

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO ELETRODO NO PROCESSO DE SOLDAGEM SMAW

Caio Virgílio Melo Rezende

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. caiovirgiliorez@hotmail.com

Mateus Matos de Abreu

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. mateusmattos15@hotmail.com

Otávio Augusto Muniz Silva

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. otavio.augusto.muniz@hotmail.com

Sérgio Mateus Brandão

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. sergio.brandao@unievangelica.edu.br

Wanderson Júnior Vieira de Abreu

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. wandersonjunior1106@hotmail.com

Resumo

O processo de soldagem é um dos métodos mais utilizados e eficazes na junção de materiais, pois tem aplicabilidade em praticamente todas as áreas do cotidiano. Com o avanço da tecnologia e, conseqüentemente, da globalização, todos os setores passaram a produzir em escalas muito maiores, mas não necessariamente com qualidade melhor. No mercado de soldagem não é diferente. Há diversos tipos de materiais, por exemplo, que são consumidos pelo mercado brasileiro, mas que foram fabricados em outros países; além da própria concorrência da indústria nacional. Desse modo, algumas perguntas são cada vez mais constantes na população: “Qual a eficiência desta ou daquela marca? O preço é justo para a qualidade final?” Entre outras indagações que valem não só para o segmento de soldagem, mas para todos os outros setores da sociedade. É nesse sentido que este trabalho consistiu em analisar a influência da qualidade do eletrodo revestido no processo de soldagem, a fim de mitigar a dúvida sobre qual eletrodo escolher na hora de se executar uma solda e, por fim, obter o componente a ser soldado no padrão esperado. Para isso, a pesquisa utilizou um dos materiais mais usuais do campo da soldagem tanto industrial quanto não-industrial, qual seja, o aço 1020; além de três marcas diferentes de eletrodos para realização das soldas. Posteriormente, pôde-se analisar a qualidade do material com ensaios mecânicos do tipo Dureza e Dobramento, além do *Welding Blind Test*, e suas respectivas análises qualitativa e quantitativa. Os resultados obtidos atenderam às expectativas do trabalho, que é fornecer ao soldador uma base sólida de amparo técnico na escolha do eletrodo que poderá fornecer as características requeridas no pós-solda, e que, no que tange à recorrência dos eletrodos no mercado, nenhum deles foi considerado desclassificado para solda. Portanto, os eletrodos analisados se comportaram satisfatoriamente, dentro de suas limitações, e a escolha do eletrodo vai depender, especialmente, da qualidade final esperada para a solda. Além disso, a pesquisa incrementou excepcionalmente o conhecimento técnico-especializado do grupo de trabalho em todas as etapas do processo de soldagem.

Palavras-Chave: Soldagem SWAM; Eletrodo revestido; Eficiência.

1. Introdução

A soldagem é um processo de união de que propicia a junção ideal entre materiais - metais e ametais -, que depende do aquecimento até dada temperatura, pode ter ou não a utilização de pressão e/ou adição de material [1]. Dentre os diversos tipos de soldagem, destaca-se a soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding - SMAW*) que também é conhecida como soldagem manual a arco elétrico (*Manual Metal Arc – MMA*). Por ser um processo que dispõe de grande versatilidade, baixo custo de operação e simplicidade dos equipamentos, há inúmeras aplicações, desde tarefas simples a união de componentes complexos [2].

O primeiro eletrodo fortemente revestido foi produzido por Oscar Kjellberg, em 1904, e isto melhorou significativamente a qualidade do material de soldagem. Basicamente, Kjellberg constatou que à medida que o metal derretia, o revestimento fundente ia vaporizando e formava um gás que protegia o metal fundido do ar evitando. Com isso, evitava-se a ocorrência de reações de fragilização enquanto o metal de solda esfriava [2,3].

No que tange à produção dos eletrodos hodiernamente, tem-se marcas renomadas tanto no mercado nacional como internacional, por exemplo, a ESAB (OK), Lincoln, Elbras, dentre outras, Tabela 1. E, além de produtores diferentes, cada eletrodo possui uma aplicabilidade, custo, vantagens e desvantagens em relação aos outros [4]. Devido ao fato de a produção interna brasileira não ser demasiadamente grande para sustentar as necessidades do próprio mercado, o país sempre foi um grande importador de diversos produtos - especialmente da China -, o que não é diferente para os materiais de soldagem [5,6]. Gerando, assim, grande embate sobre a qualidade técnica dos materiais que são submetidos a soldas de diferentes tipos de eletrodos.

Tabela 1 - Comparativo de eletrodos.

Tipo de eletrodo	Norma AWS	Exemplo de marcas				
		ESAB OK	LINCOLN	Elbras	KESTRA	LANCER ESSEN
Celulósico	E6010	22.45	5-P	BR 645-P	KST E6010	MS 610
Rutílico	E6013	46.00	LINCOLN 46+	BR 613	WEISS	MS 613 R
Básico	E7018	48.04	LINCOLN 78	BR 748	KBSCHARZ	MS 718 B
Rev. Duro	E1-UM-350	83.28	DUR 350	BR 1-350	25 W	DUR350 KB
Baixa Liga	E7018-G	48.23	CORTEN	BR 718-G	CORTEN KB	718-G
Especiais	E308L-17	61.30	308L	BR 308L-17	4306 LCW	CN 38 Ti

Fonte - Autoria própria.

A Tabela 1 é um excelente artifício comparativo entre diferentes marcas de eletrodos para uma mesma finalidade, além de fornecer o embasamento de fabricação do eletrodo em conformidade com a Norma AWS (*American Welding Society*) [7,8]. Ressalta-se que a tabela poderia ser mais expandida, pois há muito mais classificações de eletrodos e, incomensuravelmente, marcas disponíveis no mercado.

Como se percebe, há uma grande variedade de eletrodos ofertados pelo mercado. Mesmo se queira analisar apenas os eletrodos nacionais, ignorando os internacionais, haverá quantidade significativa para causar um certo desconforto sobre qual - ou quais - eletrodos são realmente confiáveis e entregam aquilo que o consumidor final espera: um produto de qualidade e com menor gasto de recursos.

O objetivo deste trabalho é, portanto, analisar de forma qualitativa e quantitativa, utilizando como base as normas AWS A5.1 [7] e AWS B4.0M [8], doravante denominadas AWS, mediante viabilidade técnica, a eficiência de diferentes eletrodos revestidos que são encontrados nos principais revendedores de equipamentos de soldagem da região onde serão efetuadas todas as etapas de campo desta pesquisa, ou seja, em Anápolis e entorno. Além disso, o estudo busca amparar, especialmente, soldadores comuns - mesmo aqueles que não possuem certificação, mas são instruídos com experiência funcional - na hora de se decidir qual eletrodo corresponde à sua expectativa pós-solda. Logo, é factível dizer que se perde a linha da pesquisa se levados em consideração todos os pontos requisitados pelas normas, pois essas não refletem a realidade da maioria daqueles realizadores de solda no país.

1.1. Fundamentos do Processo de Soldagem

Soldagem é um processo de união de materiais que se aplica a metais e polímeros. A união é obtida pela aproximação dos átomos, em metais, ou moléculas, em polímeros, a distâncias pequenas para que ligações químicas sejam formadas, ou seja, ligações metálicas, em metais, e de Van der Waals, em polímeros [3,9]. De modo diferente dos demais processos de união - parafusagem, rebiteagem, colagem e brasagem -, na soldagem, ocorre uma mistura dos materiais base e de adição, se for o caso.

O funcionamento de uma máquina de solda é razoavelmente simples. As máquinas de solda elétrica podem receber corrente contínua ou alternada e o processamento dessa energia pode ser feito por um transformador ou por um retificador. Independente do tipo de máquina, a função é a mesma, qual seja, gerar um arco elétrico [9]. Quando a ponta do eletrodo, já na pinça porta-eletrodo e o grampo-terra conectado à peça, entra em contato com o material a ser soldado, o arco elétrico fornece o calor necessário para fundir o material da haste do eletrodo e, enfim, concretizar a solda.

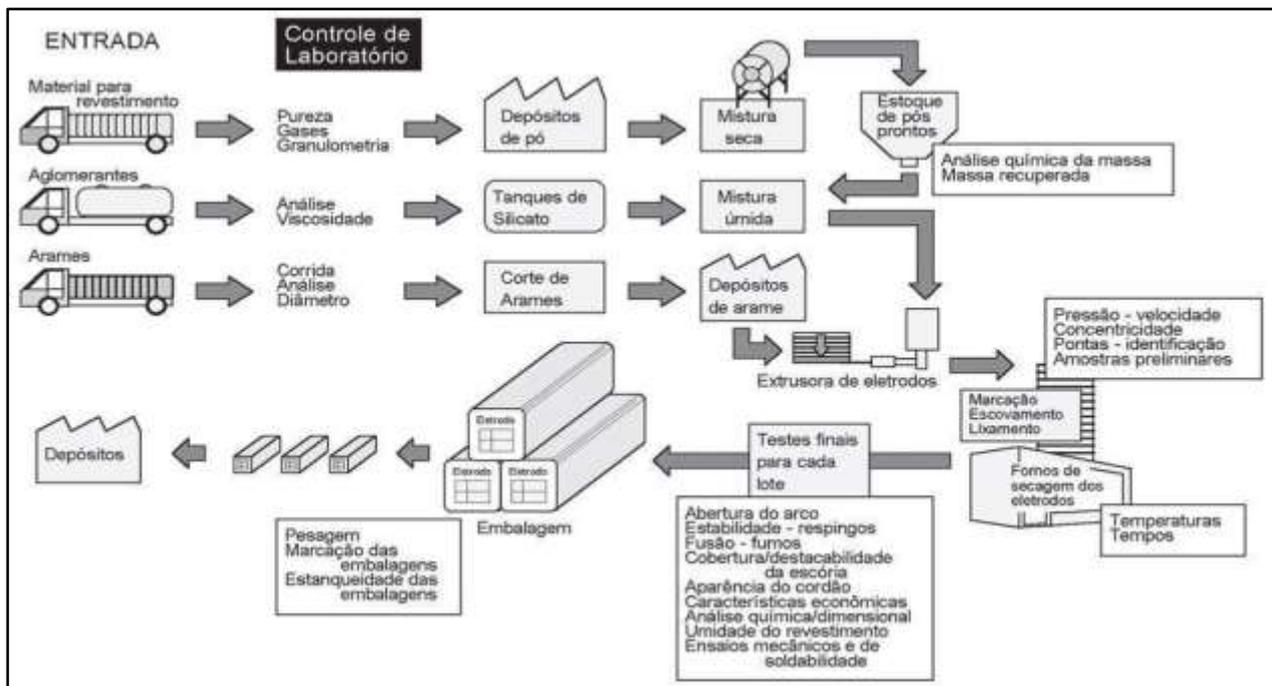
1.2. Eletrodo revestido: usabilidade e fabricação

O eletrodo revestido é, basicamente, formado por um núcleo metálico, ou seja, a alma, que é responsável pela geração do arco elétrico e para a deposição de material. Essa alma possui dimensões de 250 mm e 500 mm de comprimento e 2 mm a 8 mm de diâmetro e é envolta de um revestimento que vai desde minerais a ferro-ligas [10,11].

A descoberta de Oscar Kjellberg, ao utilizar Cal para facilitar a geração e estabilização do arco elétrico, trouxe à tona a tecnologia hodierna que produziu eletrodos revestidos que extrapolam suas funções primordiais como, por exemplo, gerar escórias que vão proteger a solda, além de gases que desempenham, também, este papel. Outro fator importante, é o fato de o revestimento fazer parte, ativamente, das características química e metalúrgica da solda [11].

No processo de construção dos eletrodos revestidos, o material do revestimento é pesado e misturado a seco, segundo a formulação desenvolvida por cada fabricante, para um dado tipo de eletrodo. Este material é, posteriormente, misturado com o ligante até formar uma massa de consistência adequada, que é levada à máquina de extrusão [10,11]. Paralelamente, o arame é trefilado até o diâmetro desejado, desempenado, cortado em varetas de tamanho apropriado, pelo fabricante do arame ou do eletrodo; e, a seguir, também colocado na extrusora. Nesta, a massa úmida que formará o revestimento é prensada, enquanto os pedaços de arame são alimentados. Os eletrodos úmidos caem em uma esteira rolante e são levados ao forno para secagem e cura do revestimento [8].

Figura 1: Fabricação de Eletrodos Revestidos.



Fonte: SOLDAGEM Fundamentos e Tecnologia, pág. 181.

O ciclo térmico a que são submetidos, isto é, temperaturas e tempo de permanência, dependem do tipo de revestimento e do ligante [9]. Por exemplo, eletrodos básicos convencionais de baixo hidrogênio, que devem ter um teor muito baixo de umidade residual, são enformados a temperaturas muito mais elevadas que eletrodos celulósicos, cujos componentes orgânicos do revestimento poderiam ser deteriorados pelo calor excessivo [10]. Por fim, a Figura 1 mostra esquematicamente a sequência de fabricação de eletrodos revestidos.

1.3. Ensaios mecânicos

Todo trabalho que esteja envolvido na fabricação de componentes mecânicos, pode-se dizer, qualquer projeto de engenharia, precisa ser convalidado para a sua função final. Qual seja, limites estabelecidos por normas próprias da aplicação do(s) produto(s) ou diretrizes regulamentam a mínima capacidade daquela fabricação em específico. A fim de se ter a certeza da resposta comportamental dos materiais, os ensaios mecânicos foram pensados e são, hoje, a melhor ferramenta para a análise, especialmente, da qualidade estrutural de peças puramente mecânicas [12].

Os ensaios mecânicos são capazes de fornecer informações sobre propriedades mecânicas dos materiais em função de tensões e/ou deformações quando estes estão sob a ação de esforços. Nestes ensaios são determinadas várias propriedades, tais como [12]: resistência, elasticidade, plasticidade, resiliência e tenacidade. Para se avaliar e/ou medir as referidas propriedades, são realizados ensaios que se classificam como [13]: destrutivos ou não-destrutivos, estáticos, dinâmicos ou constantes. Com base nos objetivos deste trabalho, serão detalhados os ensaios que serão utilizados para análise qualitativa e quantitativa das soldas realizadas.

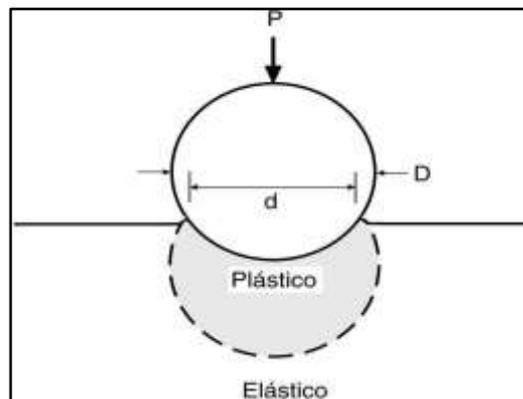
1.3.1. Welding Blind Test

No português, significa teste cego de soldagem, que verifica a opinião direta do profissional soldador sobre a solda realizada sem que este tenha ciência de qual eletrodo foi, por ele, utilizado. Os critérios de avaliação são baseados na norma AWS [12,13].

1.3.2. Ensaio de Dureza

A dureza, na engenharia, é definida como sendo a resistência de um material à indentação [12]. Pode-se dizer que indentação é a ação de criar uma depressão por meio de um penetrador contra a amostra. Conforme a Figura 2, a deformação plástica que resulta do penetrador, permite medir características como o tamanho (diâmetro) ou profundidade e estas são tomadas como uma medida da dureza [13].

Figura 2: Ensaio de dureza genérico.



Fonte: Comportamento mecânico dos materiais (2017).

No campo dos ensaios de dureza, existem vários métodos que se assemelham ou mesmo se completam. Entre os mais conhecidos estão a Dureza Mohs, Brinell, Rockwell, Shore e Vickers [12]. Alguns ensaios se baseiam na penetração, outros por riscos e outras variantes.

1.3.2.1. Dureza Rockwell

Dentre as variedades de ensaios de dureza supracitados, tem-se a que será utilizada neste projeto comparativo entre a qualidade dos eletrodos revestidos, qual seja, a Dureza Rockwell. Este método consiste em uma penetração com uma ponta de diamante ou uma esfera de aço. Enquanto a ponta de diamante é em formato cônico com ângulo de 120° e extremidade ligeiramente arredondada, as esferas podem variar de tamanho entre 1,6 mm e 12,7 mm [12,13].

Por haver uma gama de combinações de penetradores e força aplicada, é possível obter uma vasta lista de materiais que são passíveis de análise de dureza. Devido a isso, há a escala Rockwell que faz a combinação entre a força aplicada e o tipo de penetrador, vide Tabela [2].

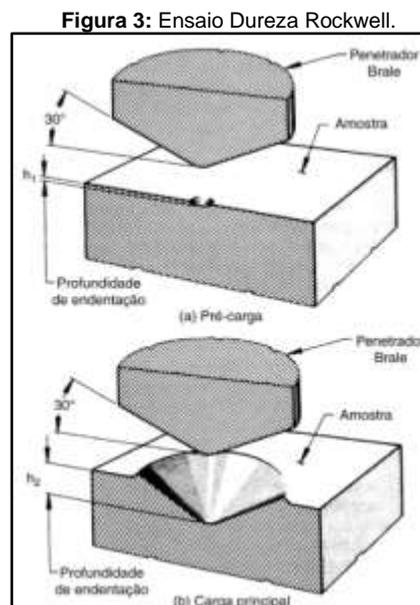
Tabela 2 - Ensaio Dureza Rockwell.

Símbolo, HRX; X =	Ø do Penetrador, se esférico, mm (in)	Força, kgf	Aplicações Típicas
A	Cone com ponta de diamante	60	Materiais para ferramentas

B	1,588 (0,0625)	100	Ferros fundidos, Aços planos
C	Cone com ponta de diamante	150	Aços, ferros fundidos duros, ligas de titânio
D	Cone com ponta de diamante	100	Aços maciços, liga de cobre e alumínio
E	3,175 (0,125)	100	Ligas de alumínio e magnésio, outros metais macios, plásticos reforçados
M	6,35 (0,250)	100	Metais muito macios, polímeros de alta rigidez
R	12,70 (0,500)	60	Metais muito macios, polímeros de baixa rigidez

Fonte - Autoria própria.

O ensaio de dureza Rockwell é feito quantificando a profundidade da penetração. Inicialmente, é aplicada uma pré-carga de 10 kg para estabelecer uma posição de referência, além de ajudar a eliminar qualquer tipo de oxidação superficial ou partículas estranhas ao material [12,13]. A carga final, ou carga principal, é aplicada posteriormente e então mede-se a penetração adicional causada por esta carga, Figura 3.



Fonte: Comportamento mecânico dos materiais (2017).

Para cálculo da dureza Rockwell há fórmula específica; entretanto, como os instrumentos são adaptados para entregar os valores já digital ou analogicamente, não se faz necessário exemplificar os cálculos matemáticos.

1.3.3. Ensaio de Dobramento

Enquadrando-se na categoria de ensaios de fabricação, o ensaio de dobramento é eficazmente utilizado em larga escala na indústria por sua relação fácil e prática de obtenção de resultados reais e visíveis, que posteriormente ajudarão a obter uma melhor resposta do que se é esperado para o material em fabricado [12].

Figura 4: Aparato experimental de dobramento.



Fonte: Ensaios dos Materiais (2012).

Resumidamente, é um ensaio do tipo mais qualitativo do que quantitativo, por vezes valores numéricos não são relevantes, é realizado de modo simples e eficaz para detectar problemas metalúrgicos e de capacidade que podem afetar o comportamento dos componentes mecânicos [12,13].

Este ensaio é de tal forma importante, especialmente para objetos que foram submetidos à soldagem, que é especificado pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*) em várias normas, certificando, inclusive, o soldador que tem pleno conhecimento das normas [6].

O dobramento, quando visto pelo lado quantitativo, é muito utilizado em indústrias de produção de calhas, tubos, tambores etc. No dobramento de uma chapa, por exemplo, o raio mínimo que esta pode ser dobrada sem que ocorra a fratura, o retorno elástico do dobramento quando se retira a carga, a aparição de defeitos na região dobrada, todos esses detalhes são relevantes e devem ser analisados [12,13].

Em corpos de prova soldados, o dobramento serve tanto para qualificar a solda quanto para avaliar o soldador e a avaliação dos resultados é feita por meio de normas. Por exemplo, a norma ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), seção IX, item QW-163, especifica que o ensaio é aceitável se não ocorrem trincas e descontinuidades maiores que 3 mm na solda ou na zona termicamente afetada pelo calor (ZTA) [6]. Complementarmente, trincas com origem a partir das bordas do corpo de prova ensaiado devem ser desconsideradas, a menos que evidenciem a presença de outras descontinuidades. A ideia desse conceito é que as bordas funcionam como “cantos vivos” e são pontos de iniciação de trinca que não tem relação com a qualidade do material ou com o objetivo do ensaio [8].

Segundo a AWS B4.0M, a relevância do ensaio de dobramento, especialmente no âmbito visual da qualidade da solda efetuada, dá-se na ductilidade da junta soldada, evidenciado a capacidade de resistir ao rasgo e à presença de defeitos na superfície de tensão. Além disso, é possível detectar fusão incompleta, delaminação - o metal se comportar como camadas -, macro descontinuidades e o efeito da configuração do cordão. Ou seja, é um teste que mostra altíssimo grau de relevância mesmo utilizando-se apenas sua exposição qualitativa.

2. Metodologia

Foram utilizados eletrodos E6013 $\varnothing 2,5$ mm, comparando-se três marcas distintas, que são amplamente encontradas nos fornecedores de equipamentos de soldagem regionais. Além disso, os materiais soldados foram chapas de aço 1020 que, segundo informações do manual de instrução técnica dos fabricantes, é um material passível de solda com os respectivos eletrodos.

Toda a realização da prática laboratorial embasou-se, dentro dos aspectos possíveis e adequados à realidade tecnológica e recursos disponíveis no Centro Tecnológico da Universidade UniEVANGÉLICA, especificamente no laboratório de Soldagem e Materiais, nas normas AWS e na proposta da pesquisa. Para isso, as chapas foram soldadas por apenas um único profissional, munido de todos os EPI 's, garantindo-se, assim, a uniformidade da execução das soldas.

O equipamento utilizado foi uma máquina inversora da ESAB, LHN 220i Plus, Figura 5. A corrente utilizada foi de 70 Ampéres, em conformidade com a faixa especificada pela tabela A.4 da norma AWS, *Typical Amperage Ranges*, Tabela 3 [14].

Figura 5: Máquina de solda.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Tabela A4 da Norma AWS A5.1, Typical Amperage Ranges.

Table A.4
Typical Amperage Ranges

Electrode Diameter		A5.1	E6010, E6011	E6012	E6013	E6019	E6020	E6022	E6027, E7027	E7014	E7015, E7016	E6018, E7018M, E7018	E7024, E7028	E7048
A5.1 (in)	A5.1M (mm)	A5.1M	E4310, E4311	E4312	E4313	E4319	E4320	E4322	E4327, E4927	E4914	E4915, E4916	E4318, E4918M, E4918	E4924, E4928	E4948
1/16	1.6	—	—	20 to 40	20 to 40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5/64	2.0	—	—	25 to 60	25 to 60	35 to 55	—	—	—	—	—	—	—	—
3/32 ^a	2.4 ^a , 2.5 ^a	40 to 80	35 to 85	45 to 90	50 to 90	—	—	—	—	80 to 125	65 to 110	70 to 110	100 to 145	—
1/8	3.2	75 to 125	80 to 140	80 to 130	80 to 140	100 to 150	110 to 160	125 to 185	110 to 160	100 to 150	105 to 155	140 to 190	80 to 140	—
5/32	4.0	110 to 170	110 to 190	105 to 180	130 to 190	130 to 190	140 to 190	160 to 240	150 to 210	140 to 200	130 to 200	180 to 250	150 to 220	—
3/16	5.0	140 to 215	140 to 240	150 to 230	190 to 250	175 to 250	170 to 400	210 to 300	200 to 275	180 to 255	200 to 275	230 to 305	210 to 270	—
7/32	5.6	170 to 250	200 to 320	210 to 300	240 to 310	225 to 310	370 to 520	250 to 350	260 to 340	240 to 320	260 to 340	275 to 365	—	—
1/4	6.0	210 to 320	250 to 400	250 to 350	310 to 360	275 to 375	—	300 to 420	330 to 415	300 to 390	315 to 400	335 to 430	—	—
5/16	8.0	275 to 425	300 to 500	320 to 430	360 to 410	340 to 450	—	375 to 475	390 to 500	375 to 475	375 to 470	400 to 525	—	—

^a This diameter is not manufactured in the E7028 [E4828] classification.

Fonte - AMERICAN WELDING SOCIETY, 2012, p. 37.

Após as soldas, realizou-se a remoção das escórias e, como sempre, tentou-se o máximo de uniformidade entre eletrodos e materiais diferentes, para que não haja qualquer tipo de vício na análise dos resultados. Os ensaios mecânicos, por sua vez, foram realizados na seguinte ordem: *welding blind test*, dureza e dobramento, respectivamente. Essa ordem faz-se necessária tendo em vista que o ensaio de dobramento é um ensaio destrutivo [7,8].

2.1. Realização do *Welding Blind Test*

Após a realização das soldas, sem que o profissional tivesse qualquer conhecimento de qual eletrodo estava utilizando, este avaliou os seguintes critérios:

- **Facilidade de abertura do arco:**
 Diz respeito ao aumento do rendimento do soldador, economia de consumível, marcas na peça.
- **Estabilidade do arco:**
 Controle da poça de fusão, que evita a falta de penetração, quantidade de respingos, porosidade.
- **Destacabilidade da escória:**
 Facilidade de retirar a escória após a soldagem. Auxilia na diminuição de um dos defeitos mais comuns, qual seja, a inclusão de escória, que cria pontos de concentradores de tensão e de falta de fusão, ocasionando trincas e defeitos na solda.
- **Aspecto visual:**
 Característica estética da solda.

O profissional executor da solda classificou os critérios com notas de 1 a 5. Sendo 1 para muito ruim e 5 para muito bom.

2.2. Realização do teste de dureza

Após o material estar inteiramente preparado para o uso, ou seja, inclusive sem escórias, foi realizado o ensaio de dureza Rockwell B, Figura 6. Este consistiu em colher informações em três pontos específicos da região soldada, qual seja, a 1 cm das pontas e no meio e feita a média aritmética destes.

Segundo a norma AWS, não se verifica a necessidade de realizar o teste de dureza em pontos que estejam até três vezes do tamanho da maior espessura de distância à borda, pois, nessa região, a chance de se tomar um ponto em região crítica é grande; além disso, tem-se a Zona Termicamente Afetada (ZTA).

Figura 6: Durômetro Rockwell.



Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, com o auxílio de um gráfico, foi realizada a comparação e análise das médias aritméticas das durezas dos pontos da solda com a dureza Rockwell B tabelada do aço 1020, qual seja, 68 HRB [15].

2.3. Realização do teste de dobramento

Efetuada o teste de dureza, foi possível realizar o teste de dobramento, que foi um dobramento guiado por uma prensa hidráulica BOVENAU - P60100 - 60 ton, Figura 7, onde o cutelo, peça diretamente responsável pelo dobramento, realizou 180° em relação ao ponto inicial de contato com a chapa. Além disso, segundo a norma AWS, o teste deve ter, no mínimo, 15 segundos e, no máximo, 2 minutos.

Figura 7: Ensaio de dobramento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Peça dobrada.



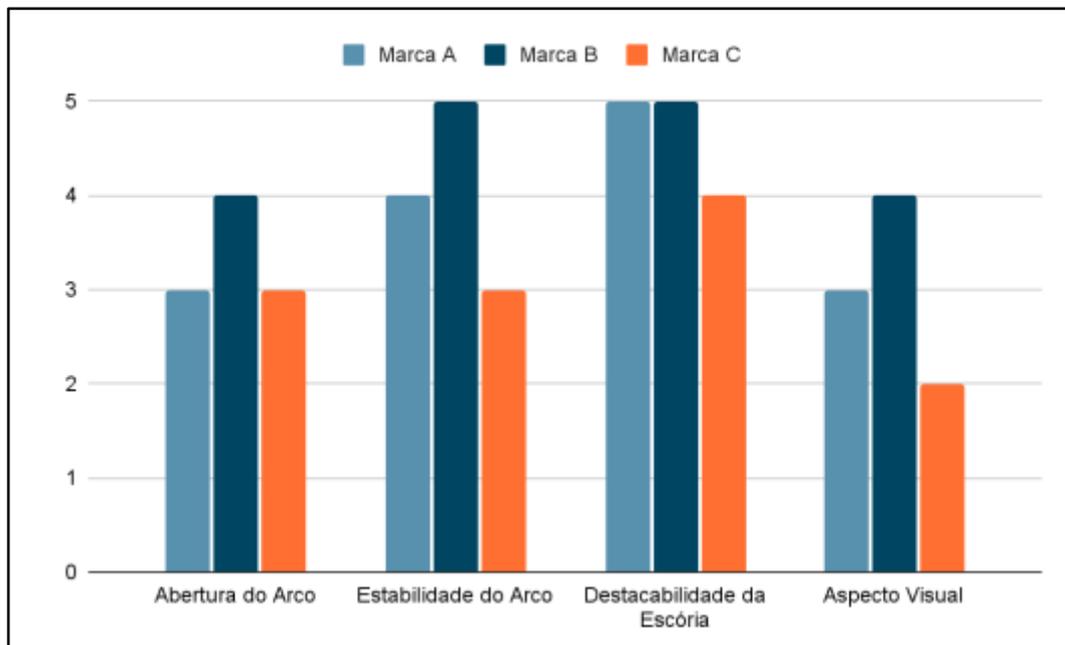
Fonte: Autoria própria.

O teste analisou apenas o lado qualitativo das soldas, ou seja, verificou-se a presença de trincas visíveis, fusão incompleta, delaminação e macro descontinuidades. A fim de se comparar os eletrodos, levou-se em consideração trincas que tinham 3 mm ou mais de tamanho, sem contar partes dentro da região de 1 cm da borda, em conformidade com a norma AWS; trincas com 3 mm ou mais foram contadas sem distinção.

3. Resultados e discussão

O *Welding Blind Test* foi analisado pelo profissional soldador, sem que este tivesse conhecimento sobre qual eletrodo estava avaliando no momento, e com os dados coletados, foi possível ter uma visualização geral dos aspectos intrínsecos que cada material proporcionou. Os dados foram fonte para o Gráfico 01 e tanto a abertura do arco quanto a estabilidade do arco são primordiais, especialmente, para soldadores que não são tão experientes na área, ou seja, quanto melhor estes parâmetros, menor será a dificuldade para iniciar e durante a soldagem; em escala decrescente nesses quesitos: Marca B, Marca A e Marca C. Por outro lado, a destacabilidade da escória está ligada ao processo pós-solda e a sua dificuldade - ou facilidade - dirá o quanto será necessário “agredir” a solda, até mesmo o material soldado, com a picadeira para a remoção da escória; nesta análise, Marca B e Marca A obtiveram nota máxima. E, por fim, intimamente ligada à destacabilidade da escória, o aspecto visual da solda é o quão apresentável será a solda ao consumidor final; nenhum eletrodo apresentou nota máxima, de forma geral, foi o pior resultado global para os eletrodos e, novamente, seguiu-se a ordem decrescente: Marca B, Marca A e Marca C.

Gráfico 01: *Welding Blind Test* - resultados.



Fonte: Autoria própria.

Em suma, nenhum eletrodo deixou a desejar, integralmente, nos quesitos avaliados; entretanto, pôde-se notar que o eletrodo mais encontrado no mercado que é, também, aquele que demanda menor poder aquisitivo, teve o menor desempenho na avaliação técnica e profissional. Por outro lado, o inverso também é verdadeiro, ou seja, o eletrodo mais caro foi aquele que demonstrou melhores resultados, Figura 9. Portanto, a depender da experiência e da finalidade do material soldado é facultativa a escolha do eletrodo.

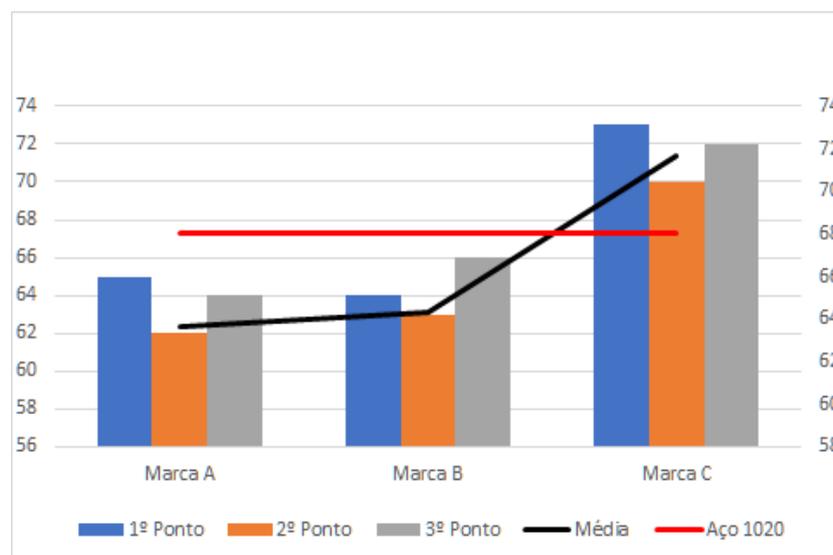
Figura 9: Corpos de prova para análise.



Fonte: Autoria própria.

No ensaio de dureza, foram colhidas as informações que constam no Gráfico 02 e estes resultados não têm fatores subjetivos, diferentemente do *Welding Blind Test*. Observa-se que os pontos diversos nos quais foram colhidas as durezas apresentaram diferenças entre si, mas a disposição dos pontos centrais terem apresentado durezas menores que aquelas nas extremidades foi a informação mais relevante do ensaio, pois uma das possíveis causas para este acontecimento é a velocidade de deposição do material soldado já estar bem definida nas regiões centrais da peça. Ou seja, quando o soldador começa a efetuar a solda, do início para o meio ele tende a achar a melhor velocidade de solda e, do meio para a extremidade, é natural diminuir-se a velocidade. Por isso, a quantidade de deposição do material de solda fica maior nas regiões extremas do que na região central, o que ficou comprovado através dos testes que influenciam diretamente no valor da dureza.

Gráfico 02: Ensaio de dureza - resultados.

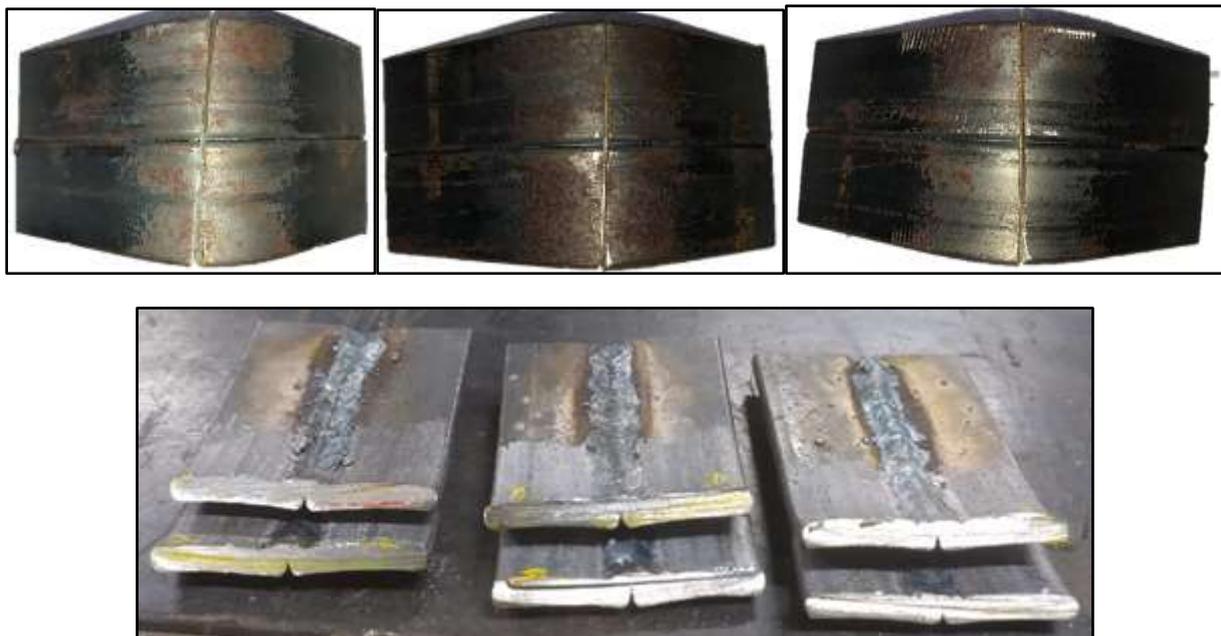


Fonte: Autoria própria.

Em relação à média, nota-se que os eletrodos mantiveram uma certa constância em suas durezas, ou seja, não houve solda em que as durezas foram demasiadamente diferentes. Essa constância pode ser observada na média que, por conseguinte, são comparadas à dureza tabelada do aço soldado. Ressalta-se que, no caso de dureza muito elevada ou muito baixa, a solda seria tida como frágil e dúctil, respectivamente. Com exceção da marca Marca C, todos tiveram dureza menor que a do aço 1020; todavia, nenhum apresentou tamanha discrepância que pode influenciar na empregabilidade do material em sua atividade final.

O resultado do ensaio de dobramento é de tal forma importante para a classificação final da solda que é com ele que se verifica, de maneira ágil, falhas da máquina de solda ou do profissional em relação à corrente elétrica que poderia causar falta ou excesso de deposição de material, e, especialmente, baixa resistência mecânica da solda.

Figura 10: Ensaio de dobramento - resultados.



Fonte - Autoria própria.

Na Figura 10 é possível verificar que todas as soldas ficaram, a olho nu, sem qualquer tipo de problema intrínseco na região central. Portanto, não houve qualquer tipo de problema mensurável no teste de dobramento. Ressalta-se a importância de realizar o teste na região equidistante das extremidades, tendo em vista a velocidade de deposição do material de solda, como já foi abordado e exemplificado no ensaio de dureza.

3. Conclusão

Nota-se que todos eletrodos responderam de forma considerável aos ensaios mecânicos e que suas características principais, que são as consideradas para a finalidade do material, foram mantidas ao longo da pesquisa, com alguns desvios da média global dos eletrodos. Ou seja, embora, a depender do teste, alguns eletrodos tenham obtido um desempenho inferior aos outros, não é possível classificá-los como inutilizáveis, tendo em vista que, considerando o objetivo que cada soldador impõe ao seu material, todos podem ser válidos. Portanto, àquele que desejar, o trabalho serve como amparo na decisão na compra do eletrodo que atenderá às expectativas pretendidas no pós-solda. Além do mais, a pesquisa contribuiu sobremaneira para o incremento do conhecimento mais especializado na área de soldagem de todos os integrantes do trabalho, tendo em vista que todos tiveram a oportunidade de se mergulhar no mercado de soldagem desde o entendimento do processo, passando pela busca de materiais disponíveis regionalmente, partindo para a prática e, por fim, analisando de forma técnica as soldas realizadas com a orientação do engenheiro orientador da pesquisa.

4. Referências

- [1] SENAI. DR. PE. **Tecnologia de Solda – Processo Eletrodo Revestido**. Recife, SENAI.PE/DITEC/DET, 1998.
- [2] ESAB, **Processo de Soldagem: Eletrodo Revestido (MMA/SMW)**, Disponível em:<https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm>. Acesso em 15 mar. 2021.
- [3] FELIZARDO, Ivanilza. **Tecnologia da Soldagem**. Belo Horizonte: Cefet-MG, 2008. 113 p.
- [4] MODENESI, P. J. **Classificação e utilização de processos de soldagem**. Portal Brasileiro da Soldagem, 2003. Disponível em:<http://www.infosolda.com.br/images/Downloads/Artigos/processos_solda/2013-04-11-classificacao-e-utilizacao-dosprocessos-de-soldagem.pdf>. Acesso em 01 abr. 2021.
- [5] PANZINI,S; SPADANO,L; ALVIM,E; ROSA,S. **Políticas industriais e comerciais**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2016.
- [6] LUZ, Gelson. **Ensaio de Dobramento**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em:<<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/ensaio-de-dobramento.html>>. Acesso em 10 ago. 2021.
- [7] AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS A5.1: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding**. Doral. 2012.
- [8] AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS B4.0: Standard Methods for Mechanical Testing of Welds**. Doral. 2007.
- [9] SANTOS, Carlos Eduardo Figueiredo dos. **PROCESSO DE SOLDAGEM: Conceitos, Equipamentos e Normas de Segurança**. 1º Edição – São Paulo: Érica, 2015. 152p.
- [10] BARBOSA, Reginaldo. **Processos de Fabricação: Soldagem e Fundição**. Coronel Fabriciano, 2015.
- [11] VEIGA, Bruno Heerdt. **Composição, Fabricação e Análise de Eletrodo Revestido**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. 20 p.

- [12] Amauri, G.; Alvares, S. J.; dos, S.C. A. **Ensaio dos Materiais, 2ª edição**. São Paulo: Grupo GEN, 2012. Disponível em:<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2114-0/>>. Acesso em 01 ago. 2021.
- [13] DOWLING, N. **Comportamento Mecânico dos Materiais**. São Paulo: Grupo GEN, 2017. Disponível em:<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153493/>>. Acesso em: 2021 ago. 25.
- [14] AZEVEDO, Murilo; NUNES, Matheus. **TESTE COMPARATIVO: Eletrodo revestido E6013 - ø 2,5 mm nacional e importado**. Belo Horizonte, 2019. 52 p. Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Soldagem) - Universidade Federal de Minas Gerais. Documento eletrônico. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br>>. Acesso em 20 abr. 2021.
- [15] LUZ, Gelson. **Aço SAE 1020 Propriedades (e Fornecedores do Aço 1020)**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em:< <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em 15 ago. 2021.
- [16] LUZ, Gelson. **Aço SAE 1045 Propriedades Mecânicas e Composição Química**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em:< <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1045-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em 15 ago. 2021.