

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA SOLDAGEM MECANIZADA DE TUBULAÇÕES FABRICADAS COM MATERIAL ASTM A106 GRAU B UTILIZANDO OS PROCESSOS GTAW E FCAW

Aldo Thales de Souza

aldo.sousa@fatec.sp.gov.br

Fernando Araújo Santos

fernando.santos131@fatec.sp.gov.br

Hebert de Assis Pereira

hebert.pereira@fatec.sp.gov

Orientador: Prof. Me. Edgar de Souza Dutra

edgar.dutra@fatec.sp.gov.br

Fatec Itaquera

Prof. Coorientador: Prof. Esp. Juliano Neves Panão

juliano.panao@fatec.sp.gov.br

Fatec São Paulo

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo analisar e comparar os aspectos econômicos da soldagem na construção de duas juntas soldadas, utilizando dois modos de soldagem distintos, sendo eles o processo *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) e *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) aplicados ao mesmo tipo de tubulação fabricada com o material ASTM A106 grau B, atendendo as especificações normativas do ASME B31.3. Os cálculos foram compostos por informações coletadas durante o processo de soldagem de cada amostra, levando-se em conta as características do processo que possivelmente refletiria em alterações nas previsões de custos finais como consumo de gás de proteção, energia elétrica, entre outros aspectos. Como resultados, observamos que dentro das condições de soldagem desse trabalho, o processo GTAW apresentou-se com maior viabilidade econômica comparando-o ao processo FCAW.

Palavras-chave: Custos. Soldagem. Indústria

ECONOMIC EVALUATION OF MECHANIZED WELDING OF PIPES MADE WITH ASTM A106 GRADE B USING GTAW AND FCAW PROCESSES

ABSTRACT: The present study has as objective to analyze and compare the economic aspects of welding, in the

construction of two welded joints, using two different welding modes, being them GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) and FCAW (Flux-Cored Arc Welding) applied to the same type of pipe manufactured with ASTM A106 grade B, meeting the requirements of ASME B31.3. The calculations were composed of information collected during the welding process of each sample. Considering the characteristics of the process that would possibly lead to changes in final cost forecasts such as consumption of shielding gas, electricity, among other aspects. As a result, we observed that within the welding conditions of this work, the GTAW process presented with greater economic viability compared to the FCAW process.

Keywords: Costs. Welding. Industry

1 INTRODUÇÃO

Na indústria, é inevitável o uso dos fluidos para insumos nos processos, assim como na otimização do funcionamento das máquinas e equipamentos. Diante disso, as tubulações industriais se apresentam como uma excelente saída, uma vez que atendem as “aplicações nas indústrias químicas,

eletroquímicas, termoelétricas, nucleares e de petróleo” (SOBRAL, 2013 p. 13).

A norma ASTM A 106 trata da especificação de tubos sem costura. Os tubos fabricados com esses materiais são adequados para sistemas pressurizados e em altas temperaturas. Nas indústrias de processo em que as tubulações chegam a custar até 25% do valor de empreendimento, destes, 50% são relativos à montagem, tornando a soldagem um elemento significativo na composição de custos (SILVA; 2019).

Nesse contexto, esse estudo busca apresentar a comparação de dois processos diferentes de soldagem em tubulações industriais, analisando o âmbito econômico de cada um dos mesmos, na tentativa de apresentar a melhor alternativa para a soldagem de tubulações de processo.

2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma empresa metalúrgica, a mesma foi constituída em 1968 e está situada na grande São Paulo e apresentá-se como uma referência no desenvolvimento e fabricação de vasos de pressão e máquinas compressoras para refrigeração industrial.

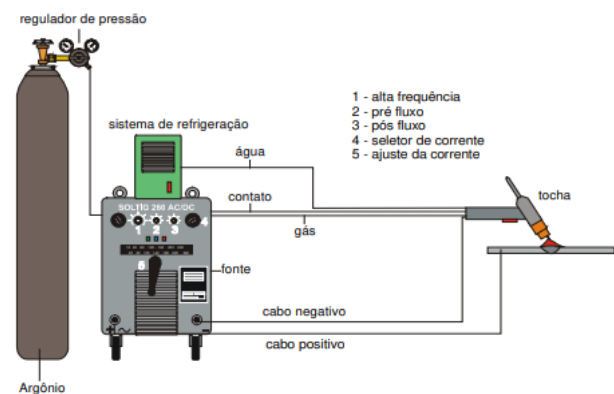
Visando destacar as características e diferenças encontradas durante o estudo comparativo das juntas soldadas nos processos de soldagem GTAW e FCAW, foram coletadas informações sobre materiais, equipamentos, parâmetros, insumos e consumíveis utilizados durante o processo de

soldagem, além das informações referentes às preparações e métodos utilizados.

Para o caso em questão, iniciou-se por obter as amostras de tubulações em aço ao carbono conforme especificação ASTM A-106 Grau B, com espessura de 9,52 mm. Em sequência, foram analisados os tipos de equipamentos utilizados para execução do processo de soldagem nos modos GTAW e FCAW, além dos procedimentos e parâmetros destinados ao processo produtivo.

O processo de soldagem GTAW, foi composto por uma fonte inversora de frequência, tocha de soldagem refrigerada e cabos (Figura 1).

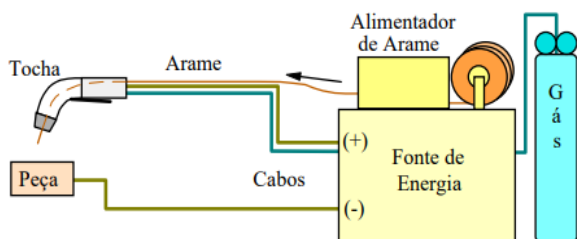
Figura 1 - Equipamento de soldagem GTAW



Fonte: Fonseca (2004; pág. 8).

O processo de soldagem FCAW, foi composto por um conjunto básico de soldagem, constituído por um alimentador, onde foi inserida a bobina do consumível, uma tocha, uma fonte de energia e uma fonte de alimentação de gás (Figura 2).

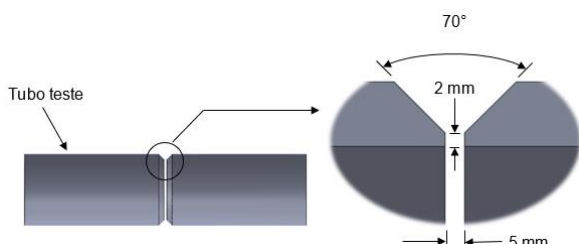
Figura 2 - Equipamento para a soldagem FCAW



Fonte: Modenesi e Marques (2000; pág 20).

Para obtenção dos corpos de prova, foi utilizado como material de adição, o arame tubular E71T-1 no processo de soldagem FCAW, com o diâmetro de 1,20 mm, conforme especificado no ASME II - Part C - SFA 5.20 e como gás de proteção, CO₂ puro. Para o processo de soldagem GTAW, foi utilizada a vareta ER70S-3 com o diâmetro de 3,20 mm, especificada no ASME II - Part C - SFA 5.18 e utilizado argônio puro como proteção gasosa. As amostras foram confeccionadas manualmente, seguindo especificações do ASME B31.3, atendendo padrões já adotados para acoplamentos de juntas de topos em tubulações com as seguintes características: Cortes realizados pelo processo de maçarico e apresentando biséis usinados com ângulos de 35°, faces de raiz de 2 mm, conforme Figura 3.

Figura 3 - Tubo teste destinada as análises

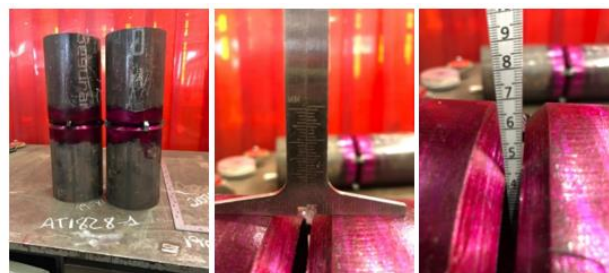


Fonte: Elaboração própria (2022).

De acordo com o ASME B31.3, para a inspeção de juntas, é necessário a observação de algumas características sendo elas: limpeza das peças, ângulos dos chanfros, abertura entre os tubos, face da raiz e alinhamentos.

Para observação dessas variáveis, foi necessário a utilização de calibres de soldas. A limpeza das peças como parte principal para não haver contaminações durante a soldagem, foi realizada através de desbaste dos chanfros e partes internas e externas dos tubos até atingir uma aparência de metal brilhante, além de adicionar uma aplicação de verniz anticorrosão (Figura 4).

Figura 4 - Montagem, inspeção e alinhamento



Fonte: Elaboração própria (2022).

As amostras foram confeccionadas com processos de soldagem diferentes. Na amostra "1", foi efetuado o processo de soldagem GTAW para raiz, enchimento e acabamento, já na amostra "2", foi utilizado o processo GTAW apenas na raiz e o enchimento e acabamento foram realizados com o processo FCAW.

As amostras 1 e 2 apresentaram uma soldagem sem indicações de defeitos, passes filetados de enchimento e 3 filetes de acabamento, com o auxílio de um equipamento rotativo para produção das

soldagens mecanizadas na posição plana conforme Figura 5.

Figura 5: Soldagem com passes filetados A) Amostra 1; B) Amostra 2



Fonte: Elaboração própria (2022).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CUSTOS DE SOLDAGEM

A análise e gerenciamento de custos otimizam os processos de fabricação e contribuem para a rentabilidade do processo, logo, tem-se a necessidade de ter o conhecimento da sua composição levando em consideração dois aspectos: preparação e execução da soldagem (DUTRA; 2020).

A determinação dos custos associados com os consumíveis de soldagem e a mão de obra é baseada no cálculo da massa de metal depositado em um cordão de solda e do tempo de soldagem. Este cálculo será apresentado nos itens seguintes para o caso mais simples de um único tipo de junta soldada e de uma única estação de trabalho. (MODENESI; 2001, pág 1).

A Equação 1 refere-se ao custo total da soldagem (CTS) (DUTRA; 2020; pág 66).

$$CTS = C1 + C2 + C3 + C4 \quad (1)$$

Onde:

- C1 = Custo do metal de adição;
- C2 = Custo de energia elétrica;
- C3 = Custos fixos e de mão de obra;
- C4 = Custo do gás de proteção.

3.1.1 Energia imposta

A energia imposta é um dos fatores a ser considerado no estudo da transferência de calor em juntas soldadas, pois a influencia diretamente nas características metalúrgicas finais, tendo em mente, temas pertinentes ao pré-aquecimento e a temperatura de interpasses, influenciando a taxa de resfriamento e conseqüentemente, na microestrutura inicial do sólido (PEREZ; 2007).

Na soldagem, costuma-se trabalhar outra grandeza denominada de aporte de energia ou aporte de calor, que correlaciona a quantidade de energia aplicada a soldagem por unidade de comprimento da mesma (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

Na equação 2 a seguir, pode-se observar tal afirmação conforme ASME IX (2019) e as descrições dos dados, encontram-se disponíveis na Tabela 1.

$$HI = \frac{U.I.60}{vs} \quad (2)$$

Tabela 1 – Dados de energia imposta

Dados	Descrição
HI	Energia Importa (J/cm)
U	Tensão (V)
I	Corrente de soldagem (A)
vs	Velocidade de soldagem (cm/min.)

Fonte: Adaptado do ASME IX (2019).

3.1.2 Variáveis para cálculos de custos

Existe uma grande quantidade de coeficientes e parâmetros encontrados na literatura específica, porém, diversos deles parecem ser muito específicos a um ramo de empresas ou serviço, então, foi dada preferência às referências que abrangem de forma mais genérica os amplos processos de soldagem, onde a Equação 3 (C1), compreende os custos com metal de adição e os dados, encontram-se disponíveis na Tabela 2.

$$C_e = \frac{m_s}{\varphi} C_{eU} \quad (3)$$

Tabela 2 – Dados do metal de adição

Item	Descrição
MS	Massa de metal depositado
φ	Eficiência de deposição conforme pesagem dos corpos de prova
CeU	Preço do consumível

Fonte: Adaptado de Modenesi (2001).

A Equação 4 (C2) corresponde aos custos com energia elétrica e os dados encontram-se disponíveis na Tabela 3.

$$C_{el} = \frac{P t_{ARC}}{\varphi_{el}} (C_{eU}) \quad (4)$$

Tabela 3 – Dados do energia elétrica

Item	Descrição
CeU	Preço da energia elétrica
P	Potência elétrica média desprendida durante a soldagem
tARC	Tempo de arco aberto
φ_{el}	Eficiência elétrica da fonte de soldagem (Fonte Yaskawa V-1000 = 95%)

Fonte: Adaptado de Modenesi (2001).

A Equação 5 (C3) reflete os custos com a mão de obra e custos fixos, onde os dados encontram-se disponíveis na Tabela 4.

$$Cl = \frac{t_{ARC}}{\varphi} (L + O) \quad (5)$$

Tabela 4 – Dados da mão de obra e custos fixos

Item	Descrição
tARC	Tempo de arco aberto
φ	Fator de operação
L	Custo por unidade de tempo com mão de obra
O	Gastos fixos

Fonte: Adaptado de Modenesi (2001).

Para o cálculo do custo de gás de proteção (C4) foi utilizada a Equação 6 e as informações apresentam-se na Tabela 5.

$$C_g = V_G t_{ARC} C_{GU} \quad (6)$$

Tabela 5 – Dados do gás de proteção

Item	Descrição
VG	Vazão de gás utilizada
tARC	Tempo de arco aberto
CGU	Preço por volume de gás

Fonte: Adaptado de Modenesi (2001).

3.1.3 Rendimento de deposição

A Equação 7 utilizada, tem o objetivo de considerar a massa linear de metal depositado (m_s) e a massa de metal consumido (m_c) durante a execução dos processos de soldagem GTAW e FCAW, de modo a comparar o rendimento de deposição (R_d) das amostras soldadas.

$$R_d = \frac{m_s}{m_c} \quad (7)$$

A unidade de massa será o quilo (kg) e o rendimento em porcentagem (%).

3.1.4 Taxa de deposição

A parcela de metal depositado na junta soldada tem o objetivo de representar o rendimento de deposição (%), essa variável é fundamental para realizar as análises direcionadas a capacidade produtiva de um processo

Conforme Figueredo; Conceição e Souza (2021), o peso de todas as amostras antes de iniciar a soldagem tem a finalidade de comparar a taxa de deposição (T_d) dados em quilos por hora (Kg/h) em ambos os modos de operação, após a soldagem em relação a faixa de corrente utilizada. A Equação 8 representa a taxa de deposição onde têm-se o quociente da massa de metal depositado (m_s) pelo tempo de arco aberto (T_{arc}).

$$T_d = \frac{m_s}{T_{arc}} \quad (8)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizando as devidas análises entre os processos estudados e comparando-os conforme Tabela 6, observa-se os custos de soldagem em relação à capacidade produtiva e eficiência econômica em cada processo, de modo a comprovar qual dos mesmos se demonstra mais rentável economicamente para a fabricação das juntas tubulares avaliadas.

No rendimento de deposição o processo GTAW, foi notada uma vantagem sobre o processo FCAW de 42%, influenciada pela realização do desbaste de escória aprisionada no chanfro em cada passe do processo FCAW, entretanto, a taxa de deposição do processo FCAW, apresentou uma superioridade de 2,15 vezes sobre o GTAW.

A energia imposta nos processos estudados apresentou diferenças quando associadas, o que indica uma redução de 13% no procedimento GTAW.

Os cálculos do custo de gás apresentaram duas variáveis para obtenção da redução de 5 vezes do valor final de gás, devido aos preços comercializados dos tipos de gases e os tempos de vazões de cada processo.

Tabela 6 – Custos totais de soldagem

Avaliações dos custos (R\$)	Amostras	
	1	2
Custo do metal de adição C1 (R\$)	14,48	30,06
Custo da energia elétrica C2 (R\$)	0,69	1,09
Custo do processo (C3) (R\$)	108,10	167,91

Custo do gás (C4) (R\$)	6,70	1,20
Custo Total de Soldagem (R\$)	129,96	200,26

Fonte: Elaboração própria (2022).

Alisando a Tabela 6, observa-se uma redução de 35% nos custos do processo GTAW em relação ao FCAW, na soldagem da tubulação objeto de estudo deste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo de análise econômica entre os processos GTAW e FCAW, nas condições aplicadas, utilizando o metal ASTM A106 Grau B para fabricação de uma junta soldada em tubulações de processo na indústria de óleo e gás, constata-se que através dos resultados adquiridos no comparativo, que o processo GTAW é viável e se demonstra mais adequado à aplicação observada, devido ao seu menor custo, diferença econômica essa de 35% sem comprometer a qualidade da junta soldada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E562-11: **Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count**. West Conshohocken, 2012. DOI 10.1520/E0562-11

ASME – **The American Society of Mechanical Engineers. Boiler and Pressure Vessel Code. Section VIII - Rules for Construction of Pressure Vessels – Division 2**, Edition 2019.

ASME B31.3 - **Process Piping ASME Code for Pressure Piping**, B3. 2018.

DUTRA, E. S.; **Análise técnica e econômica da soldagem robotizada de vasos de pressão utilizando os arames maciço e metal cored sob atmosfera ativa**. Dissertação de Mestrado em Processos Industriais; Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT-SP – São Paulo, 2020.

FIGUEREDO, I.; CONCEIÇÃO, M. P.; SOUZA, W.L. – **Análise Comparativa entre a Soldagem GMAW semiautomática e robotizada na Indústria**. Automobilística. Faculdade de Tecnologia de Itaquera. SP, 2021.

FONSECA, A. S. **Soldagem TIG**, Centro de Formação Profissional Aloysio Ribeiro de Almeida, Varginha – MG, 2004. FONSECA, Ademir Soares. **Soldagem TIG**, Centro de Formação Profissional Aloysio Ribeiro de Almeida, Varginha – MG, 2004.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3ª ed. Atualizada, 1ª reimpressão. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. 362 p.

MODENESI, P.J.; MARQUES P.V. - **Introdução aos processos de soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais. BELO HORIZONTE, 2000.

MODENESI, P.J. - **Estimativa de Custos de soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2001.

PEREZ, F. R. C.; **A influência da temperatura de pré-aquecimento e tectimento na microestrutura e propriedades mecânicas na soldagem MIG/MAG robotizada de aços SAE 8620 com ABNT LN28**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Bauru – 2007.

SILVA, A.C.S., ARAÚJO, H.R., MACENA, V.A., MORENO, J.R.S., VICENTE, A.A., HERMENEGILDO, T.F.C., SANTOS, T.F.A. - **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. 2019. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI24.23>

SOBRAL, H.S. – Caracterização das propriedades mecânicas, microestruturais e análise das tensões residuais em juntas soldadas de tubulação de aço ASTM A106 Gr B. Universidade Federal Fluminense. 2013.