

Análise Experimental de Tensões em uma Viatura Militar de Carroceria Tubular – CONEM2012-0609

Bruno Felipe Silva

Cláudio Vidal Teixeira

Pedro Henrique Marins dos Santos Sousa

Dario Oscar Noé

RESUMO

A finalidade deste trabalho é analisar, em uma viatura de emprego geral de duas toneladas, a rigidez torcional da carroceria de perfil tubular. Neste estudo foram utilizados os resultados de uma simulação por meio do método de elementos finitos para escolher os pontos críticos. A obtenção dos dados foi feita por meio do sistema de aquisição National Instruments SCXI; e extensômetros de resistência elétrica (strain gages) foram empregados para avaliar o nível de tensões e deformações nos pontos críticos, com a viatura trafegando em uma pista de obstáculos padronizados. Os resultados mostram que as tensões estão abaixo da tensão admissível, e que há uma correlação adequada entre as análises experimental e numérica.

Palavras-chave: Análise de tensões, Extensometria, Veículos militares.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma metodologia para analisar experimentalmente as tensões em uma viatura militar de carroceria tubular exposta na Figura (1).



Figura 1 - Viatura Leve de Emprego Geral Aerotransportável.

Inicialmente foi feita a escolha dos pontos críticos, tomando com base o estudo realizado por Ringegni et al., (2002) que modelou a carroceria tubular da viatura citada da seguinte forma: foram aplicadas cargas estáticas para simular as cargas a que a viatura está submetida trafegando em estradas pavimentadas; e foi utilizado o método de elementos finitos para obter os resultados relativos às tensões correspondentes a cargas estáticas aplicadas e, conseqüentemente, as indicações sobre quais pontos são mais criticamente solicitados.

De posse da localização dos pontos críticos foram aplicados extensômetros de resistência elétrica (strain gages), em seguida, a viatura foi submetida aos testes em pista com obstáculos localizada no Centro Tecnológico do Exército (CTEx) para realizar as medições experimentais por meio de extensometria.

Os resultados obtidos do estudo experimental da viatura trafegando em pista de obstáculo associados aos resultados provenientes do modelo numérico, via método dos elementos finitos, possibilitou avaliar a estrutura quanto ao escoamento. E, baseado nos dados levantados é possível antecipar problemas de durabilidade ainda na fase de engenha-

ria de produto e evitar potenciais problemas nos protótipos. Além disso, a metodologia utilizada e os resultados obtidos são os componentes iniciais para analisar o comportamento da estrutura em relação à fadiga.

2. METODOLOGIA

A Viatura Leve de Emprego Geral Aerotransportável (VLEGA) foi analisada numericamente quanto a rigidez torsional nos sentidos horário e anti-horário com um torque de 10000 Nm, na forma de forças em sentidos opostos conforme mostrado na Figura (2) (Ringegni et al., (2009)).

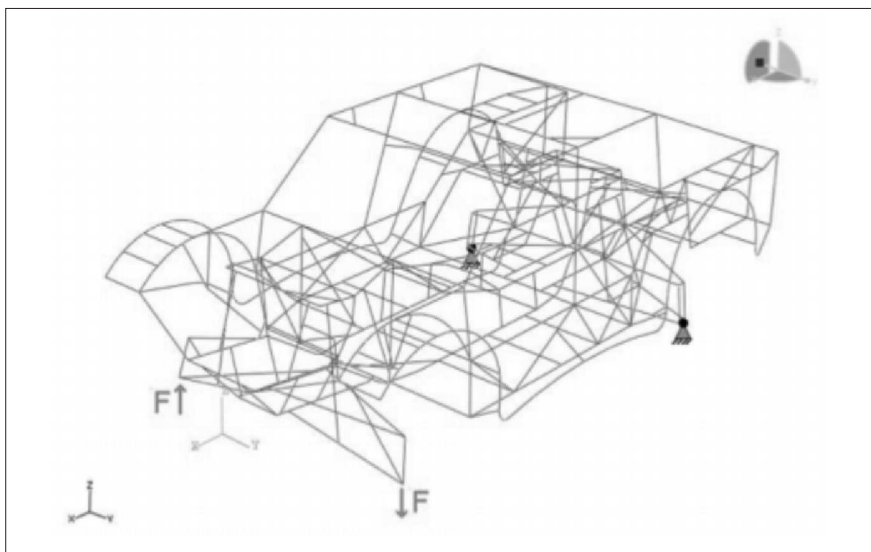


Figura 2 - Geometria, carregamentos e condições de contorno (Ringegni, *et al.* (2009)).

A instrumentação por strain gages foi realizada na carroceria do protótipo no local indicado na simulação de elementos finitos como o ponto crítico, e foi realizada a instrumentação com 3 extensômetros assim dispostos: uma cruzeta de extensômetros a 0° e 90° em relação à barra escolhida, e um terceiro sensor instalado a 315° . Os sensores usados são os Shinkoh PV108 nas direções alinhada e transversal à barra

instrumentada, e Kyowa KFG-5-120-C1-11, posicionado a 315° conforme mostrado na Figura (3). Todos os extensômetros possuem resistência nominal de 120 Ω e gage factor nominal de 2.

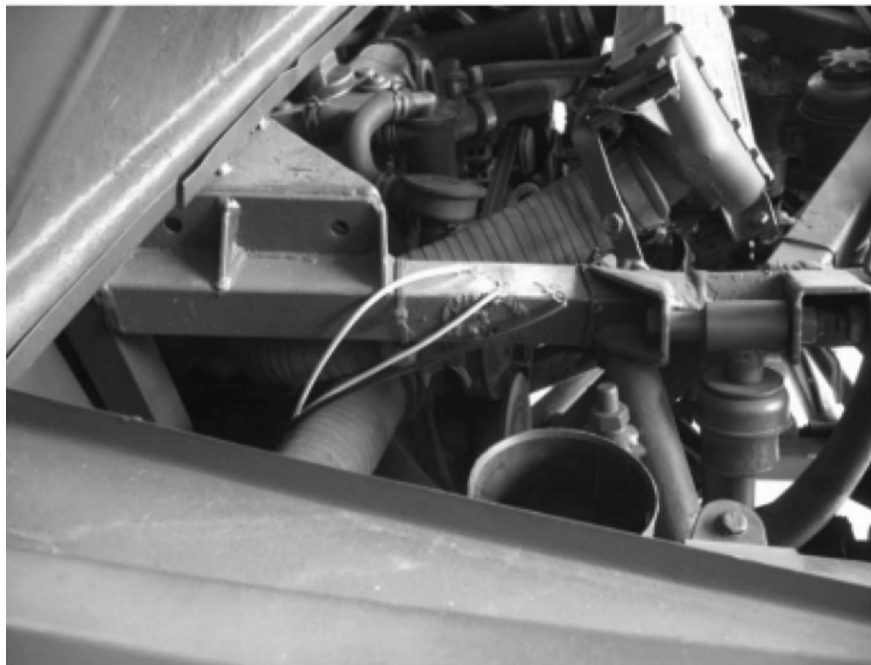


Figura 3 - Detalhe da posição dos extensômetros.

A aquisição de dados foi realizada com o auxílio do condicionador de dados National Instruments SCXI-1000DC com a placa de montagem de extensômetros SCXI-1520. Após a instrumentação, foram medidas as deformações em uma pista de obstáculos padronizada localizada no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), a pista possui obstáculos alternados que provocam torção na estrutura tubular, sendo possível a comparação com a condição considerada no modelo de elementos finitos. A imagem da pista de obstáculos é mostrada na Figura (4).



Figura 4 - Pista de obstáculos.

3. RESULTADOS

A Figura (5) mostra a tensão equivalente de von Mises da estrutura sob torção horária. A tensão máxima é de 70.8 MPa na região dianteira esquerda do veículo.

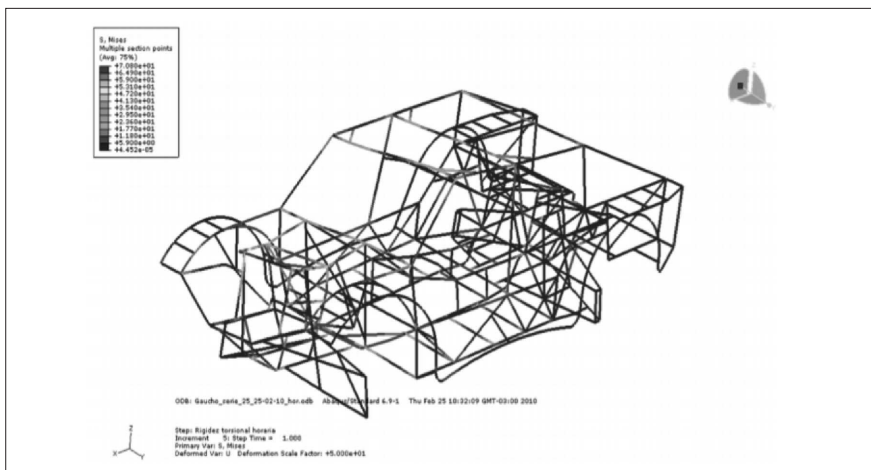


Figura 5 - Tensão de von Mises - torção horária (Ringegni, *et al.* 2009)).

A tensão de von Mises na torção anti-horária é apresentada na Figura (6), e mostra um valor máximo de 75.79 MPa na mesma região da torção.

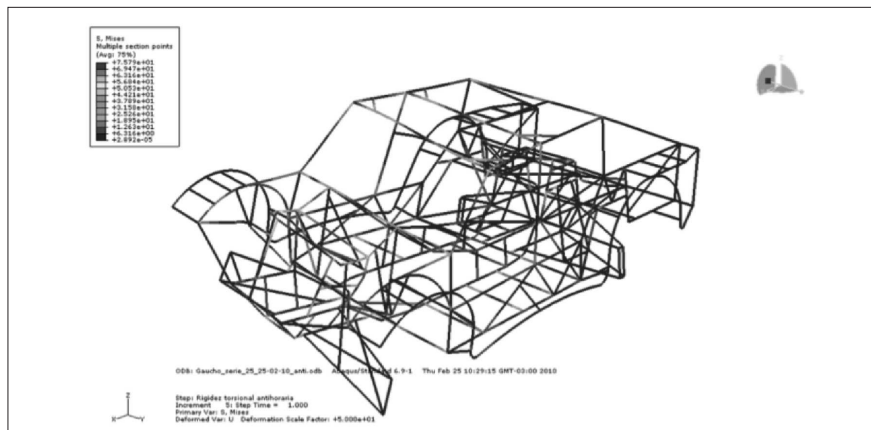


Figura 6 - Tensão de von Mises - torção anti-horária (Ringegni, *et al.* 2009)).

Os resultados da medição na passagem pela pista de obstáculos com filtro passa baixa de 1hz é apresentado na Figura (7), e mostra nas regiões de picos e vales os maiores desníveis entre os obstáculos causando assim as maiores solicitações na estrutura chegando-se a um máximo de 7.10^{-5} no sensor na direção 315°.

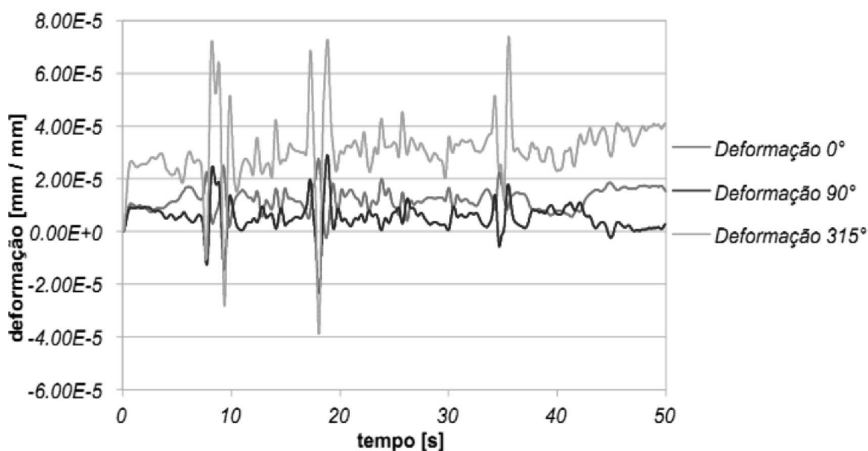


Figura 7 - Deformações lidas pelos extensômetros.

As componentes de deformação foram analisadas para determinação da tensão de von Mises medidas experimentalmente, considerando o estado plano de tensões, e comparando com os cálculos feitos considerando o estado uniaxial de tensões. Para tal, o primeiro passo é determinar as deformações nas direções axiais ϵ_{aa} e ϵ_{bb} , e a tensão cisalhante τ_{xy} . A Figura (8) ilustra o posicionamento de três extensômetros, e as Eqs. (1 a 3) (Beer, et al. (1995)), calculam as deformações ϵ_{aa} , ϵ_{bb} e ϵ_{cc} a partir da leitura dos extensômetros posicionados em ângulos conhecidos θ_a , θ_b e θ_c correspondentes a 0° , 90° , e 315° .

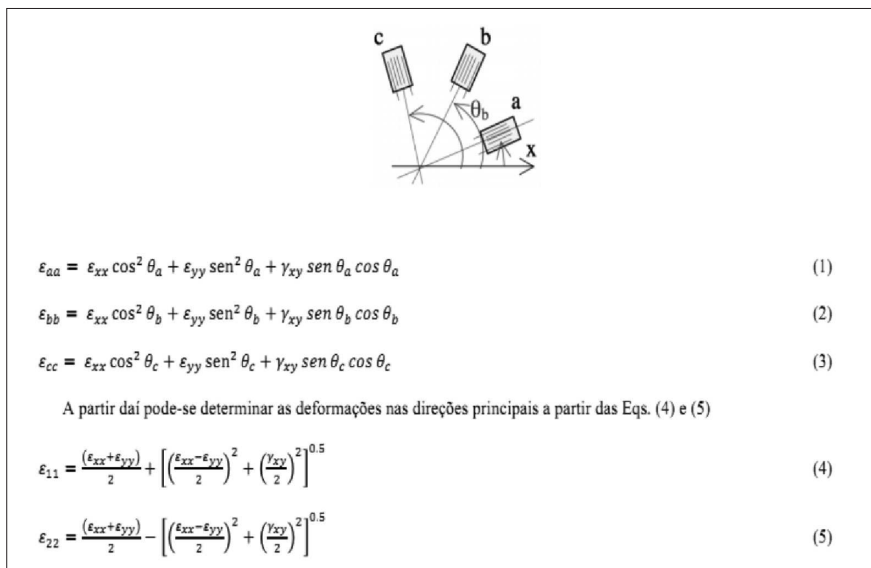


Figura 8 - Deformações lidas pelos extensômetros (Pamplona, 2006).

A Figura (9) mostra as deformações nas duas direções principais em função do tempo. Observa-se que a primeira direção principal é trativa e a segunda compressiva, e que o valor máximo de ϵ_{11} é de 7.10^{-5} .

O ângulo que define essas direções principais pode ser calculado pela Eq. (6). A Figura (10) mostra a direção principal das deformações, e pode-se observar um ângulo próximo a 320° (-40°), na maior parte do percurso. Nos instantes entre 8 e 10s, e entre 16 e 18s,

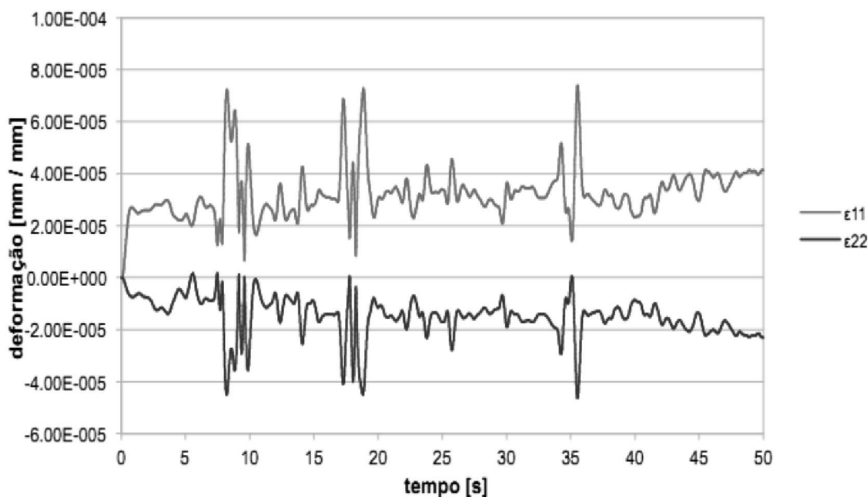


Figura 9 - Deformações nas direções principais.

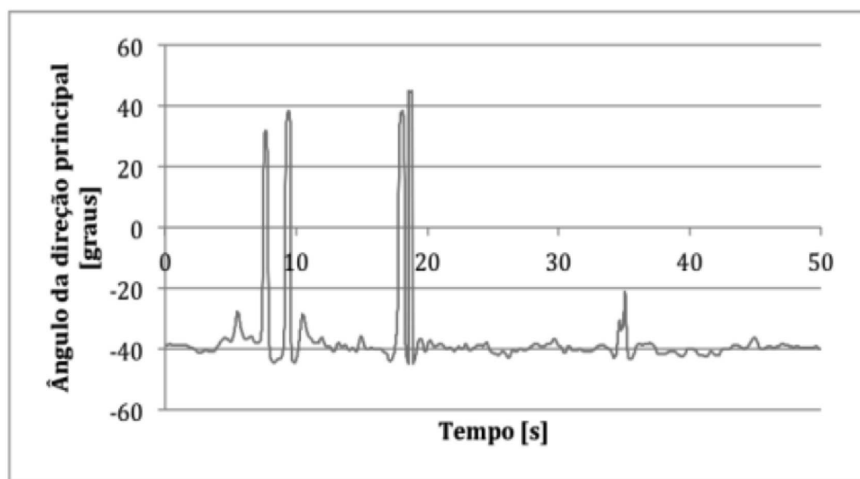


Figura 10 - Deformações nas direções principais.

ocorrem as maiores mudanças nas direções principais, que em instantes críticos, reverte o sentido das deformações em até 90°. Em uma barra, quando o ângulo principal está posicionada a $\pm 45^\circ$, ela corresponde ao estado de cisalhamento puro, isto confirma a hipótese considerada de carregamento de torção. A diferença de 5° entre o ângulo nominal (315°),

e o medido (320°) apresentada na maioria dos pontos no gráfico, deve-se a carregamentos secundários presentes na viatura durante a medição.

$$\tan 2\theta = \frac{\gamma_{xy}}{(\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy})}$$

As tensões principais de acordo com Beer, 1995 podem ser calculadas a partir das Eqs. (7) e (8) e a partir delas a tensão equivalente de von Mises pode ser determinada pela Eq. (9).

$$S_{11} = \left[\frac{E}{(1-\nu^2)} \right] (\epsilon_{11} + \nu\epsilon_{22}) \quad (7)$$

$$S_{22} = \left[\frac{E}{(1-\nu^2)} \right] (\epsilon_{22} + \nu\epsilon_{11}) \quad (8)$$

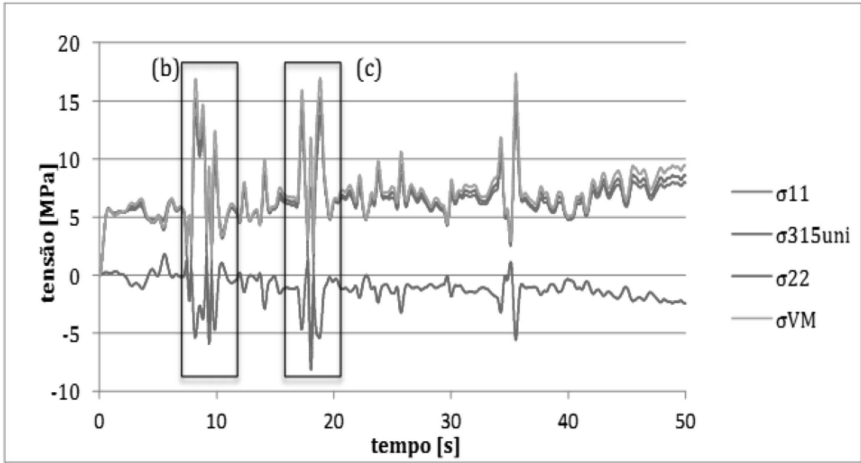
$$S_{VM} = \sqrt{S_{11}^2 - S_{11} \cdot S_{22} + S_{22}^2} \quad (9)$$

O cálculo das tensões quando se considera o estado uniaxial é encontrado na Eq. (10), e é utilizado ao se utilizar as deformações medidas a -45°.

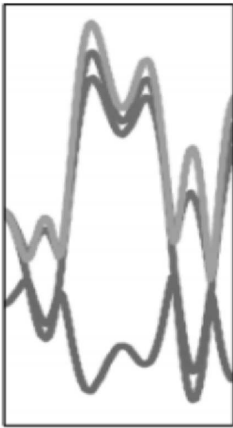
$$\sigma_{\theta\theta} = E \cdot \epsilon_{\theta\theta} \quad (10)$$

Os gráficos com as tensões principais, a tensão de von Mises e a tensão no estado uniaxial são mostrados na Figura (11a), e a partir desses resultados observou-se que a primeira tensão principal é muito próxima à equivalente de von Mises e também ao estado uniaxial de tensões a partir do strain gage posicionado a 315°, como também é mostrado na figura, o que caracteriza um comportamento predominantemente cisalhante condizente com a condição de torção imposta na simulação.

Os instantes em que as tensões principais mudam de direção, passando de um estado trativo para compressivo são amplificados da Figura (11a), e apresentados nas Figuras (11b) e (11c). Pode-se observar a proximidade entre a primeira tensão principal, e de von Mises com a tensão calculada para o estado uniaxial quando este é trativo. Quando a segunda tensão principal é maior que a primeira em módulo (estado compressivo), a tensão uniaxial se aproxima dela. A comparação entre a simulação computacional e o resultado experimental deve levar em conta que o modelo de elementos finitos utilizou um carregamento estático e a modelagem considerou uma suspensão rígida. Segundo Brown et. al, (2002), no caso de uma hipótese de carga estática, deve-se multiplicar o carregamento por um fator dinâmico, e posteriormente por um fator de seguran-



(a)



(b)



(c)

Figura 11 - Componentes de tensão.

ça, os valores recomendados para ambos os parâmetros são indicadas na Tabela (1).

Dividindo-se o valor máximo da análise de elementos finitos, pelos valores recomendados indicados na Tabela (1), as tensões resultantes tornam-se comparáveis às experimentais. Os resultados e suas diferenças percentuais são apresentados na Tabela (2).

	Uso comum	Erz (1957)	Pawlowski (1969)
Fator dinâmico (FD)	2.5	2	2
Fator de segurança (FS)	1.5		1.4 – 1.6 (longe de concentradores de tensão) 1.5 – 2 (suporte de motor e suspensão)

Tabela 1 - Fator dinâmico e coeficiente de segurança (Brown *et al.* (2002)).

			Uso comum	Erz (1957)	Pawlowski (1969)
	Tensão estática (MEF)	Tensão de von Mises (experimental)	MEF / (FD x FS)	MEF / (FD x FS)	MEF / (FD x FS)
Torção horária (diferença percentual)	75.79	17.37	20.21 (+14.1%)	37.90 (+54.2%)	18.95 (+8.3%)

Tabela 2 - Comparação dos resultados de tensão máxima (em MPs) experimentais e os elementos finitos considerando os fatores recomendados.

4. CONCLUSÃO

A análise experimental por extensômetros de resistência elétrica é uma ferramenta poderosa que permite avaliar em estruturas reais as cargas atuantes, e verificar deformações e tensões em fases preliminares de projeto. Como forma de validar um projeto de engenharia após a obtenção de um protótipo físico, e antes de um teste de durabilidade completo, pistas de obstáculos simplificadas podem ser usadas em veículos instrumentados para avaliar considerações de projeto, fatores de segurança e confirmar resultados calculados em etapas preliminares. A análise experimental mediu valores de deformações que, transformados em tensões, são menores que os calculados pelo método numérico, porém foi necessário se considerar que nesse último o amortecimento proporcionado pela suspensão não foi modelado, e que por ter sido realizada uma análise estática, a variação dinâmica não ocorria de forma direta no modelo, esses dois fatores majoraram a carga estática necessária para modelar o fenômeno, e os fatores dinâmico e de segurança encontrados na literatura mostram que os carregamentos numérico e experimental se tornam-se comparáveis a partir do uso dos critérios adotados. Observou-se que o estado de carregamento é de torção pura na barra analisada em sua posição crítica. A tensão de von Mises considerando o estado plano de tensões é comparável ao estado de tensões uniaxial a 315°. O método de medição das tensões poderá permitir a análise de fadiga em componentes reais,

uma vez que pode ser conhecida a amplitude de tensões nas direções desejadas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Tecnológico do Exército por possibilitar os meios necessários à execução desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

Beer, F.P., Johnston E.R., 1995, “Resistência dos Materiais”, Ed. Markon Books, 3^ª ed., São Paulo, 1255 p.

Pamplona, C. F. M. “Resistência dos Materiais IX”, 2006, Notas de Aula.

Brown, J.C., Robertson, A.J., 2002, “Motor Vehicle Structures”, SAE International, Warrendale, PA, U.S.A, 285 p.

Ringegni, P., Pezzo, A.M., “Simulación por Método de Elementos Finitos de Chassis Jaula del VLEGA 25 Gaucho (Simulación de la Rigidez Torcional von Flexional del Chassis Jaula)”, 2009, Relatório Técnico, La Plata, Argentina.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho. Trabalho apresentado na CONEM 2012 – VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – São Luís - Maranhão - Brasil