Figura 8 apresenta um detalhamento da região onde o eixo rompido está montado no conjunto.

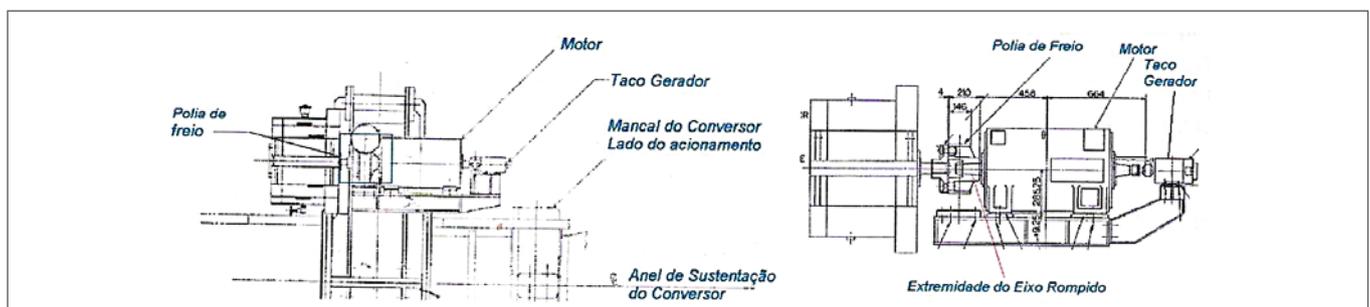


Figura 8. Região onde o eixo esta montado

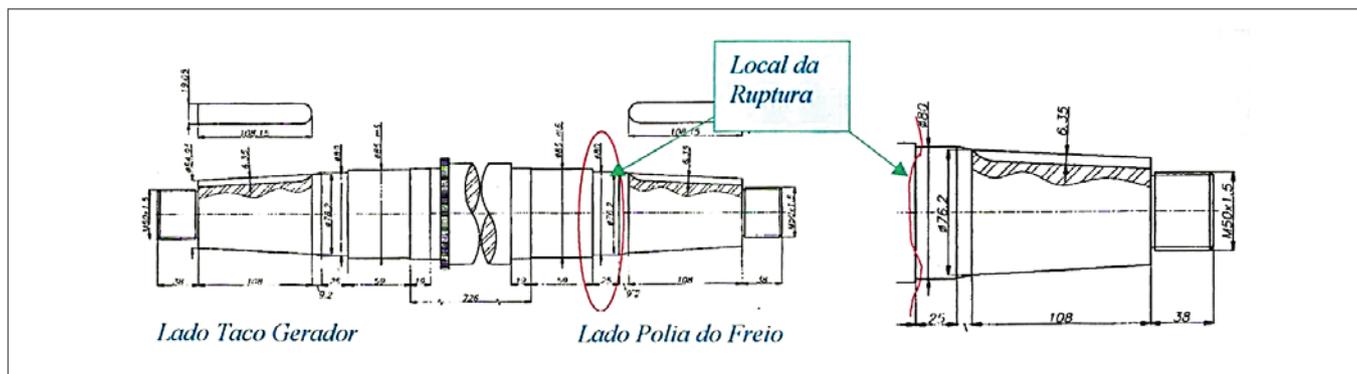


Figura 9. Posição da Ruptura

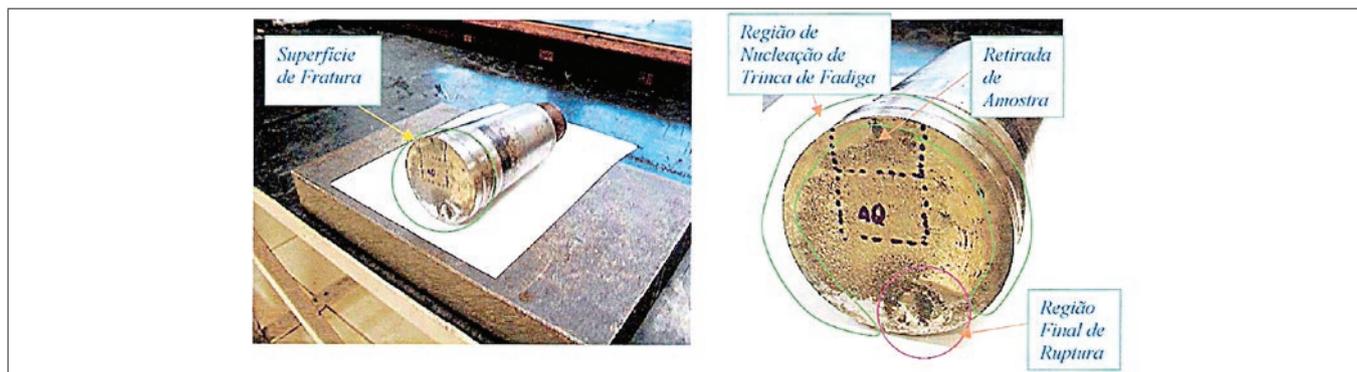


Figura 10. Aspecto da Superfície de Fratura

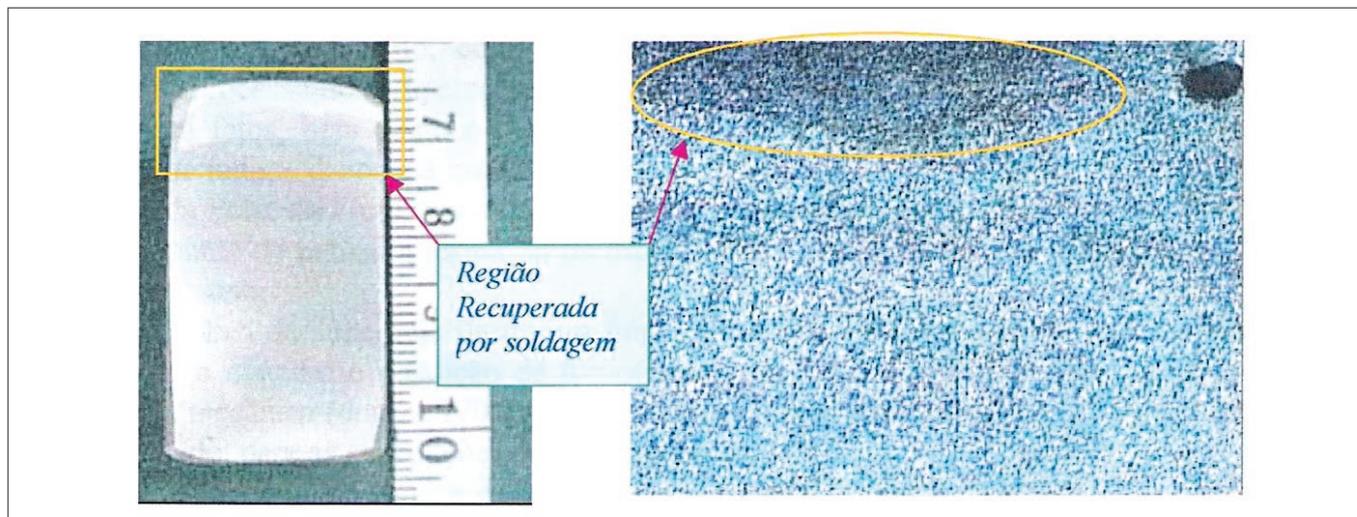


Figura 11. Região Recuperada por Soldagem

A Figura 9 mostra as dimensões do eixo, bem como o local em que ocorreu a ruptura.

A superfície da fratura do eixo pode ser observada na Figura 10.

Ainda na observação da Figura 10, na análise da superfície da fratura verifica-se que a falha ocorreu por um mecanismo de fadiga, através da nucleação de trincas ao longo de quase toda a periferia do eixo, notando-se ainda a região final de ruptura, de aspecto mais rugoso. No local indicado para a retirada de amostra, foi realizado um exame metalográfico cujo resultado consta da Figura 11.

A conclusão da causa raiz desta falha é a associação de uma concentração de tensão devido à presença de canto vivo, bem como o fator metalúrgico de zona termicamente afetada, devido ao procedimento de soldagem.

b) Fratura de Eixo de Transmissão de Laminador

Este caso, de forma análoga ao anterior, diz respeito a uma falha de eixo ocorrida por um mecanismo de fadiga. O que se destaca é o aspecto da superfície de fratura, que se apresenta de maneira bas-

Superfície de Fratura



Figura 12. Aspecto Geral do Eixo Falhado



Figura 13. Detalhe da Superfície de Fratura



Figura 14. Tubo Perfurado



Figura 15. Região do Furo

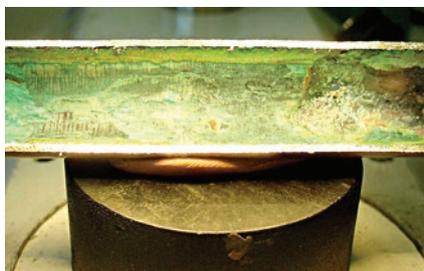


Figura 16. Regiões Similares

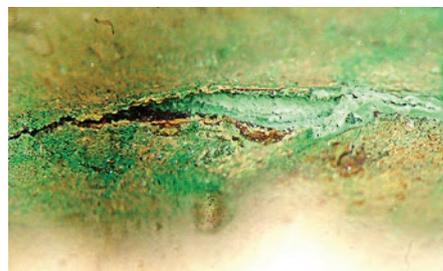


Figura 17. Produtos de Corrosão

Tabela II. Composição Química (%)

Elementos (%)	Cu	Zn	Al	Pb	Mn	Fe	As	Ni
C 6872T	76 - 79	Rest.	1,8 - 2,5	0,05 máx.	-	0,05 máx.	0,02-0,06	0,2 - 1,0
C 68700	76 - 79	Rest.	1,8 - 2,5	0,07 máx.	-	0,06 máx.	0,02-0,06	-
C 70600	restante	1,0 máx.	-	0,05 máx.	1,0 máx.	1,0 - 1,8	-	9 - 11

tante didática, contribuindo na parte conceitual vista anteriormente na Figura 2.

A Figura 12 apresenta uma visão geral da falha do eixo.

Na Figura 13 observa-se o aspecto bastante liso, característico da superfície de fratura de um mecanismo de fadiga.

Seleção de Materiais

O caso apresentado a seguir diz respeito a frequentes perfurações ocorridas em tubos de material não ferroso, a partir de processo corrosivo, que foi solucionado através de alteração na seleção de material.

a) Tubo de Liga de Cobre de um Condensador

O equipamento em questão trata-se de um condensador, o qual faz parte de uma central termoeletrica de uma usina siderurgica in-

tegrada. O condensador possui cerca de 400 tubos, vários dos quais precisaram ser tamponados na ocasião, devido às perfurações, a fim evitar que o funcionamento do equipamento ficasse comprometido.

Um dos tubos perfurados é mostrado na Figura 14.

A Tabela II apresenta especificações do material original e do material proposto.

As Figuras 15, 16 e 17 mostram detalhadamente a região do furo, bem como o produto de corrosão.

CONCLUSÕES

Do exposto, verifica-se que ambas as atividades da Engenharia de Materiais aqui apresentadas se complementam para, no contexto da Engenharia de Manutenção, contribuir para as empresas atingirem suas metas de lucratividade, bem como a satisfação de seus clientes. ■

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASM Handbook, Vol. 11, *Failure Analysis and Prevention*, ASM International (1992)
2. Callister Jr., W. D, *Materials Science and Engineering – An Introduction*, John Wiley & Sons (1993)