



Fernando Alonso Fontes

**Previsão do Desempenho de
Componentes para Sistemas de Ancoragem
Sob Carregamentos Monotônicos e Cíclicos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Engenharia Metalúrgica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

Orientador: Marcos Venicius Soares Pereira

Co- Orientador: Arnaldo Freitas Camarão

Rio de Janeiro
Abril de 2008



Fernando Alonso Fontes

**Previsão do Desempenho de
Componentes para Sistemas de Ancoragem
Sob Carregamentos Monotônicos e Cíclicos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Engenharia Metalúrgica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marcos Venicius Soares Pereira

Orientador

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia - PUC-Rio

Dr. Arnaldo Freitas Camarão

Co-Orientador

ArvinMeritor do Brasil

Prof. Fathi Aref Ibrahim Darwish

Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Gilmar Ferreira Batalha

Universidade de São Paulo - USP

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação Centro Técnico Científico da
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de Abril de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fernando Alonso Fontes

Engenheiro Mecânico e de Produção Mecânica formado pela PUC-Rio em 2004.

Trabalhou no departamento de engenharia da Cosigua no Grupo Gerdau de 2005 a 2007.

Atualmente trabalha no Dpto.Técnico na equipe de Análise de Instalações, na Acergy-Group.

Ficha Catalográfica

Fontes, Fernando Alonso

Previsão do desempenho de componentes para sistemas de ancoragem sob carregamentos monotônicos e cíclicos / Fernando Alonso Fontes ; orientador: Marcos Venicius Soares Pereira ; co-orientador: Arnaldo Freitas Camarão. – 2008.

78 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Ciência dos Materiais e Metalurgia – Teses. 2. Análise virtual. 3. Elementos finitos. 4. Manilha. 5. Elo Kenter. 6. Testes de carga e ruptura. 7. Vida-fadiga. I. Pereira, Marcos Venicius Soares. II. Camarão, Arnaldo Freitas. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. IV. Título.

CDD:669

Agradecimentos

Ao Prof. Marcos Venicius Soares Pereira por me aceitar como aluno orientado e pelo grande apoio à realização deste trabalho.

Ao Dr. Arnaldo Freitas Camarão por sua orientação fundamental na execução dos modelos contidos no trabalho, como também por sua amizade.

A Arvinmeritor - São Paulo e toda sua equipe que permitiu a realização das simulações.

Ao Engenheiro Sérgio Henrique Motta (Brasilamarras) pelas informações técnicas, discussões e críticas ao longo do presente trabalho.

A toda equipe da Acergy-Group que trabalha comigo, em especial ao desenhista Thiago Almeida pela ajuda na compreensão e execução os desenhos técnicos.

Aos professores do mestrado e a todos os funcionários do DCMM pela acolhida e atenção sempre dispensadas.

A minha família como um todo, e a meus pais e a minha irmã pela constante parceria.

A minha namorada, pelo apoio e amor que me é dado. E pelos finais de semana que me foram “liberados”.

Resumo

Fontes, Fernando Alonso; Pereira, Marcos Venicius Soares Pereira (Orientador). **Previsão do Desempenho de Componentes para Sistemas de Ancoragem sob Carregamentos Monotônicos e Cíclicos**. Rio de Janeiro, 2008. 78p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta a previsão do desempenho de três acessórios de união (manilha de união, elo *Kenter* e elo *Multifuncional*) utilizados em sistemas de ancoragem de unidades *offshore*, sob carregamentos monotônicos e cíclicos. Cinquenta e sete modelos foram analisados pelo método de Elementos Finitos utilizando o software Ansys 10. Inicialmente, com o objetivo de quantificar a influência do contato e mensurar a área onde este ocorre, três modelos com contatos entre manilha de união e elos foram analisados com variações no diâmetro (76, 95 e 120 mm) e mantendo-se constante as propriedades mecânicas do material e a carga aplicada. Em seqüência, cinquenta e quatro outros modelos foram elaborados sem condições de contato, isto é, com as cargas aplicadas diretamente nos componentes de estudo, que sofreram variações de diâmetros (76, 95 e 120 mm), de propriedades mecânicas (limites de escoamento e resistência mecânica) e de carregamento (*proof load* e *minimum break load*). Comparativamente, as manilhas de união apresentaram os menores níveis de tensões e as melhores distribuições de tensões dentre os três componentes para todos os casos analisados. Dos cinquenta e quatro modelos citados acima, três foram selecionados para análise da vida em fadiga com o software FE-Fatigue. Estes representavam um acessório de união de cada tipo com o diâmetro considerado crítico (120 mm) e sem variações nas propriedades mecânicas do material. Os resultados mostraram que a geometria do componente é determinante para os valores das tensões e da vida-fadiga. A manilha apresentou os melhores resultados de resistência e de vida-fadiga, que para o diâmetro e material escolhidos, foi cerca de três vezes maior do que aquela relativa aos elos *Kenter* e *Multifuncional*.

Palavras-chave

Análise virtual; elementos finitos; manilha; elo *Kenter*; testes de carga e ruptura; vida-fadiga.

Abstract

Fontes, Fernando Alonso; Pereira, Marcos Venicius Soares (Advisor). **Predicting the Performance of Components for Offshore Mooring Systems under Monotonic and Cyclic Loading**. Rio de Janeiro, 2008. 78p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work represents an approach to predict the performance of three joining accessories (shackle, *Kenter* link and *Multifunctional* link) for offshore mooring systems under monotonic and cyclic loading. Fifty seven models were analyzed by the Finite Element method using the software Ansys 10. Initially, in order to quantify the influence of the contact conditions and to measure the area where it occurs, three models presenting contacts between the joining shackle and chain links were analyzed varying the diameter (76, 95, 120 mm) and maintaining constant the material's mechanical properties as well as the applied loads. In sequence, fifty four other models were created without contact conditions, which means that the loads were applied directly on the components in question, with variations in link diameter (76, 95 and 120 mm), in mechanical properties (yield stress and ultimate strength) and in load conditions (*proof* and *minimum break loads*). Comparing the joining shackles with the other accessories, the shackles present the lowest stress levels and the best stress distributions with regard to all the cases studied. Three of the fifty four models cited above were selected for predicting their fatigue life making use of the FE-Fatigue software. These represented one of each joining accessory with a diameter considered critical (120 mm), keeping constant the mechanical properties of the material. The results showed that the influence of the component geometry is determinant for the stress values developed during the loading tests as well as its fatigue life. The shackle presented the best results in terms of strength and fatigue life, which was about three times greater than that for the *Kenter* and *Multifunctional* links.

Keywords

Virtual analysis; finite elements; shackle; *Kenter* link; proof and break tests; fatigue life.

Sumário

1 . Introdução	13
2 . Revisão Bibliográfica	16
2.1. Fadiga	16
2.1.1. Tipos de Tensões Cíclicas	18
2.1.2. Vida em Fadiga	19
2.1.3. Influência da Presença de Concentradores de Tensões na Vida-Fadiga dos Materiais	22
2.1.4. Curva Tensão <i>versus</i> Número de Ciclos para a Falha	25
2.2. Acessórios de União	25
2.2.1. Geometria	26
2.2.2. Materiais	27
2.2.3. Cargas de Teste e Certificação	29
2.2.4. Cargas de Fadiga em Amarras e Acessórios	29
2.3. O Método de Elementos Finitos	30
3 . Materiais e Métodos	34
3.1. Modelagem Geométrica	34
3.2. Modelagem das Condições de Contorno e Carregamentos	34
3.2.1. Condições de Contorno no Modelo com Contato	34
3.2.2. Condições de Contorno no Modelo da Manilha	37
3.2.3. Condições de Contorno no Modelo do Elo <i>Kenter</i>	38
3.2.4. Condições de Contorno no Modelo do Elo <i>Multifuncional</i>	39
3.3. Elementos e Geração da Malha	40
3.4. Modelagem dos Materiais em Elementos Finitos	41
3.4.1. Propriedades Mecânicas nos Modelos	41
3.4.2. Modelo da Curva Tensão <i>versus</i> Deformação do Material	43
3.5. Processamento pelo Método dos Elementos Finitos	44
3.6. Pós-Processamento (Geração de Resultados)	45
3.6.1. Análise de Tensões	45
3.6.2. Cálculo de Fadiga	46
4 . Apresentação e Discussão dos Resultados	49
4.1. Resultados Obtidos com o Modelo com Contato em Comparação com o Modelo sem Contato	50
4.2. Resultados Obtidos com a Variação das Cargas em PL e MBL	53
4.3. Resultados Obtidos com a Variação das Dimensões	55
4.4. Resultados Obtidos com a Variação das Propriedades dos Materiais	57
4.5. Apresentação dos Resultados nos Pontos de Máxima Tensão	59
4.6. Comparação dos Resultados de Tensões entre os Acessórios de União	62
4.7. Comparação da Vida-Fadiga entre os Acessórios de União	71
4.8. Relevância dos Resultados para a Indústria <i>Offshore</i>	73
5 . Conclusões	75
6 . Referências Bibliográficas	77

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Sistema de ancoragem e prospecção de uma unidade FPSO (Flotation Production Storage Oil).	15
Figura 2.1 – Exemplo de manilha que apresentou fratura em operação.	17
Figura 2.2 – Exemplos típicos de carregamentos de fadiga.	19
Figura 2.3 – Superposição das frações elástica e plástica da fadiga.	21
Figura 2.4 – Efeito do entalhe na propriedade de resistência a fadiga.	22
Figura 2.5 – Efeito da dimensão do corpo de prova no parâmetro k2.	24
Figura 2.6 – Curva S-N para materiais ferrosos (A) e para não ferrosos e aços de alta resistência (B).	25
Figura 2.7 – Elo <i>Kenter</i> .	26
Figura 2.8 – Manilha reta de união.	26
Figura 2.9 – Elo <i>Multifuncional</i> .	27
Figura 2.10 – Elementos e variáveis envolvidas no MEF.	33
Figura 3.1 – Dimensões da manilha reta de união tipo D	34
Figura 3.2 – Dimensões do elo <i>Kenter</i>	35
Figura 3.3 – Dimensões do elo <i>Multifuncional</i>	35
Figura 3.4 – Modelo 3D da manilha (76mm) com contatos	36
Figura 3.5 – Condições de contorno aplicadas na manilha de 76mm	37
Figura 3.6 – Detalhe da região de aplicação das forças da manilha de 76mm	38
Figura 3.7 – Detalhe das condições de contorno na região de interface entre as partes de um elo <i>kenter</i> e o malhete	39
Figura 3.8 – Condições de contorno e aplicação de forças no elo <i>Multifuncional</i>	40
Figura 4.1 – Tensões de von Mises modelo na manilha (120mm, MBL, R4) com contatos	40
Figura 4.2 – Detalhe da região de contato	41
Figura 4.3 – Tensões de von Mises modelo na manilha (120mm, MBL, R4) sem Contatos	41
Figura 4.4 – Detalhe da região de aplicação de forças	52
Figura 4.5 – Tensões de von Mises no elo <i>Kenter</i> (76, R4) com carregamento PL	54
Figura 4.6 – Tensões de von Mises no elo <i>Kenter</i> (76, R4) com carregamento MBL	54
Figura 4.7 – Tensões principais nos elos <i>Multifuncional</i> de 76mm e 95mm (R4++), respectivamente, com carregamento PL	56
Figura 4.8 – Tensões principais no elo <i>Multifuncional</i> de 120mm (R4++) com carregamento PL	56
Figura 4.9 – Tensões de von Mises na manilha de 120mm, R4 com carregamento PL.	57
Figura 4.10 – Tensões de von Mises na manilha de 120mm, R4+ com carregamento PL.	58
Figura 4.11 – Tensões de von Mises na manilha de 120mm, R4++ com carregamento PL.	58
Figura 4.12 – Tensões de von Mises na manilha de 120mm, R4+ com carregamento PL.	63

Figura 4.13 – Tensões principais trativas na manilha de 120mm, R4+ com carregamento PL.	64
Figura 4.14 – Tensões principais trativas na manilha de 120mm, R4+ com carregamento PL. Seções nas regiões críticas observadas.	65
Figura 4.15 – Tensões de von Mises no elo <i>Kenter</i> de 120mm, R4+ com carregamento PL.	66
Figura 4.16 – Tensões principais no elo <i>Kenter</i> de 120mm, R4+ com carregamento PL.	66
Figura 4.17 – Tensões principais trativas no elo <i>Kenter</i> de 120mm, R4+ com carregamento PL. Seções nas regiões críticas observadas.	67
Figura 4.18 – Tensões de von Mises no elo <i>Multifuncional</i> de 120mm, R4+ com carregamento PL.	68
Figura 4.19 – Tensões principais no elo <i>Kenter</i> de 120mm, R4+ com carregamento PL.	69
Figura 4.20 – Tensões Principais Trativas no elo <i>Multifuncional</i> de 120mm, R4+ com carregamento PL. Seções nas regiões críticas observadas.	70
Figura 4.21 – Distribuição de vida na manilha de 120mm (R4+) com base nas tensões principais.	72
Figura 4.22 – Distribuição de vida no elo <i>Kenter</i> de 120mm (R4+) com base nas tensões principais.	72
Figura 4.23 – Distribuição de vida no elo <i>Multifuncional</i> de 120mm (R4+) com base nas tensões principais.	73

Lista de Gráficos

Gráfico 3.1 – Exemplo da curva de material (R4+) para o modelo bi-linear.	44
Gráfico 3.2 – Curva experimental tensão versus vida do material R4+.	47
Gráfico 3.3 – Curva deformação versus vida ($\epsilon \times 2N$) do material R4+.	48

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Propriedades do Aço Estrutural R4.	28
Tabela 2.2 – Propriedades do aço estrutural R4. [16]	28
Tabela 3.1 – Propriedades de engenharia dos materiais aplicado aos modelos.	42
Tabela 3.2 – Propriedades reais do materiais dos modelos virtuais.	43
Tabela 3.3 – Tangentes das curvas dos materiais.	43
Tabela 3.4 – Cargas de teste aplicadas em acessórios	44
Tabela 3.5 – Apresentação geral das variações nas análises geradas.	45
Tabela 4.1 – Aumento percentual das dimensões e das cargas com a variação dos diâmetros.	55
Tabela 4.2 – Elementos de ligação com 76mm com carga PL = 4.731kN.	59
Tabela 4.3 – Elementos de ligação com 76mm com carga MBL = 6.001kN.	59
Tabela 4.4 – Elementos de ligação com 95mm com carga PL = 7.096kN.	59
Tabela 4.5 – Elementos de ligação com 76mm com carga MBL = 9.001kN.	70
Tabela 4.6 – Elementos de ligação com 120mm com carga PL = 10.700kN.	71
Tabela 4.7 – Elementos de ligação com 120mm com carga MBL = 13.573kN.	71
Tabela 4.8 – Tensões trativas calculadas analiticamente.	62
Tabela 4.9 – Tensões em vigas curvas.	63