

ANÁLISE DE FALHA EM PARAFUSOS UTILIZADOS EM EQUIPAMENTO DE MOAGEM DE MINÉRIO¹

Tiago Giordani²

Marcelo Sartori³

Antônio Ricardo Stadtlander⁴

Marcio Levi Kramer de Macedo⁵

Afonso Reguly⁶

Resumo

Um dos mais empregados métodos construtivos de engenharia é a união pelo conjunto porca-parafuso. São inúmeras as aplicações desse conjunto e a integridade estrutural deve ser almejada de forma que não haja falha. O presente trabalho constitui-se como uma análise de falha realizada em parafusos os quais fazem parte do conjunto de um moinho utilizado na moagem de minério. Tem por objetivo, como as demais análises de falha, de ser uma ferramenta empregada para otimizar projetos pois permite identificar os motivos pelas quais a falha ocorreu e dessa forma evitar futuros problemas operacionais. Foi concluído que os parafusos romperam por fadiga, apresentando vários pontos de início junto à superfície externa da peça. A falha possivelmente deve ter sido estimulada pelos elevados esforços aos quais as peças são submetidas em serviço, aliado à presença de decarbonetação e concentradores de tensões junto aos filetes.

Palavras-chave: Análise de falha; Parafusos; Fadiga; Decarbonetação.

FAILURE ANALYSIS OF BOLTS USED IN EQUIPMENT FOR ORE GRINDING

Abstract

One of the most applied assembly methods is the union by bolt and nut. Examples of application are many and the structural integrity must be attained in order that in the future there will not be failures. The present work constitutes as a failure analysis performed in bolts which were parts of mill that processes ore. It has as objective, as other usual failure analysis, of being a tool employed in order to optimize projects once it permits to identify the motives why the failure occurred and this way to avoid future operational problems. It was concluded that the bolts failed due to fatigue, presenting many initiation points close to the external surface of the component. The failure was possibly stimulated by high stresses in which components are submitted in service, together to the fact that there is presence of decarburizing and stress risers as the threads.

Key words: Failure analysis; Bolts; Fatigue; Decarburization.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Engenheiro de Materiais. Mestre. Analista técnico. Laboratório de Metalurgia Física - LAMEF, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.*

³ *Engenheiro Metalúrgico. Analista técnico. LAMEF, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Metalúrgico. Mestre. Analista técnico. LAMEF, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.*

⁵ *Engenheiro metalúrgico. Doutor. Coordenador. LAMEF, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.*

⁶ *Engenheiro metalúrgico. Professor Doutor, LAMEF, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.*

7 1 INTRODUÇÃO

A união de componentes, máquinas e estruturas é um importante método construtivo em Engenharia. Conexões aplicadas na indústria atualmente são dominadas por junções parafusadas, soldadas e rebitadas.⁽¹⁾ Existe uma variedade de fixadores disponíveis comercialmente e um dos elementos mais importantes utilizados nas construções de máquinas é o conjunto parafuso-porca. Observa-se, por exemplo, uma treliça utilizada em uma cobertura. O método mais eficiente para a união de todas as barras é por parafusos.⁽¹⁾

Segundo Buda⁽²⁾ os parafusos falham geralmente devido a uma entre quatro causas: sobrecarga, fadiga, corrosão e fragilidade. De fato, segundo Nishida,⁽³⁾ a grande maioria das falhas que ocorrem em serviço é por fadiga. Uma ruptura catastrófica de um simples parafuso pode levar ao colapso parcial ou total de um dado componente. O estudo do fenômeno da fadiga é embasado no fato de que partes parafusadas podem estar sob o efeito de tensões cíclicas.

O presente trabalho constitui-se como uma análise de falha realizada em parafusos os quais fazem parte do conjunto de um moinho utilizado na moagem de minério. Para tal, foram efetuadas as seguintes análises: fractografia em lupa de baixo aumento e em microscópio eletrônico de varredura (MEV), análise metalográfica, perfil de microdureza e análise química.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia padrão de análise de falha⁽⁴⁾ foi empregada para a realização do presente trabalho. A Figura 1 mostra os componentes como recebidos.



Figura 1. Parafusos fraturados como recebidos.

Para a análise da superfície de fratura, primeiramente realizou-se uma análise visual, com as imagens obtidas em câmera digital e, em seguida efetuou-se a análise em lupa de baixo aumento visando identificar a possível região de início da falha. Após este procedimento, a amostra foi levada ao Microscópio Eletrônico de Varredura para identificação de possíveis micromecanismos de fratura.

Para análise microestrutural, foi retirada uma amostra longitudinal à extensão em cada parafuso na região da fratura. As amostras foram preparadas segundo procedimentos padrões de metalografia, segundo a norma ABNT NBR 13284⁽⁵⁾ que inclui embutimento, lixamento e polimento. Análise de inclusões nessas amostras foi

realizada seguindo a norma ASTM E-45 - Método A.⁽⁶⁾ Para revelar a microestrutura, a amostra foi atacada quimicamente com solução de ácido nítrico 2% em álcool etílico (Nital 2%), seguindo a norma ABNT NBR 8108.⁽⁷⁾ As amostras foram analisadas em um microscópio ótico (MO) marca Olympus modelo BX 51M com as micrografias obtidas através de câmera digital acoplada ao microscópio.

A medição de dureza foi realizada em um microdurômetro da marca Struers, na escala Vickers, com carga de 200 gf, segundo a norma ABNT NBR NM188.⁽⁸⁾ Os ensaios foram efetuados perpendicularmente aos filetes, ou seja, longitudinalmente ao parafuso. O perfil de microdureza realizado iniciou da região mais externa de um filete até o núcleo do parafuso.

Foi realizada a análise química em ambos os parafusos utilizando um espectrômetro de emissão óptica da marca Spectro modelo Spectrolab. As superfícies das amostras foram preparadas para as análises através de lixamento.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Fractográfica

As superfícies de fratura foram analisadas após serem submetidas à uma limpeza prévia com acetona e ultrassom. As imagens da Figura 2 são macrografias obtidas em câmera digital que mostram as superfícies de fratura das amostras "A" e "B", como recebidas. A amostra apresentou fratura com oxidações superficiais indicando características de falha por fadiga, com vários "pontos" de início das trincas de fadiga, localizados junto à superfície externa da peça e no fundo do filete. Esses pontos estão indicados pelas setas nas Figuras 3 e 4. As imagens das Figuras 3 e 4 são imagens obtidas em câmera digital que evidenciam as regiões de início da falha e também a região da fratura final, região da sobrecarga, das amostras "A" e "B", respectivamente. A Figura 5 apresenta imagens em lupa de baixo aumento que mostram às superfícies de fratura das amostras "A" e "B", próximas as regiões de início da falha.



Figura 2. Imagem da superfície de fratura dos dois componentes "A" e "B".



Figura 3. Imagem da superfície de fratura da amostra "A", indicando a região de início da falha.

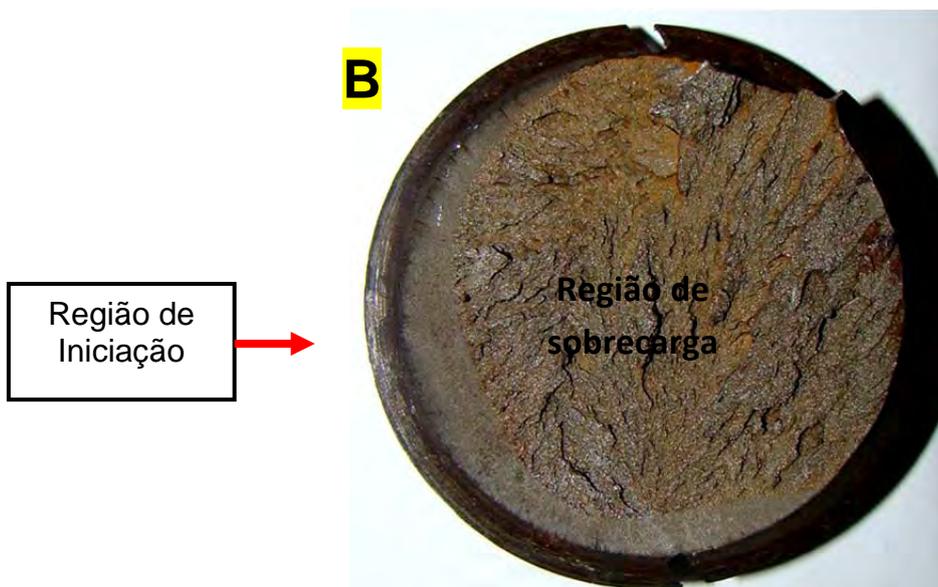


Figura 4. Imagem da superfície de fratura da amostra "B", indicando a região de início da falha.

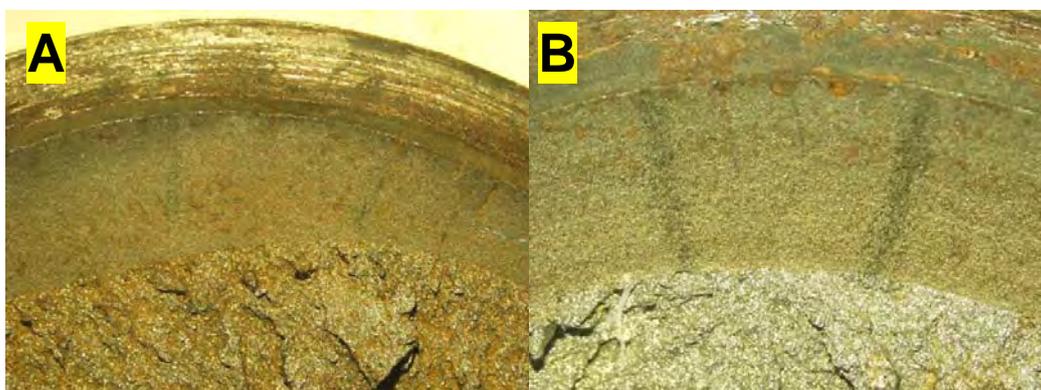


Figura 5. Imagens em lupa de baixo aumento mostrando a superfície de fratura das amostras "A" e "B" próxima a região de início da falha.

Após a análise visual em câmera digital e em lupa de baixo aumento, realizou-se a análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), visando caracterizar a falha e detectar possíveis defeitos.

3.2 Análise em Microscópio Eletrônico de Varredura

A análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV) consistiu em analisar a superfície de fratura, em ambas as amostras (amostras A e B), após limpeza prévia com acetona e ultrassom. Depois de realizada a limpeza da superfície de fratura foi possível obter as imagens mostradas nas Figuras 6 e 7.

As Figuras 6 e 7 apresentam imagens da superfície de fratura das amostras “A” e “B”, respectivamente, próximas à provável região de início da falha (imagens 6.1 e 7.1) e a também na região de aplicação da sobrecarga (Figuras 3 e 4), na qual se pode observar a presença de micromecanismos de fratura frágil (clivagens), conforme destacam as imagens “6.2” e “7.2”.

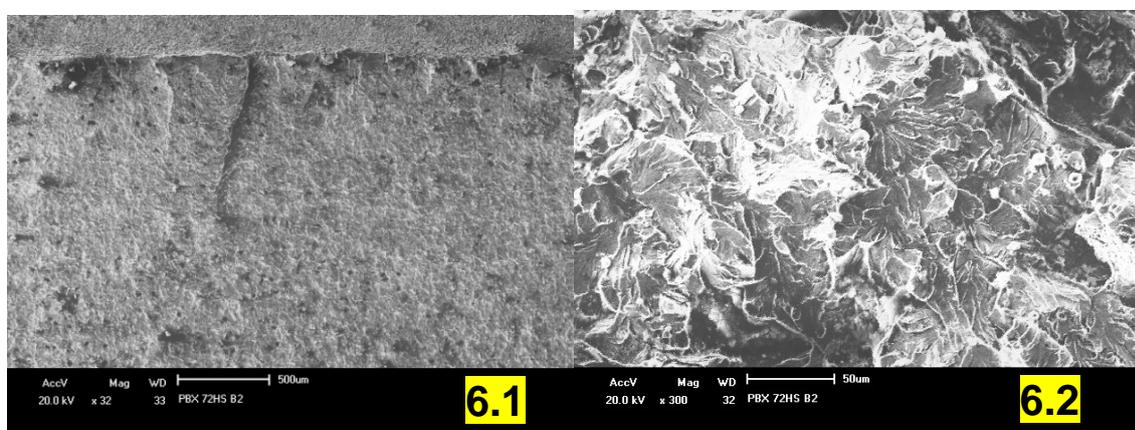


Figura 6. Imagens da superfície de fratura da amostra “A” via MEV em uma região próxima ao início da falha (Imagem 6.1) e no núcleo do componente (Imagem 6.2).

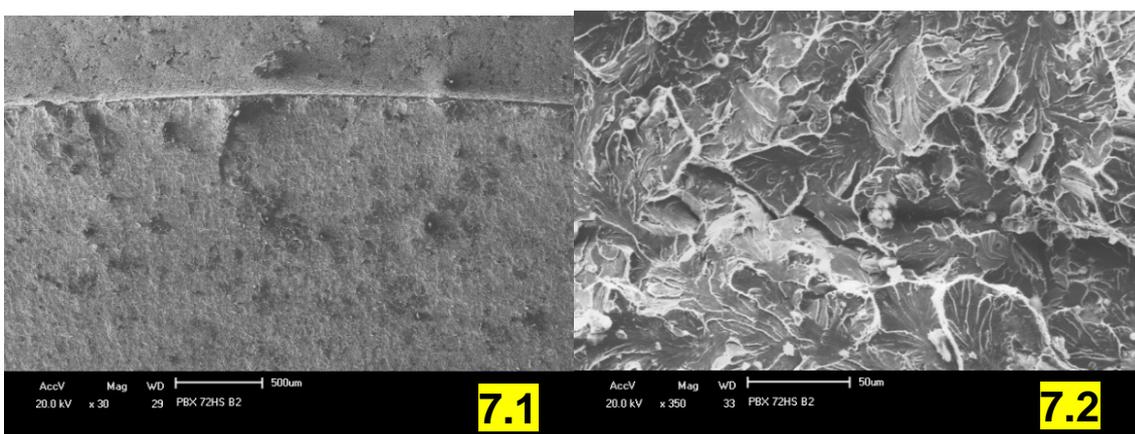


Figura 7. Imagens da superfície de fratura da amostra “B” via MEV em uma região próxima ao início da falha (Imagem 7.1) e no núcleo do componente (Imagem 7.2).

3.3 Análise Microestrutural

Para realização da análise metalográfica, foram retiradas amostras próximas à região de início da falha e no sentido perpendicular à superfície de fratura.

A Figura 8 é uma micrografia obtida em um microscópio óptico (MO) sem ataque químico, mostrando inclusões de sulfeto, provavelmente de manganês, orientadas

no sentido de laminação da peça. Em ambas as amostras analisadas (amostras A e B) as inclusões foram classificadas como A2 série fina, baseado na Norma ASTM E45.



Figura 8. Micrografia mostrando inclusões de sulfeto orientadas no sentido de laminação da peça. Sem ataque.

As imagens das Figuras 9 e 10 mostram as microestruturas das amostras “A” e “B”, respectivamente, nas proximidades da provável região de início da falha evidenciando a presença de descarbonetação (imagens 9.1 e 10.1) e da região do núcleo composta por perlita e ferrita em contorno de grão (imagens 9.2 e 10.2).

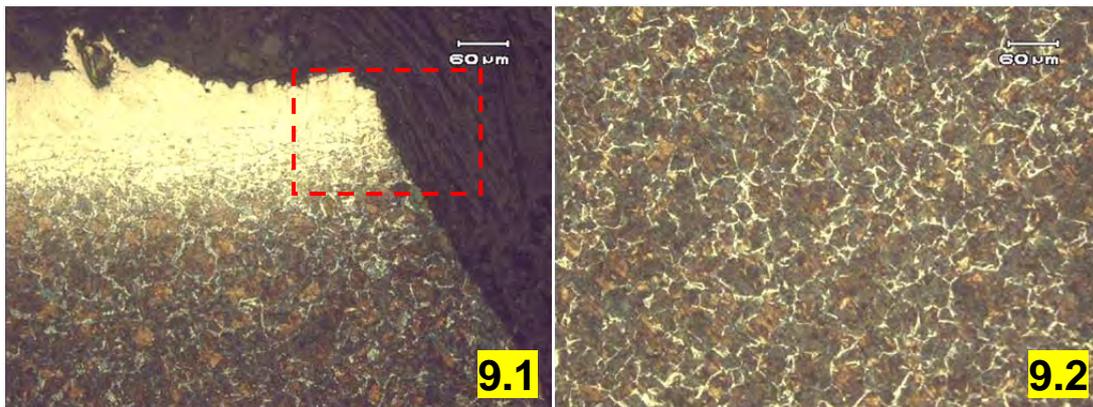


Figura 9. Micrografia da amostra A mostrando a provável região de início da falha (imagem 9.1) e do núcleo da amostra composta por perlita e ferrita (imagem 9.2).

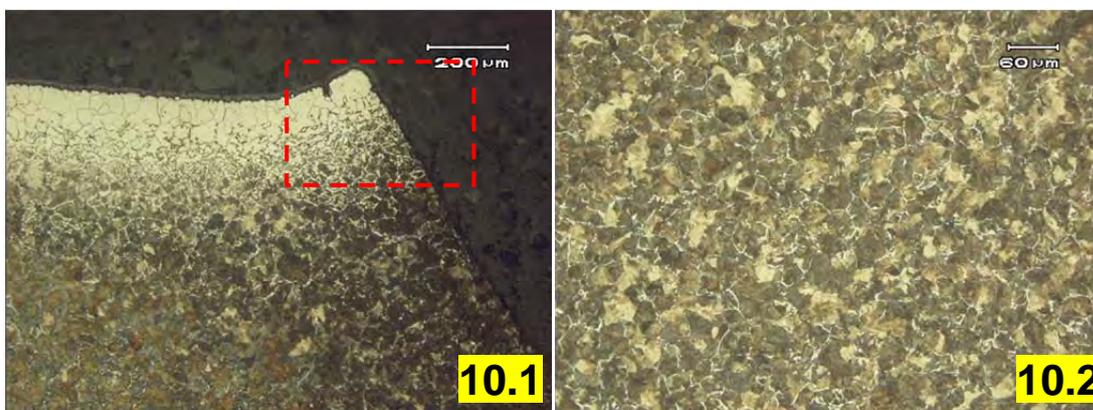


Figura 10. Micrografia da amostra B mostrando a provável região de início da falha (imagem 10.1) e do núcleo da amostra composta por perlita e ferrita (imagem 10.2).

As imagens da Figura 11 mostram, em maior aumento, as microestruturas do núcleo das amostras “A” e “B” e as imagens das Figuras 12 e 13 mostram a microestrutura composta por martensita revenida e presença de descarbonetação nos filetes.

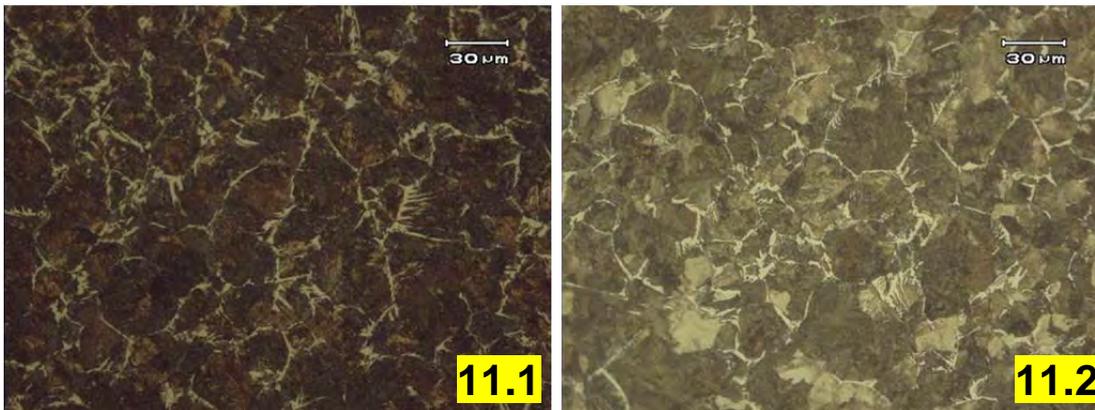


Figura 11. Imagens da amostra A (imagem 11.1) e da amostra B (imagem 11.2) mostrando a microestrutura do núcleo composta por perlita e ferrita em contorno de grão, em maior aumento.

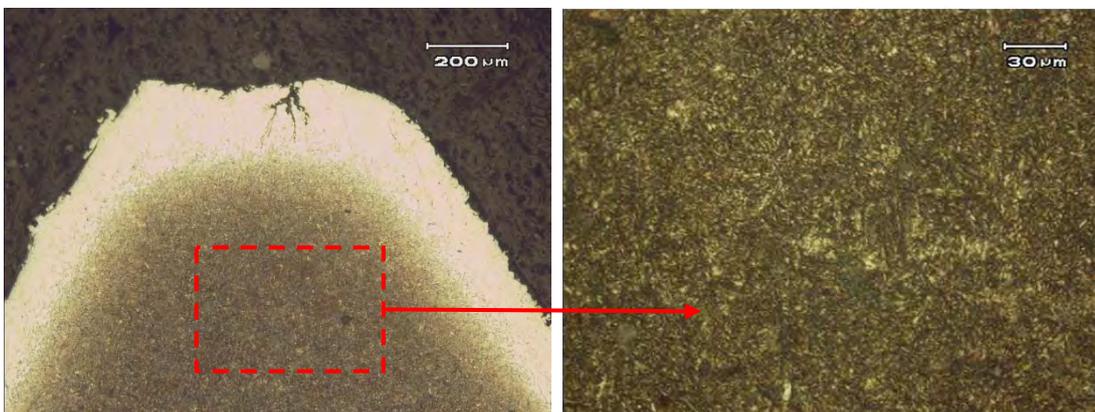


Figura 12. Micrografia da amostra A mostrando microestrutura composta por martensita revenida e presença de descarbonetação nos filetes.

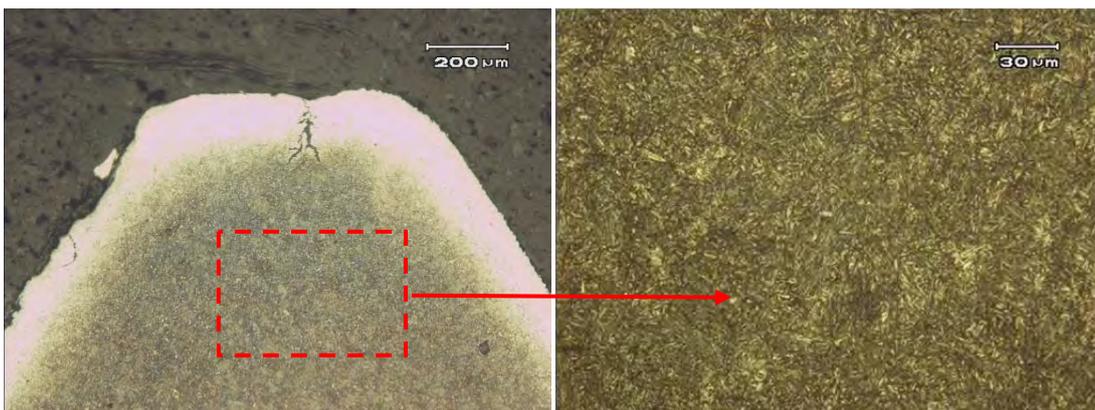


Figura 13. Micrografia da amostra B mostrando microestrutura composta por martensita revenida e presença de descarbonetação nos filetes.

3.4 Perfil de Microdureza

Foi realizado um perfil de microdureza, seguindo-se o Procedimento Interno GAF PE 005, utilizando-se um microdurômetro marca Struers, modelo Duramin, na escala Vickers e utilizando-se uma carga de 200 gf. O ensaio foi realizado, em

ambas as amostras (A e B) partindo da superfície externa, região com descarbonetação, tendo origem no topo do filete e em direção ao centro da peça. A Figura 14 apresenta os resultados obtidos.

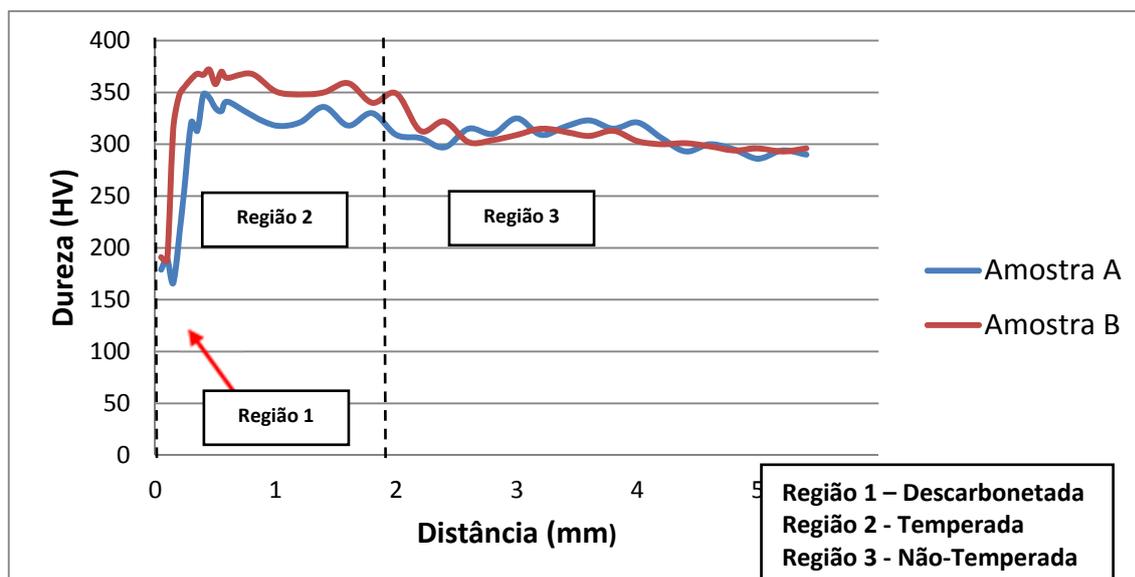


Figura 14. Perfil de microdureza Vickers nas amostras A e B, iniciando na região descarbonetada, passando pela região temperada e finalizando na região não-temperada.

3.5 Análise Química

Os resultados da análise química estão apresentados na Tabela 1, salientando-se a média de três análises realizadas em cada amostra.

Tabela 1. Resultados da análise química da amostra analisada (% em massa)

Elemento	Amostra	
	A	B
C	0,52	0,52
Si	0,24	0,23
Mn	0,75	0,76
P	0,020	0,020
S	0,027	0,028
Cr	0,027	0,028
Ni	0,05	0,06
Fe	Balanço	Balanço

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através da análise da superfície de fratura pode-se verificar que ambos os parafusos indicaram características de falha por fadiga, com vários "pontos" de início das trincas de fadiga, localizados junto à superfície externa da peça e na região do fundo do filete. Estas regiões atuam como concentradores de tensões, estimulando a falha prematura do componente.

Através da análise metalográfica pode-se observar a presença de uma região descarbonetada junto à superfície externa da peça. Observou-se que a falha teve origem nas proximidades desta região. A presença de descarbonetação afeta a microestrutura do material e como consequência, as suas propriedades mecânicas, fragilizando o material e podendo ter facilitado a falha dos componentes. Também foi verificada a presença de martensita revenida na região dos filetes da rosca do parafuso.

A partir dos resultados obtidos na análise química e dos ensaios de microdureza, não foram constatadas anomalias metalúrgicas que indiquem fragilização do material.

5 CONCLUSÃO

As análises realizadas em ambos os parafusos indicaram a ocorrência da falha por fadiga. Os elevados esforços aos quais os componentes são submetidas em serviço, aliado a uma microestrutura descarbonetada e concentradores de tensões junto aos filetes, provavelmente atuaram de forma a facilitar o colapso dos componentes.

REFERÊNCIAS

- 1 GRIZA, S. Dissertação de Mestrado, Programa em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M – UFRGS), Porto Alegre, 2000.
- 2 BUDA, J. Why Bolts Fail? *Machine Design*, Edited by Stephane Muraski Johnson, 1994.
- 3 NISHIDA, S. Failure Analysis in Engineering Applications, Butherwort-Heinemann, Great Britain, 1992.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Metals Handbook, 9th Ed. Failure Analysis and Prevention, vol. 11, Ohio Metals Park, 1993.
- 5 Norma Técnica ABNT NBR 13284: Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica – Procedimento.
- 6 Norma Técnica ASTM E-45: Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel – Method A (Worst Fields).
- 7 Norma Técnica ABNT NBR 8108: Ataque com reativos metalográficos em ligas ferrosas - Procedimento
- 8 Norma Técnica ABNT NBR NM188: Materiais metálicos - Dureza Vickers