

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE PROCESSOS DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS JUNTAS SOLDADAS EM AÇO INOXIDÁVEL ASTM A743 CA-6NM

Vinícios Elieser Araldi\*

João Henrique Bagetti\*

## Resumo

O presente artigo discorre sobre o aço Inoxidável ASTM A743 Grau CA6NM, utilizado na fabricação dos Rotores de Turbinas Hidráulicas. O meio de fabricação comumente utilizado é o mecano-soldado, que gera alterações nas propriedades mecânicas do material, podendo ocasionar posteriormente trincas na soldagem, ou mesmo, falha prematura. Nesse contexto, tem-se como objetivo avaliar as alterações nas propriedades mecânicas deste material, com diferentes condições de soldagem. Para tanto, fabricaram-se quatro corpos de prova, cada um para uma condição a ser estudada. Buscou-se por meio dos ensaios destrutivos averiguar a tensão máxima de tração, a tensão de escoamento suportada e o alongamento em cada um dos corpos de prova. Com os resultados obtidos por meio deste trabalho, espera-se agregar maior conhecimento no que diz respeito ao comportamento do aço ASTM 743 Grau CA6NM, quando submetido ao processo de soldagem, bem como, identificar qual é a concepção de junta soldada que melhor atende às necessidades de fabricação, buscando melhor desempenho e aumento da vida útil destes equipamentos.

Palavras-chave: ASTM 743 Grau CA6NM. Turbinas Hidráulicas. Trincas. Soldagem.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os materiais utilizados para fabricação dos rotores de turbinas têm sido alvo de constantes indagações no setor industrial, tornando-

se necessário criar medidas que garantam menor custo e redução no tempo de fabricação destes componentes. Sendo assim, desenvolveram-se pesquisas cujo objetivo é analisar os efeitos dos processos de soldagem na fabricação de rotores de turbinas, nos quais o aço ASTM A743 CA-6NM é mais amplamente empregado, por ser uma classe de aço fundido, que facilita a obtenção de peças de formato complexo, como as pás de rotores.

O processo de soldagem desses aços requerem cuidado redobrado por parte dos operadores e analistas, os quais possuem papel crucial na escolha correta do procedimento a ser seguido para evitar eventuais problemas. Desse modo, deve-se possuir um rigoroso controle das variáveis envolvidas, sendo fundamental para garantir a qualidade final do produto.

Os aços inoxidáveis martensíticos possuem a tendência de formarem uma martensita dura e frágil na zona termicamente afetada (ZTA) e no metal de solda que os torna difíceis de soldar com sucesso sem trincas a frio. Para assegurar a mínima tensão residual após a solda, é necessário realizar um pré-aquecimento e um tratamento térmico posterior (Gouveia, 2008). Ainda segundo o mesmo autor, a diferença entre os valores da tensão de escoamento e dureza entre o metal de solda e o metal base, podem gerar alterações no campo de tensões e de deformação na ponta da trinca, se comparado com o caso de um material homogêneo. Tal diferença entre as propriedades mecânicas do metal base e do metal de solda pode causar uma elevação nas tensões ou deformações nas regiões de menor tenacidade e diminuir a resistência à fadiga da junta soldada, havendo a fratura catastrófica dos componentes de turbinas hidráulicas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1.1 Turbinas hidráulicas

Turbinas são máquinas que transformam energia disponível devido ao movimento de fluidos em energia mecânica na forma de movimento de rotação. São consideradas hidráulicas as turbinas que utilizam a água como fluido para geração de energia mecânica (MARQUES, 2003),

As turbinas hidráulicas são classificadas em de ação, impulsão ou choque e de reação ou pressão. Turbinas de ação são normalmente utilizadas onde se tem pequenos volumes de água e quedas de grandes alturas. Este tipo de turbina pode possuir eixo tanto horizontal como vertical e, entre as mais utilizadas, destacam-se as do tipo Pelton. Por outro lado, as turbinas de reação, utilizadas em situações onde se tem grandes volumes de água e quedas de pequena altura, possuem eixo na posição vertical e são constituídas por palhetas em forma curva (espiral) que são submersas e se movimentam em função da velocidade e peso da água. As turbinas de reação mais comuns são as do tipo Francis e Kaplan (MARQUES, 2003).

#### 2.1.2 Construção de rotores de turbinas hidráulicas

Segundo Gonçalves (2007), o processo de fabricação de rotores de turbinas hidráulicas é composto por duas etapas principais: fundição e soldagem. Em termos de materiais, há duas configurações típicas aplicadas: aço carbono fundido revestido por soldagem com aço inoxidável; ou aço inoxidável martensítico macio fundido do tipo ASTM A743 CA-6NM, alternativa atualmente mais utilizada pelos fabricantes.

Segundo o mesmo autor, há diversos processos que podem ser utilizados na etapa da soldagem, dentre os quais pode-se citar, principalmente, a soldagem convencional ou pulsadas com arames sólidos e arames tubulares com fluxo metálicos (GMAW- Gas Metal Arc Welding) ou arames tubulares com fluxo não metálico (FCAW – Flux Cored Arc Welding).

#### 2.1.3 Aço inoxidável martensíticos ASTM A743 CA-6NM

A ASTM (American Society for Testing and Materials) classifica o aço inoxidável A743 CA-6NM da seguinte forma: C – refere-se a sua resistência em meios corrosivos, A – indica o valor nominal do teor de níquel, que se altera de A a Z com o aumento do teor de níquel. Os números que seguem as duas primeiras letras indicam a porcentagem máxima de carbono. Por fim, as letras subsequentes, correspondem à primeira letra dos elementos de liga presentes no material, nesse caso, Níquel (N) e Molibdênio (M).

De acordo com Allenstein (2007) o aço inoxidável martensítico ASTM A743 CA-6NM surgiu nos anos 60, desenvolvido conjuntamente com uma

então nova classe de aços inoxidáveis martensíticos conhecida como aços inoxidáveis martensíticos macios eles foram desenvolvidos na suíça com objetivo de melhorar a soldabilidade dos aços inoxidáveis martensíticos convencionais, como por exemplo o aço CA-15. Classificado pela ASTM como um aço inoxidável macio, os aços CA-6NM continuam evoluindo para atender o mercado, que necessita de aços que sejam mais fáceis de fabricar e com propriedades mecânicas superiores.

O aço CA-6NM é uma liga Fe-Cr-Ni-Mo com baixo teor de carbono, o que ocasiona um estreitamento do campo austenítico, fazendo com que a ferrita delta, que é prejudicial às propriedades mecânicas, seja estável em temperaturas mais baixas. Esta estabilidade favorece uma maior fração de ferrita delta fique retida na matriz martensita após têmpera. O baixo teor de carbono aumenta a soldabilidade e reduz a possibilidade de trincas. A presença de Ni compensa o efeito do baixo teor de carbono, fazendo o campo austenítico expandir novamente, melhorando substancialmente as propriedades mecânicas e a resistência ao impacto. (GOUVEIA, 2008)

#### 2.1.4 Processos de soldagem do aço inoxidável ASTM A743 CA-6NM

Na soldagem do aço inoxidável martensítico macio, durante a construção de rotores de turbinas hidráulicas, são utilizados consumíveis com composição química similar ao metal de base. No caso dos rotores fabricados em aço fundido tipo CA-6NM, são utilizados consumíveis que depositam ligas com composição química em torno de 13%Cr, 4%Ni e 0,4%Mo e teores de carbono que não ultrapassam 0,04%(9). É desejável que esses consumíveis possuam baixos teores de hidrogênio (máximo 4ml/100g metal de solda). (MODENESI, 2012)

Aplicações indicam que, na soldagem utilizando esses consumíveis, devem ser adotados determinados procedimentos como realização de pré aquecimento, controle da temperatura entre passes e tratamento térmico após soldagem para remoção de hidrogênio em juntas com grande restrição. Em aplicações onde a tenacidade ao impacto é requisito, a realização de tratamento térmico de revenimento é fundamental. (MODENESI,2012).

#### 2.1.5 Influência do Procedimento de Soldagem

A energia de soldagem e a temperatura de pré-aquecimento são as variáveis do procedimento de soldagem que mais facilmente podem ser alteradas para se controlar o fluxo de calor em soldagem. O aumento da energia de soldagem aumenta a extensão da ZTA, pois a curva de repartição térmica torna-se mais aberta. O tempo de permanência também aumenta e a região de granulação grosseira torna-se mais extensa e tende a apresentar um maior tamanho de grão. Por outro lado, a velocidade de resfriamento é reduzida e isto tem uma importância fundamental na determinação da estrutura final de ligas transformáveis, em particular, dos aços. Nestes materiais, a elevada velocidade de resfriamento que pode ocorrer na ZTA, quando a energia de soldagem é relativamente baixa, pode ser suficiente para causar a têmpera desta região, com a formação de martensita. Uma maior energia de soldagem, resultando em menores velocidades de resfriamento, pode levar à formação na ZTA de produtos mais macios. (MODENESI,2012)

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Fundição dos corpos de provas

O processo de fundição realizou-se conforme norma ASTM A743, A743M-06 e adotou-se um criterioso padrão para a confecção de corpos de provas. Solicitou-se que os ensaios destrutivos e não destrutivos referentes aos corpos de provas fossem realizados no fornecedor dos mesmos, a fim de garantir-se uma melhor qualidade e minimizar as possíveis discontinuidades do processo de fundição na junta de solda à ser estudada. Desta maneira optou-se pela compra dos corpos de provas pré-usinados com uma dimensão de 150mm por 600mm e uma espessura de 18mm com o chanfro já usinado e preparado para a junção dos mesmos. (Figura 01)

### 2.2.2 Soldagem dos corpos de provas

Soldou-se os corpos de provas seguindo quatro condições, sendo que em duas condições utilizou-se as especificações de soldagem existentes e duas condições são testes propostos para a soldagem do material ASTM A 743 CA 6NM. Na primeira condição realizou-se a solda de raiz com arame em aço inoxidável austenítico e preenchimento em aço inoxidável martensítico com tratamento térmico de alívio de tensões após a soldagem – Na segunda

condição utilizou-se a solda de amanteigamento de toda a junta em aço inoxidável austenítico e preenchimento em aço inoxidável martensítico com tratamento térmico de alívio de tensões após a soldagem – Na terceira condição, todo o procedimento da junta foi realizado em aço inoxidável martensítico com tratamento térmico de alívio de tensões após a soldagem e pôr fim a quarta condição com a solda de raiz com arame em aço inoxidável austenítico e preenchimento em aço inoxidável martensítico sem tratamento térmico de alívio de tensões após a soldagem.

A soldagem dos corpos de provas realizou-se por um profissional na área juntamente com o acompanhamento de um inspetor nível II em solda, buscou-se assim garantir a total integridade da junta na qual ainda realizou-se alguns ensaios não destrutivos para verificação da sua qualidade.

#### 2.2.3 Ensaios não destrutivos nos corpos de provas

Verificou-se a integridade e a qualidade da solda através de ensaios não destrutivos de líquidos penetrantes e de partículas magnéticas. Os ensaios realizaram-se por profissional treinado e baseado nas normas ASTM SE-165 para o ensaio de líquido penetrante e ASTM E709-95 para partículas magnéticas conforme ilustrado na figura 02.

#### 2.2.4 Ensaios de tração

Ensaio-se através de uma máquina universal de tração, da marca EMIC, modelo DL 30000F localizada no laboratório de ensaios da UNOESC em Joaçaba. Retirou-se três corpos de prova de cada condição para o ensaio de tração, os mesmos foram usinados em máquina CNC para garantir a tolerância dimensional.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ensaios de tração realizados no laboratório de ensaios da UNOESC em Joaçaba, avaliou-se a força máxima, a tensão máxima, a tensão de escoamento e o alongamento para cada um das condições propostas para o projeto.

As médias das tensões máximas, tensões de escoamento e o alongamento podem ser verificadas nos gráficos 03, 04 e 05 respectivamente.

A norma ASTM A743, A743M-06 – 2006 estabelece os valores mínimos de tensão escoamento, tensão máxima e alongamento para o material de base, dessa maneira comparamos os valores da norma com os encontrados nos ensaios realizados em todas as condições de soldagem determinadas na pesquisa. Através da tabulação dos mesmos podemos analisar os valores encontrados. (Tabela 06)

A partir dos resultados tabulados verificamos que as tensões máximas e de escoamento atende o mínimo especificado para o material de base já o alongamento foi atingido somente na condição 02 e nos demais ficaram abaixo do mínimo estipulado

### 3 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados no estudo, pode-se concluir que as condições propostas possuem diferenças consideráveis entre si sendo o alongamento a propriedade com maior diferença. Diante disso propõem-se como possíveis estudos futuro a análise da microestrutura da junta soldada e o estudo das propriedades mecânicas através do ensaio de Chapy, dobramento lateral e fadiga sendo esses ensaios de fundamental importância para obtenção de dados que indiquem qual a melhor condição para a fabricação de peças mecâno-soldadas em aço ASTM A743 CA 6NM.

### REFERÊNCIAS

- 1 - ALLENSTEIN, Â. N. - Estudo da resistência à cavitação do aço inoxidável martensítico CA6NM nitretado por plasma - Universidade Federal do Paraná. Dissertação de Mestrado. Curitiba, 2007.
- 2 - ASTM - Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application, Designation A743, A743M-06 - 2006.
- 3 - WAINER, Emilio; BRANDI, Sergio Duarte; MELLO, Fabio Decourt Homem de. Soldagem: processos e metalurgia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000
- 4 - CARDOSO, R.L.; PRADO, E.M.; OKIMOTO, P.C.; PAREDES, R.S.C.; PROCOPIAK, L.A. Avaliação da Influência de Gases de Proteção Contendo Diferentes Teores de CO<sub>2</sub> nas Características dos Revestimentos Soldados

Visando o Reparo de Turbinas Erodidas por Cavitação. Soldagem e Inspeção, ano 8, n.2, p.68-74, 2003

5 - VAZ, C. T. Avaliação da resistência à erosão por cavitação do metal de soldas produzidas com consumíveis tipo 13%Cr – 4%Ni – 0,4%Mo. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

6 - CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 6ª Edição. São Paulo, SP. 1988.

7 - MARQUES, Paulo Villani TREVISAN, Roseana E. An SEM-based method for the evaluation of the cavitation erosion behavior of materials. Materials Characterization. New York: , v.41, n.5, p.193 - 200, 1998

8 - MARQUES, Paulo Villani. Proteção de turbinas hidráulicas contra o desgaste cavitacional. Soldagem e Inspeção, v.8, n.2, p47-59, 2003.

9 - GOUVEIA, Ruimar Rubens de. Influência da temperatura de interpasse na tenacidade de metal de solda na soldagem multipasse do aço inoxidável martensítico CA 6-NM pelo processo TIG. Universidade Federal do Parana .Dissertação de Mestrado , Curitiba, 2008.

10-MODÊNESI, Paulo J. Introdução à Metalurgia da Soldagem Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

Sobre o(s) autor(es)

01 - Corpo de Prova Bruto



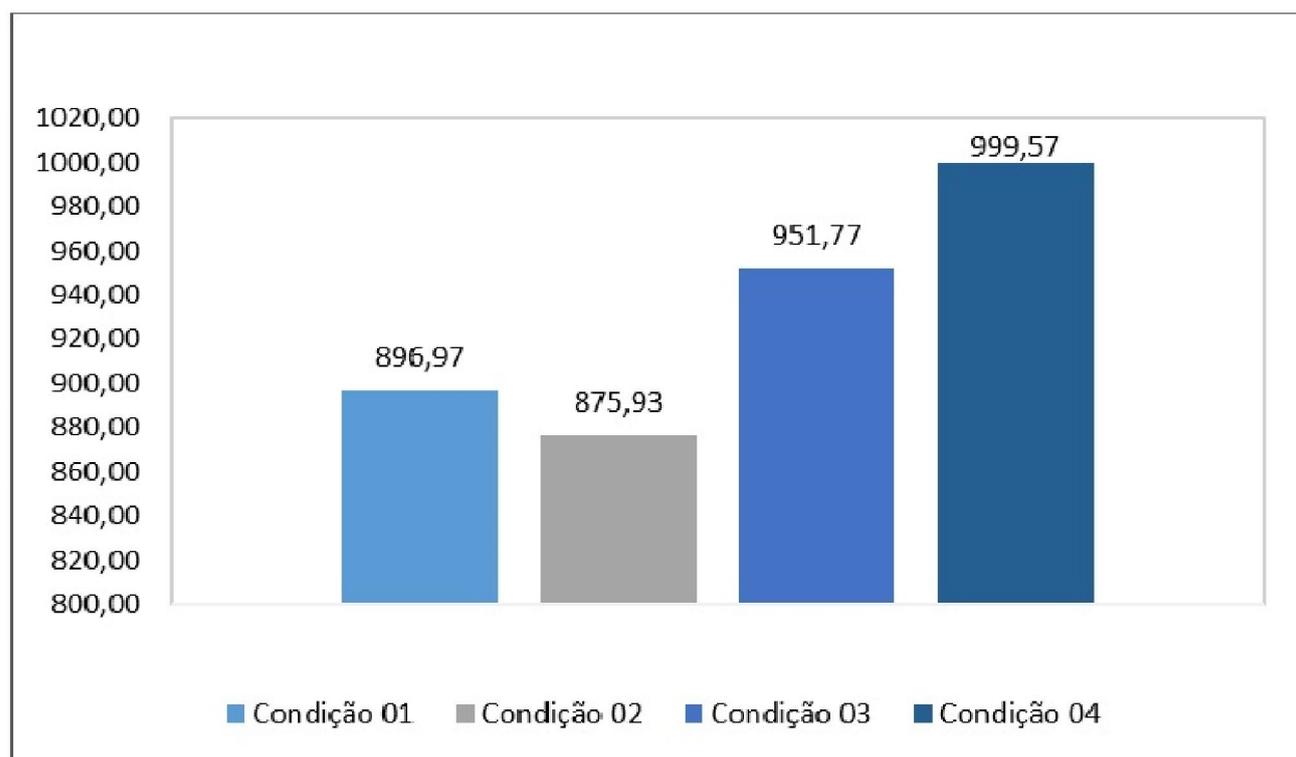
Fonte: Os Autores

02 - Ensaio de partículas magnéticas sendo realizado



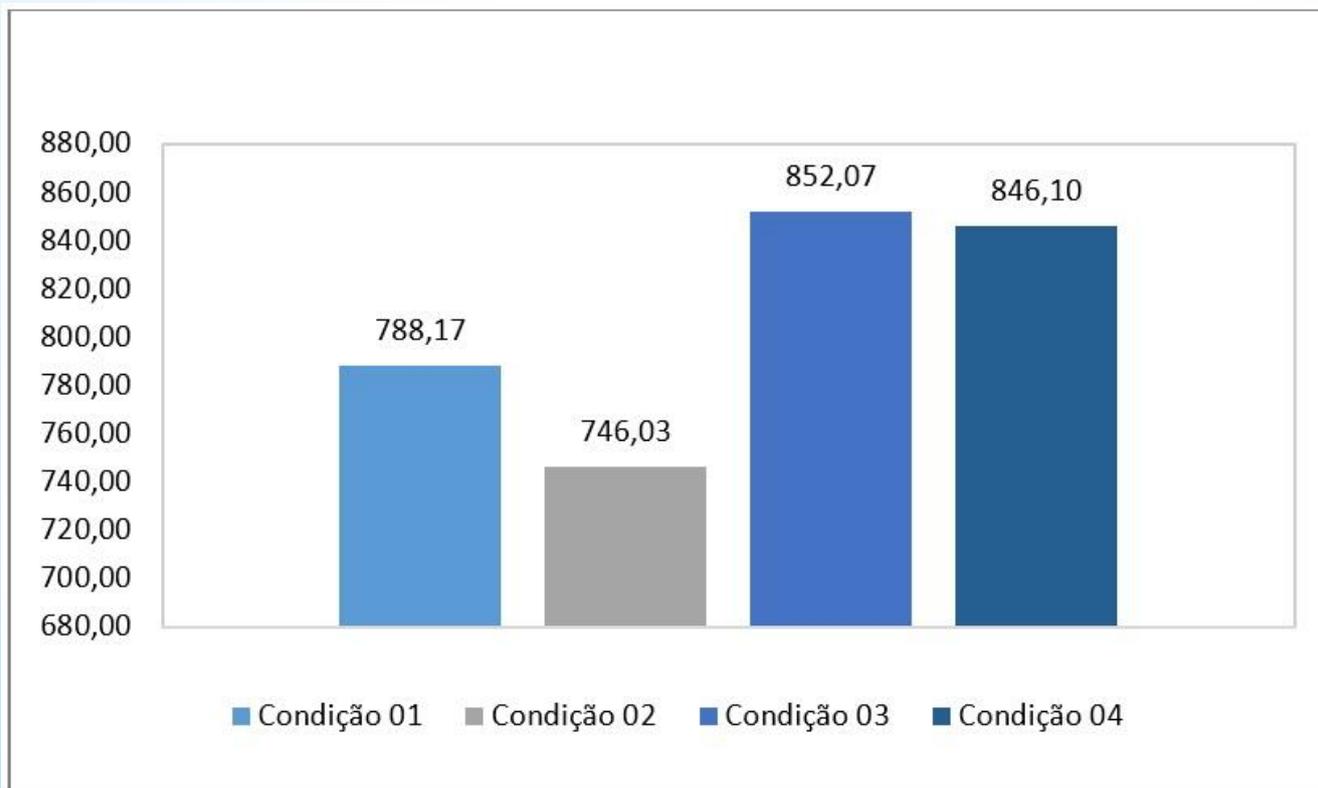
Fonte: Os autores

03 - Tensão de ruptura



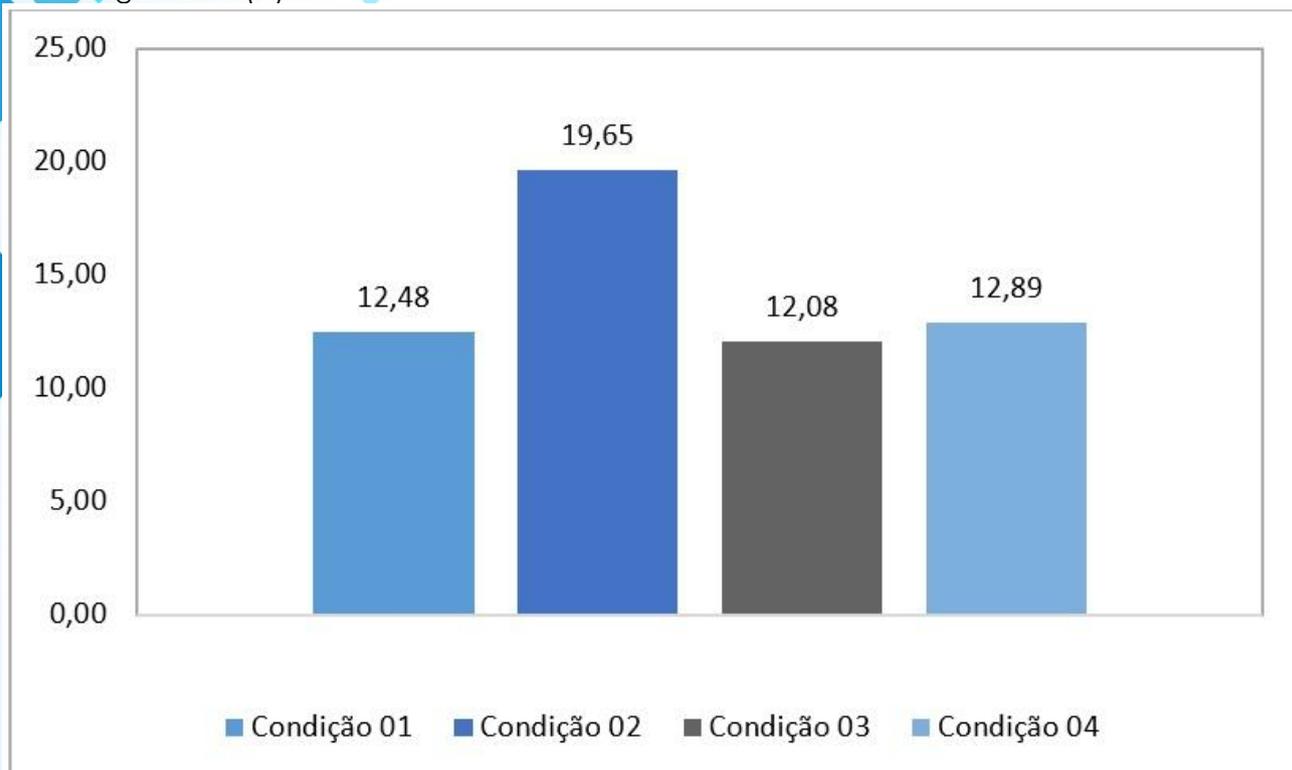
Fonte: OS Autores

04- Tensão de escoamento



Fonte: Os Autores

05 - Alongamento (%)



Fonte: Os Autores

06 - Comparação entre os valores do material de base e os encontrados em cada condição de soldagem.

	Tensão Máxima (Mpa)	Tensão de escoamento (Mpa)	Alongamento (%)
Material Base (mínimo)	755,00	550,00	15,00
Condição 01	896,97	788,17	12,48
Condição 02	875,93	746,03	19,65
Condição 03	951,77	852,07	12,08
Condição 04	999,57	846,1	12,89

Fonte: Os Autores