

## ANÁLISE DE TENSÕES DA SOLDADA NA COLUNA DE DIREÇÃO UTILIZADA EM MOTOCICLETAS

<sup>1</sup>Cardoso, W.S.; <sup>2</sup>de Freitas, B.M.; <sup>1</sup>Méndez, C.A.C.; <sup>2</sup>Silva, R.N.A.; <sup>1</sup>Neto, J.E.;

<sup>1</sup>Lopes, A.P.;

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Mecânica – EST/UEA

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Materiais – EST/UEA

Rua Major Gavínio Viana,6 – Manaus/AM, Brasil – CEP 69095-400

wscr.eng@uea.edu.br

### RESUMO

*Como é importante conhecer a influência dos fatores que comprometem a integridade de peças mecânicas, avaliou-se o efeito das tensões residuais de soldagem em colunas de direção de motocicletas. Após a soldagem MIG, três amostras passaram por tratamento de alívio de tensões e outras três foram mantidas como soldadas. Utilizou-se strain gages lineares próximos à região soldada, submeteu-se duas amostras tratadas e duas não tratadas a ensaios de compressão, pelos extensômetros mensurou-se as deformações agindo no cordão de solda. Nas demais amostras, analisou-se microdureza e caracterizou-se a Zona Afetada pelo Calor (ZAC). Houve pequenas modificações microestruturais e a microdureza foi reduzida nas amostras tratadas. Verificou-se que a prensagem do eixo é responsável por assegurar parte da integridade mecânica da peça, as tensões residuais facilitaram o escoamento local e foi possível caracterizar o comportamento mecânico com as medições extensométricas, podendo-se aplicar em demais estruturas soldadas que possuam prensagem inicial.*

Palavras-chave: Tensões residuais, Strain Gage, tratamento térmico, coluna de direção, ZAC.

### INTRODUÇÃO

A coluna de direção é uma peça localizada na região frontal do chassi de motocicletas que utilizam o sistema de forquilha telescópica na suspensão dianteira, cujos principais componentes são os chamados “garfos”.

Os garfos são mais facilmente entendidos como dois amortecedores hidráulicos com molas internas os quais são ligados por sua região inferior ao eixo em torno do qual a roda dianteira gira e em sua região superior ao quadro da motocicleta <sup>(1)</sup>.

A peça que une os dois garfos entre si e os liga ao quadro do motociclo é chamada de coluna de direção e tem a função de permitir ao motociclista o

movimento de rotação do conjunto guidão-suspensão dianteira-roda dianteira para direita ou esquerda, ou seja, permitindo ao condutor a possibilidade de escolher e seguir a direção desejada ao dirigir.

A coluna de direção de motocicletas é composta basicamente por duas partes: o eixo da coluna e a mesa inferior, sendo que alguns modelos também podem apresentar mesa superior. Estas duas partes são unidas por meio de um ajuste forçado e então soldadas entre si.

De forma geral, a soldagem gera tensões residuais nas regiões próximas ao cordão de solda devido às bruscas variações de temperatura e, portanto, bruscas dilatações térmicas inerentes ao processo.

As tensões residuais podem gerar efeitos negativos sobre a integridade estrutural de componentes mecânicos, como a fratura frágil, a fragilização por hidrogênio e a corrosão sob tensão <sup>(2)</sup>, por isso recomenda-se a realização de tratamentos térmicos pós soldagem (TTPS) para alívio de tensões.

As tensões residuais podem ter seus efeitos gerados sobre as propriedades mecânicas do material avaliados de diversas maneiras. Ensaio de microdureza, tração/compressão e tenacidade ao impacto são os mais comuns aplicados na indústria e nos meios acadêmicos.

Quando é desejado obter características e propriedades mecânicas específicas de determinadas regiões da peça o uso de dispositivos para medição pontual de deformação chamados strain gages é mais recomendado. Neste trabalho, serão utilizados strain gages em amostras que passaram por alívio de tensões e outras em estado natural para verificar as diferenças entre ambas durante ensaios de compressão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Obtenção das amostras

Seis conjuntos de mesa inferior de aço SAE 1035 forjada e eixos tubulares de aço SAE 1025 trefilados a frio sem costura foram recolhidos. O processo de soldagem utilizado foi MIG a 98% Ar e 2% CO<sub>2</sub>, tensão média de 24 V e corrente média de 250 A. O eletrodo utilizado foi o Belgo Bekaert BME-C4 (ER70S-6) de 1,2 mm de diâmetro cuja composição química é dada pelo fabricante na tabela 1.

## Tratamento Térmico e Metalografia

As amostras 4,5 e 6 passaram por tratamento térmico para alívio de tensões durante uma hora a 600°C conforme a norma ASME VIII, div.1, ed. 1992. A temperatura inicial de controle foi de 400°C com taxa de aquecimento de aproximadamente 200°C/h. O resfriamento foi feito lentamente dentro do forno.

Em seguida, as amostras 3 e 4 foram seccionadas em quatro partes: a 0°, 90°, 180° e 270° para análise da microestrutura ao longo do cordão de solda como mostrado na figura 1. As oito partes foram separadas para análise metalográfica de acordo com a norma ASTM E0003-01.

Tabela 1: composição do consumível

Composição Química do Arame (%)			
C	0,06 a 0,15	P	0,025 máx.
Si	0,8 a 1,15	Si	0,035 máx.
Mn	1,4 a 1,85	Cu	0,5 máx.



Figura 1: Regiões dos cortes

## Ensaio de Microdureza

Após os ensaios metalográficos, cada uma das oito partes passou por ensaio de microdureza Vickers de acordo com a norma ASTM E 384-11. As impressões foram feitas usando-se uma carga de 0,3kgf com auxílio do microdurômetro Mitutoyo modelo HM-100 ao longo de uma matriz 7x15, distando 1mm uma da outra, conforme pode ser visto na Figura 2. ‘

### Ensaio de compressão e extensometria

Primeiramente, as quatro amostras restantes tiveram seus tubos seccionados a uma distância de 5cm da mesa inferior para evitar a flambagem durante o ensaio. Em seguida, preparou-se cada amostra para a fixação dos strain gages.

Utilizou-se cola a base de etil cianoacrilato para a colagem de 4 strain gages 1- LY11-6/120 de  $120\Omega$ , um em cada amostra, na parte interna do tubo adjacente ao cordão de solda de acordo com a norma ASTM E1237-93R03, como pode ser visto na figura 3. Os strain gages foram posicionados no sentido axial do tubo. Utilizou-se configuração de meia ponte com um SG ativo e outro inativo de forma que enquanto um SG estivesse na peça ensaiada, outro estaria em repouso e vice versa.

O ensaio foi realizado em uma máquina de ensaio universal INSTRON MODELO 5980 com célula de carga de 150kN de acordo com a norma ASTM E0009-89AR00 e a aquisição de dados se deu a partir do sistema DAQ QuantumX MX840A com software Catman Easy 4.2.2, antes de cada ensaio o sistema de aquisição de dados foi calibrado e zerado.

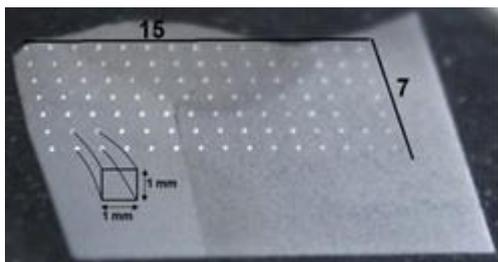


Figura 2: mapeamento de microdureza



Figura 3: posicionamento do strain gage

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio Metalográficos

As figuras 4 e 5 mostram a caracterização microestrutural das cinco regiões de interesse da junta soldada: metal base, zona afetada por calor (ZAC) e metal de

adição (MA) para mesa inferior (I) e eixo da coluna de direção (II) nas condições como soldada e após tratamento térmico pós-soldagem (TTPS). Como as microestruturas desenvolvidas entre as quatro amostras como soldadas (CS) e entre as quatro amostras com tratamento (CT) eram iguais, estão dispostas imagens de apenas um representante de cada grupo.

Percebe-se que não houve grandes alterações microestruturais em nenhuma das regiões analisadas, o que pode ser explicado pela temperatura do tratamento térmico ser abaixo da temperatura de transformação  $Ac_1$ <sup>(2)</sup>.

A microestrutura encontrada tanto em MB I quanto em MBII consiste em ferrita primária intragranular “PF (I)”, ferrita primária de contorno de grão “PF (G)” e perlita “FC (P)”, entretanto, em MBII há um claro bandeamento na direção de trefilação, o que também foi encontrado no trabalho de Lima (2013)<sup>(3)</sup>.

Nas ZACs, observa-se grande redução do tamanho médio dos grãos em relação aos respectivos metais base, ao mesmo tempo a microestrutura começa a apresentar ferrita de segunda fase não-alinhada “FS (NA)”.

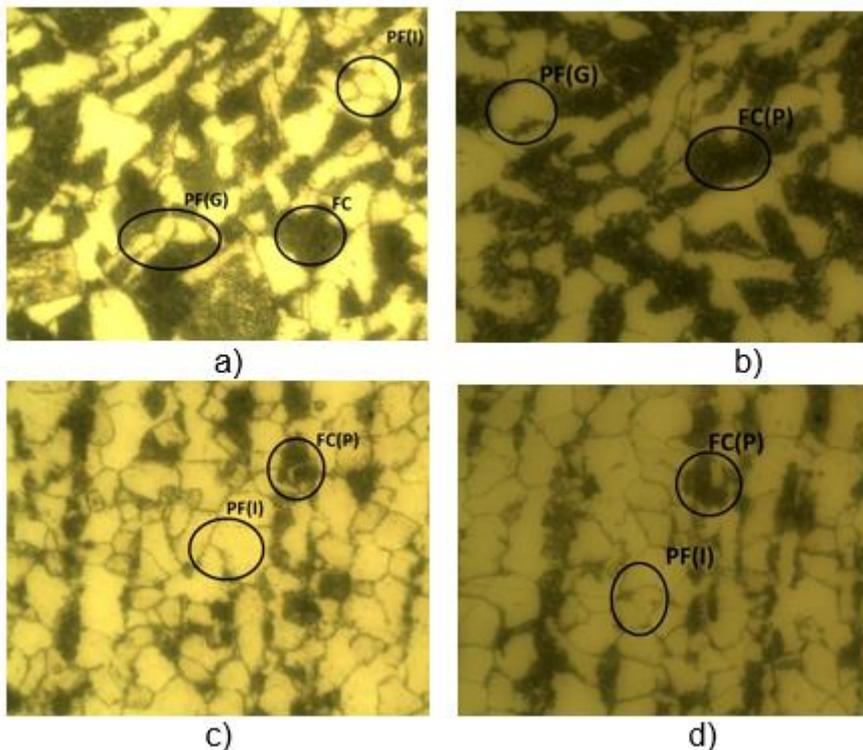


Figura 4 - Metal Base I: como soldado (a), TTPS (b); Metal Base II: como soldado (c), TTPS (d); ZAC I: como soldado (e), TTPS (f). Ataque Nital 2%. Aumento 400X.

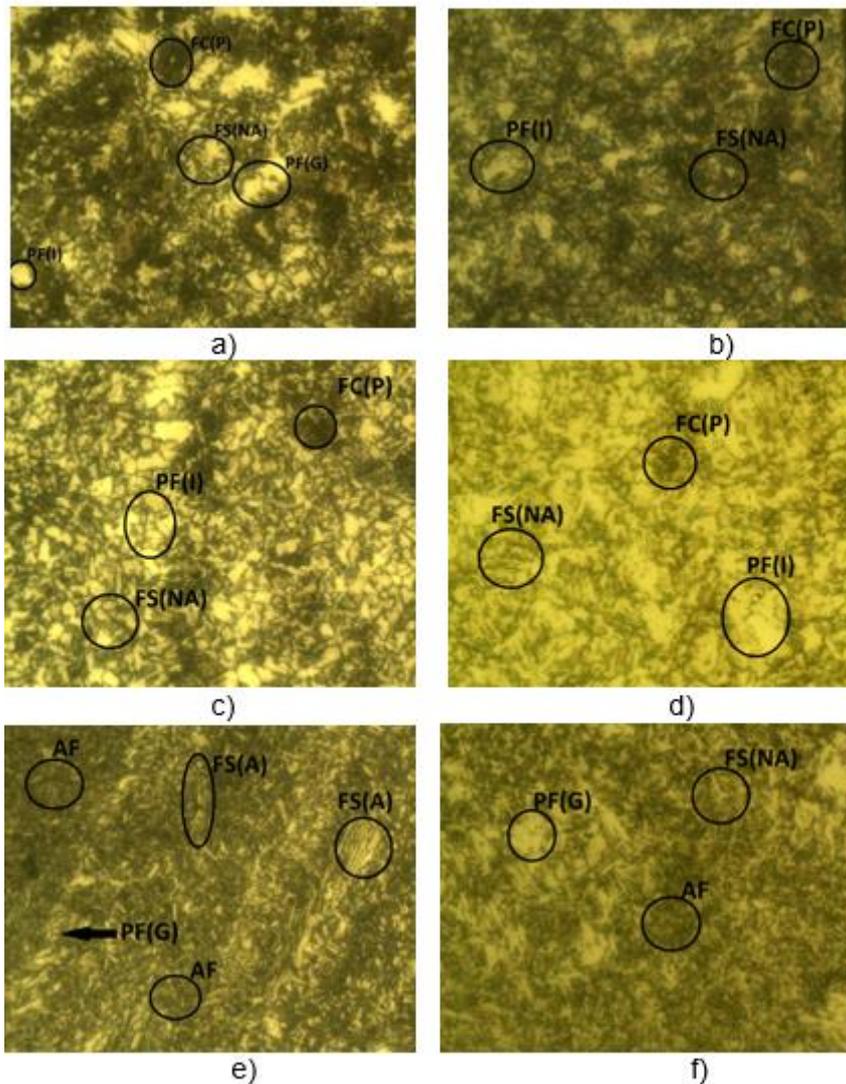


Figura 5 - ZAC I: como soldado (a), TTPS (b); ZAC II: como soldado (c), TTPS(d). MA: como soldado (e), TTPS (f); Ataque Nital 2%. Aumento 400X.

A zona do metal de adição (MA) possui os grãos ainda mais finos que na ZAC e foi a única a apresentar ferrita acicular (AF) e ferrita de segunda fase alinhada “FS(A)”. Na ZF, a formação de ferrita acicular é favorecida pela presença de precipitados e, particularmente, de numerosas inclusões resultantes da presença de oxigênio, em geral, em teores superiores aos da metal base <sup>(4)</sup>.

### Ensaio de Microdureza

Na Figura 6, é possível perceber a redução de dureza para cada região após o TTPS, redução esta devido ao alívio de tensões da microestrutura do metal de solda, tornando-o menos duro <sup>(1)</sup> e a dispersão dos dados. Os termos simbolizados com “I” referem-se a mesa inferior, enquanto os sinalizados com “II” ao eixo da coluna de direção.

Nota-se que os valores de microdureza em cada região possuem pouca dispersão e são relativamente simétricos, isto é, encontram-se com aproximadamente igual probabilidade tanto acima quanto abaixo da mediana, o que reflete a precisão dos dados.

A única exceção se dá nas ZAC I e ZAC II, nas quais houve considerável maior dispersão, pois, a ZAC é uma zona altamente heterogênea, com tamanhos de grãos diferentes.

Na figura 7 estão representadas duas topografias características das amostras CS e CT. Os resultados nas outras seis amostras são semelhantes ao padrão mostrado acima e por isso não estão representados. É possível visualizar mais facilmente que os maiores valores de microdureza foram registrados em MA e ZAC I, o que também foi registrado por outros autores para outros processos de soldagem <sup>(5,6)</sup>. Neste caso, tal fenômeno pode ser explicado pela microestrutura mais refinada destas regiões e a presença de ferrita acicular no MA.

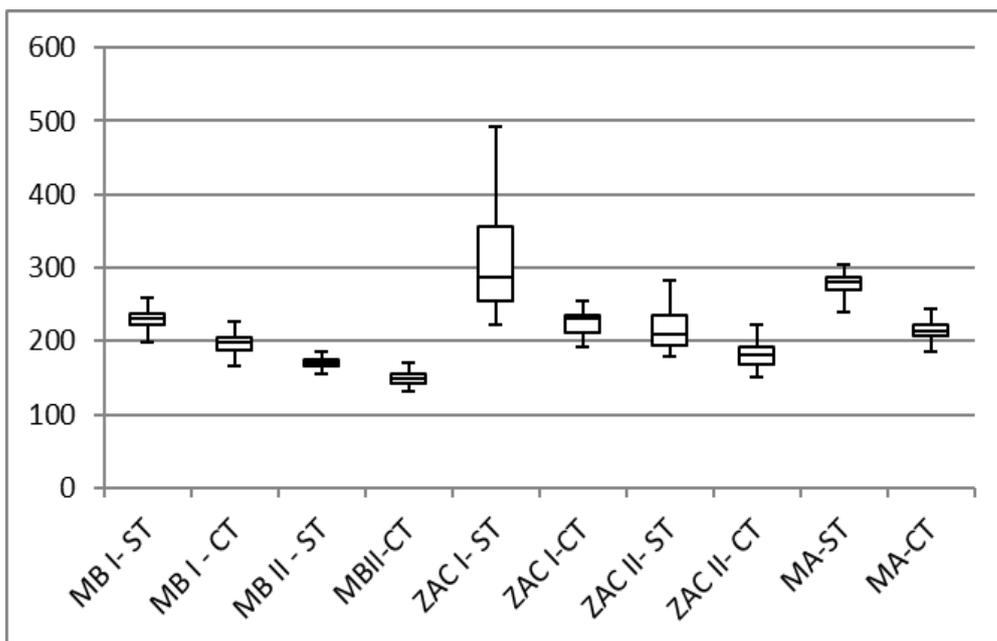


Figura 6: distribuição de microdurezas por região

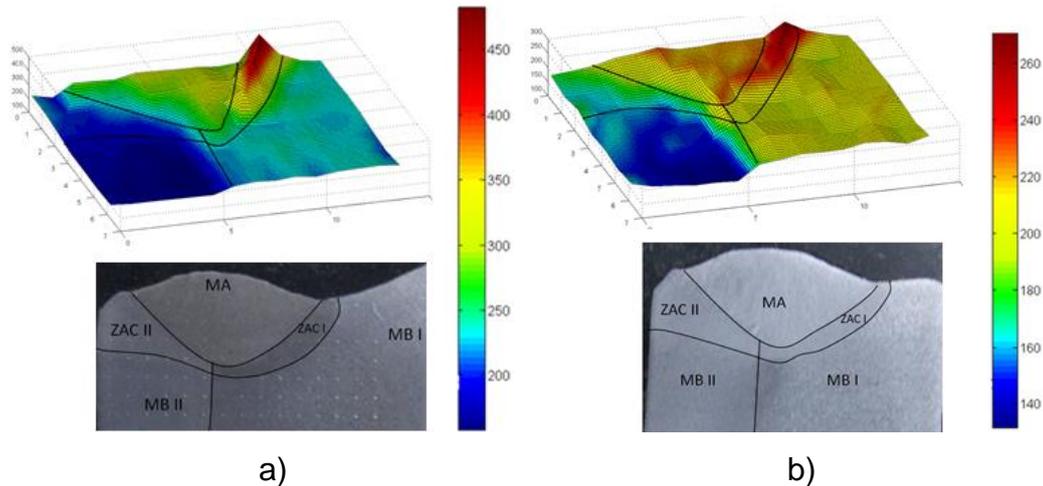


Figura 7: topografia de microdureza das amostras direitas (D) CS (a) e CT (b).

### Ensaio de compressão e extensometria

Os resultados do ensaio de compressão, em módulo, estão apresentados na figura 8 e as cargas máximas aplicadas a cada amostra estão apresentadas na figura 9.

A célula de carga utilizada não teve capacidade para romper nenhuma das amostras ensaiadas, o que pode ser explicado pela seção transversal do tubo ser consideravelmente maior do que os corpos de prova definidos por normas internacionais. Apesar das amostras 1 e 6 terem exibido comportamento semelhante, de forma geral, as amostras que passaram por tratamento térmico sofreram maior extensão.

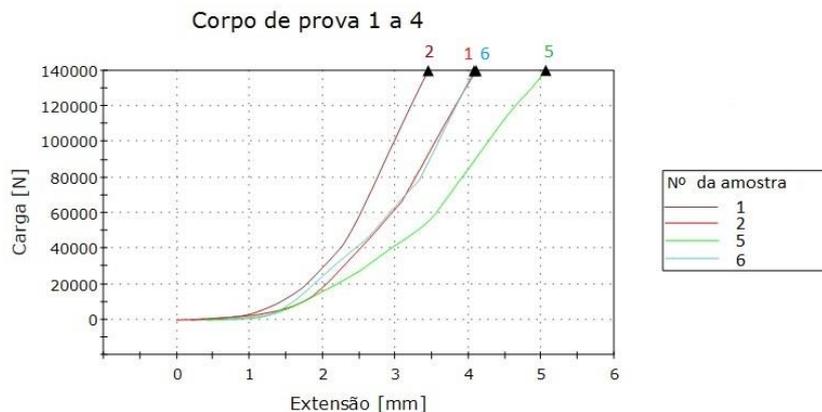


Figura 8 – relação carga x extensão para cada amostra

Os resultados de deformação x tempo obtidos a partir dos strain gages estão dispostos na figura 9. Em seguida, os tempos totais de cada ensaio foram ajustados,

foram calculadas as médias de deformação para as amostras no estado CS e no estado CT até a deformação máxima, as quais foram plotadas na figura 10.

Além disso, as deformações verificadas pelos strain gages foram em média um quinto do esperado, calculando-se como base na carga máxima de teste e a área média, como se pode ver na tabela 3.

Tabela 3 : comparação entre as deformações máximas

Amostra	Área Média	Carga Máxima	Tensão máxima	Deformação máxima Prevista ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	Deformação máxima Medida ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )
1	528,37	139922,578	2,648E+08	1324,1	262,4
2	527,92	139901,453	2,650E+08	1325	177,9
5	528,41	139959,781	2,649E+08	1324,3	112,6
6	528,35	139901,453	2,648E+08	1324	239,9

Tal resultado é atribuído a prensagem inicial da coluna de direção. A força de atrito proveniente da interferência mecânica entre a mesa inferior e o eixo se opõe à carga aplicada, reduzindo os esforços efetivos na região próxima a solda, colaborando na garantia da integridade mecânica da peça.

Percebe-se na figura 10 que durante boa parte do teste, por cerca de 33 segundos as amostras sem tratamento obtiveram maior deformação, resultado atribuído ao movimento das discordâncias durante o tratamento de alívio de tensões, tornando o material mais dúctil. Entretanto, durante os segundos finais as amostras não tratadas sofreram deformação rápida e acentuada, como pode ser visto nas figuras 9 e 10, chegando a se deformar mais do que as amostras tratadas.

Este comportamento se fez presente pois o material do eixo escoou durante o teste. Diversos autores registraram que as tensões residuais tendem a possuir um caráter compressivo na metal base, região na qual foram colados os strain gages. Assim, quando o ensaio de compressão foi realizado, as tensões compressivas aplicadas somaram-se às tensões residuais, gerando o escoamento e a rápida deformação. Isso confirma que as tensões residuais podem possuir valores próximos ao limite de escoamento.

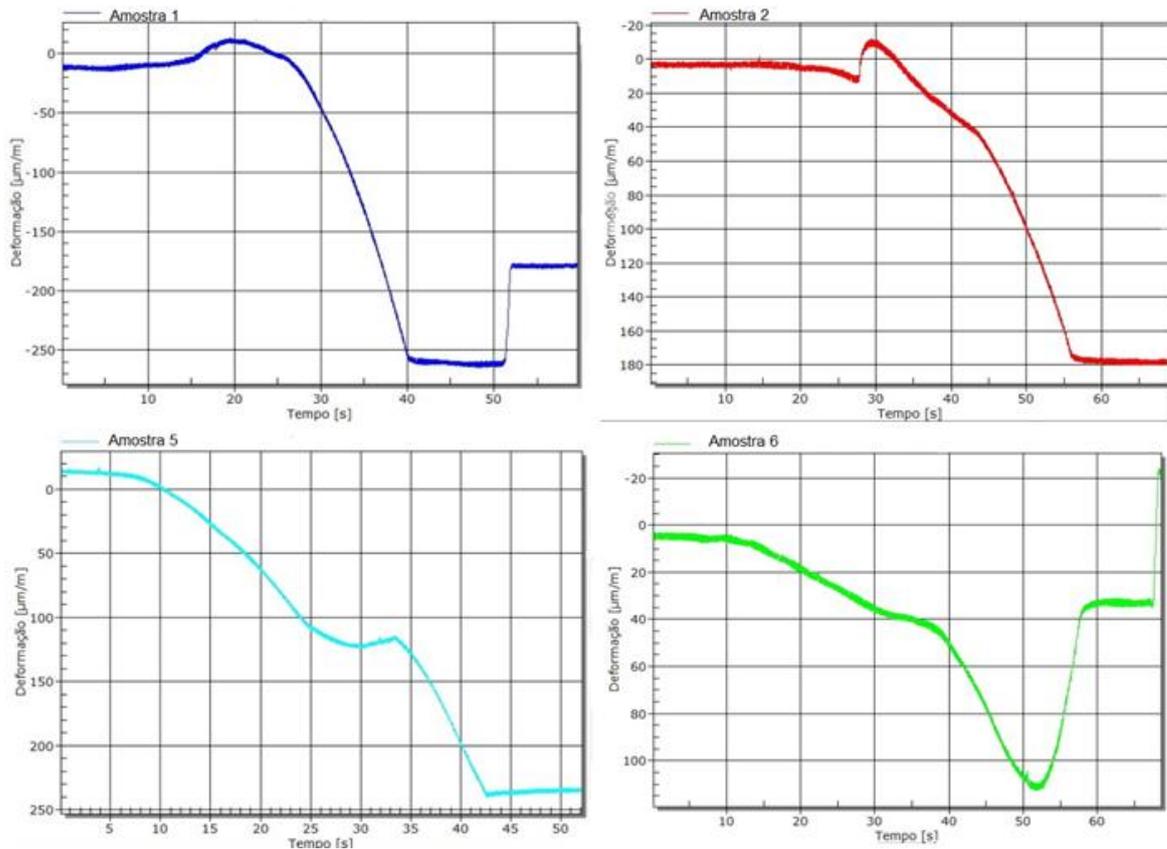


Figura 9: Deformação x tempo de cada amostra

A figura 9 auxilia a comprovar a hipótese de escoamento. Percebe-se que a amostra um recupera apenas uma pequena parte de sua deformação total, indicando deformação plástica e ocorrência de escoamento.

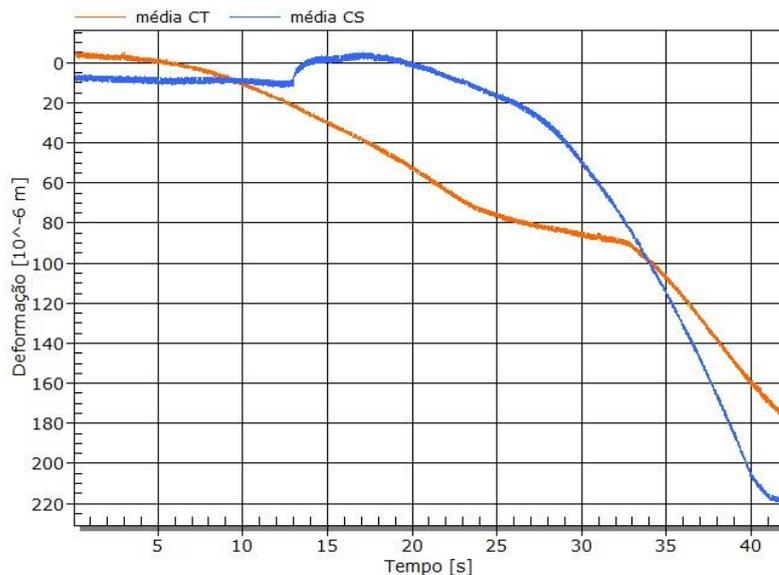


Figura 10: dados dos strain gages

## CONCLUSÕES

O alívio de tensões proporcionou redução significativa de microdureza em todas as regiões analisadas. Além disso, foram constatadas evidências de tensões residuais negativas e escoamento do metal próximo à região soldada. Mesmo assim, os resultados obtidos não comprovaram efeitos prejudiciais a ponto de serem geradas trincas na coluna de direção. Além disso, as cargas aplicadas durante os ensaios de compressão superaram em muito os valores máximos de carregamento comuns aos quais uma motocicleta está exposta, não justificando o tratamento térmico de alívio de tensões em escala industrial.

Entretanto, os gráficos gerados pelos strain gages foram diferentes dos gerados pela máquina universal, mostrando um aspecto do comportamento mecânico da coluna de direção que não seria evidenciado caso fosse feita a análise utilizando-se apenas os resultados da máquina de ensaio.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM pelo suporte financeiro, empresa especialista em fabricação de colunas de direção do Polo Industrial de Manaus (PIM) pelas amostras cedidas, ao Laboratório de Materiais e Processamento – LabMatPro e às diversas pessoas que contribuíram ao desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

1. Da COSTA, H.M.G. C. Design de mesas de direção (Triple Clamps) para motociclos. 2013, 94p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto.
2. MORAES, J.M.Jr. Influência do Tratamento Térmico de Alívio de Tensões Pós-soldagem na Microestrutura e Comportamento Mecânico de Soldas Produzidas com Arame Tubular Rutílico. 2008, 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, São Paulo.
3. LIMA, D.R.Jr. Caracterização Microestrutural e Mecânica de Juntas Soldadas Utilizando os Processos GTAW, FCAW e SMAW. 2013, 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife.

4. MODENESI,P.J. Soldagem dos Aços Transformáveis. Belo Horizonte, 2004. Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG.

5. BARBATO,D.S. Estudo do Comportamento Mecânico e Microestrutural de Juntas de Aço Avançado de Alta Resistência Soldadas a Laser. 2012, 89p.Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, UFF, Niterói.

6. ALORAIER,A.S; JOSHI,S; PRICE,J.W.H;ALAWADHI,K. Hardness, Microstructure, and Residual Stresses in Low Carbon Steel Welding with Post-weld Heat Treatment and Temper Bead Welding. Metallurgical and Materials Transactions A, v. 45, 2014.

## **STRESS ANALYSIS AT WELDING OF MOTORCYCLES' TRIPLE CLAMPS**

### **ABSTRACT**

*As it is important to know the influence of the factors that compromise the integrity of mechanical parts, this paper evaluated the effect of residual welding stresses in motorcycles' triple clamps. After GMAW welding, three samples were subjected to post weld heat treatment (PWHT) and other three were held as welded. Linear strain gages were bonded near welded region and two treated and two untreated samples were subjected to compression tests; strain gauges measured the deformations acting in the weld. In other samples microhardness was analyzed and the Heat Affected Zone (HAZ) was characterized. There were small microstructural changes and hardness was reduced in the treated samples. It was found that the shaft pressing is responsible for ensuring part of the mechanical integrity of triple clamps; the residual stresses promoted local yielding and it was possible to characterize the mechanical behavior with strain gage measurements which may be applied to other welded structures which have initial pressing.*

Key-words: residual stress, Strain Gage, PWHT, triple clamps , HAZ.