

## MACROGRAFIA DE JUNTAS SOLDADAS COM ELETRODOS E6013 E E7018 EM AÇO DE BAIXO CARBONO

### MACROGRAPHY OF WELDED JOINTS WITH E6013 AND E7018 ELECTRODES IN LOW CARBON STEEL

<sup>1</sup>TARLOTO, Rafael Leal; <sup>2</sup>OLIVEIRA, Bruno; <sup>3</sup>FRAGOSO, Kamira Miksza;  
<sup>4</sup>RIBEIRO, Fernando Sabino Fontequé.

<sup>1a4</sup>Departamento de Engenharia Mecânica – Centro Universitário das  
Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

#### RESUMO

O avanço na tecnologia de soldagem e na seleção de eletrodos é fundamental para garantir a qualidade e a eficiência nos processos industriais. Este estudo compara as juntas soldadas pelo processo de soldagem com eletrodo revestido utilizando os eletrodos E6013 e E7018, empregando corpos de prova de aço A36. As juntas soldadas foram analisadas através de inspeção macroscópica. Foram observadas diferenças pontuais nas características das zonas termicamente afetadas e principalmente imperfeições geométricas devido a erros de operação. Para o eletrodo E6013, identificaram-se desalinhamento e uma pequena trinca, com uma ZTA bem caracterizada, indicando coerência na deposição do material. No caso do eletrodo E7018, apesar de uma ZTA menos pronunciada, o desalinhamento e a presença de uma trinca revelaram uma potencial fragilidade mecânica. Os resultados destacam a importância do controle rigoroso dos parâmetros de soldagem e da precisão na preparação das peças, evidenciando que ajustes na técnica e no alinhamento são cruciais para garantir a integridade e a durabilidade das soldagens em aplicações industriais. O estudo reforça a necessidade de contínuo aprimoramento nas práticas de soldagem para atender às exigências tecnológicas e garantir a qualidade dos componentes soldados.

**Palavras-chave:** Zona Termicamente Afetada; Eletrodos E6013 e E7018; Macrografia.

#### ABSTRACT

Advances in welding technology and electrode selection are essential to guarantee quality and efficiency in industrial processes. This study compares joints welded by the coated electrode welding process using E6013 and E7018 electrodes, using A36 steel specimens. The welded joints were examined through macroscopic inspection. Specific differences were observed in the characteristics of the thermally affected zones and mainly geometric imperfections due to operating errors. For electrode E6013, misalignment and a small crack were identified, with a well-described ZTA, indicating coherence in the position of the material. In the case of the E7018 electrode, despite a less pronounced ZTA, the misalignment and the presence of a crack revealed potential mechanical fragility. The results highlight the importance of rigorous control of welding parameters and precision in the preparation of parts, showing that adjustments in technique and alignment are crucial to guarantee the integrity and durability of welds in industrial applications. The study reinforces the need for continuous improvement in manufacturing practices to meet technological requirements and guarantee the quality of welded components.

**Keywords:** Thermally Affected Zone; E6013 and E7018 Electrodes; Macrography.

#### INTRODUÇÃO

A soldagem com eletrodos teve início no princípio do século XX, com a

utilização de arames nus para cercas, ligadas a rede elétrica. Observou-se que arames oxidados, ou cobertos com cal, proporcionavam melhor estabilidade de arco, tendo-se adotado o eletrodo ácido ainda no começo da primeira década.

Segundo Rodrigues e Cersosimo (2022), o eletrodo revestido consiste em um arame metálico (alma), que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para o preenchimento da junta, recoberta por um revestimento. Esse revestimento é uma mistura de diferentes materiais fusíveis, que tem por função iniciar e estabilizar o arco elétrico, proteger a poça de fusão e o metal de solda da atmosfera, ajustar a composição química do cordão e eliminar as impurezas do metal de solda pela formação de escória, garantindo as propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada. O processo é de baixo custo, versátil e de fácil aprendizagem, entretanto apresenta baixa produtividade pela necessidade de constante troca de consumível.

De acordo com Wainer et al. (2004), a corrente de soldagem é o parâmetro determinante na taxa de deposição para dadas condições fixas de soldagem, existe uma relação direta e proporcional entre as duas variáveis, sendo que está uma consideração de extrema importância no que diz respeito à produtividade.

O único material consumível desse processo de soldagem é o eletrodo revestido. Conforme aponta Marques (2005), o eletrodo é constituído por uma vareta metálica, a alma, com diâmetro entre 1,5 e 8mm e comprimento entre 23 e 45cm, recoberta por uma camada de fluxo, o revestimento. Existem diferentes tipos de eletrodos com diferentes características operacionais, aplicáveis a diferentes materiais e que produzem soldas com diferentes características, os consumíveis aplicados no Brasil devem ser certificados por Organismo Certificador de Produtos (O.C.P.), conforme N-1859 (Cunha, 2016). Esse órgão no Brasil é a Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem (F.B.T.S.), segundo as normas de qualificação AWS (Silva et al., 2019). Este sistema, normalizado pela *American Welding Society*, é na atualidade, o mais difundido mundialmente, sendo este também utilizado no nosso país. A classificação consiste no prefixo E, designando eletrodo revestido, seguida por um conjunto de dígitos indicativos.

Já os revestimentos consistem em misturas de compostos minerais ou orgânicos, às quais são adicionados, como aglomerantes com finalidades específicas como (Kobayashi, 1987):

- Estabilização do arco;
- Formação de gases protetores da poça;
- Formação de escória e atuação como agentes fluxantes (desoxidantes);
- Adição de componentes e ligas metálicas ao depósito;
- Melhorar as propriedades do revestimento.

Dentre as combinações de designações mais comuns para eletrodos revestidos, Wainer *et al.* (2004) sintetizam as principais características de aplicação no Quadro 1:

**Quadro 1** – Descrição dos consumíveis para aço carbono segundo AWS.

Classificação	Posições (1)	Corrente	Propriedades Mecânicas (2)			Revestimentos/Características
			LR (3)	LE (4)	$\lambda$ (5)	
E-6010	P, V, S, H	CC+	430	340	22	Altamente celulósico, com silicato de sódio. Alta penetração. Aspecto superficial pobre. Uso geral em tanques, tubulações, navios, etc.
E-6011	P, V, S, H	CC+, CA	430	340	22	Altamente celulósico, com silicato de potássio. Características semelhantes ao E-6010, com penetração inferior.
E-6012	P, V, S, H	CC-, CA	460	380	17	Rútílico com silicato de sódio. Média penetração, densa escória, bom aspecto superficial. Uso geral.
E-6013	P, V, S, H	CC+, CC-, CA	460	380	17	Rútílico com silicato de potássio. Semelhante ao E-6012, com penetração tendendo a ser inferior. Em pequenos diâmetros é especificamente recomendado para chapas finas.
E-6020	HF	CC-, CA	430	340	22	À base de óxido de ferro, com compostos de manganês e silício. Penetração média/alta. Aspecto superficial razoável. Uso em vasos de pressão, bases de máquinas e estruturas.
E-6022	P	CC-, CC+, CA	460	NE	NE	Semelhante ao E-6020, indicado para soldas monopasse, com aspecto superficial inferior.
E-6027	P, HF	CC-, CA	430	340	22	Semelhante ao E-6020, com adição de pó de ferro, média penetração, bom aspecto superficial, qualidade radiográfica levemente inferior. Uso em secções espessas.
E-7014	P, V, S, H	CC-, CC+, CA	500	420	17	Semelhante ao E-6012 e E-6013, com adição de pó de ferro.
E-7015	P, V, S, H	CC+	500	420	22	Básico com silicato de sódio. Moderada penetração, aspecto razoável para pobre, dependendo da qualidade do metal base. Requer maior habilidade. Uso onde propriedades mecânicas e qualidade do depósito são essenciais.
E-7016	P, V, S, H	CC+, CA	500	420	22	Semelhante ao E-7015, com silicato de potássio e pó de ferro
E-7018	P, V, S, H	CC+, CA	500	420	22	Semelhante do E-7016, com alta adição de pó de ferro.
E-7024	P, HF	CC-, CC+, CA	500	420	17	Semelhante ao E-6012 e E-6013, com grande adição de pó de ferro. Alta taxa de deposição; uso geralmente em soldas de filete.
E-7027	P, HF	CC-, CA	500	420	22	Semelhante ao E-6027. Uso onde propriedades mecânicas superiores são necessárias.
E-7028	P, HF	CC+, CA	500	420	22	Semelhante ao E-7018, com maior adição de pó de ferro.
E-7048	P, V, S, H, VD	CC+, CA	500	420	22	Semelhante ao E-7018. Uso especificamente para soldagem na posição vertical descendente.

Fonte: Wainer et al. (2004)

**Notas:**

- (1) P= Plana, V= Vertical, S= Sobrecabeça, H= Horizontal, HF= Horizontal (filetes), VD= Vertical descendente.
- (2) NE= Não especificado;
- (3) Limite de resistência, MPa;
- (4) Limite de elasticidade, MPa;
- (5) Alongamento %.

O campo de aplicação dos eletrodos revestidos é na atualidade o mais vasto entre todos os processos de soldagem pela sua simplicidade, facilidade de acesso e baixo custo, a variedade de procedimentos aplicáveis é também ampla, indo desde os mais simples serviços de ponteamto até o mais rígido controle na fabricação de vasos de pressão. Os corretos manuseio e manutenção dos consumíveis podem ser fundamentais para a sanidade da junta, apesar de a correta aplicação do procedimento de soldagem qualificado ser um fator primordial para uma boa qualidade da junta, grande parte das descontinuidades observadas é devido à manutenção inadequada dos consumíveis (Machado, 1996).

Ainda segundo Wainer *et al.* (2004), a maioria dos processos de soldagem utiliza o calor como principal fonte de energia, sendo necessário supri-lo à poça de fusão em quantidade e intensidade suficientes, de modo a garantir a execução de uma junta soldada de boa qualidade. O calor é, portanto, elemento essencial à execução de uniões soldadas, mas pode, por outro lado, representar fonte potencial de problemas devido à sua influência direta nas transformações metalúrgicas e nos fenômenos mecânicos que ocorrem na zona de solda.

A zona termicamente afetada (Z.T.A.), é a região compreendida entre a zona fundida e o metal base não afetado termicamente. Ela representa a região da solda que não se fundiu durante a soldagem, porém devido as altas temperaturas sofre modificações em suas propriedades mecânicas e metalúrgicas. Essas modificações resultam em diferenças no valor da dureza, tamanho do grão e resistência mecânica, presentes nesta região.

Isto posto, este artigo apresenta uma avaliação experimental da influência dos eletrodos E6013 e E7018 na formação da Zona Termicamente Afetada em aços A 36.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

No presente trabalho, foi realizada uma comparação da zona termicamente afetada (ZTA), utilizando eletrodos E6013 e E7018, ambos do mesmo fabricante. Para

a soldagem, foram utilizados corpos de prova em aço carbono A 36, de aplicação comum na indústria. Esse material é amplamente empregado devido à sua versatilidade e resistência, sendo encontrado em diversas aplicações, desde estruturas metálicas até tubulações e componentes mecânicos. O estudo busca analisar as diferenças no comportamento da ZTA com o uso desses dois eletrodos, considerando sua influência nas propriedades mecânicas e microestruturais das juntas soldadas.

Os eletrodos revestidos E6013 e E7018 desempenham um papel crucial na indústria, especialmente a soldagem de estruturas metálicas. O eletrodo E6013 é amplamente utilizado devido à sua versatilidade e facilidade de manuseio em todas as posições e tipos de corrente de soldagem, proporcionando boas características de soldagem em várias posições e sendo ideal para chapas finas e soldagens de acabamento.

Já o eletrodo E7018, conhecido por seu baixíssimo teor de hidrogênio e maior resistência mecânica devido a maior presença de manganês, é essencial para soldagens de alta qualidade em estruturas submetidas a elevadas tensões, como em obras de engenharia pesada. A combinação desses dois tipos de eletrodo permite atender às diferentes demandas de soldagem, garantindo durabilidade, resistência e confiabilidade nas operações industriais.

A primeira etapa do estudo foi a preparação dos corpos de prova. Para tal, foi utilizado uma esmerilhadeira de 4 polegadas. Os corpos de prova possuíam 150mm de comprimento, 100mm de largura, com chanfro de 45°, conforme a Figura 1:

**Figura 1:** Junta corpo de prova



**Fonte:** Autor

Em seguida foi aplicado um passe de raiz em cada corpo de prova, utilizando uma corrente média de 100 ampères, seguido por um passe de acabamento, indicados na Figura 2:

**Figura 2:** Corpos de provas finalizados.



Fonte: Autor

Após corte em uma cortadora metalográfica, os corpos de prova foram embutidos, utilizando baquelite em pó na embutidora, como apresentado na Figura 3. Em sequência foram lixados até a obtenção da qualidade desejada. Esse processo de lixamento contou com sete lixas d'água, na sequência #180, #220, #320, #400, #600, #800, #1200:

**Figura 3 -** Corpos de provas embutidos



Fonte: Autores

Dessa forma, foi possível avançar para a etapa final do processo, o ataque químico, que foi realizado individualmente em cada amostra, utilizando-se solução de Nital à 4%. Esse procedimento permitiu a corrosão seletiva das diferentes fases metálicas, possibilitando uma visualização da zona termicamente afetada (ZTA).

Ressalta-se que para melhor evidência das regiões estudadas fez-se necessário a utilização da lupa com ampliações de 10x, da marca OPTON, presente no Laboratório de Metalografia do Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos. A utilização desse microscópio desempenha um papel fundamental na análise macrográfica, tornando-se uma ferramenta essencial para engenheiros e técnico mecânicos. Este dispositivo, conhecido por sua capacidade de ampliação, oferece vantagens significativas na inspeção detalhada das regiões soldadas, podendo identificar e avaliar com precisão diferentes tipos de defeitos de soldagem, como trincas, descontinuidades, porosidade, entre outros.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A análise detalhada das regiões soldadas é essencial para avaliar a qualidade e integridade das juntas, especialmente em processos que utilizam eletrodos revestidos como o E6013 e o E7018. A inspeção macroscópica das seções transversais dos corpos de prova, associada ao uso de microscopia, permite identificar tanto a morfologia dos passes de solda quanto eventuais defeitos que podem comprometer a resistência mecânica da junta. Neste estudo, a investigação focou em examinar as características dos passes de raiz e de acabamento, a zona termicamente afetada (ZTA) e possíveis descontinuidades, como desalinhamentos e trincas, buscando correlacionar essas observações com os parâmetros de soldagem e consumíveis.

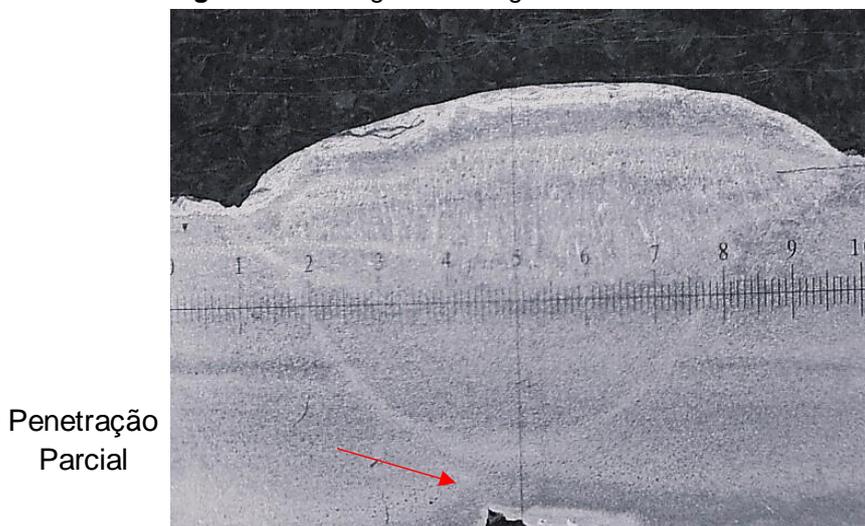
Na soldagem realizada com o eletrodo E6013, apresentada na Figura 4, foi possível identificar claramente os passes de raiz e de acabamento. A junta soldada apresentou um leve desalinhamento, além de uma pequena indicação de trinca na região inferior. O passe de raiz não conseguiu atravessar completamente a seção transversal da peça, o que pode ser atribuído ao tipo de junta utilizada no processo de soldagem, que não favoreceu a penetração total. O passe de acabamento resultou em uma área convexa na superfície, cuja altura deve ser analisada em comparação

com os padrões de soldagem estabelecidos pela Federação Brasileira de Tecnologia de Soldagem (FBTS).

Em relação à zona termicamente afetada (ZTA), observou-se uma estreita faixa correspondente a essa região, indicando que o gradiente de temperatura não foi suficientemente elevado para causar alterações microestruturais significativas no material base. Isso sugere que os parâmetros de soldagem, como corrente e velocidade de avanço, foram adequadamente controlados, minimizando os efeitos térmicos na peça.

Contudo, a principal preocupação em termos de integridade estrutural reside na possível propagação da trinca identificada, a qual pode comprometer a resistência da junta soldada a longo prazo, especialmente em condições de carregamento cíclico ou fadiga. Esses resultados ressaltam a importância de se realizar uma avaliação rigorosa da qualidade da soldagem, principalmente no que se refere ao alinhamento das peças e à detecção precoce de defeitos como trincas, que podem comprometer a durabilidade da estrutura.

**Figura 4 - Macrografia soldagem E6013**



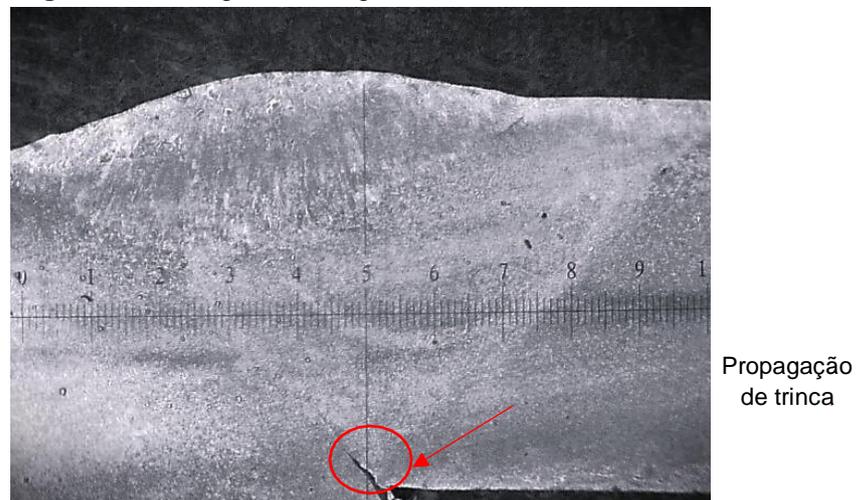
**Fonte:** Autor

No corpo de prova soldado com o eletrodo E7018, apresentado na Figura 5, foram observadas deficiências no paralelismo do cordão de solda e no alinhamento da junta soldada, que podem estar associadas à técnica de deposição e à precisão no ajuste das peças durante o processo. Apesar dessas imperfeições geométricas, a análise macrográfica revelou que a zona termicamente afetada (ZTA) apresentou

alterações menos pronunciadas e uma definição menos nítida em comparação com o corpo de prova soldado com o E6013. Este achado sugere que os parâmetros de soldagem, incluindo corrente elétrica, tensão e velocidade de avanço, foram bem controlados, resultando em uma solda com características térmicas e microestruturais satisfatórias.

No entanto, a presença de uma trinca, exacerbada pela falta de paralelismo da junta, aponta para uma potencial fragilidade mecânica que pode comprometer a integridade estrutural do componente sob condições de serviço. Isso destaca a necessidade de uma preparação meticulosa e um alinhamento preciso das peças para minimizar o risco de falhas prematuras. Os resultados obtidos reforçam a importância de um controle rigoroso dos parâmetros de soldagem e da precisão na montagem das peças, visando garantir a qualidade da junta soldada e assegurar a durabilidade do componente em aplicações reais. A análise dos resultados evidencia a necessidade de ajustes na técnica de soldagem e na preparação da junta para evitar comprometimentos estruturais e promover a integridade das soldagens.

**Figura 5 - Macrografia soldagem E7018**



**Fonte:** Autor

## CONCLUSÕES

Após a realização da análise dos corpos de prova, por meio do ensaio macrográfico, foi evidenciado que a zona termicamente afetada não ocasionou defeitos aparentes, sendo que as fissuras identificadas foram resultantes de falha na penetração de material na junta, referente ao primeiro corpo de prova, e sobreposição de um lado a outro da peça, referente do segundo corpo de prova. Foi verificado

também que, aparentemente, o processo de soldagem com eletrodo E7018 gerou menores danos térmicos do que o processo de soldagem do eletrodo E6013. Tais divergências podem estar atreladas a características de fusão do eletrodo, dada a maior presença de manganês no eletrodo E7018.

No entanto ainda não é possível identificar possíveis tensões residuais por meio dessa análise, que podem apresentar falhas diante de determinados esforços como fadiga, tração, compressão, ou as variações de dureza nessa região, sendo necessário a aplicação de outros ensaios mais específicos, como o ensaio de dureza, ensaio de tração e a verificação da micrografia do material,

o qual será realizado posteriormente.

Em continuidade a este trabalho, serão realizados ensaios de micrografia, visando identificar com maior clareza a estrutura da zona fundida, zona termicamente afetada e o metal base.

## REFERENCIAS

CUNHA, Henrique Miguel. **Caracterização de juntas soldadas de aços carbono e aços inoxidáveis utilizando arame AWS E309L T1-1**. 2016.

KOBAYASHI, Yukio *et al.* **Influência da composição do revestimento de eletrodos básicos sobre as características econômicas e operacionais**. 1987.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & técnicas conexas: processos**. 1996.

MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

RODRIGUES, Clóvis; CERSOSIMO, Arno Giuseppe. **Soldagem na indústria do petróleo**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2022.

SILVA, Ana Carla S. *et al.* **Aplicação da metodologia para qualificação de procedimentos de soldagem de tubulações industriais conforme parâmetros dos códigos ASME B31.3 e ASME SECTION IX**. *Soldagem & Inspeção*, v. 24, p. e2423, 2019.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; DE MELLO, F. D. H. **Soldagem: processos e metalurgia**. 4ª reimpressão. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 2004.