



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778
Nº 2, volume 2, artigo nº 02, Julho/Dezembro 2016
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v2n2a2>

ANÁLISE DE FALHA DA ESTRUTURA METÁLICA DO CENTRO POLIESPORTIVO DA CIDADE DE BARÃO DO MONTE ALTO – MG

Victor Barbosa de Souza¹

Mestre em Engenharia Mecânica – UFF

Antonio Cardoso Neto²

Graduando em Engenharia Mecânica - SUR

Arthur de Oliveira Pereira Gouveia³

Graduando em Engenharia Mecânica – SUR

Amanda Camerini Lima⁴

Doutora em Engenharia de Materiais - UENF

Resumo

As estruturas metálicas, de modo geral, são empregadas para satisfazer uma série de fatores importantes para a engenharia em si, como, rápida montagem, máximo aproveitamento da área útil, reciclagem dos elementos empregados na estrutura, menor peso próprio e economia nas fundações. O objetivo deste trabalho é fazer análise de falha e redimensionamento da estrutura metálica do centro poliesportivo da cidade de Barão do Monte Alto – MG, sabendo-se que a estrutura veio a falhar de forma inesperada. Com os resultados obtidos na análise Metalográfica e análise de MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), pode-se afirmar a causa da falha. A falha pode ocorrer por intermédio de ações naturais, falha na execução do projeto ou erro no material. Após apurar a causa da falha, realizou-se uma verificação do dimensionamento de toda a obra, para apurar se houve algum erro no dimensionamento dos elementos que compõem a estrutura. Retirou-se amostras em campo para confeccionar os corpos de prova utilizados para os ensaios de tração e dureza, além das amostras para realizar o ensaio metalográfico e o MEV. Conferiu-se as dimensões dos perfis, afim de compará-las com as dimensões previstas em projeto. Verificou-se, com os ensaios de tração e dureza, que o material utilizado foi o aço ASTM A36, como previsto em projeto. Apresentou-se nas amostras que passaram por análise metalográfica formação de martensita e nas amostras que passaram por MEV, apresentou-se marcas de praia. Pôde-se concluir que vários fatores contribuíram para a falha mecânica da estrutura metálica. Houve erros de execução e projeto.

¹ Faculdade Redentor Engenharia Mecânica, RJ. victor_souza11@hotmail.com

² Faculdade Redentor. Engenharia Mecânica, RJ. netin_cardoso93@hotmail.com

³ Faculdade Redentor. Engenharia Mecânica, RJ. engmec.arthurgouveia@gmail.com

⁴ Faculdade Redentor. Engenharia Mecânica, RJ. amandacamerini@hotmail.com

Palavras-chave: MEV; Martensita; Metalográfica.

Abstract

Metallic structures are generally used to satisfy a number of important engineering factors, such as rapid assembly, maximum utilization of the working area, recycling of the elements used in the structure, lower weight and savings in foundations. The objective of this work is to analyze failure and resize the metallic structure of the multi - sport center of the city of Barão do Monte Alto - MG, knowing that the structure failed unexpectedly. With the results obtained in the Metallographic analysis and analysis of SEM (Scanning Electron Microscope), the cause of the failure can be affirmed. Failure can occur through natural actions, project execution failure or material error. After determining the cause of the failure, a verification of the dimensioning of the entire work was carried out, to determine if there was any error in the dimensioning of the elements that make up the structure. Samples were taken in the field to make the specimens used for the tensile and hardness tests, in addition to the samples to perform the metallographic test and the SEM. The dimensions of the profiles were checked in order to compare them with the project dimensions. It was verified, with the traction and hardness tests, that the material used was ASTM A36 steel, as predicted in the design. It was presented in the samples that underwent by metallographic analysis formation of martensite and in the samples that passed through MEV, beach marks were presented. It was concluded that several factors contributed to the mechanical failure of the metal structure. There were errors of execution and design.

Keywords: SEM; Metallographic; Martensita.

INTRODUÇÃO

Este trabalho se propõe em realizar a análise de falha da estrutura metálica do centro poliesportivo da cidade de Barão do Monte Alto – MG, tendo em vista que a população necessita da estrutura para a realização de atividades físicas, que ficaram comprometidas com a falha mecânica do projeto anterior.

DESENVOLVIMENTO

Para descobrir qual foi o material utilizado na obra, foram retiradas amostras da estrutura desabada e realizando-se ensaios de tração e dureza, ensaios metalográficos e de MEV.

Na Figura1, observa-se um fluxograma exemplificando as etapas da análise de falha.

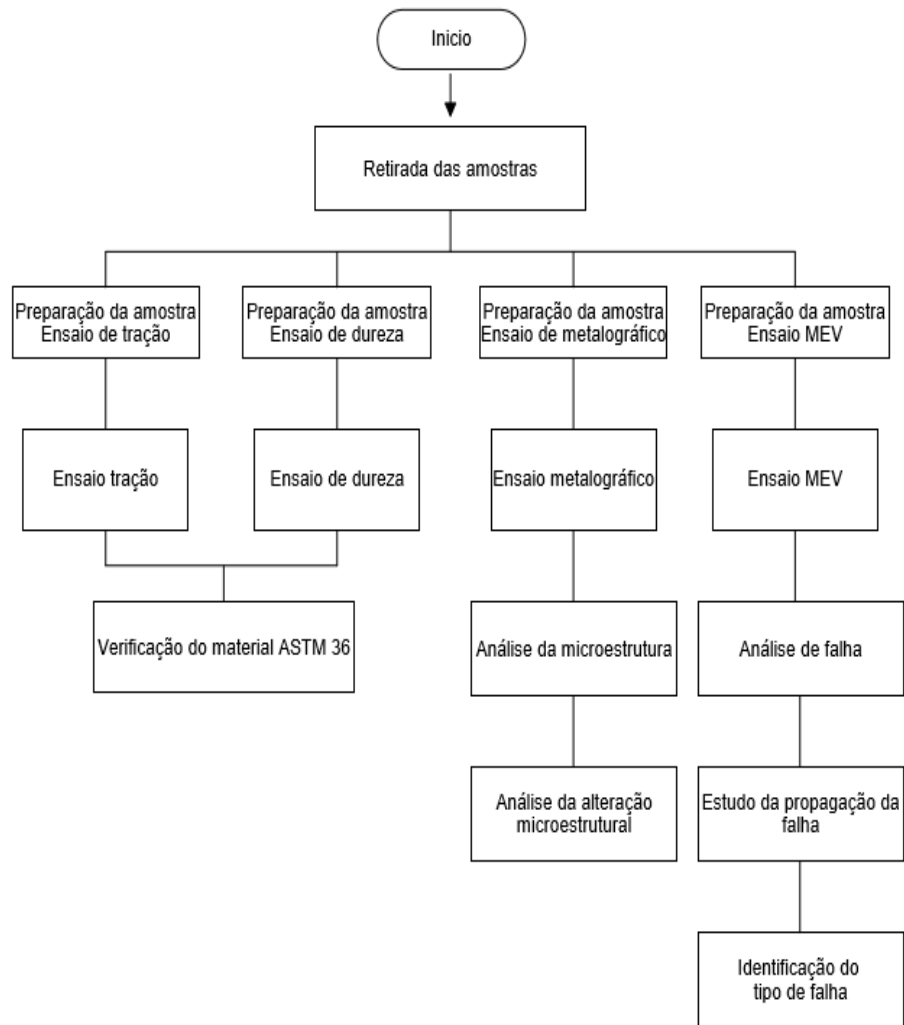


Figura 1: Fluxograma de análise de falha

Propriedades Mecânicas

Na figura 2 observa-se a foto do corpo de prova após o ensaio de tração.



Figura 2: Corpo de prova após o ensaio de tração

O limite de escoamento é uma das características mais importantes do material, sendo uma característica muito própria de cada material, pois o seu escoamento é que vai restringir as circunstâncias do projeto, isto é, vai determinar a carga máxima que esse

material suporta em trabalho.

Com base na equação abaixo e das conclusões obtidas no ensaio de pode-se obter a tensão de escoamento do material de acordo com a seguinte equação.

$$\sigma_n = \frac{7,89909 \times 10^3}{30,679} \cdot \frac{N}{mm^2} \rightarrow \sigma_n = 257,475 MPa$$

Esse é o limite máximo que o material resiste antes de ocorrer o escoamento. Logo após o escoamento o material passa para o regime plástico onde o material não tem mais a possibilidade de retornar ao seu estado inicial.

Após o limite de escoamento, acontece o endurecimento do material gerado pela quebra dos grãos internos que constituem o material esse evento e denominado encruamento. A equação abaixo demonstra um meio para se calcular o limite de resistência.

$$\sigma_r = \frac{12,7633 \times 10^3}{30,679} \cdot \frac{N}{mm^2} \rightarrow \sigma_r = 416,027 MPa$$

A ductulidade é utilizada para indicar em porcentagem a quantidade em que o material se deformou até sua ruptura. Para efeitos de cálculo isso se aplica na equação abaixo:

$$A = \frac{35 - 25}{25} \times 100 \rightarrow A = 40 \%$$

Estricção, também conhecida como empescoçamento é diminuição da área útil do corpo de prova até sua ruptura, na região enfraquecida pela deformação plástica a de formação e maior. A estricção é uma forma utilizada para medir a ductilidade, isto é, quanto maior a estricção, maior será a ductilidade do material. Para efeitos de cálculo a estricção é calculada pela equação a seguir.

$$\varphi = \frac{6,25 - 3,0}{6,25} \times 100 \rightarrow \varphi = 52 \%$$

A tenacidade é a capacidade que o material tem de absorver energia devido a deformação plástica e elástica até a sua ruptura. É uma característica desejável para projetos que estejam sujeitos a impactos, choques, como correntes, engrenagens e etc. Para efeitos de cálculo da tenacidade é calculada pela equação a seguir:

$$UT = \frac{257,475 + 280}{2} \times 12,120 = 3257,1 N/mm$$

O grau de deformação é a propriedade mecânica que define o quanto o material

deforma até o momento da fratura.

$$\theta = \ln \frac{35}{25} = 0,3364 \text{ rad} = 19,27^\circ$$

A Tabela 1 demonstra os resultados alcançados por meio das análises realizadas neste trabalho que comprovam que o material é o mesmo que consta no certificado de matéria prima.

Tabela 1: Resultados obtidos.

Propriedades	Norma ASTM A6/A6m	Ensaio mecânico	Certificado de matéria prima
Tensão de escoamento (Mpa)	Mín. 250	257,475	258
Resistencia à tração (Mpa)	400 ~ 550	416,0270	420
Alongamento total (%)	Mín. 23	40	39
Estricção (%)	-	52	54
Tenacidade (N/mm)	-	3257,1	3250
Grau de deformação	-	0,3364	0,35

Na Figura 3, observa-se o gráfico Tensão X Deformação já com os valores obtidos nos cálculos acima.

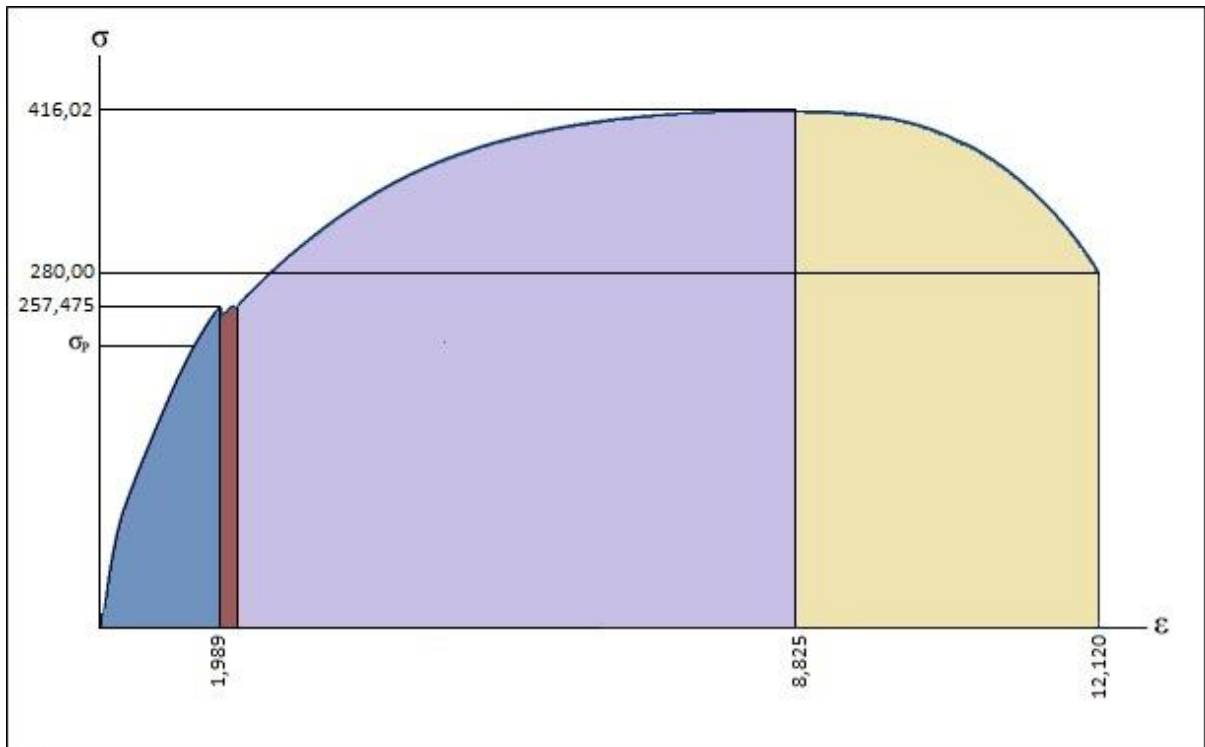


Figura 3: Gráfico obtido no ensaio de tração com os valores calculados

Ensaio De Dureza

O ensaio de dureza por penetração na escala Rockwell, é o tipo de ensaio de dureza mais utilizado, por ser o mais simples de usar. Escolheu-se uma escala de dureza, no caso do aço ASTM A36, a escala escolhida foi a escala C. Usou-se uma pré-carga de 10 Kg. Utilizou-se uma ponteira esférica.

Retirou-se 10 medidas e, na Tabela 2, observa-se o resultado dessas medidas.

Tabela 2: Resultados do ensaio de dureza

Material	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
ASTM A36	73 HRC	76 HRC	68,5 HRC	68 HRC	71 HRC
-----	Medida 6	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10
-----	72 HRC	69 HRC	67 HRC	69 HRC	70 HRC

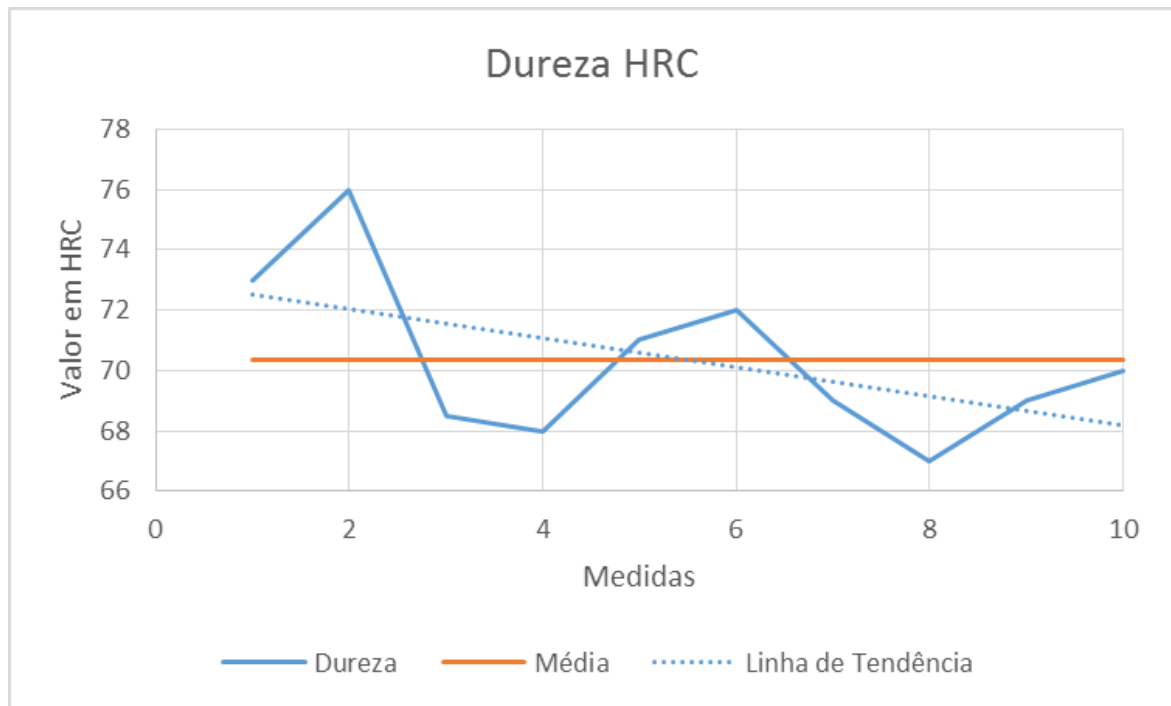


Figura 4: Gráfico do resultado do ensaio de dureza

Média:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{67+68+68,5+69+69+70+71+72+73+76}{10} = 70,35 \text{ HRC}$$

Variância:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{[(67 - 70,35)^2 + (68 - 70,35)^2 + (68,5 - 70,35)^2 + (69 - 70,35)^2 + (69 - 70,35)^2 + (70 - 70,35)^2 + (71 - 70,35)^2 + (72 - 70,35)^2 + (73 - 70,35)^2 + (76 - 70,35)^2]}{(10 - 1)} = 7,3361$$

Desvio padrão:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{7,3361} = 2,708$$

$$HB = \left(\frac{1500}{115 - 70,35} \right)^2 = 1128,6 \text{ HB}$$

$$\sigma_u = 0,36 \cdot HB = 0,36 \cdot 1128,6 = 406,3 \text{ MPa}$$

Com o valor de limite de resistência à tração encontrado de 406,3 Mpa, pode-se novamente afirmar que este material se trata de um aço ASTM A36. O limite de resistência a

tração do Aço A36 é de 400 a 500 Mpa.

Análise Metalográfica

Com a realização das análises referentes às imagens colhidas pela microscopia do material atacado, obteve-se resultados satisfatórios. A realização do procedimento de soldagem, assim como qualquer outro, gera uma área de acúmulo de calor, que pode variar de acordo com a velocidade de soldagem e a temperatura da poça de fusão. Esta área é chamada de zona termicamente afetada (ZTA), a qual apresenta uma interferência no metal base, pelo fato de atingir uma temperatura austenítica deste aço alterando assim sua microestrutura, podendo formar martensita quando se resfria. (FORTES, 2004)

Na Amostra 1, obtida em corte na zona de fusão, registrou-se, juntamente com ferrita e perlita característica, a formação de martensita, cujo a microestrutura é caracterizada por uma estrutura em forma de agulhas. Essa alteração se torna possível, por se tratar de uma região com alta temperatura, a qual foi suficiente para a austenitização, que passando por um rápido resfriamento possibilitou a formação parcial da microestrutura martensita.

Assim, é notável que houve a interferência do calor do procedimento de fusão na microestrutura, que com a formação de martensita gerou uma área de maior dureza por acúmulo de carbono em sua estrutura cristalina, fragilizando a estrutura.

Observa-se na Figura 5, a amostra 1, retirada da zona de corte na solda com aumento de 600X.

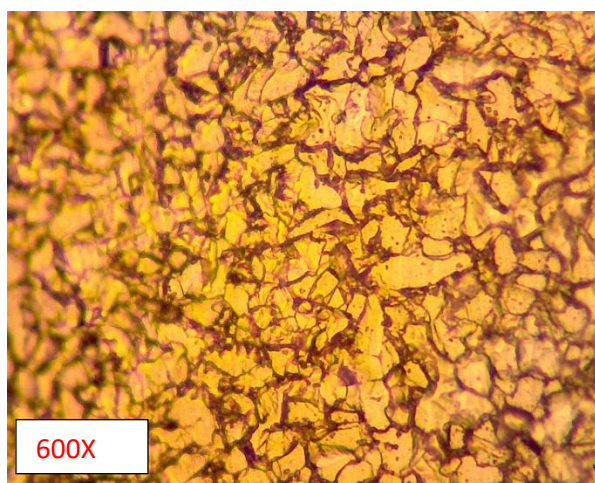


Figura 5: Amostra 1, zona de corte na solda 600X.

Analisando-se a amostra 2, referente ao corte próximo a solda, sua microestrutura apresentou um significativo aumento do tamanho de grão, caracterizado pela transferência térmica da zona de fusão para as demais áreas da peça. Este pico de temperatura decresce à medida que se afasta da zona de fusão, não formando a martensita nesta amostra 2, mais sendo suficiente para atingir a temperatura de austenitização promovendo o aumento das fronteiras de grão criando uma região grosseira da zona termicamente afetada. O grão grande diminui as propriedades mecânicas do material, grão bom é grão pequeno. É

evidenciada nesta amostra ferrita abundante com perlita em seus contornos.

Pode-se observar na Figura 6 a zona de corte próxima da solda com aumento de 600X.

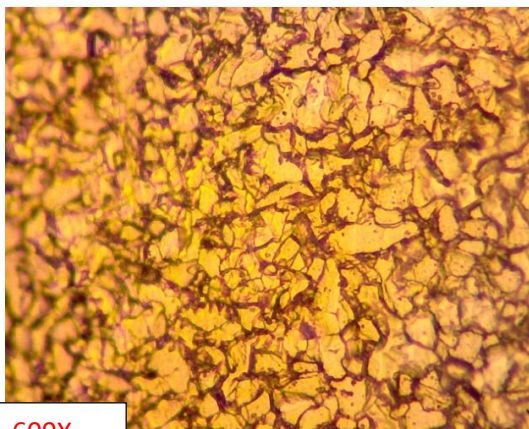


Figura 6: Amostra 2, zona de corte próxima a solda 1000X.

De acordo com o que se observa na amostra 3, na área intermediária entre a amostra 2 e a 4, próximo ao fim da zona termicamente afetada, observa-se que sua microestrutura apresentou uma significativa diminuição do tamanho de seus grãos.

Por esta região se encontrar distante do foco de calor, seu aumento de temperatura é insuficiente para que se alcance o crescimento de grão. Por esse motivo, quando a microestruturas do aço é submetida a uma temperatura inferior a de crescimento de grão, esta apresenta um refinamento, possuindo grãos menores que a própria estrutura do aço inalterada.

Na Figura 7 observa-se a amostra 3, com aumento de 600X

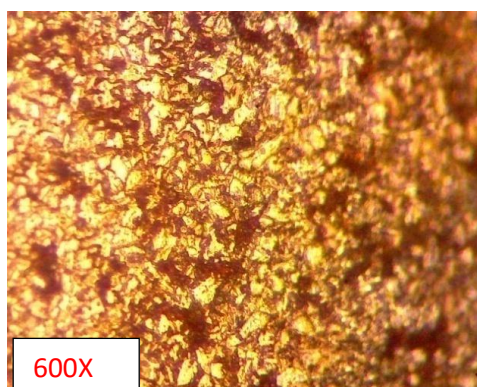


Figura 7: Amostra 3, zona intermediária 600X.

Por se tratar da porção mais distante da zona de fusão, foco de calor, na amostra 4, apresenta-se uma microestrutura inalterada, com o material em suas propriedades normais, sendo constituído por ferrita e perlita sem nenhuma outra fase, como pode ser visto na figura abaixo:

Não foi utilizado o aumento de 1000X pelo fato de, com aumento de 600X, poder observar melhor as microestruturas do material. Na Figura 8 observa-se a amostra 4 com

aumento de 600X.

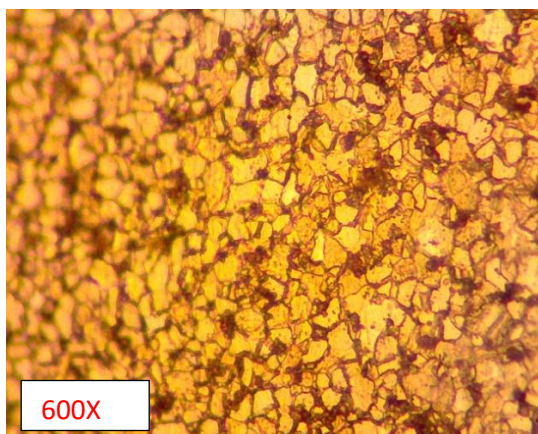


Figura 8: Amostra 4, zona inalterada 600X.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para caracterizar a morfologia, microestrutura e a propagação da trinca foi utilizada a análise por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

O aumento empregado foi de 100X. Foram analisadas amostras de quatro regiões distintas da amostra original, que foi retirada do local da falha, sendo uma do local onde foi realizado o processo de soldagem, uma da ZTA e uma de uma região da peça onde não sofreu nenhum tipo de alteração com o processo de soldagem.

Na Amostra 1, Figura 9, pode-se observar o material sem indicar o local da fratura, por se tratar de uma zona onde não sofreu alterações e de uma região abaixo do local onde foi realizado a solda, observa-se respingos que tem origem do processo de soldagem por eletrodo revestido mal efetuado.

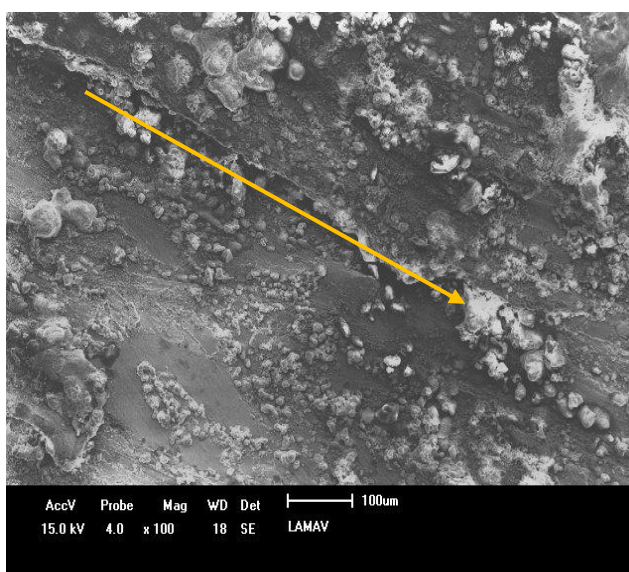


Figura 9: Amostra 1 com aumento de 100x.

Já na Amostra 2, Figura 10, observa-se o material com maior frequência de respingos de solda, por se tratar de uma região mais próxima do local onde foi realizado o processo de soldagem, e não nota-se indícios de início de trinca.

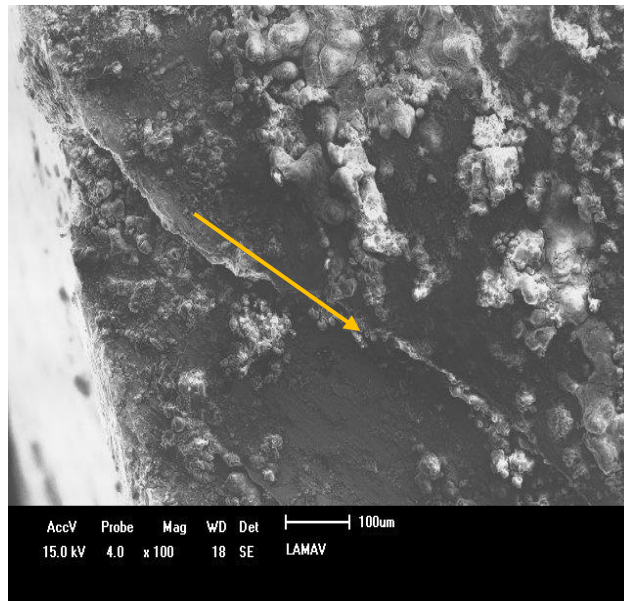


Figura 10: Amostra 2 com aumento de 100x.

Já a Amostra 3, Figura 11, observa-se o início da trinca, que surgiu no processo de solda mal efetuado. A utilização de amperagem muito alta é um fator constatado, além do fato da estrutura ter falhado na solda. Os respingos aparecem com mais frequência nessa amostra, por se tratar do local onde a solda foi realizada. Pode-se notar também locais com material fundido solidificado.

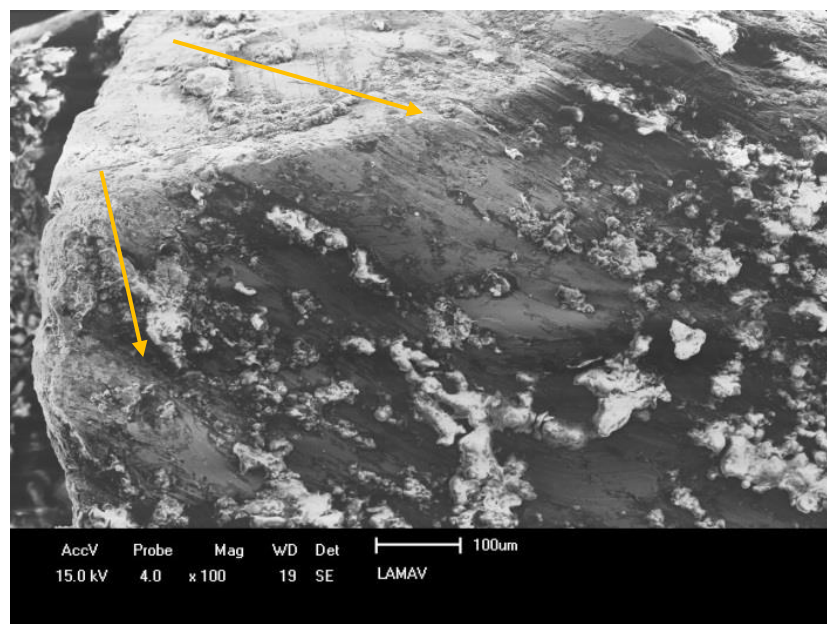


Figura 11: Amostra 3 com aumento de 100x.

E por fim a amostra 4, Figura 12, tentou-se ao máximo captar a propagação a trinca. Nota-se com mais clareza as marcas de praia, sendo proveniente de falha por fadiga.

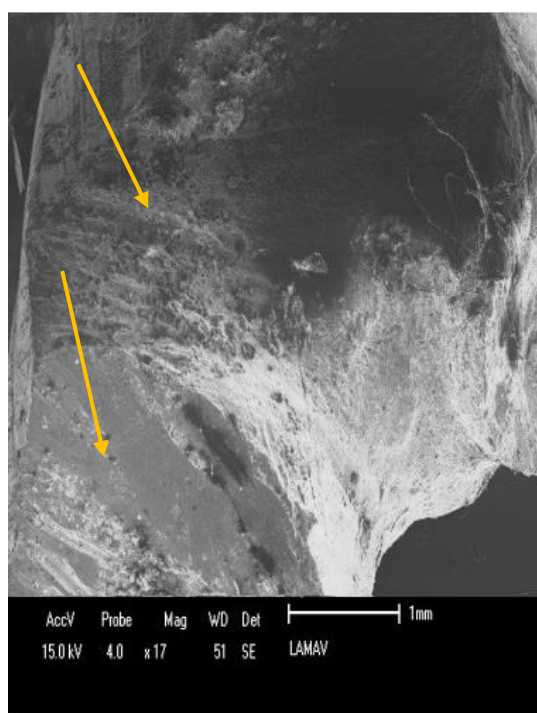


Figura 12: Amostra 4 com aumento de 100x.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas metálicas são de grande valia para o setor industrial. No caso de centros poliesportivos, são praticamente unânimes sua utilização.

Pode-se afirmar que a falha mecânica da estrutura metálica ocorreu devido erros de execução e erros no projeto. Utilizou-se amostras colhidas em campo para os ensaios de tração, dureza, ensaios metalográficos e microscopia eletrônica de varredura.

No ensaio de tração pôde-se comprovar, com os valores obtidos, que o aço utilizado na obra é o mesmo que se previa em projeto o aço ASTM A36. Alguns dados, como por exemplo o Limite de resistência a tração de 416 Mpa e o Limite de escoamento de 256 Mpa, além do gráfico Tensão X Deformação que nos deu uma ampla base de valores para tal conclusão.

O ensaio de dureza serviu para comprovar o que já tinha sido calculado no ensaio de tração e observar se o material sofreu algum tipo de tratamento. Para a engenharia, quanto mais certeza do resultado, melhor. Obteve-se um resultado de 70,35 HRC, que convertido para HB nos dá 1128,6 HB. Para obter-se o Limite de resistência a tração basta multiplicar este valor por 0,36. Encontrou-se 406,3 Mpa, mais uma vez provando ser um aço A36 e sem nenhum tipo de tratamento. Esse tipo de aço tem um limite de resistência a tração entre

400 e 500 Mpa.

A análise metalográfica serviu para mostrar possíveis erros na região da solda. Foi comprovado por meio de análise das imagens que a má conduta do soldador fez criar uma região muito dura, porém frágil, chamada martensita. A fratura ocorreu nesta região, provavelmente pelo uso de corrente muito alta no momento da solda, também por só pontear e não realizar o cordão completo, economizando material. Analisou-se 4 amostras de diferentes pontos da estrutura, uma da região da solda, uma da ZTA, uma da zona intermediária e outra da zona que não sofreu algum tipo de processo de montagem. Foi bem notável a diferença na região da solda.

A análise de MEV, realizada no laboratório LAMAV pertencente a UENF, em Campos dos Goytacazes, serviu para analisar a propagação da trinca. As imagens mostraram marcas de praia, que são típicas de propagação de trinca por fadiga. Conclui-se que a estrutura não estava rígida suficientemente e oscilou, gerando a trinca e possivelmente, sofrendo oscilações constantes, veio a falhar. A falta de rigidez foi um erro de projeto. A colocação de montantes nas treliças centrais da estrutura daria mais rigidez a estrutura impossibilitando a mesma de oscilar tanto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling. **ASTM A6/A6M:2012**. New York: ASTM, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel. **ASTM A572:2015**. New York: ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. **ASTM A370**. New York: ASTM, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell Parte 1: Método de ensaio (escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) **NBR NM ISO 6508-1:2008**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

CALLISTER, Jr., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CBCA-AÇO BRASIL, Centro Brasileiro de Construção em Aço. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/>.

CHIAVERINI, V. **“Tecnologia Mecânica” - estrutura e propriedades das ligas Metálicas** – Vol I – 2ª Ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CHIAVERINI, V. “**Tecnologia Mecânica**” - estrutura e propriedades das ligas Metálicas – Vol II – 2ª Ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CHIAVERINI, V. “**Tecnologia Mecânica**” - estrutura e propriedades das ligas Metálicas – Vol III – 2ª Ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

COLPAERT, H.; **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

DEGEO, Departamento de Geologia da UFOP. Disponível em: <http://www.degeo.ufop.br/>

LOPES, F. F.; **Caracterização Mecânica e Microestrutural do Aço 1020**. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Faculdade Redentor – FacRedentor, Itaperuna, 2010.

PHULÉ, P. P. **Ciência e engenharia dos Materiais**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

PORTAL DA GALVANOPLASTIA, propriedades e estruturas do aço. Disponível em: <http://www.portaldagalvanoplastia.com.br/>.

SOUZA, S. A. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. 5ª ed. São Paulo: Blucher, 1982.

SOUZA, V. B.; NERY, S. R. **Avaliação da criticidade da existência de uma trinca em um pedestal de guindaste offshore**. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Faculdade Redentor – FacRedentor, Itaperuna, 2012

Sobre os Autores:

Victor Barbosa de Souza: Professor do curso de Engenharia Mecânica da Sociedade Universitária Redentor. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense. E-mail: victor_souza11@hotmail.com

Antonio Cardoso Neto: Aluno do curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Sociedade Universitária Redentor. E-mail: netin_cardoso93@hotmail.com

Arthur de Oliveira Pereira Gouveia: Aluno do curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Sociedade Universitária Redentor. E-mail: engmec.arthurgouveia@gmail.com

Amanda Camerini Lima: Professora do curso de Engenharia Mecânica da Sociedade Universitária Redentor. Doutora em Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense. E-mail: AmandaCamerini@hotmail.com