

ANÁLISE DE TENSÕES MECÂNICAS RESULTANTES DO IMPACTO DE QUEDA DE PESO EM BARRA DE AÇO AO UTILIZAR EXTENSOMETRIA

Douglas Sthéfanno de Sena Oliveira, douglassthefanno@gmail.com¹

Nilton da Silva Maia, nmaia@cefetmg.br¹

Luiz Leite da Silva, silvall@cdtn.br²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Av. Amazonas, 5253, Bairro Nova Suíça, Belo Horizonte - MG.

²Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Campus da UFMG – Pampulha, Belo Horizonte – MG.

Resumo: O estudo em desenvolvimento se insere no âmbito dos carregamentos dinâmicos dos materiais, que, nestas situações, apresentam comportamento diferente em relação às solicitações estáticas. Para mensurar e avaliar o comportamento de materiais em testes de impacto evidencia-se a necessidade de adoção de procedimentos específicos e avaliações minuciosas caso a caso, pois existem inúmeras variáveis relacionadas além do tempo de aplicação da carga ser curto. Valores superestimados de tensão mecânica, encontrados por meio da análise experimental de tensões por extensometria, em um teste de queda de um casco de armazenamento de substâncias radioativas, instigaram a execução deste estudo de forma a compreender melhor os fenômenos e pormenores relacionados a resposta dos extensômetros aos carregamentos de curta duração. Desse modo, verificou-se neste trabalho, por meio da caracterização de componente estrutural e análise experimental de tensões por extensometria, o nível de tensões mecânicas e o comportamento de um conjunto estrutural acoplado de barra e peso, quando submetido a diferentes magnitudes de esforços repentinos, de modo que se observou nos resultados, tanto a influência de condições experimentais de medição, quanto a influência de especificidades em situações de queda de peso. As avaliações iniciais demonstraram que o peso rebate no flange localizado na porção inferior da barra, ocasionando dois picos majoritários de tensão mecânica em ambos os componentes (barra e peso), dispostos em um curto intervalo de tempo. Ademais, por meio da avaliação do ângulo de fase das Tensões Principais, calculadas em função das deformações percebidas pela Roseta extensométrica, verificou-se a presença de esforço de torção na barra, devido à falha de engastamento na plataforma superior, observada após inspeção visual.

Palavras-chave: Análise Experimental de Tensões, Comportamento Mecânico dos Materiais, Carregamento de Curta Duração.

1. INTRODUÇÃO

Estudos e pesquisas no âmbito do comportamento dos materiais sob esforços de curta duração tem ganhado cada vez mais ênfase, tanto em nível acadêmico, quanto em nível de pesquisa e desenvolvimento em indústrias, como, por exemplo, na indústria automobilística, no estudo de componentes estruturais, e no desenvolvimento de estruturas para armazenamento de transporte de substâncias radioativas, com alto grau de periculosidade para o ser humano.

Para problemas que envolvem esforços estáticos existe uma expertise mais consolidada no âmbito da Engenharia, com uma gama maior de experimentos e de equipamentos que permitem fazer uma previsão do comportamento mecânico dos mais diversos materiais em diversas condições.

No entanto, com relação aos estudos de impacto e de esforços dinâmicos em geral ainda há muito a se desenvolver, pois não são utilizados experimentos padronizados que permitam a medição de deformações e tensões em situações dinâmicas. Por exemplo, de acordo com Kist (2014), as máquinas para Ensaio de Impacto comumente operadas baseiam-se em dados de energia do martelo, não fazendo aferições mais precisas acerca do comportamento dos materiais sob este tipo de carga mecânica.

Desse modo, diversos trabalhos (Paschoalotto; Tokimatsu, 2007 e Server, 2016), corroboram que a maioria dos estudos experimentais nessa área baseiam-se em análises de tensões por extensometria, ainda com diversos pormenores a serem controlados e estudados, devido a todas as variáveis complexas envolvidas neste tipo de solicitação. Dentre os tipos de experimentos mais comuns nesse âmbito se inserem os trabalhos de Ensaio de Impacto Instrumentados,

principalmente o Ensaio Charpy, que utilizam strain gages no corpo de prova e no Martelo. Entretanto, são recorrentes a presença de ruídos e a perda de qualidade de aquisição de sinal nos corpos de prova.

Em uma aplicação específica da Engenharia Estrutural, nomeadamente o desenvolvimento de cascos para transporte e armazenamento de substâncias radioativas, instigou-se o aprofundamento de estudos do fenômeno de Impacto em estruturas, tanto na área experimental, como na área de simulação, pois algumas das recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica para validação destes dispositivos é a execução de testes de queda em solo a partir de 9 m de altura, conforme abordado em Mattar Neto; Mourão (2002)

Nas observações contidas em Silva (2011), percebe-se que, em ensaios dinâmicos, para leitura correta da deformação percebida pelo strain gage, o sistema de aquisição de dados deve ser robusto o suficiente para gravar corretamente a forma da onda dinâmica de resposta, principalmente em testes de queda. Entretanto, em geral, é difícil verificar a acurácia do método num modelo de casco complexo usando somente os resultados de um ensaio de queda, por causa do processo de impacto complexo e a estrutura complexa de tais compartimentos.

Alguns autores estabelecem uma abordagem teórica com concepção similar ao teste de queda deste presente trabalho, conforme exemplificado em Gere (2003), que analisa matematicamente um teste de queda de argola, que corre por uma barra cilíndrica, e se encaixa idealmente em um flange acoplado na porção inferior da barra, no momento do choque.

Gere (2003) afirma que a partir da consideração de um estado de proporcionalidade de tensões e deformações, é possível estabelecer um balanço de energias que se transformam no decorrer do evento de choque, pois, determina-se que a condição principal é baseada no fato da energia absorvida da barra ser totalmente proveniente do trabalho da carga, desde que várias condições simplificadoras sejam observadas: Desconsidera-se nesta abordagem cálculo-teórica qualquer perda de energia, mudança de energia potencial da barra e o efeito do peso próprio do peso; Em paralelo, considera-se que o encaixe do peso no flange é ideal e que as tensões na barra são uniformes e permanecem no intervalo estático linear.

Haja vista o estado da arte, o Projeto desenvolvido pretendeu analisar, por meio da extensometria, o comportamento e os níveis de tensão mecânica de uma estrutura metálica em aço, fabricada para esse propósito, submetida a diferentes níveis de impacto, instrumentada em quatro pontos de redução da seção, primordialmente cilíndrica. Com isso, pretendeu-se identificar a influência de parâmetros importantes do estudo extensométrico, de modo a instigar uma melhor resolução deste tipo de análise, principalmente em situações de aquisições de dados em intervalos muito curtos, contribuindo para o desenvolvimento de maior experiência na utilização da extensometria em ensaios dinâmicos com alta taxa de deformação (impacto).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, ressalta-se que foi necessário realizar a caracterização microestrutural e mecânica do material da barra de aço, por meio de análise química, metalográfica e ensaio de tração padrão. Essa caracterização teve como principal intuito a mensuração real das propriedades do material, principalmente composição química e módulo de elasticidade, com o intuito de presumir especificidades de seu comportamento mecânico, de modo a possibilitar a definição coerente dos parâmetros necessários para montagem do Ensaio de queda criado, bem como para o cálculo dos esforços após execução dos testes.

Subsequentemente, partiu-se para a concepção de um Ensaio de Impacto com queda de peso, que consistiu em prender verticalmente em um suporte, por meio de rosca, uma das extremidades da barra, representada na Fig. 1, deixando um peso determinado (16,2 Kg), de formato cilíndrico, que envolve a barra, cair de alturas diferentes. Cada queda proporciona um esforço de impacto por meio do choque numa flange que está acoplada na outra extremidade, e serve de anteparo para o peso. A Figura 2 revela a montagem do experimento realizado, no qual foram definidas as alturas de 250mm, 500mm, 750mm, 1000mm, 1250mm e 1500mm; E, as quedas foram realizadas 5 vezes em cada altura para possibilitar amostragem de dados.

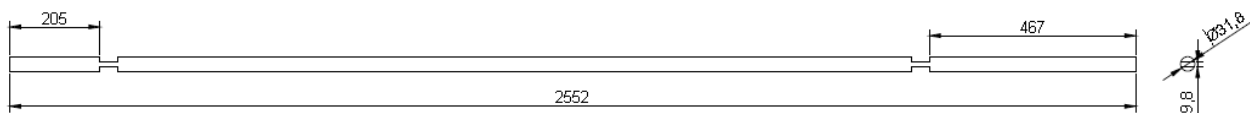


Figura 1: Desenho técnico da Barra em posição horizontal.

A Figura 2(a) revela uma imagem real do experimento de queda montado, com o peso em repouso sobre o flange, na extremidade inferior da barra. Essa barra foi instrumentada em quatro pontos, nas faces correspondentes das seções críticas retangulares, sendo um dos sensores utilizados uma Roseta extensométrica, localizada na seção superior (Fig. 2(c)), e os demais extensômetros uniaxiais (Fig. 2(b)) localizados nas três faces restantes das seções. O peso foi instrumentado com dois extensômetros uniaxiais, em dois pontos laterais, um mais próximo da superfície de impacto com o flange, e outro próximo a superfície oposta, conforme pode ser verificado na Fig. 3.

Ressalta-se que foram seguidos todos os procedimentos usuais para a seleção, colagem, impermeabilização e ligação elétrica dos strain gages em um quarto de Ponte de Wheatstone. Todos os strain gages utilizados (uniaxiais e rosetas) possuem resistência elétrica nominal de $120\Omega \pm 0,1\%$ e fator do strain gage (K) de $2,11 \pm 0,1\%$. A tensão de alimentação (Valim) foi coletada continuamente no módulo de aquisição de dados, completando todos os parâmetros necessários para o cálculo das deformações na estrutura no decorrer do tempo. A taxa de aquisição de dados utilizada foi de 25KSamples/s,

ou seja, 25.000 dados por segundo, pois a taxa de aquisição deve ser alta o suficiente para que a sensibilidade de medição aumente significativamente, devido ao intervalo curto de tempo de aplicação da carga.

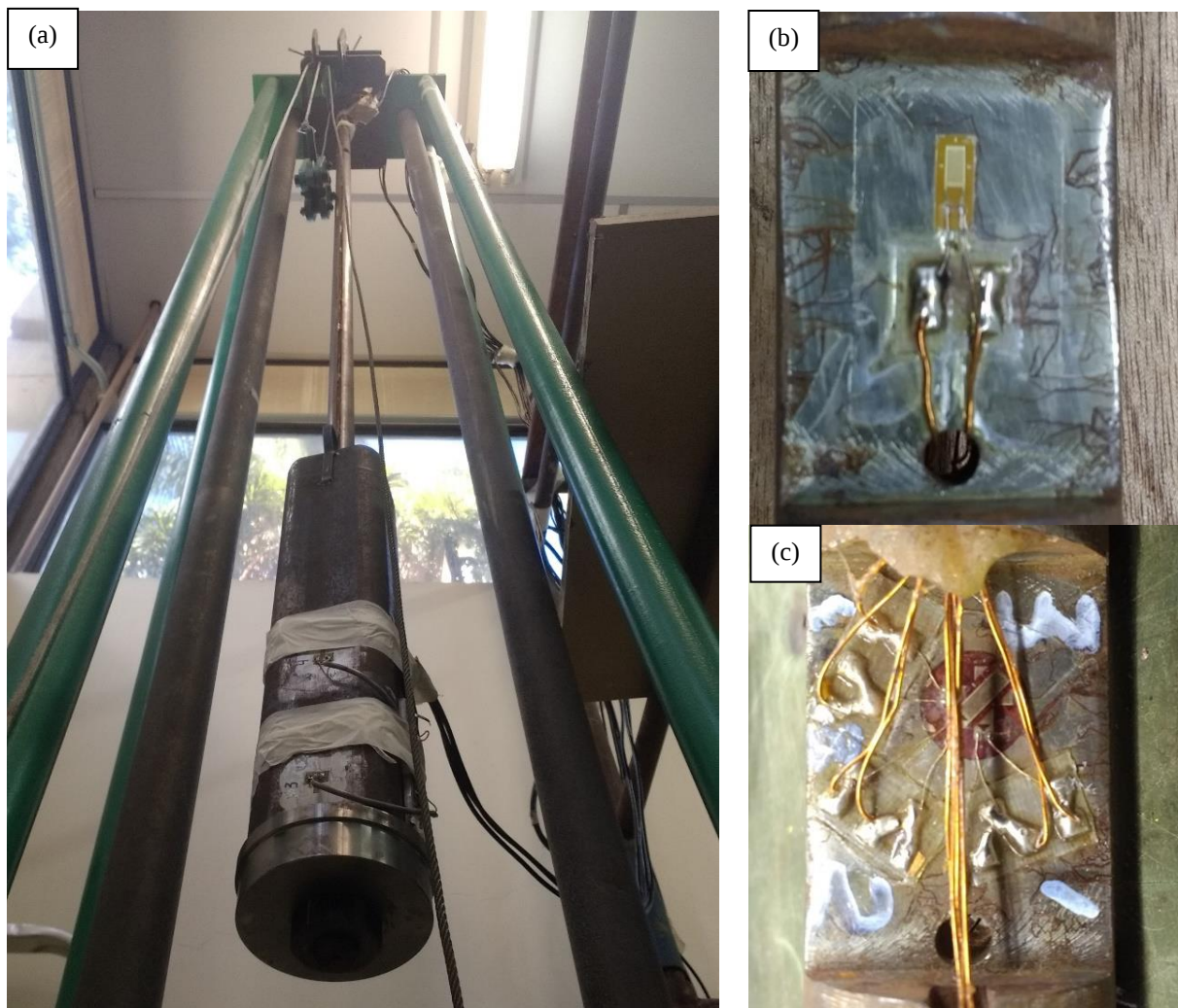


Figura 2: Montagem real da estrutura do experimento (a) Montagem do experimento; (b) Extensômetro Uniaxial na estrutura; (c) Roseta Extensométrica na estrutura.



Figura 3: Extensômetros uniaxiais colados no peso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da caracterização da composição do material demonstraram que se tratava de um aço, especificamente médio carbono, devido ao valor médio de teor de C de 0,51 %, sendo provavelmente um aço AISI 1050, de acordo com o teor médio dos componentes principais, expostos na Tab. 1. No que tange a caracterização mecânica, os resultados de ensaio de tração demonstraram um módulo de elasticidade (E) médio de aproximadamente 186 ± 2 GPa, e o coeficiente de Poisson (ν) utilizado para o cálculo das tensões principais da Roseta foi de 0,29.

Tabela 1 – Composições dos elementos principais do Aço da Barra/Peso.

Elemento	Fe	C	P	S
Composição média (%)	98,23	0,51	0,01	0,02

O cálculo das deformações na estrutura foi realizado considerando-se a ligação em um quatro de ponte de Wheatstone, por meio da Eq. (1), sendo ε , a deformação; ΔV , o desequilíbrio da Ponte; K, o fator do strain gage e V_{alim} , a tensão elétrica de alimentação:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot \Delta V}{K \cdot V_{\text{alim}}} \quad (1)$$

As tensões mecânicas, no caso dos extensômetros uniaxiais, foi obtida pela multiplicação da deformação pelo módulo de elasticidade (E), seguindo a Lei de Hooke, pois, considera-se que os componentes somente atuam no regime elástico. Desse modo, calculou-se as tensões mecânicas para cada extensômetro uniaxial, por meio da Eq. (2), sendo σ , a tensão mecânica; E, o módulo de elasticidade; e ε , a deformação.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Nos cálculos da Roseta, utiliza-se ainda outras equações para obtenção das tensões e deformações máximas e mínimas, com o intuito de verificar se existem carregamentos diferentes do esperado, por meio também de uma avaliação do ângulo de fase destas.

A avaliação deste ângulo de fase se revela muito importante para verificar o perfil de carregamento em estruturas complexas nas quais não se antevem profundamente o comportamento, pois é possível verificar o tipo de esforço presente, a direção das deformações principais, dentre outros aspectos. A Equação (3) forneceu o cálculo das tensões máximas e mínimas, enquanto que a Eq. (4) foi utilizada para o cálculo do ângulo de fase, sendo ε_1 , a deformação no eixo vertical; ε_2 , a deformação no eixo diagonal (45°); ε_3 , a deformação no eixo horizontal; ν , o coeficiente de Poisson; e ϕ , o ângulo de fase:

$$\sigma_{\text{MÁX, MÍN}} = \frac{E}{2} \left[\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{1 - \nu} \pm \frac{1}{1 + \nu} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + [2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)]^2} \right] \quad (3)$$

$$\phi_{\text{MÁX, MÍN}} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \right) \quad (4)$$

Os resultados do teste de queda de peso estão expostos na Tab. 2 na forma de valor médio de Tensões Máximas dos Strain gages uniaxiais da barra (SGB) e dos strain gages uniaxiais do peso (SGP), cada um com sua respectiva identificação de localização (inferior ou superior).

Tabela 2 – Valores médios das tensões mecânicas máximas, em MPa, para cada altura de queda.

ALTURA DE QUEDA	BARRA	Média	Desvio padrão	PESO	Média	Desvio padrão
250mm	SGB1 inferior	57,8	5,4	SGP superior	36,7	3,5
	SGB2 inferior	75,3	10,3	SGP inferior	11,2	1,6
	SGB1 superior	83,7	2,3	-	-	-
	Roseta Superior	65,6	4,6	-	-	-
500mm	SGB1 inferior	90,5	8,7	SGP superior	20,3	6,8
	SGB2 inferior	110,8	7,1	SGP inferior	19,6	5,5
	SGB1 superior	97,9	6,5	-	-	-
	Roseta Superior	93,6	7,1	-	-	-

750mm	SGB1 inferior	111,8	14,6	SGP superior	25,6	5,7
	SGB2 inferior	139,3	13,6	SGP inferior	24,6	5,6
	SGB1 superior	120,1	4,1	-	-	-
	Roseta Superior	105,9	2,8	-	-	-
1000mm	SGB1 inferior	149,3	18,0	SGP superior	-	-
	SGB2 inferior	147,2	12,6	SGP inferior	21,8	6,8
	SGB1 superior	139,9	5,0	-	-	-
	Roseta Superior	130,0	3,1	-	-	-
1250mm	SGB1 inferior	176,4	11,0	SGP superior	-	-
	SGB2 inferior	160,2	14,8	SGP inferior	30,1	5,0
	SGB1 superior	167,3	7,2	-	-	-
	Roseta Superior	146,0	3,0	-	-	-
1500mm	SGB1 inferior	187,0	10,1	SGP superior	-	-
	SGB2 inferior	178,5	13,4	SGP inferior	37,6	9,4
	SGB1 superior	205,8	10,8	-	-	-
	Roseta Superior	166,3	7,4	-	-	-

Os valores expressos na Tab. 2 representam as médias dos picos de tensão obtidos nas cinco quedas realizadas em cada altura, sendo que os extensômetros inferiores estão mais próximos do ponto de choque com o flange e os extensômetros superiores estão mais afastados deste ponto de choque.

3.1 Tensões de Pico versus Alturas de queda

A Figura 4 apresenta um gráfico que correlaciona a Tensão de pico máxima na Barra (MPa) com as alturas de queda (mm), na medição em Strain gage uniaxial localizado na porção inferior da barra. Ou seja, neste gráfico e nos demais desta seção, procurou-se correlacionar as médias dos picos de tensão obtidos das medições em cada altura, contendo a representação dos devidos desvios, com o objetivo de identificar alguma tendência.

A linha de tendência utilizada corresponde a uma função parabólica, que ofereceu uma correlação razoável, demonstrando o aumento da Tensão de pico, com o aumento da altura de queda, e, além disso, vale ressaltar que, se extrapolarmos a curva no eixo x, provavelmente ficaria perceptível a tendência a um pico máximo, pois a porção da curva no gráfico é crescente, no entanto a taxa de crescimento diminui à medida que se aumenta a altura de queda. Este pico máximo de tensão provavelmente poderia ser associado a um limite de resistência do material, caso fosse possível uma padronização mais eficiente do protótipo, de modo que as condições de projeto não tivessem tanto efeito nos resultados.

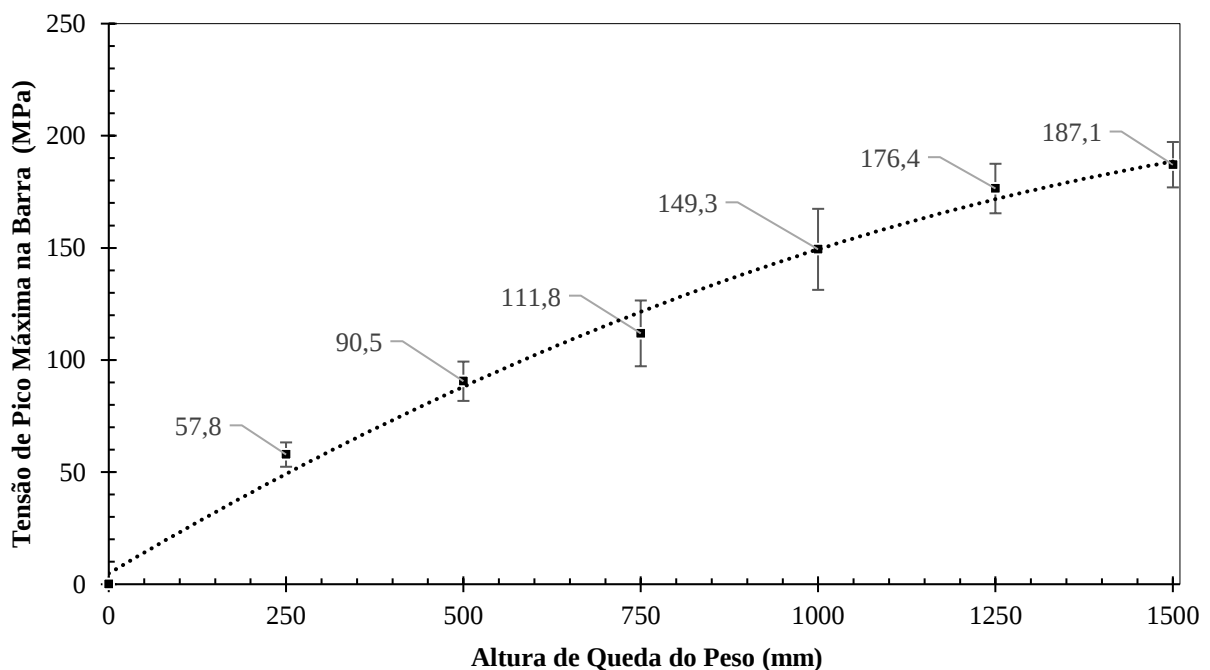


Figura 4: Correlação da Tensão de Pico Máxima (MPa) com a altura de queda (mm) medidos no Strain gage uniaxial (SGB1) inferior da Barra

No que se refere a medição na porção superior, percebe-se, pela Fig. 5, que mais pontos não seguem a linha de tendência parabólica, demonstrando-se uma maior variabilidade de resultados. Acredita-se que, essa maior variabilidade na medição ocorreu devido ao comprimento relativamente grande da barra, de modo que, neste caso, a onda de tensão tem mais tempo e meios para se dissipar do ponto de choque até o ponto de medição.

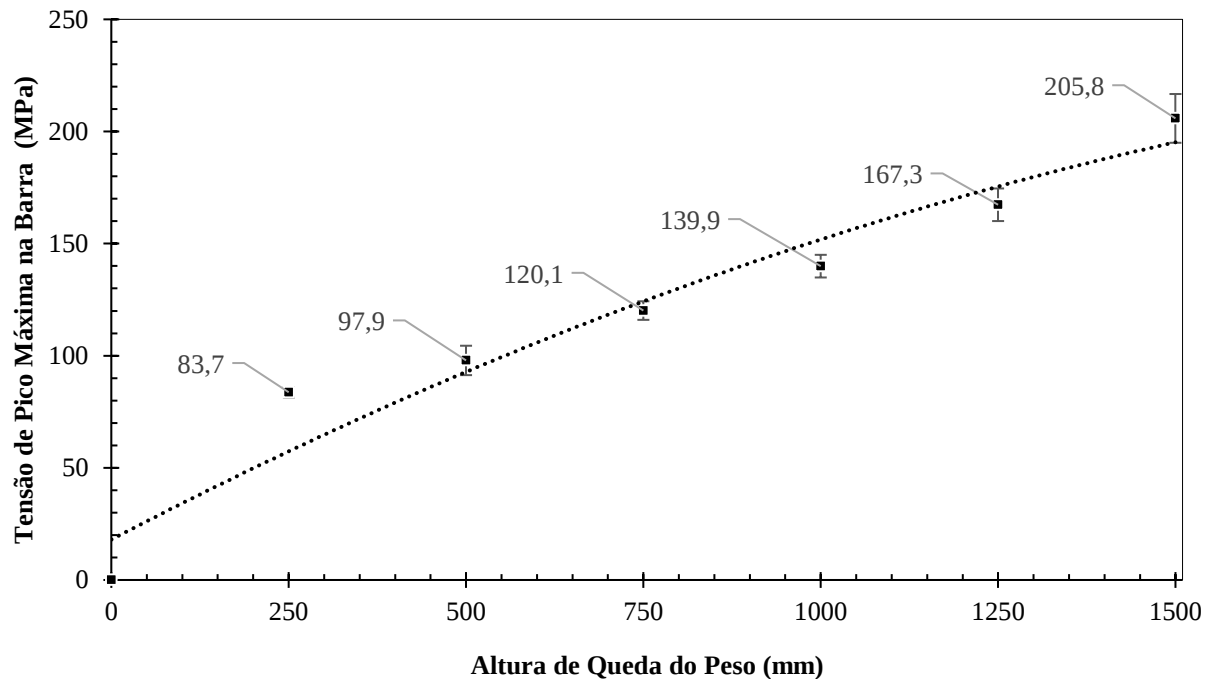


Figura 5: Correlação da Tensão de Pico Máxima (MPa) com a altura de queda (mm) medidos no Strain gage uniaxial (SGB1) superior da Barra

Para as medições de tensão mecânica no Peso, conforme gráfico de tendência da Fig. 6., percebeu-se ainda maior variabilidade dos resultados, com desvios-padrão maiores do que nas medições na barra. Um conjunto de efeitos podem ser responsáveis por esta observação, no entanto, ressalta-se que, como o peso corre livremente pela barra, ele tem mais graus de liberdade para se movimentar, e, portanto, cada queda pode proporcionar diferentes movimentações no mesmo, como: pequeno giro em torno do eixo da barra, rebatimento no momento de colisão com o flange, dentre outros.

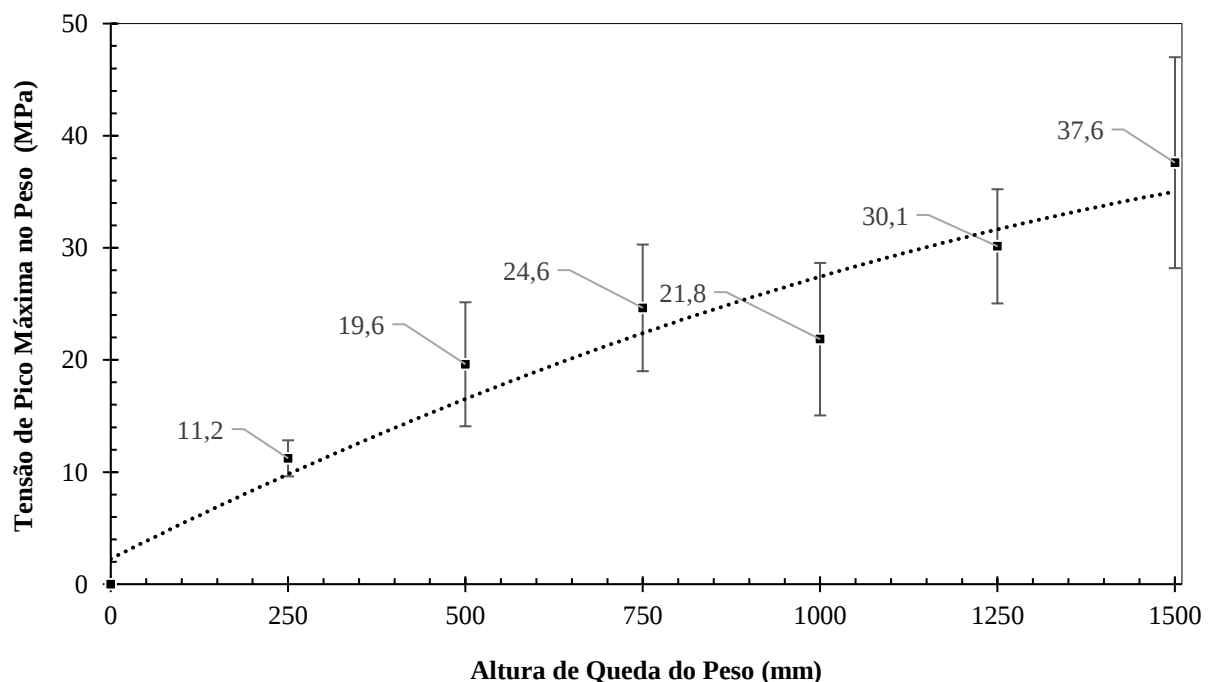


Figura 6: Correlação da Tensão de Pico Máxima (MPa) com a altura de queda (mm) medidos no Strain gage uniaxial (SGP) inferior do peso

A tendência das tensões máximas calculadas na Roseta apresentou também alguns pontos de maior variabilidade, conforme Fig. 7, porém, deve-se levar em consideração que os cálculos matemáticos apresentam mais variáveis que os cálculos para extensômetros uniaxiais, de modo que os desvios a cada medida podem ter sido majorados. Além disso, neste caso, como para cada valor de tensão existe um ângulo de fase associado, torna-se incompleta a avaliação de uma tendência somente por meio dos picos de tensão, pois deve-se definir também os ângulos correspondentes aos mesmos.

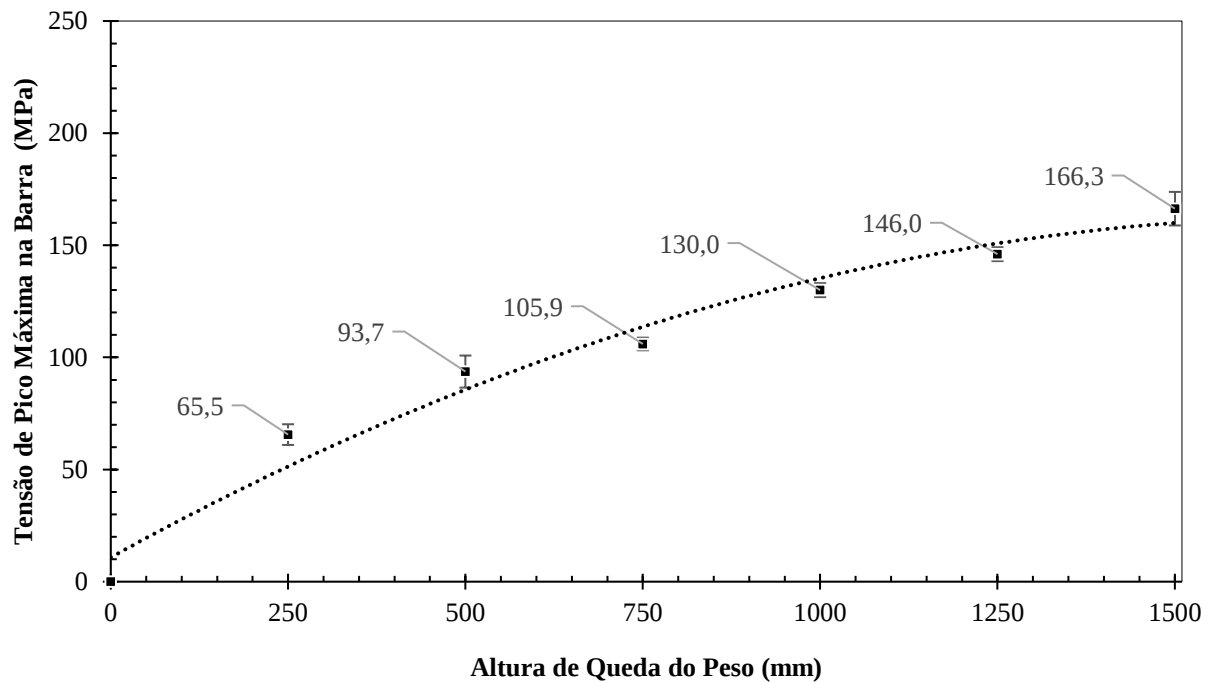


Figura 7: Correlação da Tensão de Pico Máxima (MPa) com a altura de queda (mm) medidos na Roseta da barra localizada na porção superior

3.2 Tensões Mecânicas *versus* Tempo para altura de queda de 1500mm

Foram elaborados gráficos de Tensão mecânica (MPa) por tempo(s), para identificar o(s) pico(s) de tensão(ões) presentes no intervalo de tempo de medição, em uma queda de peso da altura de 1500mm, dispostos nas Fig. 8 e 9.

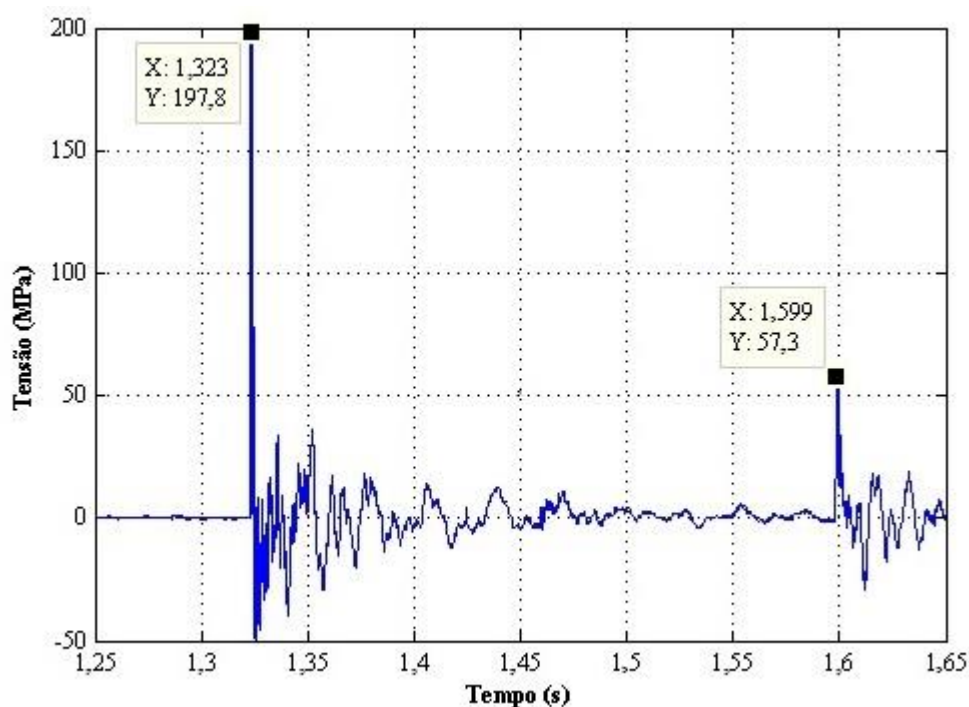


Figura 8: Gráfico da Tensão Mecânica (MPa) x Tempo (s) medidos pelo Strain gage uniaxial da Barra (SGB1) inferior em uma queda da altura de 1500mm

Escolheu-se aleatoriamente uma coleta de dados de uma queda de peso da maior altura (1500mm), com o intuito de exemplificar e discutir comportamentos da estrutura que se pronunciaram praticamente na totalidade de experimentos do ensaio, em todas as alturas de queda. Tanto na Figura 8, quanto na Figura 9, verifica-se a presença de um pico máximo principal e de um pico intermediário, sendo que, estes dois picos estão localizados em um intervalo de tempo de medição de aproximadamente 3s. Isso corrobora novamente as recomendações da literatura referente a necessidade de uma taxa de aquisição de dados alta, para não mascarar nenhum fenômeno, comportamento ou medida.

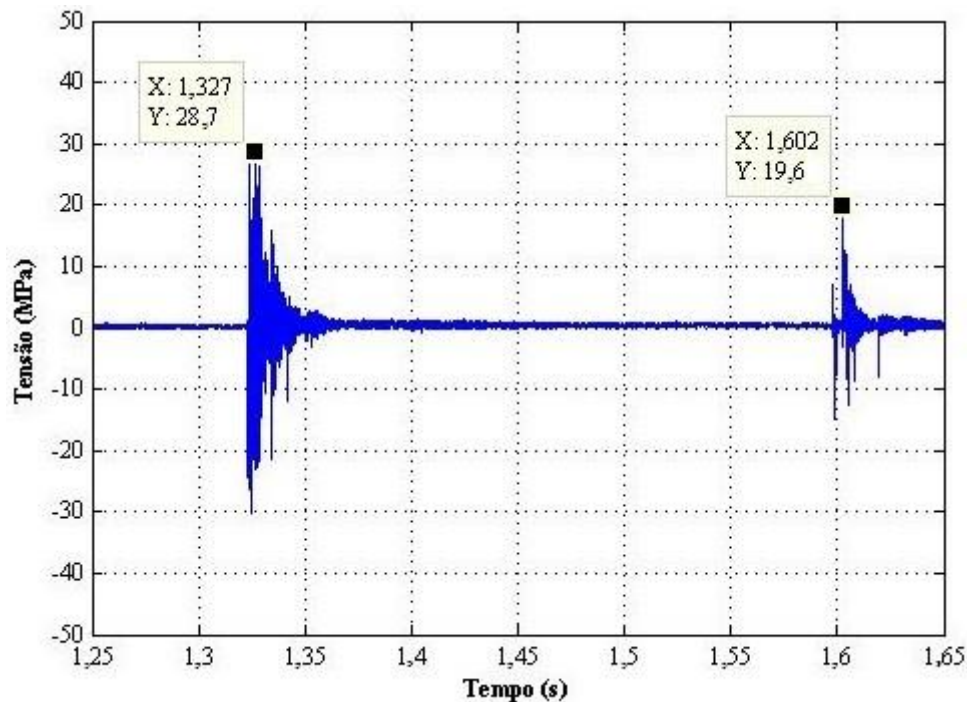


Figura 9: Gráfico da Tensão Mecânica (MPa) x Tempo (s) medidos pelo Strain gage uniaxial do Peso (SGP) inferior em uma queda da altura de 1500mm

Além disso, verificou-se por meio de gravação de vídeo em câmera lenta, que o Peso rebate no flange na hora da colisão, ou seja, o mesmo não se encaixa idealmente no primeiro impacto, corroborando o fato de haverem dois picos de medição. Nas medições das tensões no Peso, para a mesma queda da altura de 1500 mm, também estão presentes dois picos, no mesmo intervalo de tempo, confirmando o fato de que as estruturas colidem inelasticamente no primeiro instante, apresentando um pico de tensão secundário, seguido de oscilação dos valores de tensão até alcançar novamente o zero.

3.3 Ângulo de fase versus Tempo para altura de queda de 1500mm

Curiosamente, descobriu-se em todas as medições com Roseta, que o ângulo de fase variava de 0° para aproximadamente 45° nos momentos de carregamento e propagação da onda de tensão, conforme pode ser observado no Gráfico de Ângulo de Fase ($^\circ$) versus Tempo (s) para uma queda de 1500 mm, na Fig. 10. Um ângulo de 45° nestes casos geralmente indica a presença de um esforço de torção na estrutura, pois este é o ângulo característico com as tensões principais.

Verificou-se, após inspeção minuciosa da estrutura, que a barra estava rotacionando na parte superior nos momentos de queda do peso, ou seja, desenroscando-se da plataforma superior, na qual estava presa por meio de rosca, e, por este motivo, admitiu-se, em concordância com os resultados do ângulo de fase, que houve um esforço de torção na barra, que não era esperado na concepção teórica e de montagem do experimento.

A utilização da Roseta foi essencial para verificar esse fenômeno, pois, utilizando-se somente extensômetros uniaxiais, não seria possível identificar a presença de carregamentos além do vertical, visto que, a princípio, a concepção teórica do projeto, similarmente à abordagem de Gere (2003), deveria ter como referência uma condição ideal de choque no qual o peso colide e se encaixa idealmente no flange, de modo que exista uma conservação da energia no sistema.

No entanto, sabe-se que satisfazer todas as condições teóricas em uma estrutura real é praticamente impossível, devido à inúmeras condições restritivas inerentes ao projeto, bem como as condições físicas usuais, como perda de energia, atrito, dentre outros.

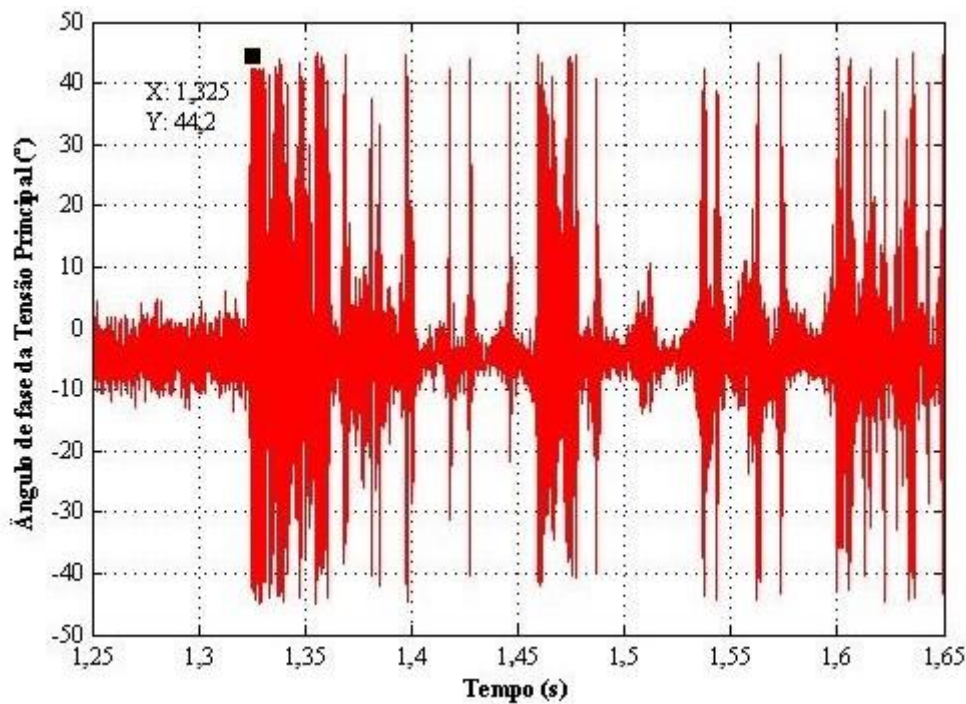


Figura 10: Gráfico do Ângulo de Fase (°) x Tempo (s) medidos pela Roseta superior da Barra em uma queda da altura de 1500mm

4. CONCLUSÃO

Primeiramente, ressalta-se que a caracterização do material da barra permitiu possuir maior confiabilidade nos parâmetros importantes para o estudo de impacto, pois os cálculos de tensões por meio da extensometria utilizam destes dados, principalmente o Módulo de Elasticidade (E). Por meio destes cálculos da extensometria e da repetibilidade de ensaios, foi possível também identificar e discutir tendências de comportamento das Tensões de pico em relação as alturas de queda do experimento concebido.

Verificou-se, por meio da análise das Tensões instantâneas em relação ao Tempo, em conjunto com uma observação visual em “câmera lenta”, que o peso rebate no flange no momento do primeiro impacto, provocando, portanto, a presença de dois picos de tensão em um curto intervalo de tempo. E, além disso, verificou-se que a utilização de Roseta foi essencial para descobrir uma falha no engastamento da Barra, visto que, a avaliação do ângulo de fase, em conjunto com a inspeção visual da montagem, demonstrou a presença de um esforço de torção devido ao giro na rosca da plataforma superior.

Para as perspectivas futuras pretende-se engastar a barra superiormente por meio de solda, com o intuito de evitar o giro da mesma, e consequentemente, eliminar a presença de torção, bem como pretende-se instrumentar o peso também com uma Roseta Extensométrica, de modo a possibilitar a identificação de carregamentos em outras direções além da direção vertical, e, ademais, vislumbra-se também incluir uma avaliação dos esforços e vibrações por meio de acelerômetros.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CEFET-MG, CDTN, CAPES, FINEP e a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Gere, J. M., 2003, *Mecânica dos Materiais*. Traduzido por: Luiz Fernando de Castro Paiva. 1 ed. São Paulo: Thomson, 689 p.
- Kist, R. F., 2014, “Dimensionamento de uma barra de Hopkinson para ensaios de alta velocidade de deformação em plásticos dúcteis”. 15f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Mattar Neto, M.; Mourão, M. P., 2002, “Regional dual-purpose cask for the storage and transport of research reactor spent fuel.” In: INTERNATIONAL MEETING ON REDUCED ENRICHMENT FOR RESEARCH AND TEST REACTORS, Bariloche, Argentina. Anais... Bariloche: IAEA.
- Paschoalotto, L. A. C.; Moreira, R. F.; Tokimatsu, R. C., 2007, “Captura simultânea dos sinais obtidos do martelo e do corpo-de-prova durante carregamento por impacto em um ensaio charpy instrumentado.” In: XIV CONGRESSO

NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA, Uberlândia. Anais... Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.

Server, W. L., 2016, "Instrumented Charpy Test Review and application to structural integrity". International Journal of Impact Engineering, v. 88, p. 139–152.

Silva, L. L. et. al., 2011, "Testing of a transport cask for research reactor spent fuel." In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABEN, p. 24-28.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho"

ANALYSIS OF MECHANICAL STRESSES RESULTING FROM THE IMPACT OF DROP WEIGHT IN STEEL BAR BY USING EXTENSOMETRY

Douglas Sthéfanno de Sena Oliveira, douglassthefanno@gmail.com¹

Nilton da Silva Maia, nmaia@cefetmg.br¹

Luiz Leite da Silva, silvall@cdtn.br²

¹Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), Av. Amazonas, 5253, Nova Suíça, Belo Horizonte - MG.

²Nuclear Technology Development Center (CDTN), Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Campus of UFMG – Pampulha, Belo Horizonte – MG.

Abstract: *The study under development falls within the scope of dynamic loading of materials, which, in these situations, present different behaviors in relation to static requests. In order to measure and evaluate the behavior of materials in impact tests, it is necessary to adopt specific procedures and detailed evaluations case-by-case, because there are many related variables, beyond the time of application of the load being very short. Overestimated values of mechanical stress, found using experimental stress analysis, in a drop test of a cask for the storage of radioactive substances, instigated the execution of this study, in order to better understand the phenomena and details related to the response of the extensometers to the short duration loads. Thereby, it was verified in this work, by characterization of structural component and experimental stress analysis by extensometry, the level of mechanical stresses and the behavior of a coupled structural set of bar and weight, when subjected to different magnitudes of sudden efforts, so that both the influence of experimental measurement conditions and influence of specificities in situations of drop weight were observed in the results. The initial evaluations showed that the weight rebound in the flange located in the lower portion of the bar, causing two major peaks of mechanical stress in both components (bar and weight), arranged in a short time interval. Moreover, by means of the evaluation of the phase angle of the Principal Stresses, calculated as a function of the deformations perceived by the rosette, the presence of torsional stress was observed in the bar, due to the failure of clamping in the upper platform, observed after visual inspection.*

Keywords: *Experimental Stress Analysis, Mechanical Behavior of Materials, Short-duration loading.*