

ANÁLISE DE FALHA DE PEÇAS ROMPIDAS EM SERVIÇO

DIRCEU ALVES DE LIMA

Relatório Final apresentado à Faculdade de Tecnologia de Sorocaba-SP, com o requisito para conclusão do projeto de Iniciação Científica.

Orientador: Prof^a. Dra. Luciana Sgarbi Rossino

SOROCABA/SP

2015

Lista de Tabelas.

Tabela 1 – Raízes reais da falha	14
Tabela 2 – Análise Química da Peça 1	14
Tabela 3 – Ficha Técnica do Aço VC 131	15
Tabela 4 – Análise de Dureza da Peça 1	15
Tabela 5 – Análise Química da Peça 2.....	19
Tabela 6 – Composição Química dos aços SAE 1040 e 1050	19
Tabela 7 – Análise de Dureza da Peça 2	20
Tabela 8 – Parâmetros de Dureza dos aços SAE 1040 e 1050.....	20

Lista de Figura.

Figura 1 – Imagem da Envasadora de Sache.....	10
Figura 2-Conjunto montável da peça 1	11
Figura 3- Conjunto montável da peça 2	11
Figura 4 – Diagrama de Causa e Efeito.....	13
Figura 5- Micrografia da microestrutura da peça 1	16
Figura 6- Micrografia da microestrutura do material da faca que não rompeu.....	17
Figura 7- Micrografia da microestrutura do VC131	17
Figura 8- Micrografia feita em MEV. (secção fraturada da peça 1)	18
Figura 9- Micrografia feita em microscópio óptico (microestrutura da peça 2) (a) 500 x de aumento e (b) 200x de aumento	20
Figura 10- Micrografia feita no MEV (secção fraturada da peça 2)	21
Figura 11-Imagens feitas em MEV da secção fraturada de um material retirada de: ASM METALS HANDBOOK 1987	21
Figura 12- Imagens Comparativas de Secções de Fraturadas	22
Figura 13- Imagem do filete da rosca.....	23

Sumário.

3. Introdução.....	6
4. Justificativa.....	6
5. Revisão bibliográfica.....	6
6. Objetivo.....	9
7. Materiais e Métodos	9
8. Resultados e Discussões.....	1312
8.1. Análise da Peça 1.....	1312
8.2. Análise da Peça 2.....	19
9. Conclusão:.....	23
10. Referências:.....	24

1. Resumo

Muitos materiais têm suas propriedades deterioradas em trabalho, o que pode proporcionar a falha total de um determinado componente. Inúmeras catástrofes aconteceram no decorrer da história, que além de incalculáveis prejuízos custaram milhares de vidas humanas e danos ambientais. Diante de toda essa gravidade a Ciência dos Materiais procura cada vez mais aprofundar nos estudos das causas que levam um determinado material a falhar de forma inesperada. A análise de falhas é a técnica empregada para investigar os aspectos que levaram a ruptura do material. O presente trabalho teve como objetivo estudar as falhas em serviço que ocorreram em duas peças metálicas, uma faca e uma haste de cilindro hidráulico, através do estudo de análise de falhas e fractografia. Todo o estudo foi direcionado abordando técnicas de análises fractográfica, análises química, micrografia e dureza dos materiais. As falhas ocorreram durante a operação de trabalho, e por diferentes mecanismos, cujas análises das causas apontaram para cisalhamento devido ao desalinhamento da montagem da faca e fadiga devido à concentração de tensão produzida no chanfro da rosca da peça.

2. Palavras Chave

Falha, Fractografia, Materiais, Análise

3. Introdução

A análise de falha é um processo extremamente criterioso, que tem por objetivo determinar as possíveis falhas de um material, sistema ou processos, através de métodos de questionamentos. Com o grande avanço da tecnologia, diversos estudos possibilitaram um maior conhecimento do comportamento dos materiais, contudo ainda é muito difícil de garantir a prevenção de uma falha, já que cada caso tem suas particularidades, e são muitos os fatores que podem ser extremamente decisivos para o desenvolvimento de uma falha. Por definição, falha é um evento indesejado que afeta diretamente a eficiência e a segurança no funcionamento de um projeto, processos ou sistema, podendo apresentar fratura ou não. Na maioria das vezes a falha acontece de forma silenciosa e inesperada, podendo colocar em risco vidas humanas, danos econômicos, ambientais e até mesmo comprometer diretamente o rendimento e a qualidade do produto.

4. Justificativa

Toda e qualquer falha geram de certa forma transtornos desagradáveis além de prejuízos, no ramo industrial esses prejuízos podem significar milhões, além de danos irreparáveis como segurança pessoal de seus colaboradores. Esse estudo teve início a partir de uma falha que ocorreu em um equipamento de uma empresa do ramo alimentício da região de Sorocaba/SP, e acabou gerando uma parada de 15 horas de trabalho causando atrasos e perdas de produtividade.

5. Revisão bibliográfica.

Em toda a história da humanidade acidentes catastróficos ocorreram por falhas estruturais, associadas com o emprego de novos materiais e/ou novas tecnologias ou até mesmo por falta de conhecimento delas. Com isto, imensos valores podem estar em jogo, e entre esses valores podemos citar vidas humanas, danos ambientais, perdas econômicas, etc. Por isso cada vez mais se busca entender as causas das falhas e assim definir soluções seguras

para a prevenção, pois os valores em jogo são imensamente incalculáveis e uma vez perdidos são irreparáveis (CALLISTER, 2012).

Materiais falham em muitas maneiras diferentes e por razões diferentes. Determinar a causa do fracasso é vital na prevenção de uma recorrência (ASM HANDBOOK, 2002). Assim, durante décadas o grande desafio da Ciência dos Materiais foi estudar as causas dessas falhas e encontrar possíveis soluções de prevenção para tais. Uma das técnicas mais assertivas criadas para esse tipo de situação foi o estudo da falha, que é baseada na análise criteriosa através de métodos de questionamentos. Um dos fatores-chave para executar corretamente a análise de falhas é manter a mente aberta, enquanto examina e analisa as evidências para promover uma perspectiva clara e imparcial da falha (ASM HANDBOOK, 2002).

A análise de falhas é um processo fundamental para determinar as causas físicas do problema. O processo é complexo, baseia-se em muitas técnicas diferentes, e usa uma variedade de observação, inspeção e técnicas laboratoriais (ASM HANDBOOK, 2002). É responsabilidade dos engenheiros de materiais e projetos, antecipar e planejar levando em consideração as possíveis falhas e, no caso de uma falha de fato ocorrer, avaliar suas causas e então tomar medidas de prevenção apropriadas (CALLISTER, 2012).

Assim, a análise de falha como já dito é um processo extremamente criterioso, que tem por objetivo determinar as possíveis causas das falhas de um material, sistema ou processos. Com o grande avanço da tecnologia, diversos estudos possibilitaram um maior conhecimento do comportamento dos materiais, contudo ainda é muito difícil de garantir a prevenção de uma falha, uma vez que cada caso tem suas particularidades, e são muitos os fatores que podem ser extremamente decisivos para o desenvolvimento de uma falha. Assim, embora as causas das falhas e o comportamento dos materiais possam ser conhecidos, a prevenção de falhas ainda é muito difícil de ser garantida. As causas mais comuns são a seleção e os processamentos inadequados de materiais e também podem ocorrer danos às partes estruturais durante o serviço (CALLISTER 2012).

Para qualquer tipo de falha apresentada por um material há uma causa, a qual se busca entender quando no estudo de uma falha. Para entender as causas são adotados vários recursos, tais como, o desenvolvimento do projeto, as propriedades do material aplicado, os esforços a que o material se submeteu o envolvimento humano, entre outros. Com todas essas informações, outra técnica é empregada ao se estudar uma falha, a análise da fratura.

A análise da fratura, conhecida como “fractografia”, é a análise da secção fraturada de um material, e visa entender a partir das características apresentada pela fratura do material a possível causa da falha, uma vez que uma das mais importantes fontes de informação relacionada com a causa da falha é própria superfície de fratura. A superfície de fratura é um registro detalhado da história falha da peça. Ele contém provas de história de carregamento, efeitos ambientais e qualidade do material. A principal técnica utilizada para analisar esta evidência é elétron fractografia (ASM HANDBOOK,1987).

A fratura consiste na separação de um corpo por duas ou mais partes, em resposta à imposição de uma tensão estática, e em temperaturas que são abaixo das temperaturas de fusão do material. Uma fratura também pode ocorrer por fadiga quando são impostas tensões cíclicas, ou por fluência onde a deformação varia com o tempo (CALLISTER, 2012).

São inúmeras causas que podem levar um material a falhar e que podem ser detectadas através do estudo da fractografia, as ocorrências mais conhecidas são fadiga, fluência, cisalhamento, impacto entre outros mais.

Falha por fadiga resulta em mudança estrutural permanente localizada e progressiva e ocorre em materiais submetidos à flutuações de tensões e deformações. Pode resultar em fissuras ou fratura após um número suficiente de flutuações. Fraturas por fadiga são causadas pela ação simultânea de estresse cíclico, tensão, e deformação plástica. Se qualquer um desses três não estiver presente, trincas por fadiga não vão iniciar e se propagar(ASM METALS HANDBOOK 2002).

Fadiga é o tipo de falha que ocorre em matérias expostos á tensões cíclicas que alternam aleatoriamente com o tempo, a falha por fadiga é normalmente de natureza frágil, mesmo que o material seja dúctil e superfície da fratura é quase sempre em direção a tensão de principal de tração. Um material exposto a essa variação de tensão pode se romper por fadiga em tensões bem inferiores à que corresponde à resistência a tração, determinada para tensões estáticas(CALLISTER 2012).

6. Objetivo.

Buscou-se com este estudo analisar e comparar os diferentes tipos de falhas que levaram duas peças a romperem em serviço, através do estudo da análise de falha e da fratura, a fim de entender os fatores que influenciaram na falha e, assim, evitar que novas ocorrências como esta aconteçam.

7. Materiais e Métodos

A metodologia aplicada neste estudo para determinar a causa das falhas, é conhecida como fractografia. Essa ciência permite revelar as condições de tensão a qual o material estava submetido, indica o efeito da temperatura, direção de propagação de trincas, etc. Para isso foram utilizadas análise de fratura feitas no microscópio eletrônico de varredura (MEV), análise da microestrutura realizada em microscópio óptico, dureza dos materiais e análise química das peças estudadas.

Foi aplicado também no estudo, a metodologia do diagrama de causas e efeito, essa metodologia foi desenvolvida por Kaoru Ishikawa por volta dos anos 80, por isso é também conhecido como diagrama de Ishikawa. (SLACK 2009)

O diagrama de causas e efeitos é um método particularmente efetivo para ajudar a pesquisar as raízes de um problema. Eles fazem isso formulando as mesmas questões; “o que, onde, como e por quê”, eles também podem ser utilizados para identificar áreas onde são necessários mais dados. (SLACK 2009)

A primeira peça objeto deste estudo (peça1) é uma faca de guilhotina de envasadora de sachê polimérico para alimentos que se rompeu inesperadamente. Para determinar o motivo da falha desta peça, os resultados dos ensaios da faca que sofreu falha foram comparados com os resultados de uma faca que não rompeu em serviço.

A figura 1 mostra a imagem frontal da envasadora de sachê polimérico para produtos alimentícios, de propriedade de uma empresa que fabrica produtos da rede suplementar, situada na região de Sorocaba/SP. As setas em vermelho mostram onde estão fixadas as facas objeto do estudo.



Figura 1 – Imagem da Envasadora de Sache

A figura 2, mostra a parte onde é fixada as facas. A seta amarela indica a faca que não se rompeu, já a seta vermelha indica a faca que se rompeu, ambas trabalham em sincronismo, por movimento mecânico através de um came movido por motor elétrico. Os círculos indicam os parafusos que prende as facas em seu ponto de fixação, o círculo vermelho demarca o parafuso que estava solto.

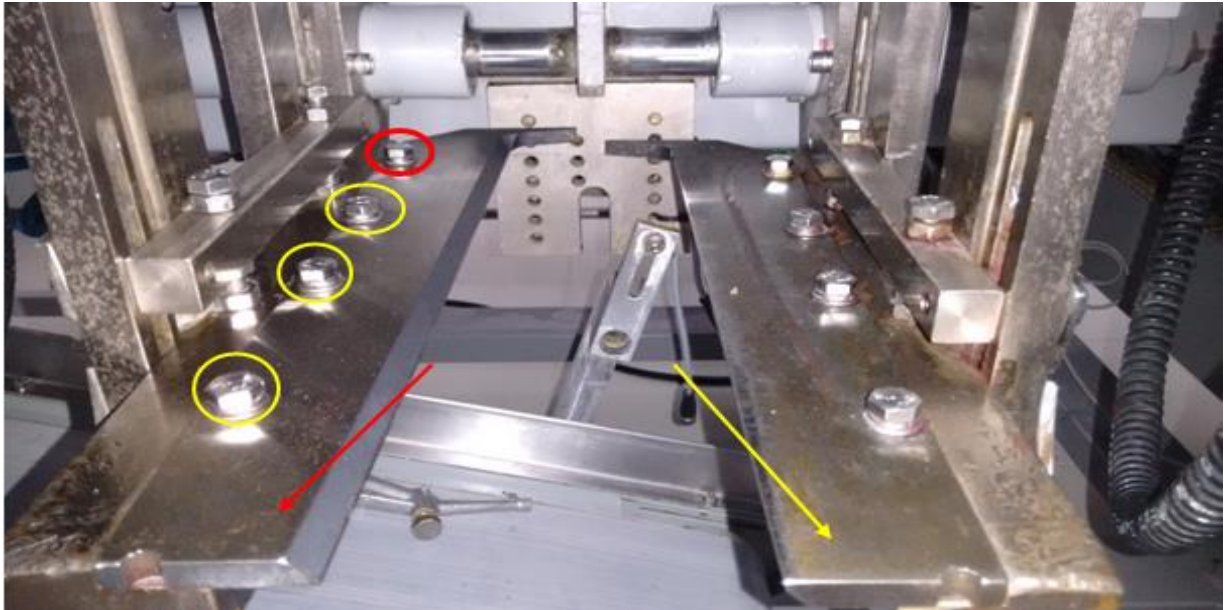


Figura 2-Conjunto montável da peça 1

A segunda peça (peça 2) é uma haste de cilindro hidráulico com diâmetro de aproximadamente 50 mm, de propriedade de uma empresa metalúrgica situada na região de Sorocaba/SP. A falha ocorreu na rosca da ponta da haste, utilizada para a fixação da ferramenta de grafagem. A figura 3 ilustra a foto do conjunto com as setas indicando o local onde são fixados os parafusos que rompeu.



Figura 3- Conjunto montável da peça 2

Amostras dos materiais estudados foram retiradas das peças rompidas em serviço para a realização de cada ensaio.

A análise química dos materiais estudados foi realizada no espectrômetro de emissão ótica utilizando espectrômetro Ametek Spectromaxx modelo LMF05 presente no Laboratório de Materiais da Fatec Sorocaba.

A microestrutura dos materiais estudados foi analisada por metalografia. Para tanto, as amostras foram retiradas das peças em estudo e preparados conforme o estabelecido pela norma ASTM E 395-00. Foi utilizado lixas de grana 220, 320, 400, 600 e 1500 sendo posteriormente polidas na seguinte sequência: pasta de diamante 3 μ m e sílica coloidal de 0,05 μ m.

Após o polimento, os corpos de prova foram atacados utilizando Nital 3% (3% de ácido nítrico e 97% de álcool etílico).

As metalografias feitas nos corpos de prova preparados foram obtidas utilizando-se um microscópio óptico Olympus com câmera de captura de imagens pertencente ao Laboratório de Metalografia da UFSCar – Campus Sorocaba.

Para a análise fractográfica das peças rompidas em serviço, utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura (M.E.V.) marca JEOL, modelo JSM 6010 alocado no Laboratório de Plasmas Tecnológicos (LapTec) da UNESP – Campus Sorocaba.

Os ensaios de dureza foram realizados um durômetro MITUTOYO HR-300 na escala HRC e HRB, alojado no laboratório de ensaios da FATEC Sorocaba.

8. Resultados e Discussões

8.1. Análise da Peça 1

A figura 4 demonstra o diagrama de causa e efeito desenvolvido na investigação das possíveis raízes da falha.

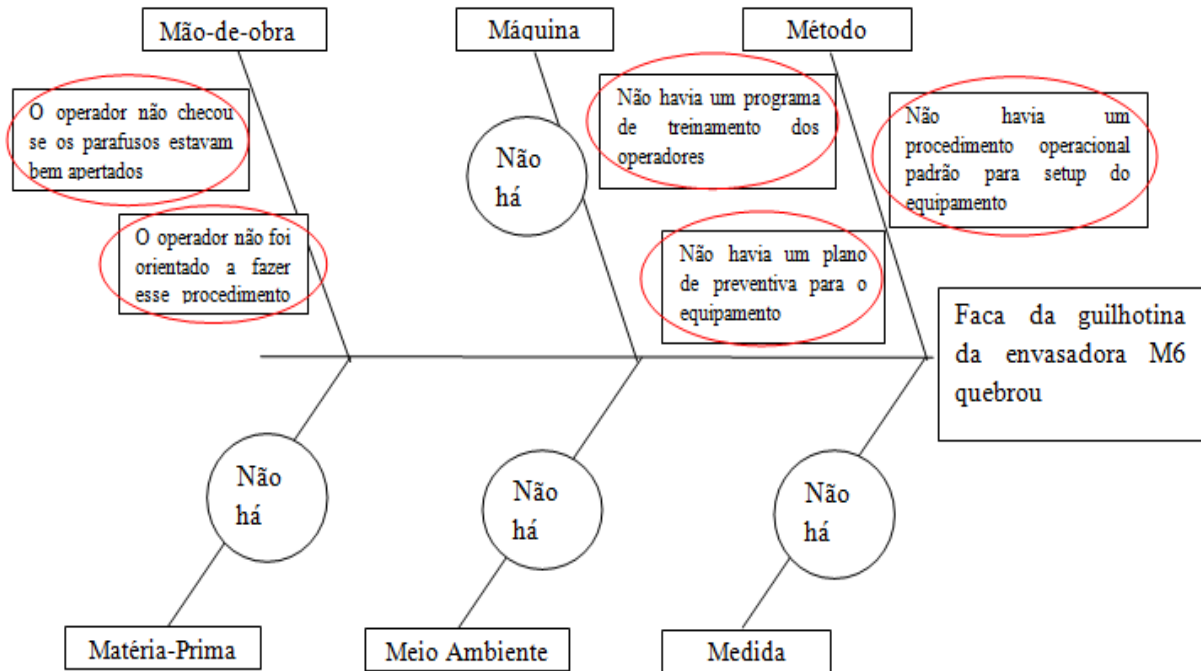


Figura 4 – Diagrama de Causa e Efeito

Na tabela 1 estão expostas as possíveis raízes reais que proporcionaram o um funcionamento inadequado do equipamento provocando a falha do componente.

TABELA DE CONCLUSÕES OBTIDAS			
Causas Influentes	Provável	Improvável	Motivo
O operador não verificou se os parafusos estavam bem apertados	X		Não era habitual os operadores fazerem isso
O operador não foi orientado quanto a esse procedimento	X		Nunca houve preocupação com tal causa
Não havia um programa de treinamento dos operadores	X		Empresa em ainda em desenvolvimento
Não havia um procedimento para	X		Empresa em ainda em

setup do equipamento			desenvolvimento
Não havia um plano de preventiva para o equipamento	X		Empresa em ainda em desenvolvimento

Tabela 1 – Raízes reais da falha

É evidente na tabela 1 o resultado do Diagrama de Causa e Efeito montado para a falha da peça 1, e revela que o motivo que levou o operador a não ter os devidos cuidados na hora da montagem do componente (faca-peça1), foi o fato de ser uma empresa ainda em desenvolvimento que ainda não havia adequado em suas operações alguns procedimentos essenciais para operações cotidianas. Esses argumentos fundamentais, apontam para importância dos procedimentos operacionais para operações de rotina em toda empresa, destaca também que é indispensável a implantação de um bom programa de manutenção preventiva para os equipamentos.

A tabela 2 mostra os resultados da análise de composição química feitas nas amostras retiradas do material da peça 1 que falhou em serviço, e da peça (faca) que não falhou em serviço. Observa-se que as análises químicas dos dois materiais são semelhantes, tratando-se portanto do mesmo material de fabricação das duas facas.

	COMPOSIÇÃO QUÍMICA						
	%C	%Mn	%Cr	%Mo	%W	%V	%OUTROS
Peça 1 rompida	2,03	0,34	11,86	0,14	0,59	0,16	-
Peça 2 não rompida	2,07	0,36	12,02	0,14	0,57	0,11	-

Tabela 2 – Análise Química da Peça 1

A tabela 3 mostra os dados de composição química do aço VC 131, que foram extraídas do catálogo do fabricante (referência 4). Estes valores obtidos determinam que o material de fabricação das facas fornecidas pelo fabricante corresponde a um aço ferramenta VC 131.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA						
%C	%Mn	%Cr	%Mo	%W	%V	%OUTROS
2,10	0,30	11,50	-	0,70	0,20	-

Tabela 3 – Ficha Técnica do Aço VC 131

Comparando os valores obtidos na análise química da faca que falhou em serviço com a análise química do aço ferramenta VC131, pode se verificar semelhanças muito aproximadas entre os valores para composição química, podendo-se assim afirmar que ambos são o mesmo material e a faca foi produzida utilizando o material corretamente indicado para tal aplicação.

Para aplicação da faca conforme função desempenhada em serviço, a dureza definida pelo fabricante deveria estar em torno de 56 – 62 HRC. Conforme definido na Tabela 4, a dureza média da peça rompida em serviço ficou em 57,7 HRC, ou seja, está dentro das especificações.

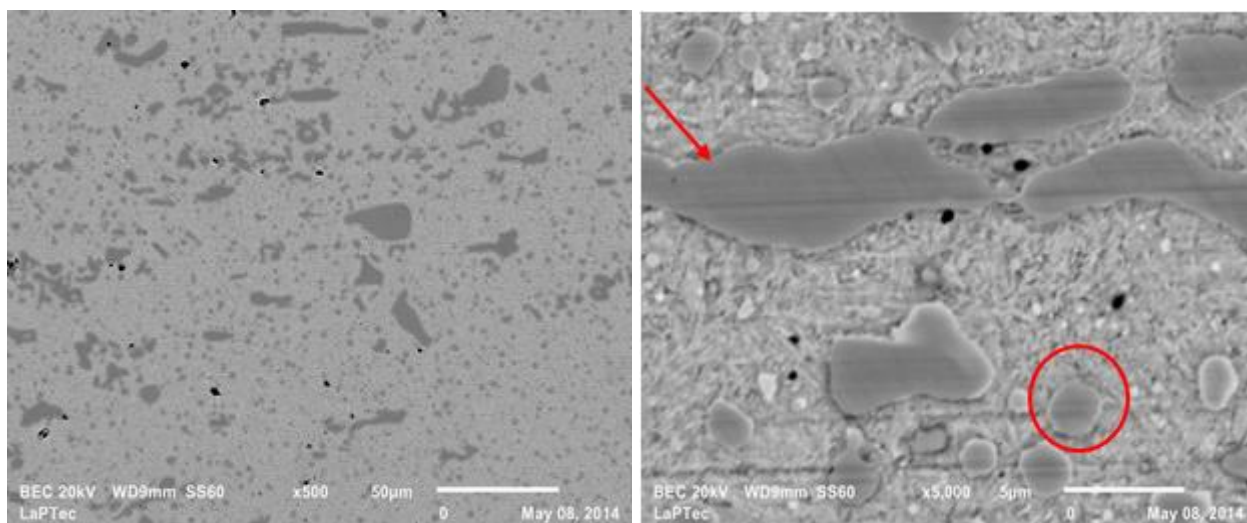
TABELA DE DUREZA EM ESCALA HRC										
1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	Média
58,4	58,7	59,6	56,3	56,5	57,4	57,5	58,1	57,0	57,7	57,7±1,01

Tabela 4 – Análise de Dureza da Peça1

A figura 5 (a) e b, mostram a micrografia da microestrutura da peça 1. É possível visualizar carbonetos de cromo finos e grosseiros indicados pelo círculo e seta respectivamente, com alguns pontos espalhados pela matriz martensítica, características dos aços ferramentas.

Outro fator são os pontos escuros presente tanto no material das facas analisadas quanto no material das bibliografias usadas para comparações, embora não especificado pelo fabricante acredita-se ser proveniente de inclusões geradas no momento do processamento do material.

Conforme observa-se na figura 6 (a) e (b) que ilustra a micrografia da faca que não falhou em serviço, a microestrutura das duas peças é semelhante, evidenciando que o tratamento térmico e microestrutura ideal de trabalho da peça rompida está de acordo com o exigido para a solicitação de serviço, e que este não foi o motivo da falha da peça em serviço.



(a)

(b)

Figura 5- Micrografia da microestrutura da peça 1

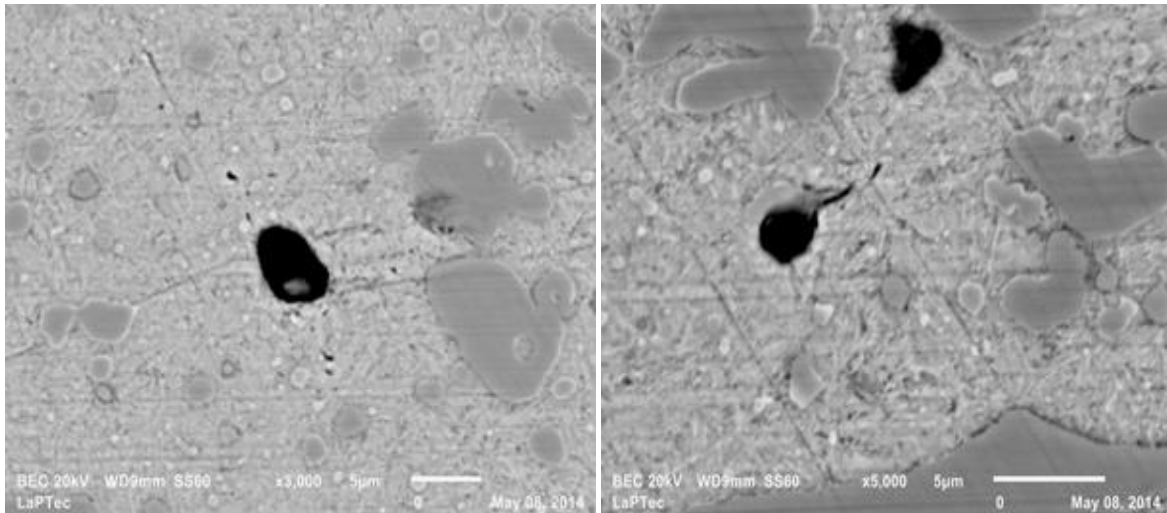


Figura 6- Micrografia da microestrutura do material da faca que não rompeu

A figura 7a e 7b, ilustram a micrografias do material VC131 que foram objetos de outros estudos e estão sendo utilizadas como comparativos (referencia 6).

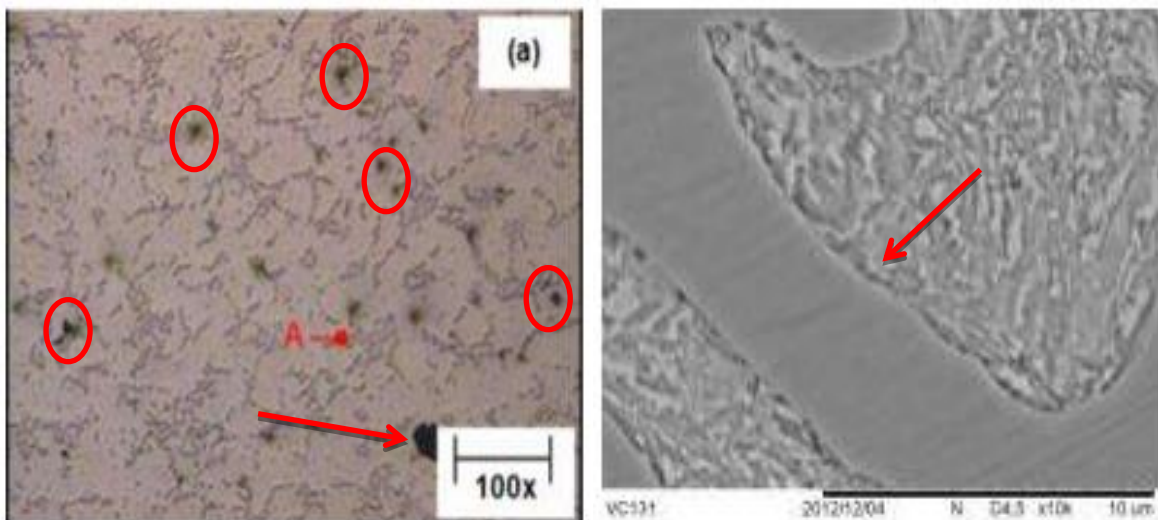


Figura 7- Micrografia da microestrutura do VC131

Pode-se perceber que os e os pontos escuros presente na microestrutura das facas analisadas também estão presentes no material utilizado para comparação (referencia_6) como mostra a figura 7a, os círculos vermelhos mostram os pontos menores como os que estão presente na micrografia da faca que se rompeu, já a seta indica o ponto maior idêntico ao que esta presente na micrografia da faca que não se rompeu, embora não especificado pelo

fabricante nada referente a origem desses pontos, acredita-se ser proveniente de inclusões geradas no momento do processamento do material.

A seta vermelha ilustrada na figura 7b esta indicando um carboneto, idêntico aos que estão presente no material das duas facas analisadas.

A figura_8, revela a micrografia feita em microscópio eletrônico de varredura da secção fraturada da peça 1. É possível ver o ponto indicado pela seta onde estava o parafuso que estava mal fixado e proporcionou uma carga estática provocando o cisalhamento, e a área demarcada com o circulo mostra a secção onde a fratura ocorreu por tração.

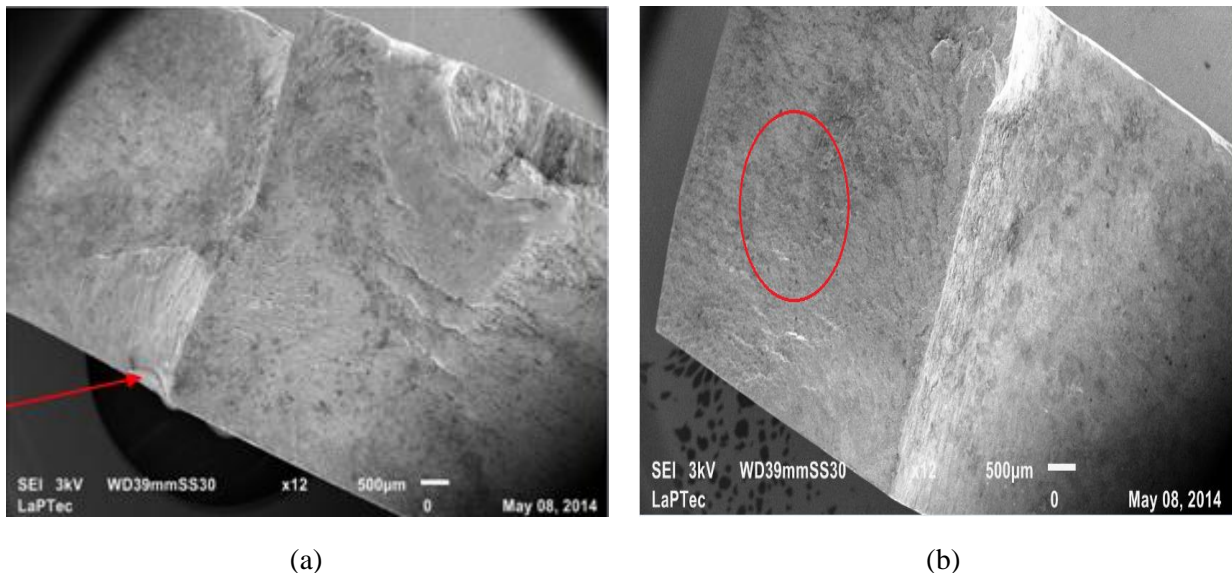


Figura 8- Micrografia feita em MEV. (secção fraturada da peça 1)

Com as análises micrográficas da fratura, pode-se definir com segurança, que a peça sofreu tensões de cisalhamento que fez com que uma grande parte da estrutura da peça se rompesse por esse motivo. Também é nítido as partes onde o material rompeu por tração, parte essas que só se romperam devido o limite de resistência do material ter seu limite ultrapassado devido partes já estar deteriorada pelo cisalhamento. O cisalhamento ocorreu devido ao desalinhamento da peça produzido devido a um erro de montagem da mesma, causada pelo parafuso indevidamente fixado.

8.2. Análise da Peça 2

A tabela 5 determina a análise da composição química feita na amostra coletada do material da peça 2 (haste do cilindro hidráulico).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA							
% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Mo	% Cr	% Ni
0,44	0,221	0,659	0,0026	0,0071	0,0102	0,0432	-

Tabela 5 – Análise Química da Peça 2

Na Tabela 6 estão apresentadas as especificações técnicas das composições químicas dos aços SAE 1040 e 1050, encontradas no catálogo do fabricante (referencia 5).

ABNT SAE AISI	%C		%Mn		%P	%S
	Min.	Max.	Min.	Max.		
1040	0,37	0,44	0,60	0,90	≤ 0,030	≤ 0,050
1050	0,48	0,55	0,60	0,90	≤ 0,030	≤ 0,050

Tabela 6 – Composição Química dos aços SAE 1040 e 1050

Por meio dos valores de composição química dos materiais relatados na tabela 4, percebe-se que os valores da análise da peça 2 colocadas na tabela 5, estão numa faixa intermediária, com isso pode-se assegurar que a peça 2 foi fabricada de SAE 1045.

Na tabela 7 está determinada a dureza média da peça 2. Ao comparar a dureza obtida na peça 2 com os valores de dureza dos aços SAE 1040 e 1050 apresentados na tabela 8, pode-se afirmar que a peça 2 foi aplicada em serviço no estado normalizado. Esta afirmação corrobora com a metalografia da peça 2 apresentada na Figura 9.

TABELA DE DUREZA EM ESCALA HRB										
1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10	Média
91,0	92,5	91,1	92,0	92,5	93,0	92,0	92,8	92,1	92,1	92,1±0,65

Tabela 7 – Análise de Dureza da Peça 2

ABNT SAE AISI	Temperatura de Normalização(°C)	Valores de Dureza em (HB)	Valores de Dureza em (HRB)	Diâmetro em mm
1040	900	167	86,0	50
1050	900	212	95,5	50

Tabela 8 – Parâmetros de Dureza dos aços SAE 1040 e 1050

Na figura 9 observa-se uma microestrutura perlitica, com ferrita pró-eutetóide demarcada com a seta, característica de material normalizado, também é bem nítido as lamelas de ferrita e cementita formadas pelos grãos de perlita demarcada pela área circulado e a matriz de ferrita.



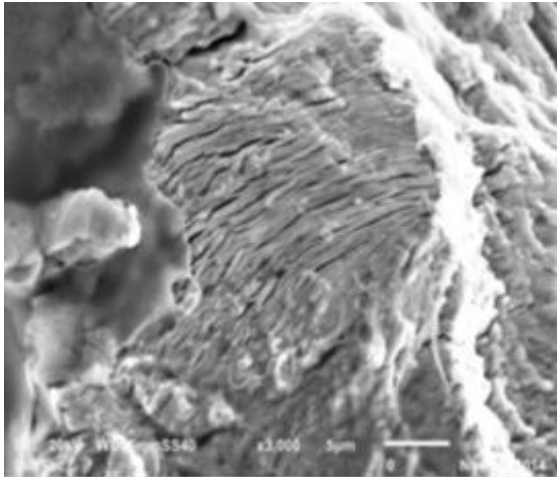
(a)



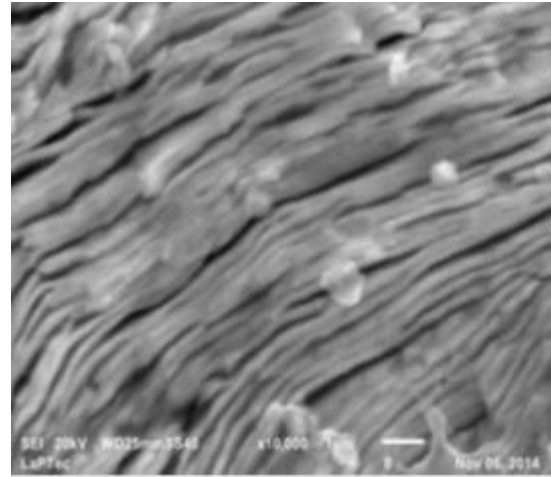
(b)

Figura 9- Micrografia feita em microscópio óptico (microestrutura da peça 2) (a) 500 x de aumento e (b) 200x de aumento

A Figura 10 ilustra as imagens feita em microscópio eletrônico de varredura feita na secção fraturada da peça 2.



(a)



(b)

Figura 10- Micrografia feita no MEV (secção fraturada da peça 2)

A figura 11 retrata a imagens feitas em MEV da secção fraturada de um material retirada de: (ASM METALS HANDBOOK 1997), retrata as estrias característica de falha por fadiga, semelhança nítida com as estrias apresentadas na micrografia da peça 2 reveladas através das figuras 10a e 10b.

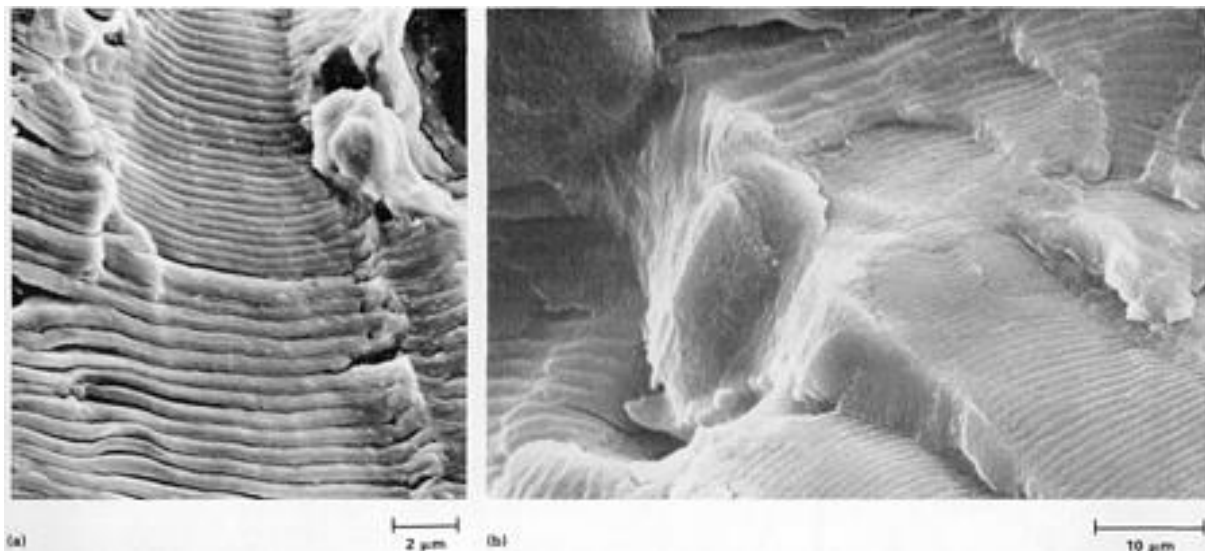


Figura 11-Imagens feitas em MEV da secção fraturada de um material retirada de: ASM METALS HANDBOOK 1987

As imagens ilustradas na Figura 12a e 12b, mostram um comparativo entre uma imagem retirada de (CALLISTER 2012), com outra da secção fraturada da peça 2.

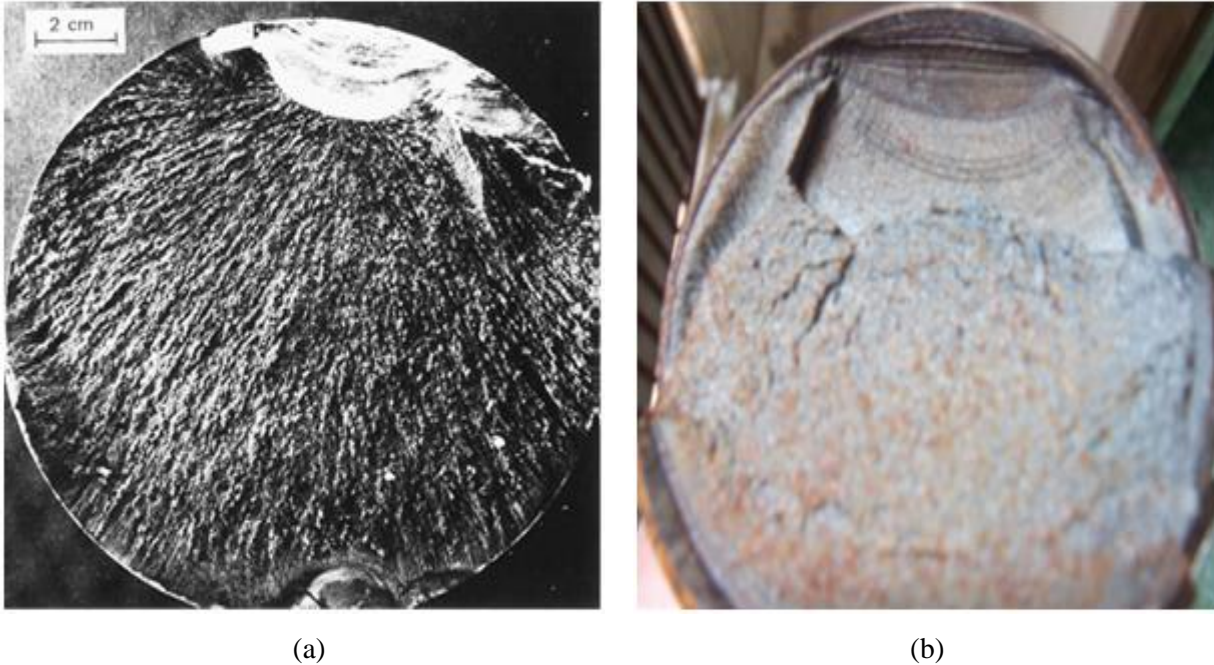


Figura 12- Imagens Comparativas de Secções de Fraturadas

É possível ver por meio das fraturas que para os dois casos houve um início e propagação de trinca deixando as famosas “marcas de praia” que se estende até uma determinada profundidade no material, a partir daí o material não resistiu mais as tensões imposta e terminou se rompendo por tração para ambos os casos.

O ponto início da trinca na peça 2 ocorreu no raio do filete da rosca da ponta da haste, como mostra na figura 13 nos pontos demarcados com as setas vermelhas, devido ao ângulo agudo do mesmo, concentrou tensão e causou o início da falha do material. Assim, o problema da peça foi agravado devido a usinagem errada da rosca de fixação da peça.



Figura 13- Imagem do filete da rosca

9. Conclusão:

Pode-se concluir que as análises feitas nos materiais obtiveram resultados bastante coerentes possibilitando afirmar que os objetivos propostos pelo trabalho foram alcançados de forma bem satisfatória.

Por meio das análises química, micrografia e ensaio de dureza feitas na peça 1, foi possível confirmar que o material que a faca realmente foi fabricada como material aço VC131 como especificado pelo fabricante. Também foi possível observar através da micrografia feita na secção fraturada da peça, uma semelhança muito grande com fraturas apresentadas por materiais que se rompem por cisalhamento, dando assim segurança para tal afirmação, como parafuso o da faca estava solto, isso proporcionou um deslocamento entre as facas vindo a causar que quebra por cisalhamento.

A peça 2 também pode-se ter afirmações assertivas em relação à causa da falha, as micrografias feitas na secção fratura revelaram semelhanças nítidas com as imagens retiradas das bibliografias, é visível as estrias formadas pela propagação das trinca. Também foi possível definir o material em que foi fabricada a peça, que pela análise química apontaram ser de aço SAE 1045.

Conclui-se então após os resultados de todas as análises e comparações com bibliografias renomadas, que as causas que levaram as duas peças objetos desse estudo a romperem em serviço (peça 1 e peça 2), foram cisalhamento e fadiga respectivamente. Essa conclusão possibilita ações assertivas para prevenção de possíveis falhas que possam a ocorrer futuramente, evitando assim danos materiais e pessoais.

Assim, conclui-se que as falhas não ocorreram devido a erro de projeto, tratamento ou aplicação de materiais errados em serviço, e sim devido a erros de montagem e usinagem de peças, que poderiam ser facilmente evitados.

10. Referências:

- 1- Jr. CALLISTER. D. W. Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução 8ª edição. Rio de Janeiro, Editora Gen, 2012
- 2- ASM HANDBOOK, Failure Analysis and Prevention Volume 11.
- 3- ASM HANDBOOK, Failure Analysis and Prevention Volume 12.
- 4- METALS. Villares, Aços para Trabalho a Frio. VC131, Abr/2009. Retirado de: www.villaresmetals.com.br/content/download/28447/.../VC131-pt.pdf Acesso em: 22/03/2015

- 5- ARCELOR. Mitall. Guia do Aço, Espírito Santo, Mar./2013. Retirado de:
<http://brasil.arcelormittal.com/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf> Acesso em: 22/03/2015

- 6- Jr. RODRIGUES. S. A. Avaliação do Ferro Fundido Nodular Austemperado Aplicado à Facas Industriais para Trabalho a Frio. Retirado de:
web.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/.../11.pdf Acesso em: 05/07/1015.

- 7- SLACK NIGEL. Administração da Produção 3ª edição São Paulo, Editora Atlas S A.
- 2009