



ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM EIXO COMANDO DE VÁLVULAS DE CORSA 1.6¹

*Débora Francielle Dias²
Rodrigo Moledo de Sá²
Marília Garcia Diniz³
André Rocha Pimenta⁴*

Resumo

Este trabalho objetivou analisar uma falha por fratura do eixo de manivelas ou eixo de comando de válvulas de um automóvel (Corsa modelo GM, motor 1.6), e sugerir métodos de prevenção do problema. Foram utilizadas técnicas de inspeção visual, microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semi - quantitativa por EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) e ensaio de dureza Brinell (HB). A conclusão foi de que a falha ocorreu por situação de especificação inadequada do material.

Palavras-chave: Análise de falhas; Fractografias; Prevenção de fraturas; Fratura frágil.

FAILURE ANALYSIS OF FRACTURE IN AXIS CONTROL VALVES CORSA 1.6

Abstract

This study aimed to analyze a failure by fracture of the crankshaft or camshaft of an automobile (GM Corsa model, engine 1.6) and suggest methods of preventing the problem. Techniques were used for visual inspection, optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), semi – quantitative chemical analysis by EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) and Brinell hardness test (HB). The conclusion was that the failure occurred because of inadequate material specification.

Key words: Failure analyses, Fractographies; Prevention of fractures; Brittle fracture.

¹ *Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.*

² *Mestrando de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.*

³ *DSc, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.*

⁴ *MSc, Doutorando de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais mais resistentes e de técnicas para adequação de algumas das propriedades dos materiais vem sendo crescente à medida que a evolução tecnológica exige cada vez mais materiais específicos para diversas aplicações. A análise de falhas tem como objetivo principal evitar que se repitam erros de projeto, aumentando a confiabilidade dos sistemas, e redução dos custos e prejuízos.

Existem diversas formas de um material falhar, por exemplo, a especificação inadequada para o uso, má utilização (sobrecarga), erros no tratamento térmico, a pré-existência de trincas ou falhas que se propagam ou até mesmo a presença de inclusões / impurezas que tornem o material mais frágil. Atualmente, apesar da existência de um rígido controle de qualidade para equipamentos metálicos e de análise mais específicas e eficientes, não se pode garantir que um material não irá falhar.⁽¹⁾

Como existem vários casos de falhas em diversos tipos de materiais, a investigação do motivo dessas falhas, bem como a prevenção, torna-se cada vez mais importante. Para investigar a falha podem ser utilizados alguns métodos e etapas:^(1,2) análise do histórico e contexto em que a peça falhou, seleção e limpeza das partes a serem analisadas, ensaios não destrutivos, observações com técnicas de microscopia, análises químicas, análise de resultados, conclusões e recomendações.

Os motores de combustão interna são constituídos por vários componentes essenciais, projetados para tornar o motor eficiente e confiável. Os componentes básicos de um motor de combustão interna de quatro tempos são o bloco do motor, eixo de manivelas, bielas, pistões, anéis dos pistões, cabeçote do cilindro e trem de válvulas.

O eixo de manivelas, também conhecido como eixo de comando de válvulas, é responsável por converter o movimento vertical do pistão em movimento de rotação, que gira no interior do cárter. O eixo de manivelas é projetado de acordo com o número de cilindros do motor e apresenta partes descentralizadas, onde as bielas são fixadas, que determinam a distância entre o ponto morto superior e o ponto morto inferior, e também apresenta contrapesos para evitar o surgimento de vibrações. A Figura 1 mostra a localização de um eixo de manivelas em um motor.⁽³⁾

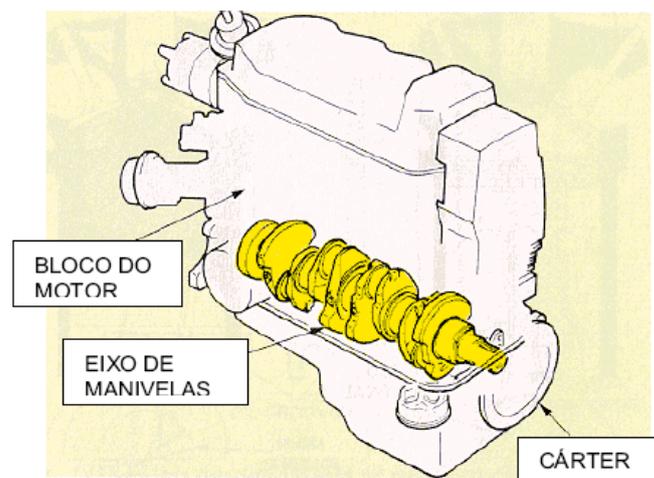


Figura 1 - Localização da árvore de manivelas no motor.⁽³⁾

O eixo de comando das válvulas tem a função de comandar a abertura e o fechamento das válvulas nos momentos adequados. Consiste de um eixo com partes ovais, chamados excêntricos ou cames, com as quais as alças fazem contato. O número de cames no eixo é igual ao número de válvulas.

À medida que o eixo gira, os cames deslocam as alças, em um movimento vertical. O movimento das alças é transmitido através das hastes e braços para as válvulas. Quando a parte mais protuberante do came, chamada lóbulo, faz contato com a alça, esta se encontra em sua posição superior, e a válvula atinge sua abertura máxima. As molas fazem com que as válvulas retornem à sua posição de fechamento. A posição fechada da válvula corresponde à alça em seu nível inferior, em contato com o prolongamento circular do came. A Figura 2 apresenta e dá ênfase ao movimento do came.⁽³⁾

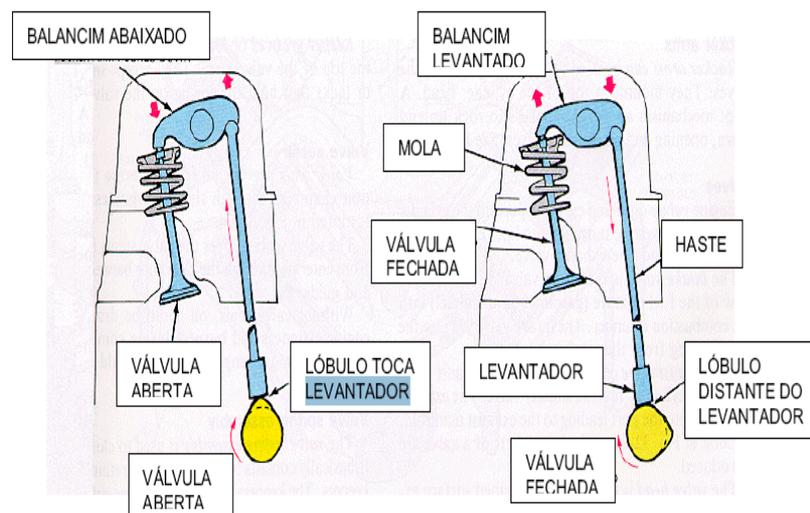


Figura 2 – Movimento do Came.⁽³⁾

O eixo de comando das válvulas pode estar localizado no bloco do motor ou no cabeçote do cilindro. Quando o eixo de comando das válvulas se localiza no cabeçote do cilindro, o trem de válvulas não apresenta hastes e braços. A Figura 3 mostra um eixo de comando das válvulas com maior detalhe.⁽³⁾

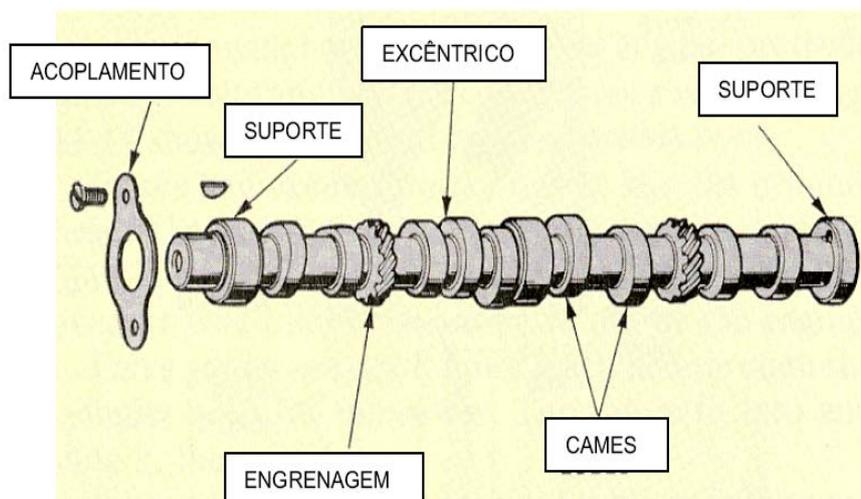


Figura 3 – Eixo de comando de válvulas.⁽³⁾

Este trabalho objetivou analisar uma falha por fratura ocorrida em um eixo de comando de válvulas em uso num automóvel Corsa modelo GM, motor 1.6, e sugerir a prevenção do problema para evitar prejuízos com falhas futuras.

Foram utilizadas uma sequência de técnicas que englobaram a inspeção visual, microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semi – quantitativa por EDS e testes de dureza Brinell para identificar o provável mecanismo causador da falha.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material de análise foi um eixo de manivelas de um automóvel, modelo GM Corsa – motor 1.6 fraturado. Não foram fornecidos dados sobre o tempo de vida, o funcionamento ou a manutenção deste automóvel. Inicialmente foi realizada uma inspeção visual na superfície de fratura, bem como nas demais partes do eixo.

Foram cortados três pequenas amostras do material, sendo duas contendo as partes complementares das superfícies de fratura e a terceira foi uma amostra retirada de uma região próxima à superfície fraturada.

As amostras contendo as superfícies fraturadas foram submetidas a uma seqüência de observações: com vista desarmada e através de uma lupa. Elas foram fotografadas, bem como o restante do eixo comando de válvulas, através de uma máquina digital Kodak EasyShare C180 de 10.2 MP, 3X optical zoom.

A terceira amostra foi submetida a técnicas de preparação metalográfica para obtenção de superfície especular e em seguida observada e fotografada sem ataque químico em um Microscópio Óptico ZEISS Axiomager M1m com câmera digital acoplada.

As amostras com as partes contendo as superfícies de fratura foram submetidas à análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), em um Microscópio de Bancada Hitachi TM 1000, operando a 15kV e 100V CA. Imagens foram geradas em modo de operação “topo”.

Análise química por EDS foi realizada através de um dispositivo de EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) acoplado a um MEV do tipo ZEISS™ operando a 20kV e 80μA.

A dureza do material foi obtida pelo ensaio de dureza HB, em um durômetro, Tipo Dia Testor 2, Máquina 5748, Ano de Fabricação 1965, Fabricante Otto Wolpert – Werk – Alemanha. Utilizou-se carga de 150 Kg, penetrador cone diamante e com tempo de penetração de 15 segundos. Este teste foi realizado em 7 regiões distintas e escolhidas aleatoriamente sobre a superfície da amostra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Inspeção Visual

A imagem da Figura 4 apresenta o eixo comando de válvulas fraturado e as amostras contendo as superfícies complementares fraturadas. Por meio de técnicas de inspeção visual foi possível observar marcas acentuadas nas regiões em destaque na Figura 4, que revelam uma provável falta de lubrificação na superfície da peça.



Figura 4 – Eixo comando de válvulas fraturado e as superfícies complementares geradas na fratura do equipamento. A região em destaque mostra as marcas de provável falta de lubrificação durante operação da peça.

3.2 Microscopia Óptica

As imagens das Figuras 5 e 6 exemplificam os aspectos micrográficos obtidos para a terceira amostra retirada do eixo de manivelas, obtidas por MO. Os aspectos mostram tratar-se de um ferro fundido cinzento com grafitas típicas na forma de veios grandes.⁽⁴⁾

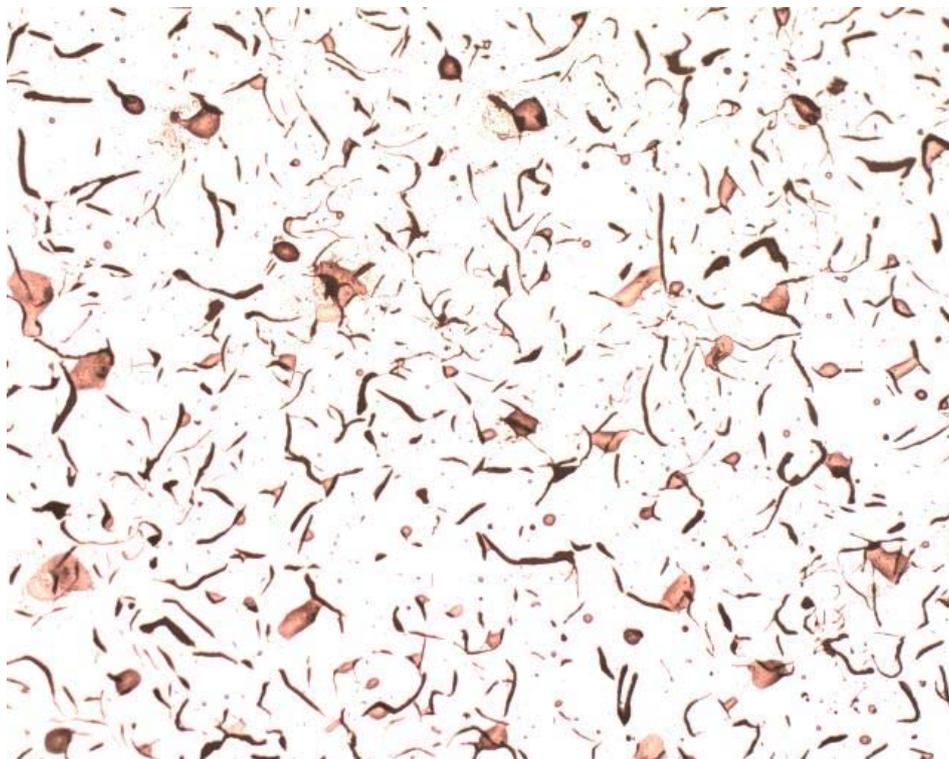


Figura 5 – Aspecto micrográfico obtido, aumento de 100x, sem ataque.

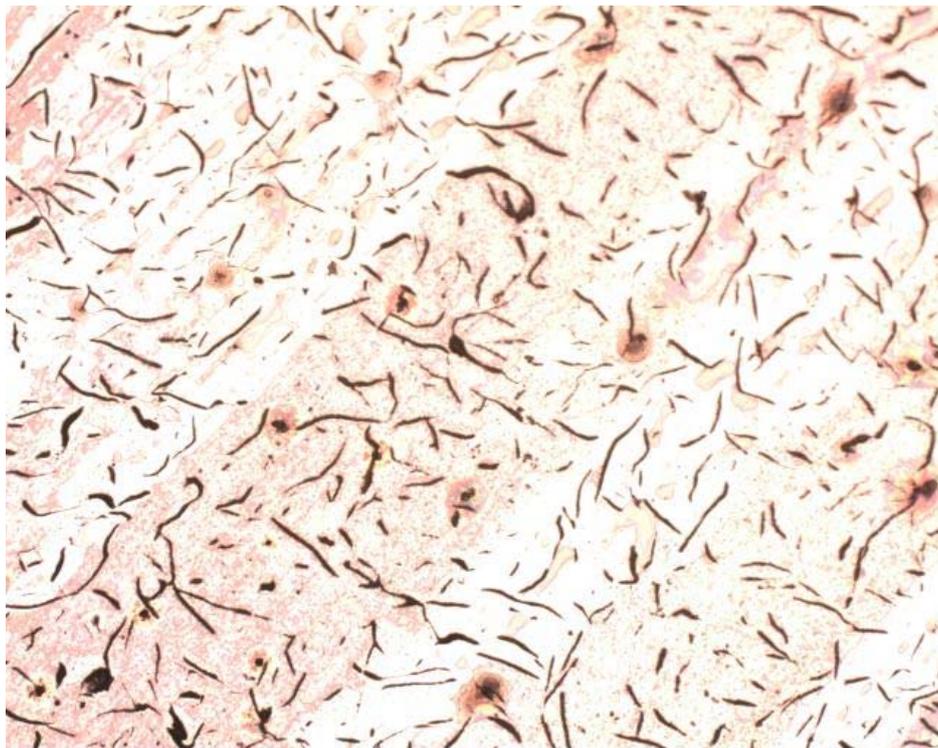


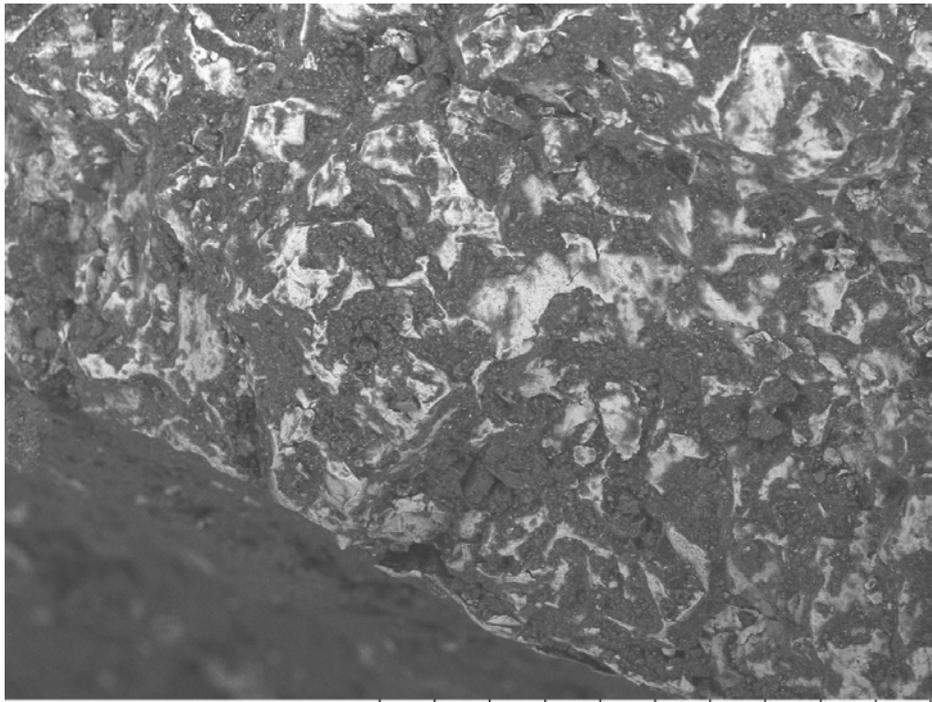
Figura 6 – Aspecto micrográfico obtido, aumento de 100x, sem ataque.

3.3 Fractografias

Nas imagens das Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 observam-se exemplos obtidos da superfície de fratura do material através de fractografias, cujos aspectos revelaram ser uma provável fratura frágil, muito embora a presença da grafita atrapalhe uma observação mais detalhada dos aspectos característicos. Este tipo de aspecto de superfície de fratura é normalmente encontrado em materiais frágeis (ou fraturas por impacto) com baixa capacidade de absorção de energia.⁽⁵⁾

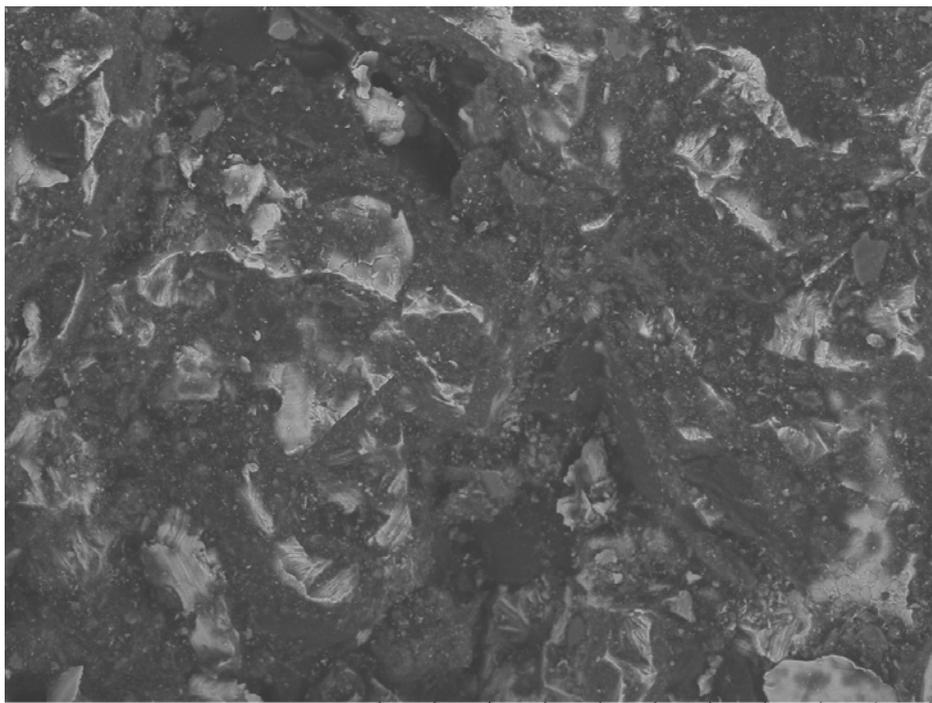
3.3 Análise Química por EDS

A Figura 12 apresenta um exemplo dos muitos espectros obtidos para análise química por EDS para o material analisado. Podem ser observados os picos de energias característicos do ferro, carbono, silício e a presença pouco significativa de cromo.



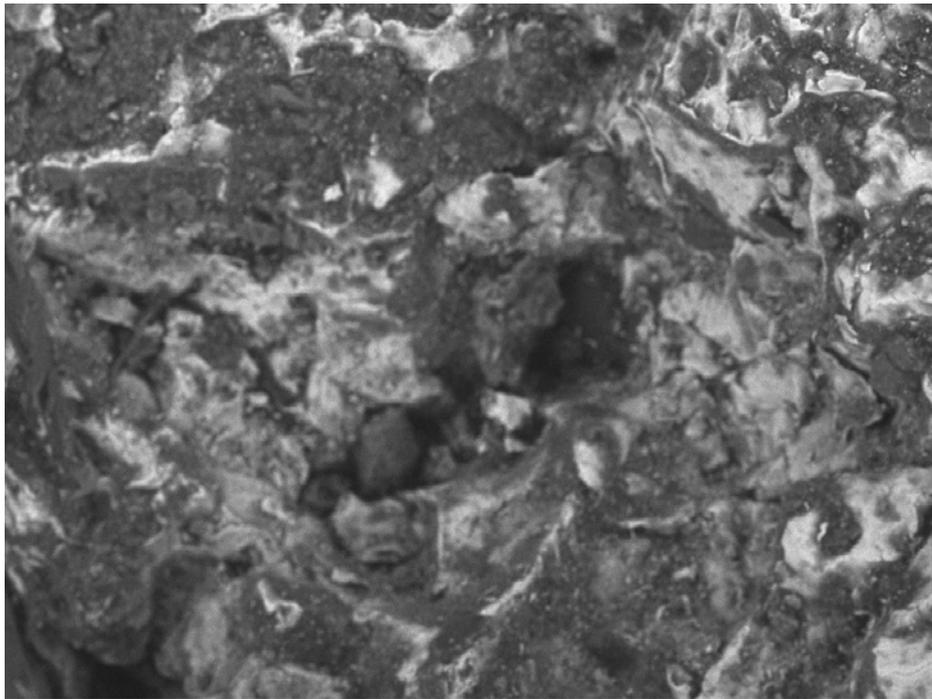
TM-1000_0063 2010/09/29 10:29 D2.6 x200 500 um

Figura 7 - Borda externa da região fraturada - aumento de 200x.



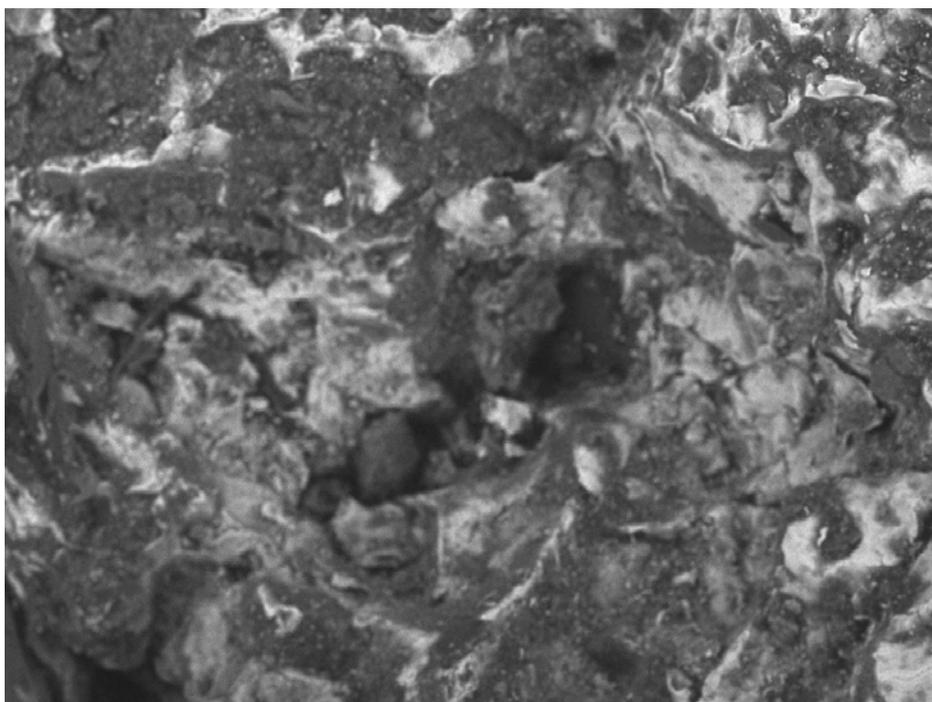
TM-1000_0061 2010/09/29 10:20 D2.4 x500 200 um

Figura 8 - Borda externa da região fraturada - aumento de 500x.



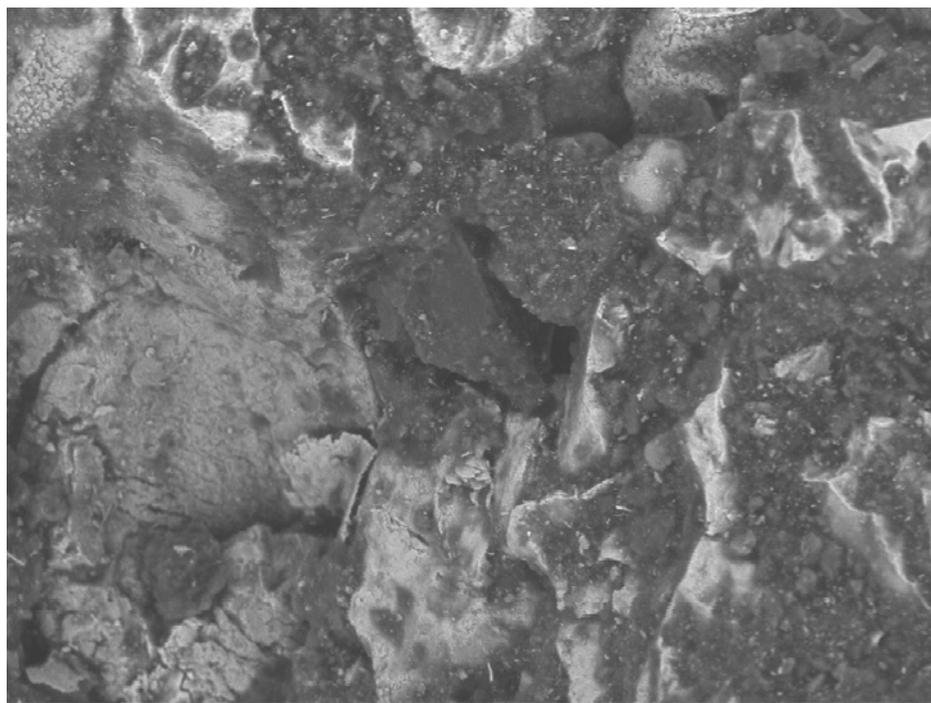
TM-1000_0066 2010/09/29 10:42 D2.6 x500 200 um

Figura 9 - Superfície de fratura - aumento de 500x.



TM-1000_0066 2010/09/29 10:42 D2.6 x500 200 um

Figura 10- Superfície de fratura - aumento de 500x.



TM-1000_0064 2010/09/29 10:34 D2.6 x800 100 um

Figura 11- Região fraturada próximo à borda - aumento de 800x.

Full scale counts: 1276

Base(58)

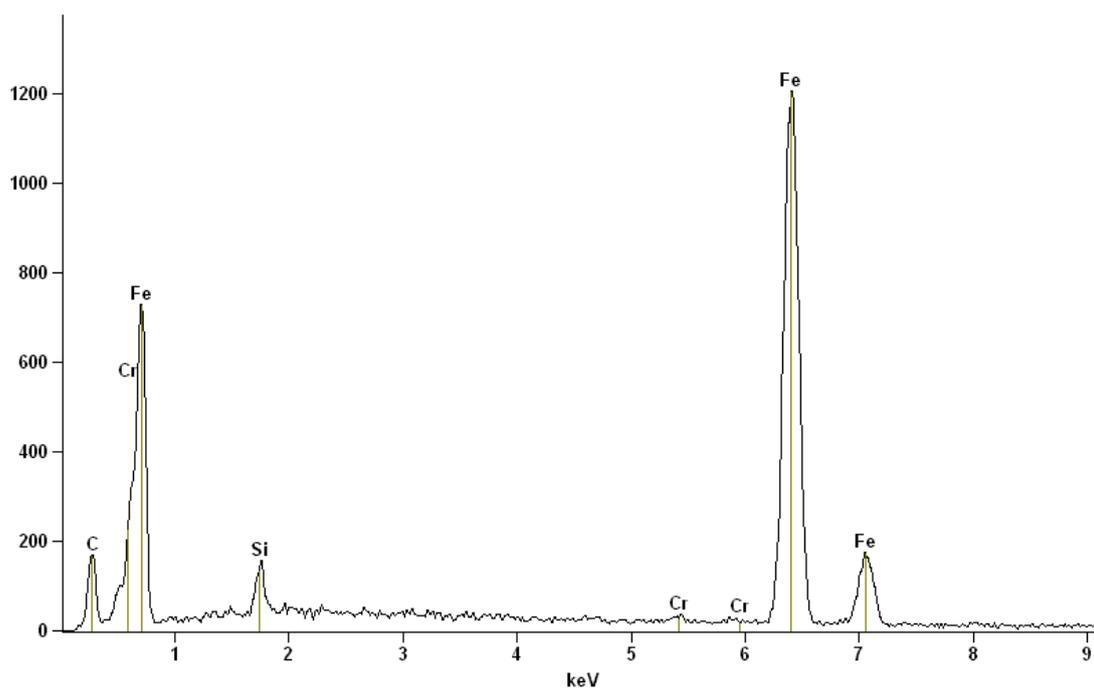


Figura 12 – Espectro que exemplifica os resultados obtidos para a análise química semi – quantitativa do material. As maiores presenças são do ferro, carbono e silício. Quantidades pouco significativas de cromo foram também observadas.

Faixas típicas de composições do ferro fundido utilizados em altas temperaturas contém 3,2 - 4% C, 1,8 - 3% Si, 0,1 - 1% Mn, 0,005 - 0,02% S e 0,01 - 0,1% P.⁽⁶⁾

De acordo com a norma NBR8391/1984,⁽⁷⁾ os teores de carbono para os ferros fundidos com grafitas em veios estão usualmente entre 3,70% e 4,20%, os de silício entre 1,80% e 2,80%, manganês entre 0,30% e 1,00% e cromo entre 0,20% e 0,80%. Os teores máximos de fósforo e enxofre são geralmente menores que 0,20% e 0,15%, respectivamente. Pode-se ainda adicionar cobre e níquel para elevar as propriedades de resistência.⁽⁸⁾

3.4 Ensaio de Dureza Brinell (HB)

A Figura 13 apresenta numerações sobre a superfície da amostra fraturada, que indicam as regiões em que foram realizadas as medidas de dureza sobre a terceira amostra, idêntica, porém não fraturada.



Figura 13 – Posições nas quais foram realizados os testes de Dureza Brinell.

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos das medidas de dureza referentes a cada uma das regiões indicadas na Figura 13.

Tabela 1 – Valores obtidos de dureza HB

DUREZA - HB	
REGIÃO	VALOR
1	170
2	170
3	180,5
4	120
5	150
6	170
7	270

Os valores de dureza das regiões 4 e 7 não foram considerados, pois apresentaram um desvio significativo em relação as demais medidas, com valor médio de 170 HB +/- 20.

Ferros fundidos com grafita em veios são conhecidos como ferros fundidos cinzentos e designados por **FC** na norma brasileira NBR 6589/1986⁽⁹⁾ Brinell. A dureza deste ferro fundido está entre 145 Brinell e 170 Brinell. Algumas das aplicações dos ferros fundidos cinzentos conforme a NBR 8391/1984⁽⁷⁾ são



carcaças, mancais, rotores, tambores de freio, blocos de motores, camisas centrifugadas e anéis de pistão.⁽⁸⁾

Quando a grafita está na forma de nódulos os ferros fundidos são chamados de nodulares ou esferoidais e designados por **FE** na norma NBR 6916/1981⁽¹⁰⁾ A dureza neste caso está entre 140 Brinell e 180 Brinell. Estes ferros fundidos são aplicados, segundo a NBR 8650/1984⁽¹¹⁾ em flanges, girabrequins ou virabrequins, engrenagens e pinhões. A referida norma também especifica os percentuais químicos de seus elementos constituintes, em que os teores de carbono estão usualmente entre 3,40% e 3,80%, os de silício entre 2,10% e 2,80% e manganês entre 0,30% e 1,00%. Os teores máximos de fósforo e enxofre são geralmente menores que 0,09% e 0,02%, respectivamente, com elementos de liga mais comuns para elevar as propriedades de resistência mecânica. A presença do magnésio, embora residual, é essencial.⁽⁸⁾

O ferro esferoidal apresenta maior limite de resistência a tração (380 MPa) que o cinzento (100 MPa), em que para o primeiro especifica-se alongamento de 17%, enquanto que para os cinzentos, o valor desta propriedade é sempre muito próximo de zero. Estas diferenças se devem à disparidade da morfologia da grafita, uma vez que o efeito de entalhe devido à presença de nódulos é muito menor que o devido aos veios.⁽⁸⁾

4 CONCLUSÃO

A análise de microestrutura revelou se tratar de um ferro fundido com veios de grafitas distribuídos homogeneamente em sua matriz, o que está em desacordo com a especificação de material para emprego em eixo de manivelas de automóveis, que sugere como material adequado o ferro fundido nodular, em que as grafitas apresentam geometria esférica. As marcas observadas no eixo que denotam uma provável falta de lubrificação, não podem ser responsabilizadas pela fratura, uma vez que o material não se encontra dentro da correta especificação. A prevenção sugerida para esse tipo de falha por fratura é a utilização do ferro fundido do tipo nodular, ao invés do tipo cinzento, conforme recomenda a norma para a confecção de eixos comando de válvulas de automóveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPERJ pelo suporte financeiro e a Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC Rio pela colaboração através do Projeto Pensa Rio (Prof. Eduardo Brocchi).

REFERÊNCIAS

- 1 Dias, D. F.; Rocha, V. S.; Oliveira, C. B. M.; Farace, A. F. M.; Pimenta, A.R.; Diniz, M. G.; Pinheiro, M. A. Análise de falha por fratura de um eixo, 65 *Congresso Internacional da ABM*, 26 a 30 de Julho de 2010, Rio de Janeiro, Brasil.
- 2 Castro PMST, Fernandes A. A. Methodologies for failure analysis: a critical survey. *Materials and Design*. 2004; 25: 117 a 123.
- 3 Silva, Radah Lourenço – Apostila do Fundamento de Motores de Combustão Interna – Capítulo 1, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil,



- www.ebah.com.br/fundamentos-de-funcionamento-de-motores-de-combustao-interna-pdf-a10671.html, consulta realizada em 24 de Janeiro de 2011.
- 4 Colpaert, Hubertus, Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, Editora Edgard Blucher Ltda, 1^a Edição, Julho de 1951, São Paulo, Brasil.
 - 5 American Society for Metals. *Metals handbook* volume 12 fractography. 1987, USA: American Society for Metals.
 - 6 Oliveira, Ana Sofia & Gonçalves, José Antônio. Ferro Fundido – Materiais para Alta temperatura. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, http://demec.ufpr.br/pesquisas/superficie/material%20didatico/tm815_Materiais_a_lta_temperatura/2010/Ferro_Fundido_Jose.pdf, consulta realizada em 04 de Outubro de 2010.
 - 7 ABNT NBR 8391:1984, Emprego de ferro fundido cinzento para produtos automotivos – procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicação em 28/02/1984.
 - 8 Luzenti, Renato César, PME 2310 – Ferro Fundido, USP, Departamento de Engenharia Mecatrônica, <http://www.ebah.com.br/pme-2310-ferro-fundido-pdf-pdf-a528.html>, artigo publicado em 09 de Outubro de 2010, consulta realizada em 24 de Janeiro de 2011.
 - 9 ABNT NBR 6589:1986, Peças em ferro fundido cinzento classificadas conforme a resistência à tração, Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicação em 30/09/1986.
 - 10 ABNT NBR 6916:1981, Ferro fundido nodular com grafita esferoidal, Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicação em 30/10/1981.
 - 11 ABNT NBR 8650:1984, Emprego de ferro fundido nodular para produtos automotivos – procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicação em 30/11/1984.