

ANÁLISE DE TENSÃO E FADIGA AXIAL DO AÇO ABNT 4140 UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br^{1,2}

Alysson Vieira Lucas, alysson@pucminas.br²

Norberto Martins, norbertoengmec@gmail.com²

Leonardo José Dutra Silva, leonardo.dutra@fcagroup.com³

Fabiano Ferreira Silva, fabiano.silva@fcagroup.com³

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Av. Amazonas, 5253, Nova Suíça, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30480-000

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30535-901

³FCA Fiat Chrysler Automóveis Brasil Ltda, Av. Contorno, nº 3455, Bairro Paulo Camilo, galpão 03 Sala, Betim, Minas Gerais, CEP 32669-900

Resumo: Os sistemas de engenharia auxiliados por computador (CAE - Computer Aided Engineering) são desenvolvidos para simular aplicações reais, podendo auxiliar etapas de projeto e fabricação. Os sistemas CAE mais difundidos atualmente são baseados no método de elementos finitos (MEF) e são amplamente utilizados para a realização de cálculos estruturais envolvendo tensões estáticas e cíclicas. Usinagem é um processo de fabricação por remoção de material que ao conferir à peça forma, dimensões e acabamento, produz cavaco. O objetivo deste trabalho foi analisar e comparar os resultados de tração e fadiga obtidos experimentalmente e simulados por meio do método de elementos finitos, através do software ABAQUS® e software de fadiga virtual lab, a fim de verificar a vida em fadiga axial do aço ABNT 4140 na condição de usinado pelo processo de torneamento por Comando Numérico Computadorizado (CNC). Para obtenção da resistência à fadiga, foi utilizado o método tensão-número de ciclos (S-N) juntamente com o domínio de fadiga de alto ciclo, para grupo de corpos de provas ABNT 4140 laminado e usinado por CNC. Os ensaios de fadiga experimentais foram realizados em uma máquina de fadiga axial, onde os corpos de prova foram submetidos a ensaios cíclicos de tração-tração, em temperatura ambiente e razão de tensão $R = 0,1$. Os resultados obtidos evidenciaram que o método de elementos finitos mostrou-se confiável para validação dos ensaios experimentais.

Palavras-chave: Aço ABNT 4140, Comando Numérico Computadorizado, Fadiga, Método de Elementos Finitos (MEF)

1. INTRODUÇÃO

A maioria das falhas em componentes e equipamentos mecânicos acontece devido a cargas cíclicas ou variáveis no tempo, e não a cargas estáticas. Essas falhas ocorrem, tipicamente, em níveis de carga inferiores aos valores da resistência ao escoamento dos materiais (Norton, 2004; Shigley, Mischke e Budynas, 2005). A característica mais distinguível dessas falhas é que os valores de tensões repetem muitas vezes, sendo denominado de falha por fadiga. A resistência à fadiga é considerada propriedade dinâmica importante, sendo influenciada pela condição da superfície. É medida em termos do número de ciclos (N) para falha do corpo de prova sob determinada carga (Machado *et al.*, 2015).

Usinagem é um processo de fabricação que, ao conferir à peça forma, dimensões e acabamento, produz cavaco. (Machado *et al.*, 2015). Cavaco é a porção de material da peça, retirada pela ferramenta de corte, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular. Torneamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies por revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo (Ferraresi, 1977).

Os sistemas CAE fazem uso de sofisticados algoritmos matemáticos para efetuar os cálculos. A qualidade de uma simulação envolve o grau de aproximação entre os resultados obtidos com a situação real e esta relacionada com o algoritmo matemático empregado para a geração da malha de elemento, para cálculo das solicitações, assim como nas informações de entrada, tais como geometria, solicitações mecânicas e materiais. As simulações de engenharia por um sistema CAE podem ocorrer em duas circunstâncias principais: simulação de processos (usinagem, estampagem de chapas, fundição, injeção) e simulação de produtos (resistência mecânica, comportamento mecânico, vida útil). Para realizar os cálculos de simulação, o CAE utiliza a técnica de elementos finitos. A geometria proveniente do CAD 3D é decomposta em elementos primitivos, como triângulos, por exemplo. O software gera, portanto, uma geometria denominada malha de elementos finitos, a qual representa o objeto, ou o processo, a ser simulado. Elementos finitos é o método mais empregado por sistemas CAE. Os resultados, em geral, são apresentados em forma de gráficos multicoloridos, de acordo com a análise solicitada. O ABAQUS® é um software que utiliza o método de elementos

finitos e é amplamente usado na indústria para diversos tipos de análises, estáticas (linear e não linear), dinâmica, entre outras.

O ABNT 4140 é classificado como aço baixa liga de cromo-molibdênio (CrMo) com teor médio de carbono e possui limites de resistência a tração, de escoamento e resistência à fadiga superiores em comparação com aços carbono comum como o ABNT 1045. A faixa de composição química deste aço, esta apresentada na Tab. (1).

Tabela 1. Composição química (% em peso) do aço ABNT 4140 (SAE, 2000; Gerdau, 2011).

C	Mn	P máx.	S máx.	Si	Cr	Mo
0,38-0,43	0,75-1,00	0,030	0,040	0,15-0,35	0,80-1,10	0,15-0,25

As principais propriedades mecânicas do ABNT 4140 beneficiado estão apresentadas na Tab. (2) (Gerdau, 2011).

Tabela 2. Propriedades mecânicas do aço ABNT 4140 beneficiado (Gerdau, 2011).

Designação	LRT (MPa)	LE (MPa)	Alongamento (%)	Redução de área (%)	Dureza (HB)
ABNT 4140 (1)	1000-1200	750	mín. 11	mín. 45	300 - 340

(1) Temperado e revenido (bitolas ≤ 40 mm)

O objetivo deste trabalho foi analisar e comparar os resultados obtidos experimentalmente e simulados por meio do método de elementos finitos (MEF), através dos softwares ABAQUS® e de fadiga virtual lab, a fim de verificar a vida em fadiga axial do aço ABNT 4140 usinado pelo processo de torneamento CNC.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura (1) apresenta um diagrama de fluxo esquemático do trabalho realizado nessa pesquisa.

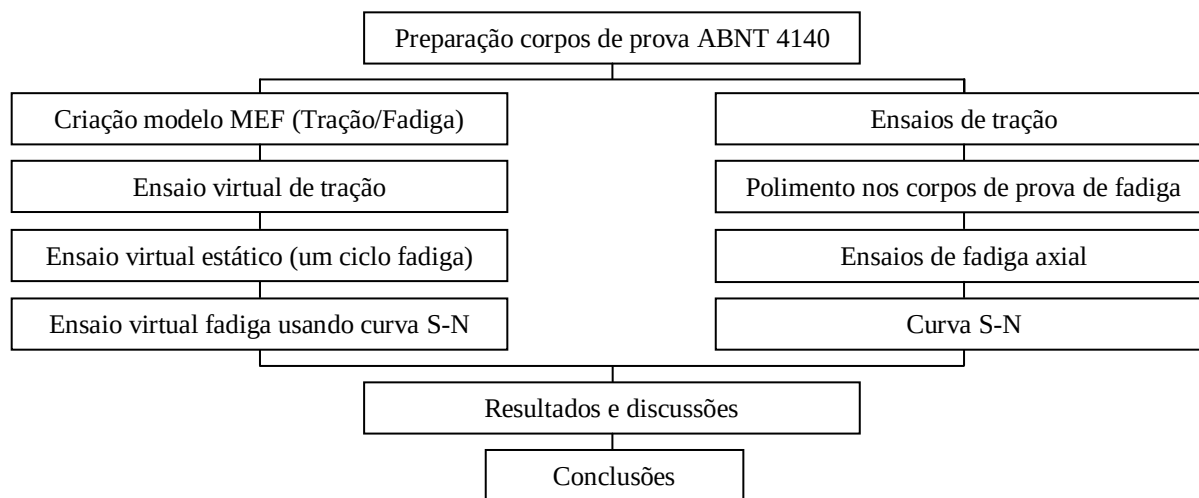


Figura 1. Diagrama de fluxo do trabalho realizado.

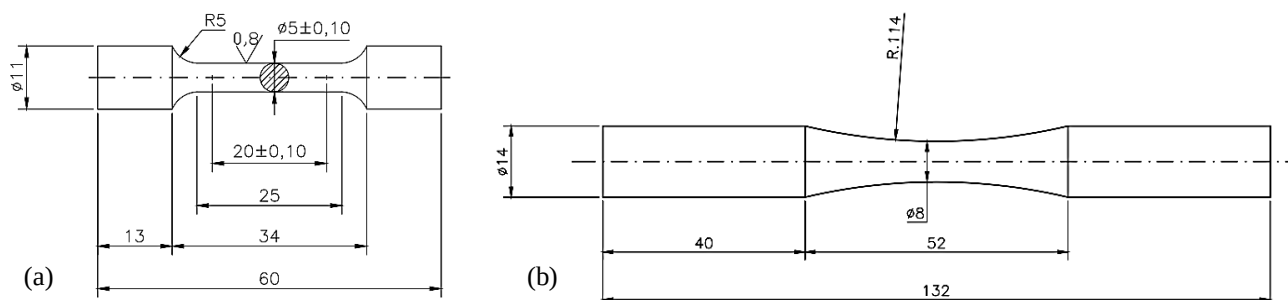
2.1. Análise química do aço ABNT 4140

A análise química de três amostras do aço ABNT 4140, material conforme recebido, foi realizada no laboratório de materiais da FCA Fiat Chrysler Automóveis Brasil Ltda, utilizando espectrômetro de emissão óptica SPECTROMAXx®, modelo LMXM5M-BT.

2.2. Preparação dos corpos de prova para ensaios de tração e fadiga

Corpos de prova para ensaios de tração e fadiga foram fabricados a partir de barra de aço ABNT 4140 laminada de seção transversal circular 15,88 mm (5/8”), sendo usinadas por meio de torno linha ROMI Centur 30D com CNC SIEMENS 802D.

A Figura (2) apresenta o desenho com as dimensões nominais e geometria dos corpos de prova para ensaios de tração (a), sendo fabricados três (3) corpos de prova e, ensaios de fadiga (b).



Dimensões em milímetro.

Figura 2. Geometria e dimensões dos corpos de prova: (a) de tração (NBR 6152, 2002; ASTM A370-15; Pedroso, 2016); e, (b) de fadiga axial (ASTM E466-15; Pedroso, 2016).

Para a fabricação dos corpos de prova para ensaios de fadiga em aço ABNT 4140, utilizou-se no torno ROMI Centur 30D, pastilha de corte CoroTurn® 107, código ISO VBMT 11 03 04-PF 4215, fabricante Sandvik Coromant, fluido de corte Synergy® 905, produzido pela Blaser Swissslube®. Foram fabricados e preparados quinze (15) corpos de prova para ensaios de fadiga em aço ABNT 4140 usinados por torneamento CNC.

2.3. Ensaios de tração

Os ensaios de tração foram realizados em máquina de tração INSTRON 4467 com capacidade de carga máxima 30 kN (3000 kgf), acoplada a computador com software de controle, recebimento e tratamento de dados. Estes ensaios foram realizados conforme normas ASTM A370-15 e NBR 6152 (2002). Com este procedimento foi possível obter as curvas tensão *versus* deformação para o material estudado, pelas quais determinou o limite de escoamento e o limite de resistência experimental do aço ABNT 4140 laminado.

A Eq. (1) representa o cálculo da tensão de escoamento (LE), a qual é obtida dividindo a força aplicada pela área da seção transversal original do corpo de prova (S_0). O software INSTRON possibilitou obter o diagrama força *versus* alongamento com exatidão. A Eq. (2) é utilizada para obter a tensão limite de resistência do material (LRT), que consiste em dividir a força máxima aplicada ao corpo de prova pela área S_0 .

$$LE = \frac{F_e}{S_0} \quad (1)$$

$$LRT = \frac{F_m}{S_0} \quad (2)$$

Onde se tem que LE é a tensão limite de escoamento, F_e é a força correspondente à tensão limite de escoamento, S_0 é a área da seção transversal original (comprimento paralelo do corpo de prova), LRT é a tensão limite de resistência à tração e F_m é a força máxima aplicada.

O alongamento percentual no ensaio de tração foi obtido do equipamento INSTRON 4467, o qual possui instalado um extensômetro de deformação axial (vídeo). Os cálculos são obtidos de acordo com a Eq. (3), sendo apresentadas as equações complementares Eq. (4) a (7):

$$A(\%) = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100 = \frac{(L_f - L_0)}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

$$e = \frac{\Delta l}{L_0} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \ln(e + 1) \quad (5)$$

$$T = \frac{F}{S_0} \quad (6)$$

$$\sigma = T(e + 1) \quad (7)$$

Onde A (%) é o alongamento percentual após ruptura, L_f é o comprimento de medida final do corpo de prova, após ruptura, L_0 é o comprimento de medida original, antes da aplicação da força, e é a deformação convencional de engenharia, Δl é o alongamento após ruptura ($L_f - L_0$), T é a tensão convencional, F é a força aplicada, σ é a tensão real.

Os ensaios de tração e as curvas tensão *versus* deformação convencionais possibilitaram a determinação das propriedades de resistência mecânica e ductilidade do material ABNT 4140, possibilitando assim calcular o limite de resistência à tração (LRT), o limite de escoamento (LE) e o alongamento percentual uniforme (Al, %), de acordo com a norma NBR 6152 (2002).

As análises pelo método de elementos finitos (MEF) foram realizadas utilizando o software ABAQUS® versão 6.12-1, fabricante Dassault Systèmes. O modelo de malha utilizado foi composto por elementos tridimensionais, hexaedros em sua maioria, com 832 elementos e 1122 nós.

2.4. Polimento nos corpos de prova de fadiga

Após o processo de usinagem CNC dos corpos de prova ABNT 4140 para ensaios de fadiga, as superfícies foram preparadas por meio de lixamento com lixas d'água de granulometria # 220, 320, 400, 600, 1200, 1500 e 2000, respectivamente, e polimento com abrasivo óxido de alumínio com granulometria 9, 3 e 1 μm , obtendo acabamento superficial com aspecto de espelhado. O processo de lixamento e polimento foram realizados em torno convencional com velocidade de 660 RPM e tempo de duração de dois (2) minutos aproximadamente para cada sequência de lixa e abrasivos de polimento mencionados. Sendo realizados na direção longitudinal do corpo de prova (ASTM E466-15).

Na sequência, a rugosidade ou erro micro geométrico de cada corpo de prova foi medido antes de realizar os ensaios de fadiga. Um sistema de avaliação do estado da superfície real modelo RUGOSURF 20 de fabricação TESA Technology foi utilizado. Todas as medições de rugosidade R_a foram realizadas na região onde o corpo de prova sofre maior ação do carregamento de fadiga, ou seja, no comprimento útil e na região do diâmetro menor da seção de teste, com comprimento de amostragem “cut-off” de 0,8 milímetro.

2.5. Ensaios de fadiga axial em corpos de prova ABNT 4140

Os ensaios de fadiga foram realizados no Laboratório de Materiais da Engenharia Experimental FCA Fiat Chrysler Automóveis Brasil Ltda, utilizando equipamento de fadiga axial servo-hidráulico modelo 8801 fabricado pela INSTRON. O equipamento utilizado possui contador de ciclos do ensaio, quando ocorre a ruptura do corpo de prova, a contagem de ciclos é interrompida automaticamente e o registro é armazenado. Foram realizados ensaios de fadiga axial em 15 (quinze) corpos de prova fabricados em aço ABNT 4140, no estado laminado (conforme recebido), com o objetivo de avaliar a resistência à fadiga. Ambos os corpos de prova foram submetidos a ensaios de fadiga axial de alto ciclo, sob carregamento cíclico de tração-tração, frequência de prova (f) de 25 Hz e razão de tensão 0,1 ($R = 0,1$). Os ensaios de fadiga axial foram realizados em temperatura ambiente controlada de 23 °C na sala de ensaios, e repetido com cada corpo de prova, os quais foram solicitados a diferentes níveis de tensão. Os níveis de tensão de fadiga axial foram definidos com base nos resultados obtidos dos ensaios de tração, sendo utilizado o limite de resistência à tração do aço ABNT 4140 laminado para definir cada nível de tensão.

Os corpos de prova ABNT 4140 laminados e usinados por CNC foram identificados com a letra “P” seguida do numeral sequencial (de 1 a 15). Os ensaios de fadiga axial experimentais foram realizados conforme especificado pela norma ASTM E466-15.

As análises pelo método de elementos finitos (MEF) foram realizadas utilizando o software ABAQUS® versão 6.12-1, fabricante Dassault Systèmes assim como o software de fadiga virtual lab, versão 13.2, desenvolvedor da Siemens. O modelo utilizado foi em geral composto por elementos tridimensionais, hexaedros, com 3400 elementos e 4020 nós.

Os termos e símbolos para ensaios de fadiga estão definidos conforme Eq. (8) a (12) (Norton, 2004; Callister Jr. e Rethwisch, 2012; Collins, 2014):

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{máx.}} - \sigma_{\text{mín.}} \quad (8)$$

$$\sigma_a = \frac{\Delta\sigma}{2} \quad (9)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{máx.}} + \sigma_{\text{mín.}}}{2} \quad (10)$$

Duas razões podem ser definidas a partir das Eq. (8), (9) e (10):

$$R = \frac{\sigma_{\min.}}{\sigma_{\max.}} \quad (11)$$

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \quad (12)$$

Onde se tem que $\Delta\sigma$ é o intervalo de tensões, σ_a amplitude da variação de tensão (ou componente alternada), σ_m a tensão média cíclica, $\sigma_{\max.}$ a tensão máxima no ciclo, $\sigma_{\min.}$ a tensão mínima no ciclo, R é a razão de tensão e A é a razão de amplitude.

Para o levantamento da curva S-N, foram utilizados cinco (5) níveis de tensão para os ensaios de fadiga axial do aço ABNT 4140 laminado. Como ponto de corte do ensaio de fadiga axial, foi estabelecido o número de cinco milhões de ciclos (5×10^6), para ambos os corpos de prova ensaiados. Este valor 5×10^6 ciclos foi definido em função de estar dentro da faixa de ciclos definida como fadiga de alto ciclo e vida finita (Shigley, Mischke e Budynas, 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico apresenta os resultados obtidos na referida pesquisa.

3.1. Análise química do aço ABNT 4140

A análise química de três (3) amostras do aço ABNT 4140 revelou os seguintes elementos principais, percentual em peso Tab. (3).

Nota-se que estes resultados corroboram com a especificação SAE J404 (SAE, 2000) e catálogos de fabricantes (Gerdau, 2011; ArcelorMittal, 2013).

Tabela 3. Análise química (% em peso) do aço ABNT 4140

Elemento Químico	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio Padrão	Apresentação
C	0,399	0,402	0,404	0,402	0,003	0,402±0,003
Mn	0,797	0,804	0,807	0,803	0,005	0,803±0,005
P	0,012	0,013	0,012	0,012	0,001	0,012±0,001
S	0,003	0,004	0,003	0,003	0,001	0,003±0,001
Si	0,326	0,327	0,327	0,327	0,001	0,327±0,001
Cr	0,889	0,897	0,894	0,893	0,004	0,893±0,004
Mo	0,182	0,184	0,183	0,183	0,001	0,183±0,001
Fe	97,180	97,160	97,160	97,167	0,012	97,167±0,012

3.2. Ensaios de tração em corpos de prova ABNT 4140

Foram realizados ensaios de tração em três amostras ABNT 4140 laminadas. A Tab. (4) apresenta os resultados do ensaio de tração, com valores médios de limite de escoamento, limite de resistência à tração e alongamento percentual.

Tabela 4. Valores dos ensaios de tração (aço ABNT 4140 laminado).

Diâmetro (mm)	Limite de Escoamento (LE, MPa)	Limite de Resistência (LRT, MPa)	Alongamento Percentual (Al, %)
5,1 ±0,01	680,99 ±29,01	1076,92 ±6,11	12,93 ±0,28

O limite de resistência obtido do material ABNT 4140 laminado foi utilizado para definir os níveis de tensão utilizados nos ensaios de fadiga axial.

Para efeitos de comparação e validação da curva realizada no ensaio experimental com o virtual pelo método de elementos finitos, foi realizada por meio do software ABAQUS® versão 6.12-1, fabricante Dassault Systèmes, a simulação virtual da curva de tensão *versus* deformação que seria usada no virtual com os resultados do ensaio físico.

A Figura (3) apresenta o gráfico comparativo do ensaio de tensão *versus* deformação virtual e físico.

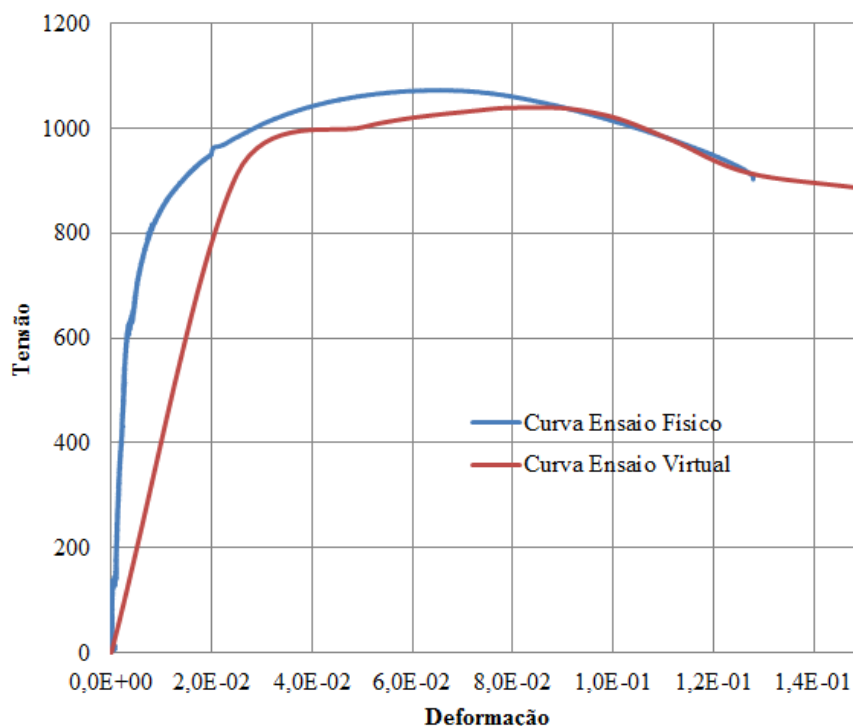


Figura 3. Gráfico comparativo das curvas de tensão *versus* deformação do ensaio físico e virtual do ABNT 4140.

A Figura (4) apresenta o modelo virtual do corpo de prova de tração, sendo o mesmo deslocado no ponto RP-1 que aparece na Fig. (4) (a) e foi travado na parte inferior. A Figura (4) (b) apresenta o resultado de tensão de tração virtual no ponto com a maior tensão.

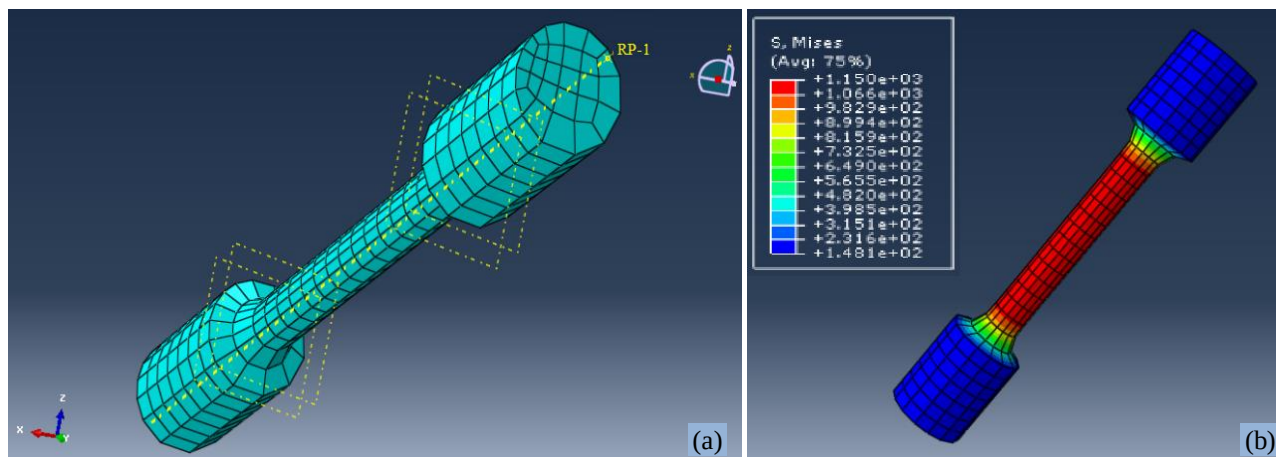


Figura 4. Corpo de prova para ensaio de tração virtual ABNT 4140.

3.3. Ensaios de fadiga axial em corpos de prova ABNT 4140

Foram obtidos resultados de ensaios de fadiga axial para 15 corpos de prova do aço ABNT 4140. A Tab. (5) e (6) apresenta o resumo dos ensaios realizados nestes corpos de prova, com a respectiva identificação, níveis de tensão e o número de ciclos obtidos após ensaio de cada amostra.

Tabela 5. Corpos de prova de fadiga ABNT 4140 laminados e usinados por CNC (Pedroso, 2016).

	CP#	Nível de Tensão	Tensão (S, MPa)	Nº de ciclos (N)
Nível 1	P1	0,80*LRT	861,54	77.351*
	P2	0,80*LRT	861,54	105.285*
	P3	0,80*LRT	861,54	110.496*
Nível 2	P6	0,75*LRT	807,69	180.889*
	P7	0,75*LRT	807,69	181.710*
	P10	0,75*LRT	807,69	169.681*
Nível 3	P11	0,725*LRT	780,77	5.000.000
	P12	0,725*LRT	780,77	5.000.000
Nível 4	P8	0,70*LRT	753,84	5.000.000
	P9	0,70*LRT	753,84	5.000.000
Nível 5	P4	0,65*LRT	700,00	5.000.000
	P5	0,65*LRT	700,00	5.000.000

* Run out (falhou).

Tabela 6. Corpos de prova de fadiga laminados e usinados por CNC (Pedroso, 2016).

	CP#	Nível de Tensão	Tensão (S, MPa)	Nº de ciclos (N)
Nível 1	P13	0,80*LRT	861,54	534.238*
	P14	0,80*LRT	861,54	74.513*
	P15	0,80*LRT	861,54	144.889*

* Run out (falhou).

Observa-se que a vida infinita em fadiga axial de corpos de prova em aço ABNT 4140 laminado e torneado por CNC ficou no intervalo de tensões de 780,77 a 807,69 MPa, para ponto de corte do ensaio em cinco milhões de ciclos.

A Figura (5) apresenta os resultados das análises estáticas de aplicação de carregamento para um ciclo em modelo virtual de corpo de prova para ensaios de fadiga axial, para tensões máximas respectivamente de: 861; 807; 753 MPa.

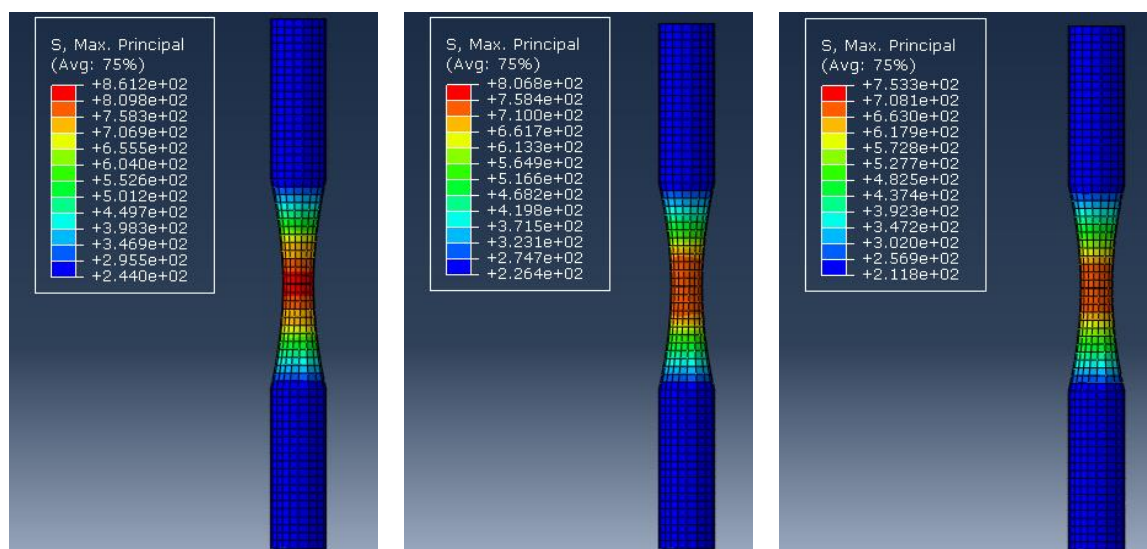


Figura 5. Análises estáticas de aplicação de carregamento para um ciclo em modelo virtual de corpo de prova ABNT 4140.

A Figura (6) apresenta os ensaios de fadiga axial realizados em corpos de prova virtuais pelo método de elementos finitos por meio do software virtual lab, versão 13.2, desenvolvedor da Siemens.

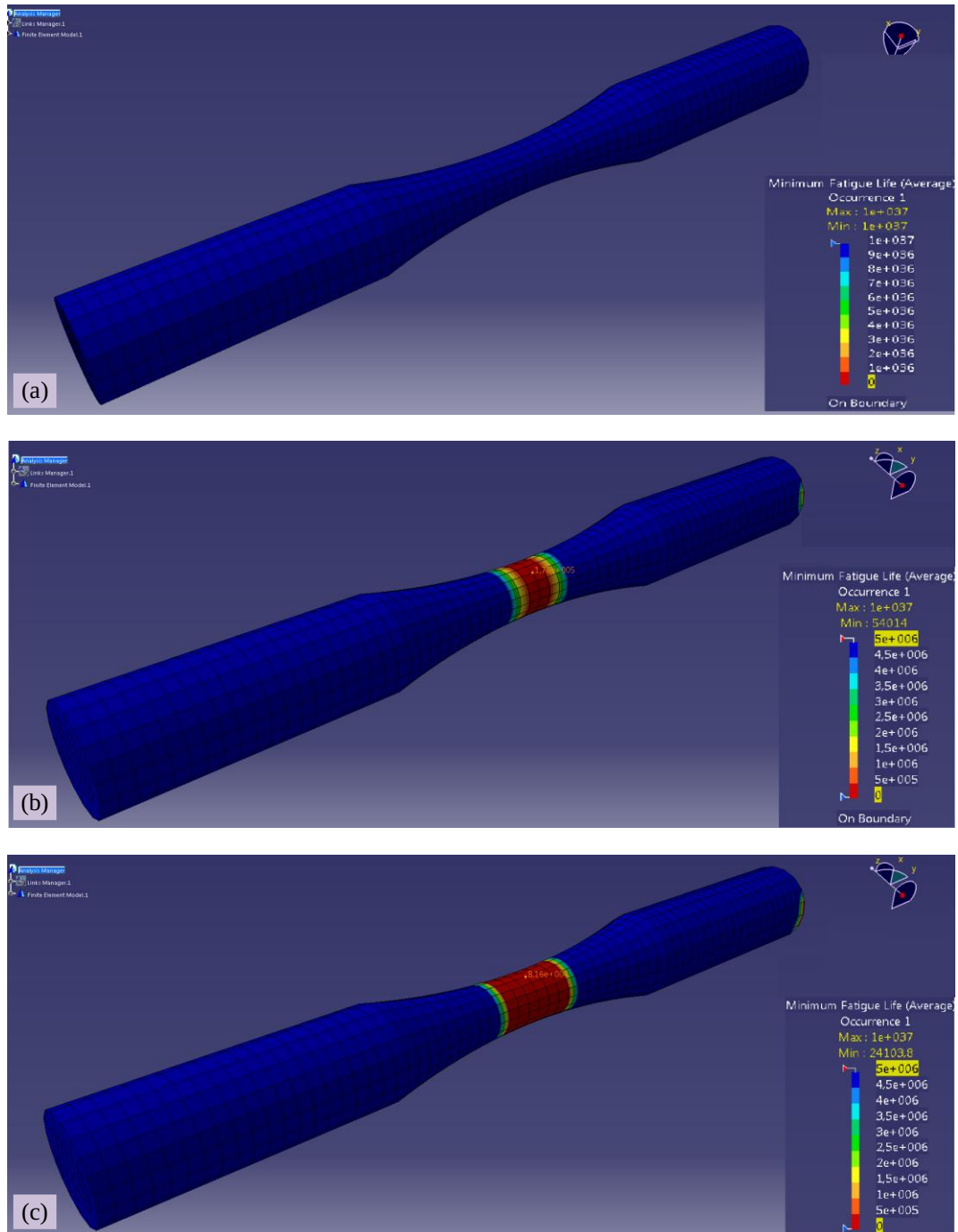


Figura 6. Ensaios de fadiga axiais virtuais realizados em corpos de prova ABNT 4140 usinados por CNC: (a) 70% do LRT; (b) 75% do LRT, e; (c) 80% do LRT.

A Figura (7) apresenta as curvas S-N com os resultados experimentais (a) e virtuais (b) dos ensaios de fadiga axial realizados em corpos de prova ABNT 4140 laminados e usinados por CNC.

Nota-se semelhança nas curvas S-N experimental e virtual.

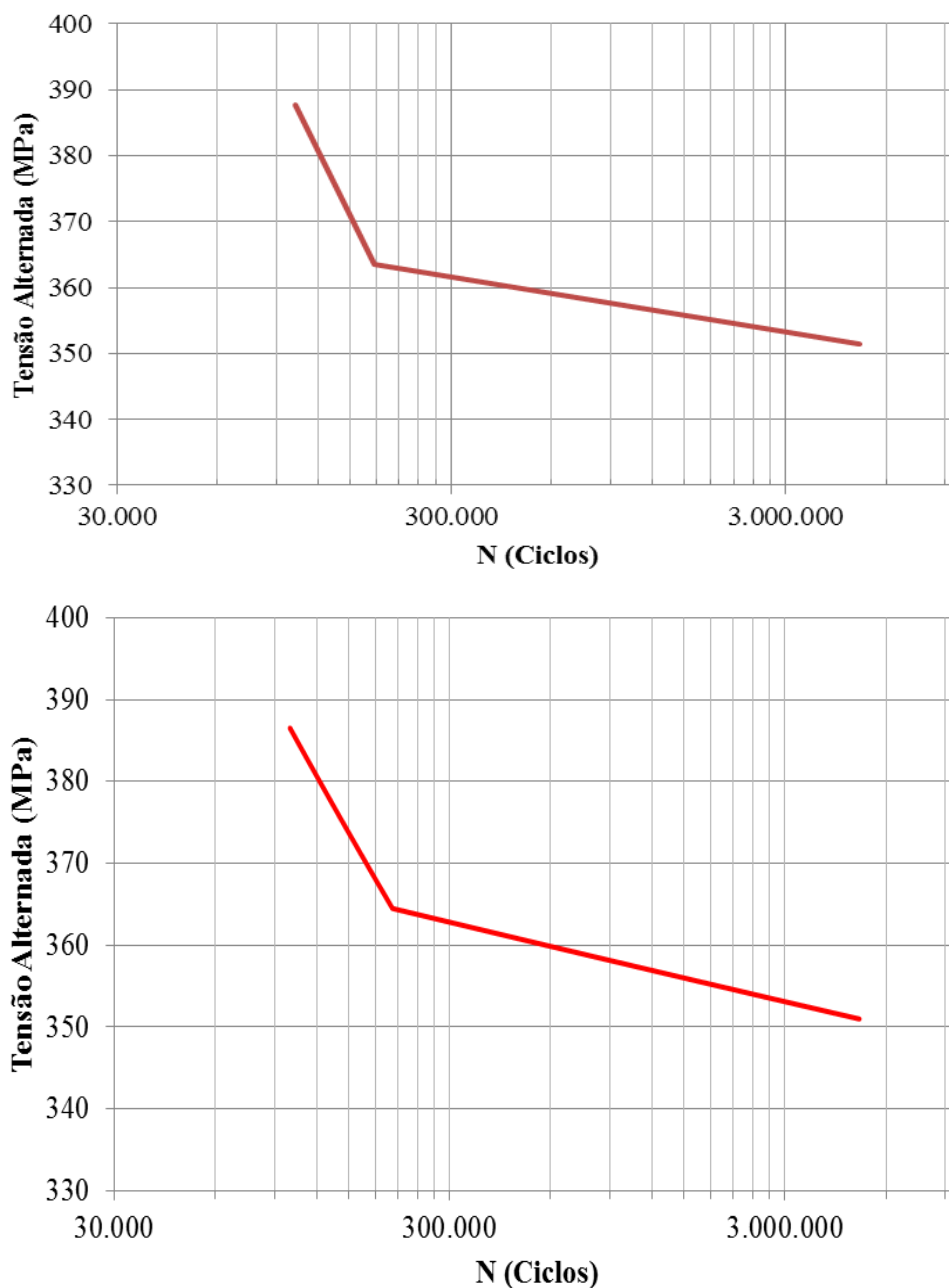


Figura 7. Curvas S-N do ABNT 4140 usinado por CNC: (a) testes experimentais; (b) testes virtuais MEF.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os ensaios de tração experimental ficaram compatíveis com os ensaios virtuais.

A vida em fadiga axial decresce com o aumento da carga aplicada, sendo atingida vida infinita para o ABNT 4140 usinado por torneamento CNC no nível de tensão estabelecido de 780,77 MPa.

Os resultados obtidos evidenciaram que o método de elementos finitos mostrou-se confiável para validação dos ensaios experimentais de tração e fadiga.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Prof. Dr. Ernane Rodrigues da Silva e ao Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, pelo uso dos Laboratórios de Usinagem; ao Laboratório de Materiais da Engenharia Experimental FCA Fiat Chrysler Automóveis Brasil Ltda., pela colaboração na realização de análises químicas e experimentos de tração e fadiga.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6152, 2002, materiais metálicos: ensaio de tração à temperatura ambiente, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ASTM A370-15, 2015, "Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products", American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM E466-15, 2015, "Standard practice for conducting force controlled constant amplitude axial fatigue tests of metallic materials", American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken.
- Callister, W. D., Rethwisch, D.G., 2012, Ciência e engenharia de materiais: uma introdução, 8.ed., LTC, Rio de Janeiro.
- Collins, J.A., 2012, Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção da falha, LTC, Rio de Janeiro.
- Ferraresi, D., 1977, Fundamentos da usinagem dos metais, Blucher, São Paulo.
- Gerdau, 2011, catálogo de produtos. Manual de aços, disponível em: <<https://www.comercialgerdau.com.br/pt/produtos#>>. Acesso em: 04 dez. 2015.
- Machado, Á.R., Coelho, R.T., Abrão, A.M., Silva, M.B., 2015, Teoria da usinagem dos materiais. 3.ed., Blucher, São Paulo.
- Norton, R.L., 2004, Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 2. ed., Ed. Bookman, Porto Alegre.
- Pedroso, S., 2016, Avaliação da resistência à fadiga axial do aço ABNT 4140 nitretado por descargas elétricas. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET, Belo Horizonte, MG.
- Shigley, J.E., Mischke, C.R.; Budynas, R.G., 2005, Projeto de engenharia mecânica. 7. ed., Bookman, Porto Alegre.
- Society of Automotive Engineers, 2000, SAE J404: chemical compositions of SAE alloy steels, SAE International.
- Souza, A.F.; Ulbrich, C.B.L., 2013, Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC - princípios e aplicações, 2. ed., Artliber, São Paulo.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

TENSILE AND AXIAL FATIGUE STRENGTH ANALYSIS OF ABNT 4140 STEEL USING THE FINITE ELEMENTS METHOD

Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br^{1,2}

Alysson Vieira Lucas, alysson@pucminas.br²

Norberto Martins, norbertoengmec@gmail.com²

Leonardo José Dutra Silva, leonardo.dutra@fcagroup.com³

Fabiano Ferreira Silva, fabiano.silva@fcagroup.com³

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Av. Amazonas, 5253, Nova Suíça, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30480-000

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30535-901

³FCA Fiat Chrysler Automóveis Brasil Ltda, Av. Contorno, nº 3455, Bairro Paulo Camilo, galpão 03 Sala, Betim, Minas Gerais, CEP 32669-900

Abstract: Computer Aided Engineering (CAE) systems are developed to simulate real-world applications and can aid in design and manufacturing steps. The most widespread CAE systems are based on the finite element method (FEM) and are widely used for structural calculations involving static and cyclic stresses. Machining is a removal material manufacture process that when giving the piece shape, dimensions and finish, produces chip. The main goal of this work was to analyze and compare the results of tensile and fatigue strength obtained experimentally and simulated by means of the FEM, through software ABAQUS® and virtual fatigue software lab, in order to verify the life in axial fatigue of ABNT 4140 steel in the condition of being machined by the computer numerical command (CNC) turning process. In order to obtain the fatigue strength, the stress-number of cycles (S-N) method was used together with the high cycle fatigue domain for the group of ABNT 4140 laminated and machined by CNC specimens. Experimental fatigue tests were performed in an axial fatigue machine, where the specimens were subjected to traction-traction cyclic tests at room temperature and strain $R = 0.1$. The results showed that the finite element method proved to be reliable for the validation of the experimental tests.

Keywords: Aço ABNT 4140, Comando Numérico Computadorizado, Fadiga, Método de Elementos Finitos (MEF).