

ANÁLISE DE FALHA E ESTUDO COMPARATIVO DE PARAFUSO PRISIONEIRO DE COMPRESSOR ALTERNATIVO ¹

Éverton Pizzio²

Julio Rosa³

Vinicius Milani Santos³

Telmo Roberto Strohaecker³

Resumo

Parafusos utilizados para fixação de partes submetidas a carregamentos cíclicos, inerentemente estão sujeitos à falhas por fadiga. O trabalho está apoiado no estudo do conjunto carcaça/corrediça de um compressor fixado por parafusos prisioneiros - ISO M24x3 - onde se observaram falhas semelhantes a um compressor que utiliza parafusos tirantes. Ambos os parafusos que fixam o flange da câmara de compressão falham prematuramente por fadiga. Assim, este trabalho tem como objetivos descrever a análise de falha de ambos os parafusos prisioneiros, bem como comparar os resultados e sugerir melhorias para vida em fadiga da união parafusada. A investigação compreendeu análise da superfície de fratura, análise química, exame metalográfico e ensaio de microdureza. Os resultados da análise de falha de ambos os casos indicaram uma ruptura por fadiga devido à flexão. O mecanismo de falha foi incentivado por descontinuidades junto à raiz do filete de rosca, originadas por processo de usinagem. Através do estudo comparativo, se observou que o processo de fabricação é inadequado para a aplicação dos prisioneiros aos flanges dos compressores alternativos.

Palavras chave: Parafuso prisioneiro; Análise de falha; Processos de fabricação; Fadiga.

FAILURE ANALYSIS AND COMPARATIVE STUDY OF STUD BOLT OF ALTERNATIVE COMPRESSOR

Abstract

Mechanical fasteners subjected to cyclic loads are always susceptible to fatigue failure. The present work is based on a case study of ended stud bolts - ISO M24x3 used in a crankshaft housing/guide way system – where observed similar failure in a compressor that utility stud bolts. Both the bolts joining the guide way flange to the housing use to fail prematurely. Thus, this study is aimed to develop a failure analysis of both bolts and comparison the results and suggestion method to improve the bolts fatigue resistance. The investigation involved fracture surface analyses, chemical analysis, metallography and microhardness measurements. The results of the failure analyses both cases indicate a fatigue rupture due to bending. The failure mechanism was incentive by discontinuities together raise screw thread, originate by machined process. Arrives of the comparative study, observed the manufacture process is inadequate to application of the stud bolts to flange of the alternative compressor.

Key words: Stud bolt; Failure analysis; Manufacture process; Fatigue.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro Mecânico, M. Sc. – PPGEM – UFRGS.*

³ *Engenheiro Metalúrgico – PPGEM – UFRGS.*

1 INTRODUÇÃO

As uniões de partes através de parafusos talvez seja o método mais eficaz de fixação quando desmontagens são previstas. Os parafusos, além desta versatilidade, também facilitam a reposição quando ocorrência de falhas em serviço. Por outro lado, a falha de um único parafuso pode levar ao colapso de toda a estrutura ou máquina.

Os estudos de caso apresentados neste trabalho, relatam uma abordagem prática de um problema de falhas prematuras por fadiga encontrada na indústria petroquímica.

A indústria utiliza um pré-compressor (chamamos de caso A) para gás no processamento de polimerização do polietileno. O pré-compressor tem cinco estágios de compressão até enviar o gás a um hiper-compressor (chamamos caso B), também de cinco estágios, com 160MPa de pressão no final do ciclo. No caso A o flange é fixado à carcaça com parafusos prisioneiros, em virtude de facilitar a montagem em manutenções. No caso B o flange suporta as pressões da câmara através dos parafusos tirantes, como apresentado na Figura 1.

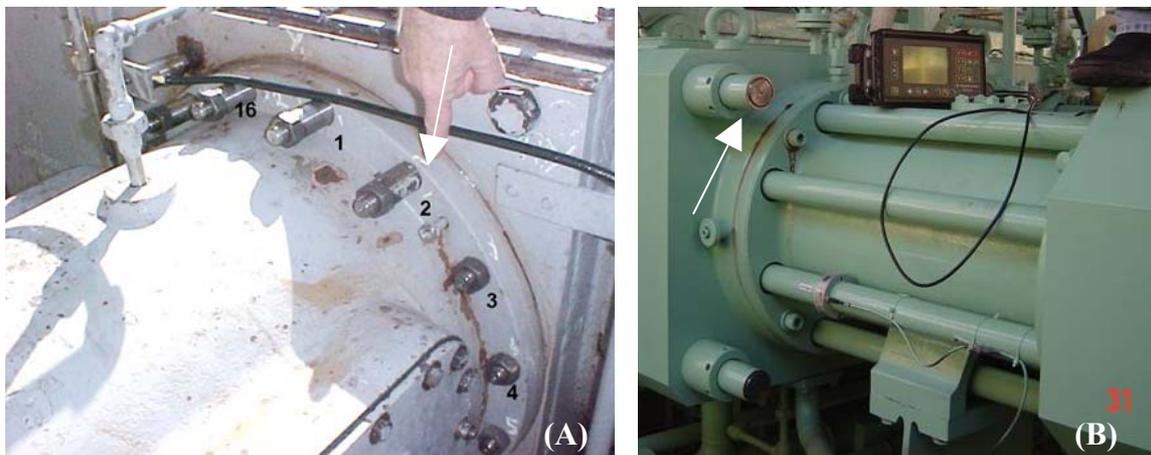


Figura 1 – À esquerda, pré-compressor - caso A. À direita, hiper-compressor – caso B. As setas indicam os parafusos objetos da análise.

O presente trabalho descreve o processo de falha dos casos estudados e desenvolve uma metodologia para otimização do desempenho em serviço dos elementos de fixação das câmaras de compressão dos compressores alternativos. Para tanto, algumas etapas foram avaliadas ao longo do trabalho onde foram sugeridas alternativas para melhorias do ponto de vista de fadiga das conexões.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudados dois parafusos fraturados em serviço. Um parafuso do caso A e outro do caso B. O prisioneiro do caso A apresentava uma trinca já em estado de propagação. O parafuso do caso B apresentou fratura completa da secção resistente.

Neste estudo de falha, foram realizadas análise da superfície de fratura, análise química, análise metalográfica e ensaio de dureza.



Figura 2 – Ilustração das amostras como recebidas para a análise de falha.

2.1 Análise da Fratura

O estudo da superfície de fratura consistiu em documentação fotográfica, identificação dos pontos de início da falha e estudo dos mecanismos de fratura. A observação visual da fratura indicou ruptura por fadiga evidenciada por uma superfície de fratura lisa, conforme mostra ambos os casos na Figura 2.

Conforme observada a morfologia da fratura, com uma grande região de propagação em relação à ruptura final e as marcas de praia concêntricas à região de início indica que ambos os componente estavam sujeitos a baixas solicitações e alto ciclo de carregamento em flexão repetida. O ponto de início da falha coincide com a raiz do primeiro filete carregado da rosca. A Figura 3 mostra fotografias em lupa com detalhes da região, onde é possível verificar a ocorrência de marcas de usinagem junto aos filetes.

Os pontos de início da falha encontram-se no fundo do filete de rosca. Nesta região foram encontradas diversas trincas, nucleadas a partir de escamas encontradas nos filetes, como mostram com maior aumento as Figuras 3 e 4.

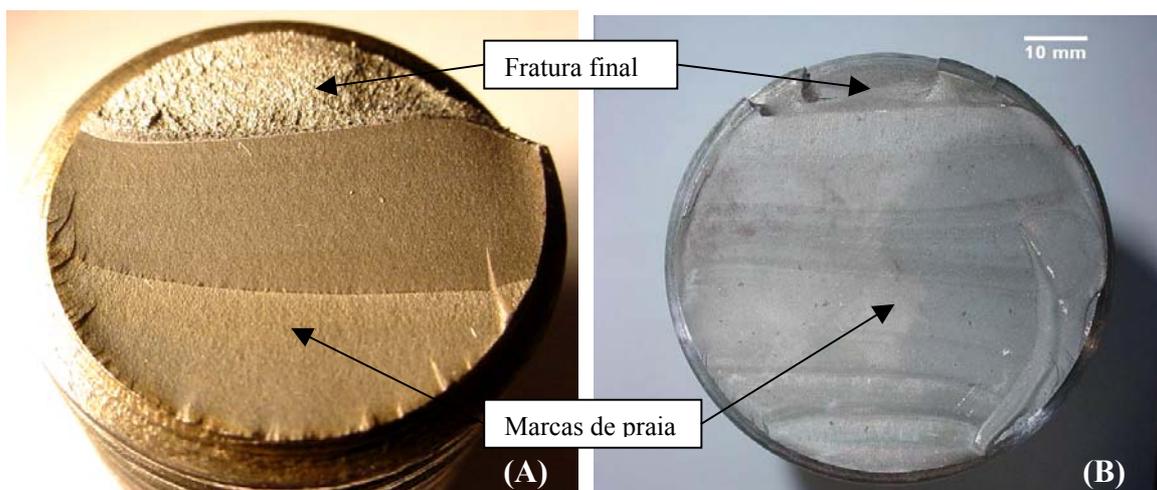


Figura 2 - Macrografia mostrando a superfície de fratura dos parafusos prisioneiros.

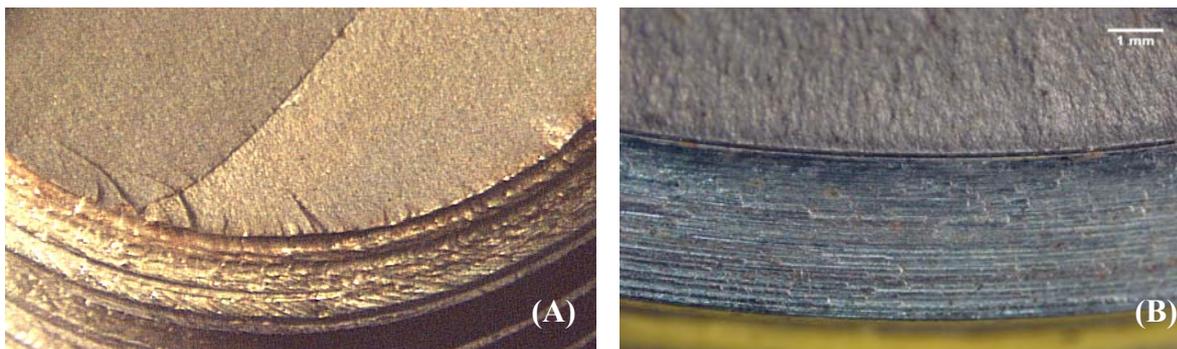


Figura 3 - Macrografia mostrando trincas originadas de escamas junto ao fundo dos filetes oriundas de processo de usinagem.

2.2 Análise Química

Para a análise química foi retirada uma amostra do parafuso e analisada em um espectrômetro de emissão óptica da marca Spectro.

A Tabela 1 mostra os teores encontrados do resultado da média de três análises. Comparando com dados de literatura observa-se que o material do parafuso do caso A é um Aço Carbono com teor de Manganês elevado - liga SAE 1541. A Tabela 2 mostra os teores do material do parafuso do caso B, classificado como um aço estrutural SAE 4140.

Tabela 1 – Composição química (% em peso) – caso A.

Elemento %	C	Mn	P	S	Si
Medido	0,36	1,42	0,009	0,01	0,24
SAE 1541	0,36 - 0,44	1,35 - 1,65	0,03 máx.	0,05 máx.	0,15 - 0,35

Tabela 2 - Composição química (% em peso) – caso B.

Elemento %	C	Mn	Cr	Mo	Si
Medido	0,37	0,92	1,08	0,15	0,24
SAE 4140	0,38 - 0,43	0,75 - 1,00	0,80 - 1,10	0,15 - 0,25	0,15 - 0,35

2.3 Análise Metalográfica

Para análise microestrutural foi retirada uma amostra de uma seção transversal à região de início de fratura, e após realizado procedimento metalográfico padrão consistindo em embutimento, lixamento, polimento, ataque químico e documentação fotográfica através de microscópio óptico.

A microestrutura do parafuso do caso A apresentou-se formada por perlita e ferrita em contorno de grão, conforme mostra a Figura 4.

O material do parafuso do caso B possui microestrutura bainítica com ferrita livre, como mostra a Figura 5. Observa-se que ambos os casos a rosca do parafuso foi feita por usinagem e verificam-se descontinuidades, decorrentes deste processo, junto à raiz dos filetes (Figuras 4 e 5).

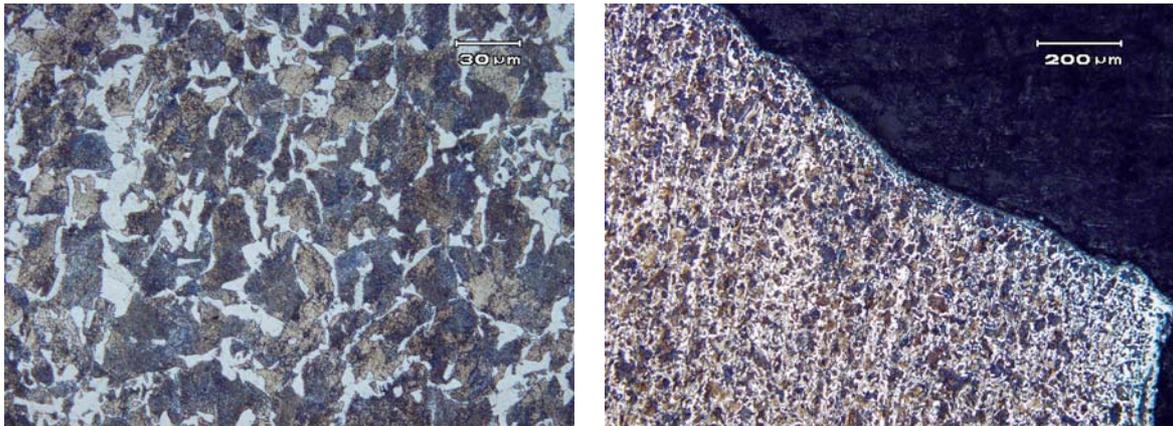


Figura 4 – Micrografia mostrando a superfície de fratura e a microestrutura formada por perlita e ferrita. Caso A.

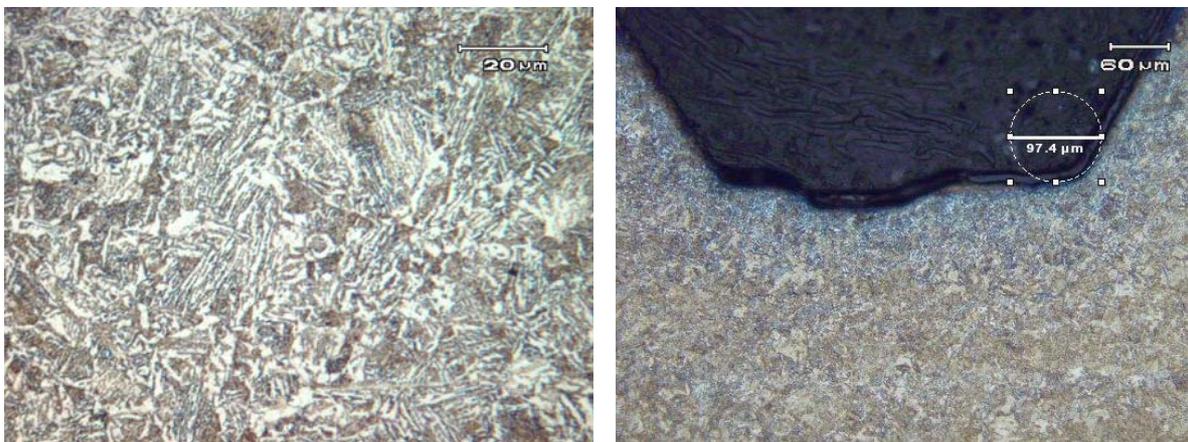


Figura 5 - Micrografia do parafuso analisado. À esquerda, detalhe da microestrutura bainítica superior com ferrita livre. À direita, observa-se um raio de concordância efetivo pequeno, na ordem de 0,05mm. Caso B.

2.4 Ensaio de Dureza

O ensaio de dureza do parafuso do caso A foi realizado utilizando-se a escala Vickers, com carga de 10 Kgf. A dureza média encontrada foi de 245 HV.

A amostra metalográfica do parafuso do caso B foi submetida a um ensaio de microdureza em escala Vickers com carga de 200gf. Observaram-se variações de dureza no material, com um valor médio de aproximadamente 300 HV e desvio padrão de 16,9.

3 DISCUSSÃO

Conforme análise de falha realizada no parafuso prisioneiro do pré-compressor – caso A, o componente rompeu por fadiga, nucleado em escamas no fundo do primeiro filete carregado originadas por processo de usinagem grosseiro. O parafuso do hiper-compressor – caso B, apresenta uma superfície de fratura que indica falha por fadiga, nucleada também na raiz do primeiro filete de rosca obtido por processo de usinagem.

Uma sugestão para melhoria do desempenho do componente é a realização de laminação da rosca posteriormente ao tratamento térmico, o qual foi avaliado e aplicado no caso do pré-compressor – caso A.^[1] O processo de roletamento das

rosca é recomendado em parafusos tirantes que sejam partes de sistemas sujeitos à vibração ou solicitações cíclicas. A utilização de usinagem deixa os filetes de rosca mais suscetíveis a defeitos como cantos vivos, descontinuidades e pequenos raios na raiz dos filetes, fatores estes que contribuem para a concentração de tensão. O roletamento das rosca, por outro lado, aumenta a resistência à iniciação da trinca de fadiga, principalmente quando realizado após a etapa de tratamento térmico do componente, induzindo tensões residuais compressivas junto à superfície.^[1-3]

Uma melhoria pode ser a construção de uma porca com material mais macio do que o parafuso fazendo com que a deflexão do primeiro filete transfira mais cargas para os outros filetes. Para isto talvez requeira aumento do número de filetes em contato para manter adequada resistência.^[4]

Outra forma, é a fabricação dos filetes da porca com passo ligeiramente maior do que do parafuso, de modo que dois passos sejam teoricamente iguais depois da carga ser aplicada. Obviamente, tal procedimento deve ter precisão na fabricação para que a porca e parafuso sejam unidos perfeitamente. O material da porca e do parafuso deve apresentar mesma resistência ao cisalhamento para que não ocorra o espanamento dos filetes da porca ou do parafuso se um ou outro apresenta maior resistência. É importante também determinar a espessura (comprimento) da porca necessária para fornecer um balanço entre a resistência do parafuso e a resistência ao espanamento dos filetes.^[4] Assim, considerando ambas, porca e parafuso de mesmo material, a mínima espessura necessária da porca para fornecer tal equilíbrio é aproximadamente:

$$t_p = 0,47d \quad , \text{ onde } d \text{ é o diâmetro nominal do parafuso. (1)}$$

Modificações no projeto da porca, como apresentado na Figura 6, também melhora a distribuição de cargas nos filetes. Neste caso, as cargas na porca colocam a região do topo dos filetes em tração, assim causando mudanças elásticas no passo que aproximadamente são compatíveis as mudanças no passo do parafuso. Tais porcas especiais são de elevado custo de fabricação e devem ser usadas somente em aplicações críticas envolvendo carregamentos dinâmicos.^[4]

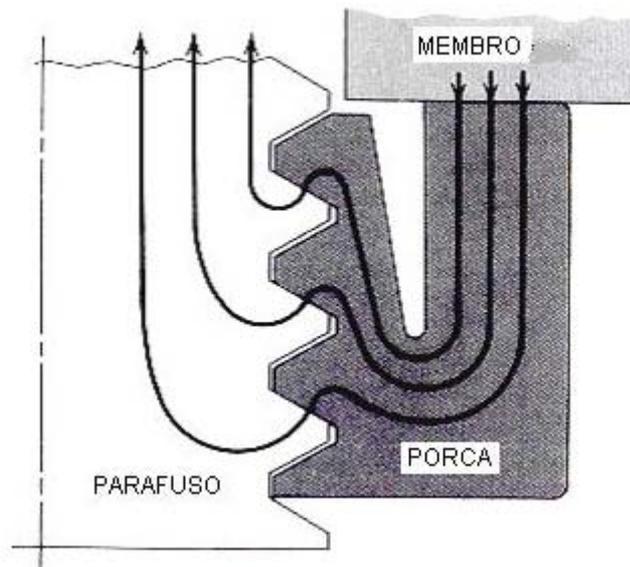


Figura 6 - Modificação do projeto da porca para melhorar a distribuição de cargas nos filetes.^[4]

Modificações na rigidez podem diminuir a porção de carga externa que aumenta a tensão no parafuso. O aumento da rigidez dos membros usando materiais com altos módulos de elasticidade e aumentando a área e espessura das placas em compressão (cone de revolução) fornecem melhorias às uniões. Por outro lado, a diminuição da rigidez do parafuso por assegurar a devida pré-carga com parafusos mais curtos de alta resistência, também fornece melhorias.^[4] Outra forma de reduzir a rigidez do parafuso é pela redução da área da secção lisa do parafuso, fazendo com que aumente a capacidade de absorção de energia, conforme primeiro caso da Figura 7.

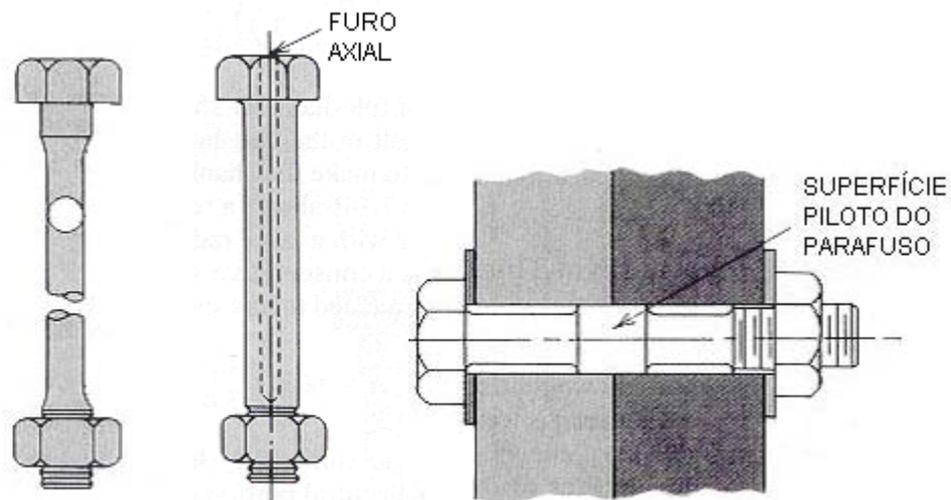


Figura 7 - Modificações no projeto do parafuso para melhor absorção de energia.^[4]

Atualmente, a chave para o sucesso dos modernos projetos de fixadores para situações críticas de fadiga é a aplicação da máxima protensão de aperto, isto é, usando parafusos de alta resistência mecânica apertados em sua quase completa carga de prova. O aumento da protensão freqüentemente aumenta a rigidez dos membros em compressão, reduzindo a flutuação de tensão no parafuso. Oferece maior segurança quanto à separação da junta e aumenta a resistência ao afrouxamento do parafuso.^[1,4,5]

4 CONCLUSÃO

Conforme análise de falha realizada no parafuso prisioneiro do pré-compressor – caso A, o componente rompeu por fadiga, nucleado em escamas no fundo do primeiro filete carregado originadas por processo de usinagem grosseiro. O parafuso do hiper-compressor – caso B, apresenta uma superfície de fratura que indica falha por fadiga, nucleada também na raiz do primeiro filete de rosca obtido por processo de usinagem.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF / UFRGS), pela oportunidade e infra-estrutura para a realização deste trabalho.

Ao CNPq pelo incentivo à iniciação científica e tecnológica e apoio ao projeto de pesquisa deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker pelo apoio à elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Pizzio, Everton. Avaliação da Vida em Fadiga de Uniões Parafusadas. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. PROMEC/UFRGS. Porto Alegre. 2005.
- 2 S. Ifergane et al. The effect of manufacturing processes on the fatigue lifetime of aeronautical bolts. *Engineering Failure Analysis* 8 (2001) 227-235. 2001.
- 3 M.T. Milan et al. Failure analysis of a SAE 4340 steel locking bolt. *Engineering Failure Analysis* 11 (2004) 915–924. 2004.
- 4 Juvinal, Robert C.. *Fundamentals of Machine Component Design*. New York : John Wiley & Sons, 1991.
- 5 Griza, Sandro. Efeito do Torque na Vida em Fadiga de Uniões Parafusadas. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. DEMET/UFRGS. Porto Alegre. 2000.