

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA NO PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO (SMAW) NO AÇO ABNT 1020

Andrey Claudino de Souza

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. andreyclusou@gmail.com

José Waldomiro Rosendo Sanches

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. josewaldomiro0@gmail.com

João Vitor Martins Ramos

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. joaovitormartinsramos62@gmail.com

Marco Antônio de Almeida Alencar

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. smarco.alencar2020@gmail.com

Sérgio Mateus Brandão

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. sergio.brandao@unievangelica.edu.br

Resumo

Soldagem é o processo de união de duas partes metálicas com ou sem pressão por meio de uma fonte de calor. A soldagem a arco com eletrodos revestidos é a mais utilizada devido à sua facilidade de uso e soldabilidade em ligas soldáveis e às propriedades mecânicas e metalúrgicas do metal depositado. A corrente elétrica influencia nas características da soldagem com eletrodo revestido, como a aparência visual do cordão de solda e o desempenho da soldagem. A intensidade e distribuição da energia térmica disponível no arco e a maioria dos fenômenos que ocorrem, como baixa penetração, formação de respingos e porosidade. A variação da corrente elétrica é de grande importância na realização do experimento. Definida em 3 níveis específicos, obteve resultado satisfatório em 2 níveis, onde a variação da corrente elétrica se manteve estável verificou-se o melhor arco elétrico, a melhor fluidez e menor geração de respingo. O presente artigo pretende avaliar a influência da variação da corrente elétrica em soldagem por eletrodo revestido (SMAW), utilizando o eletrodo E6013 rutílico em chapas de aço ABNT 1020. Foram soldadas 30 amostras do metal base com o eletrodo revestido, alterando-se a corrente, utilizando a corrente nominal estabelecida através do fabricante do eletrodo, fazendo-se alterações na corrente com valores 10% acima da medida nominal e 10% abaixo da medida nominal. Após a soldagem foram realizadas limpezas nas amostras, e posteriormente inspeções visuais, metalografia, ensaio de dureza e dobramento. Com os resultados obtidos durante a soldagem e com os parâmetros escolhidos, o experimento apresentou manejo fácil, arco estável, baixas perdas por respingo, fácil remoção de escória. A análise metalográfica mostrou que não ocorreram mudanças estruturais significativas nas amostras. No ensaio de dobramento as amostras soldadas com a corrente elétrica nominal estabelecida pelo fabricante e abaixo da corrente nominal apresentaram resultados satisfatórios em relação às amostras soldadas com a corrente elétrica 10% acima da nominal, apresentando trincas.

Palavras-Chave: União de metais; Desempenho de processo; Qualidade da solda.

Abstract

Welding is the process of joining two metal parts with or without pressure using a heat source. Arc welding with coated electrodes is the most used due to its ease of use and weldability in weldable alloys and the mechanical and metallurgical properties of the deposited metal. Electric current controls the characteristics of coated electrode welding, the visual appearance of the weld bead, and the welding performance. The intensity and distribution of thermal energy available in the arc and most of the phenomena that occur, such as low penetration, spatter formation and porosity. The variation of the electric current is of great importance in carrying out the experiment. Defined in 3 specific levels, it obtained satisfactory results in 2 levels, where the variation of the electric current was kept stable, the best electric arc, the best fluidity and the lowest generation of splash

were verified. This article aims to evaluate the influence of electrical current variation in coated electrode welding (SMAW), using the E6013 rutile electrode on ABNT 1020 steel sheets. 30 samples of the base metal were welded with the coated electrode, changing the current, using the nominal current established by the electrode manufacturer, making changes in the current with values 10% above the nominal measure and 10% below the nominal measure. After welding, cleanings were carried out on the samples, followed by visual inspections, metallography, hardness and bending tests. With the results obtained during welding and with the chosen parameters, the experiment presented easy handling, stable arc, low splash losses, easy slag removal. The metallographic analysis showed that there were no significant structural changes in the samples. In the bending test, the samples welded with the nominal electrical current established by the manufacturer and below the nominal current presented a satisfactory result in relation to the samples welded with an electrical current 10% above the nominal one, with cracks.

Keywords: Union of metals; Process performance; Weld quality.

1. Introdução

Soldagem é o processo de união de duas partes metálicas com ou sem pressão por meio de uma fonte de calor. O resultado desse processo é a solda [1]. O processo de soldagem é utilizado para fabricar diversos produtos e estruturas de metal, como: navios, pontes, edifícios, componentes eletrônicos, etc. [2].

O desenvolvimento e o aprimoramento do processo são alcançados através do estudo e inovação dos equipamentos de soldagem e materiais utilizados para obter uma boa soldabilidade [3]. Na verdade, se uma boa soldabilidade não pode ser alcançada, não faz sentido desenvolver novos materiais. Portanto, o processo de soldagem está em constante evolução [4].

A soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos (SMAW), também conhecida como soldagem a arco manual elétrico (MMAW) é um dos mais utilizados devido à sua facilidade e operacionalidade em ligas soldáveis e características mecânicas e metalúrgicas do metal depositado [3]. Quando o cátodo e o ânodo são feitos de materiais refratários como grafite e tungstênio, o processo puramente elétrico que ocorre quando o arco continua é bem conhecido [5]. Na soldagem de eletrodos revestidos, devido ao acompanhamento de metal e transferência de escória, a formação de plasma e a ocorrência de várias reações físicas e químicas, metalúrgicas e elétricas [6]. Entre as fontes para a soldagem com este processo, a fonte para a corrente alternada tem sua configuração mais simples e barata, tanto do ponto de vista de investimento inicial como de operação e manutenção [7].

A soldagem é realizada usando o calor do arco retido entre a extremidade do eletrodo de metal revestido e o metal de trabalho. O calor gerado pelo arco derrete o metal base, a malha do eletrodo e o revestimento. A escória líquida flutua sob a superfície da poça de fusão derretida protegendo o metal da atmosfera durante o processo de solidificação. O revestimento também tem a função de fornecer estabilidade ao arco e a controlar a forma do cordão de solda [8].

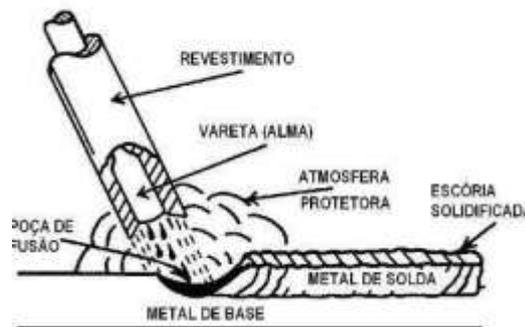
1.2 Processo de soldagem por eletrodo revestido

O processo de soldagem do eletrodo revestido é um processo de geração de fusão de metal pelo aquecimento do arco mantido entre a ponta do eletrodo de revestimento e a superfície do metal base a ser soldado. Durante a soldagem, o arco e a poça de metal fundido o protegem da atmosfera circundante. Formando uma cortina de gás produzida pela combustão do revestimento e decomposição de sua composição [9]. Outras vezes, a proteção é feita pela própria escória líquida, com menor densidade em comparação com o metal base, protegendo a poça de fusão durante a solidificação. Sendo que, após este processo, o líquido protetor se solidifica formando uma escória sólida, a qual deve-se remover [9].

O A estrutura do eletrodo que tem o formato de uma vareta metálica, conduz eletricidade e fornece ao metal base o preenchimento da junta. A adição de elementos de liga à junta de proteção da poça contra a contaminação da atmosfera e a estabilização do arco, são funções do revestimento do eletrodo [10].

A figura 1 demonstra a soldagem em seu processo básico, onde possui a mais simples configuração possível, em comparação a outros processos de soldagem. Consistindo de uma fonte inversora de energia com corrente estática, de um porta eletrodo para a fixação dos mesmos, de cabos de interligação, de equipamento para limpeza da solda e do próprio eletrodo revestido [11].

Figura 1 – Ilustração do processo.



Fonte: [7].

1.3 Parâmetro e sua influência no processo

Em soldagem com o método de eletrodo revestido, as principais variáveis operacionais são: tipo e diâmetro do eletrodo; tipo, polaridade e valor da corrente elétrica; habilidade técnica quando manipular o eletrodo as sequências de deposição de soldagem [10]. As propriedades mecânicas determinam a taxa de deposição, formato do cordão, a corrente elétrica que será necessária para a realização da solda e também do revestimento que poderá ser utilizado [12].

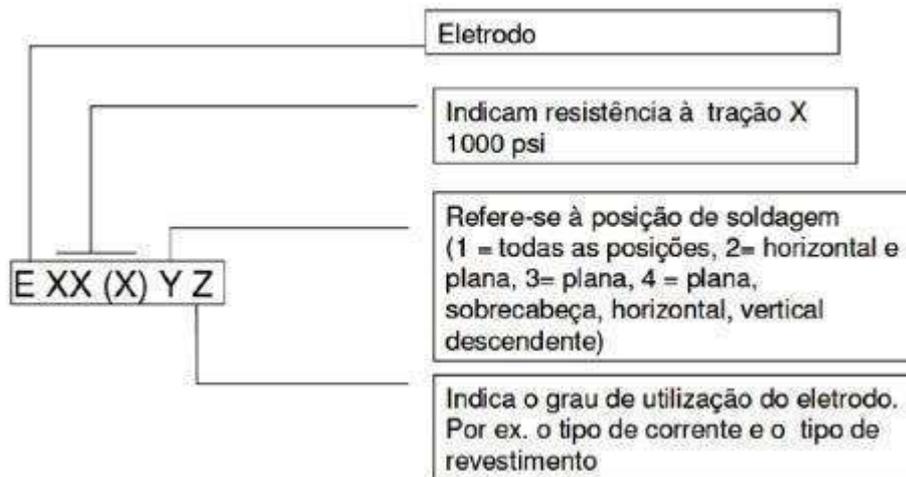
A corrente elétrica controla todas as características da soldagem por eletrodo revestido, aspecto visual do cordão e as propriedades da peça soldada. A intensidade e distribuição de energia térmica disponível no arco elétrico, além da maior parte dos fenômenos que ocorrem como baixa penetração, formação de respingos, porosidade. O cordão é o mais importante efeito controlador da penetração da solda, além da diluição do material de solda [5].

1.3.1 Classificação dos eletrodos revestidos

Os eletrodos revestidos para aço carbono consistem em apenas dois elementos principais: um núcleo de metal (geralmente feito de aço de baixo carbono) e um revestimento. O núcleo contém alguns elementos residuais, mas o conteúdo de fósforo e enxofre deve ser muito baixo para evitar a fragilização do metal de solda. A matéria-prima do núcleo de metal é fio laminado a quente em forma de bobina, que é então trefilado a frio até um diâmetro de eletrodo adequado. Retificando e cortando em um comprimento específico. A principal função do núcleo de metal é conduzir a corrente e fornecer metal de adição para a junta [5].

O comitê da associação americana de soldagem, a (AWS) em parceria com membros que representam os fabricantes de consumíveis desenvolveram a especificação AWS A5.1 durante anos, na qual eletrodos de aço carbono são classificados com base nas características do metal de solda. A figura 2 ilustra o sistema de classificação onde visa fornecer certas informações sobre os eletrodos, com tipo de revestimento, resistência, posição e grau de utilização do eletrodo.

Figura 2 – Classificação de eletrodos revestidos para aços carbono.



Fonte: [7].

A tabela 1 classifica a AWS A5.1, onde o comitê da associação americana de soldagem (AWS), com representantes de fabricantes de eletrodos e consumíveis em geral, como por exemplo a ESAB, onde classificaram com base nas propriedades mecânicas de cada revestimento e corrente elétrica sendo alternada ou contínua [7].

Tabela 1 – Classificação dos eletrodos para aço carbono.

Classe	Corrente	Arco	Penetração	Revestimento-escória	Pó de ferro
EXX10	CC+	agressivo	profunda	celulósico-sódio	0-10%
EXX11	CA/CC+	agressivo	profunda	celulósico-potássio	0
EXX12	CA/CC-	médio	média	rutilico - sódio	0-10%
EXX13	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - potássio	0-10%
EXX14	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - pó de ferro	25-40%
EXX15	CC+	médio	média	baixo hidrogênio - sódio	0
EXX16	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - potássio	0
EXX18	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%
EXX20	CA/CC-	médio	média	óxido de ferro - sódio	0
EXX22	CA/CC-/CC+	médio	média	óxido de ferro - sódio	0
EXX24	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - pó de ferro	50%
EXX27	CA/CC-/CC+	médio	média	óxido de ferro - pó de ferro	50%
EXX28	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	50%
EXX48	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%

O percentual de pó de ferro é baseado na massa do revestimento

Fonte: [7].

A associação americana de soldagem a (AWS) não determina a aprovação ou reprovação de eletrodos, as classificações são obtidas conforme cada fabricante, tendo como base a AWS A5.1 apenas como normatização de eletrodos entre cada fabricante [7].

1.4 Propriedades Mecânicas do aço ABNT 1020

O aço é uma liga constituída de ferro e aço, contendo elementos secundários em sua estrutura, devido ao processo de fabricação e também para alterar determinadas características do aço, como: Si (silício), P (fósforo), W (tungstênio), Ni (níquel). O carbono é o elemento endurecedor e devido a sua importância, os

aços são classificados como, baixo teor de carbono contendo no máximo 0,30% de carbono em sua estrutura; médio carbono que possui de 0,30 a 0,60%, possuindo por isso, melhor resistência, dureza, menor tenacidade e ductilidade em relação ao baixo carbono conforme tabela 2; e por último, o alto carbono, cuja porcentagem de carbono varia entre 0,60 a 1,00%, apresentando então, maior resistência mecânica do que os demais [14].

É utilizado em componentes mecânicos de uso como engrenagens, eixos, virabrequins, eixos-comando, pinos guia, anéis de segurança, colunas, catracas, capas, tubos entre outros [16].

Tabela 2: Propriedades mecânicas do Aço ABNT 1020.

Propriedades	Descrição
Densidade	7.87 g/cm ³
Limite de escoamento	350 MPa (Propriedade obtida do ensaio de tração do aço 1020).
Resistência à tração	Aço 1020 é de 420 MPa
Módulo de elasticidade	205 GPa

Fonte: [13]

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da variação da corrente elétrica no processo de soldagem por eletrodo revestido (SMAW) no aço ABNT 1020, a fim de identificar as diferenças e o desempenho nas soldas com variações em 3 níveis de energia elétrica, através de inspeção visual, análise das propriedades mecânicas de dureza, ensaio metalográfico e do ensaio de dobramento.

2. Metodologia

Para a revisão bibliográfica utilizou-se como guia o material de conforto, [15], onde definiu-se em primeiro instante o objetivo geral do trabalho para ser usado como solução da problematização apresentada na introdução e como base de análise dos artigos encontrados nas buscas. As buscas por trabalhos com o tema proposto por este artigo foram realizadas na base de dados *ScienceDirect* e *Google Acadêmico*. Durante o processo utilizou-se formulações de termos e operados como: "*welding*", *AND* "*coated electrode*", *OR* "*welding parameters*". Também utilizando o *google acadêmico* realizando a busca com palavras-chave em português como: "*soldagem*", "*soldagem por eletrodo revestido*", "*parâmetros de soldagem*", definindo assim, a string de busca, na qual funcionasse com os operadores lógicos *AND* e *OR*. Além de limitar o período de busca em 10 anos.

Para a realização da primeira etapa do experimento proposto neste trabalho foram a preparação de 30 corpos de prova. Os corpos de provas usados foram fabricados de aço 1020 com 3/16" de espessura, com 80 mm de comprimento e 20 mm de largura, cortados com o auxílio de uma serra Ronemak SR 250 VF, retiradas as rebarbas e execução de limpeza para o processo de soldagem. Após a preparação e a soldagem das amostras foram utilizadas as 30 amostras para o ensaio de dureza, sendo este ensaio realizado em áreas onde não afetam o restante do procedimento experimental, utilizando 3 amostras, sendo 1 de cada variação de corrente elétrica para o ensaio metalográfico. Foram preparados 5 amostras de cada variação de corrente para o ensaio de dobramento. O restante das amostras ficou para as inspeções visuais.

Os processos de soldagem foram executados na UniEvangélica (Universidade Evangélica de Goiás), no centro tecnológico, laboratório de soldagem, onde foram soldadas as amostras do metal base com o eletrodo revestido, alterando-se pré definidamente a corrente, utilizando a corrente nominal estabelecida pelo fabricante do eletrodo, fazendo-se alterações na corrente com valores 10% acima da medida nominal e 10% abaixo da medida nominal, comparando-se parâmetros de qualidade das soldas, como: penetração, porosidade e a própria dureza do material. O eletrodo utilizado será o ESAB 6013 2,50mm x 350mm conforme mostra a Figura 3. A fonte utilizada no processo da solda será a fonte inversora Ihn 220i Plus conforme mostrado na

Figura 4, tendo como principais características o excelente controle do arco, fundição do metal e transferência do metal do eletrodo.

Figura 3 - Eletrodo ESAB E6013.



Fonte: [7].

Figura 4 – Fonte inversora.



Fonte: [7].

A tabela 3 mostra os dados do fabricante sobre a espessura do eletrodo, corrente elétrica recomendada para o aço ABNT 1020 para soldagem com eletrodos revestidos e suas respectivas taxas de deposição e eficiência.

Tabela 3: Recomendações de parâmetros de soldagem.

Eletrodo	AWS	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Valor ótimo (A)	TX. dep. (kg/h)	Ef. dep. (%)
OK 22.45P OK 22.50	E6010	2,5	60 – 80	75	0,7	72
		3,2	80 – 140	100 / 130	0,9 / 1,0	76 / 69
		4,0	90 – 180	140 / 170	1,3 / 1,3	74 / 64
		5,0	120 – 250	160 / 190	1,5 / 1,6	75 / 70
OK 22.65P	E6011	2,5	40 – 75	75	0,6	61
		3,2	60 – 125	120	1,0	71
		4,0	80 – 180	150	1,7	77
		5,0	120 – 230	180	1,9	73
OK 46.00 OK 46.13 OK 43.32	E6013	2,0	50 – 70	50	0,6	73
		2,5	60 – 100	85	0,7	73
		3,2	80 – 150	125	1,0	73
		4,0	105 – 205	140 / 160 / 180	1,2 / 1,4 / 1,6	76 / 74 / 71
		5,0	155 – 300	180 / 200 / 220	1,5 / 1,7 / 1,9	74 / 71 / 73
OK 33.80	E7024	3,2	130 – 170	140 / 180	1,9 / 2,3	72 / 71
		4,0	140 – 230	180 / 210 / 240	2,4 / 2,9 / 3,3	71 / 73 / 69
		5,0	210 – 350	245 / 270 / 290	3,4 / 3,8 / 4,1	69 / 71 / 68
		6,0	270 – 430	320 / 360	4,3 / 5,3	72 / 69
OK 48.04 OK 48.06 OK 48.07 OK 55.00	E7018	2,5	65 – 105	90	0,8	66
		3,2	100 – 150	120 / 140	1,2 / 1,2	72 / 71
		4,0	130 – 200	140 / 170	1,4 / 1,7	75 / 74
		5,0	185 – 270	200 / 250	2,2 / 2,4	76 / 75

Fonte: [7]

A medição da corrente foi realizada por meio da regulagem da fonte inversora Iln 220i plus, como a regulagem da corrente da fonte inversora ser analógico foi necessário o uso de um alicate amperímetro digital 302+ Fluke ligado diretamente no cabo da fonte, realizando assim, o ajuste correto na máquina de solda tendo como referência o alicate amperímetro.

Para definição da corrente elétrica da solda padrão, foi ajustada a mesma às cegas, realizando o acompanhamento da qualidade da solda executada. Foram necessários executar várias soldas em amostras de sacrifício até chegar no padrão esperado, o qual foi validado com o soldador. Sendo que após estes ajustes foi definida a corrente de 75A.

Após o processo de soldagem foram separadas e limpas as amostras para as inspeções visuais, posteriormente, cortadas uma amostra de cada solda com alteração de corrente elétrica para a realização da metalografia, onde foram cortadas na intersecção da solda e material base utilizando uma cortadora metalográfica Pantec modelo Pancut 100. Após esse processo, utilizando a prensa embutidora metalográfica,

os corpos de provas foram embutidos a uma temperatura de 150°C por aproximadamente 15 minutos a uma carga de 150 kgf/cm².

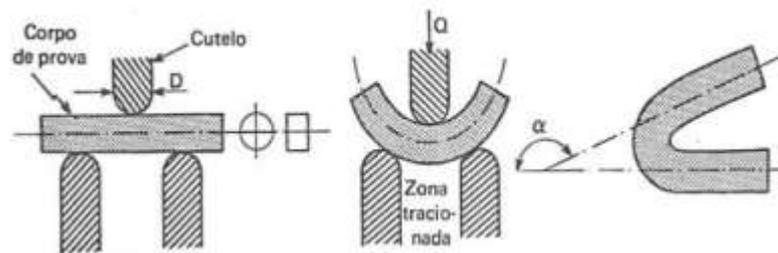
Embutido as peças, as amostras foram submetidas ao processo de lixamento conforme a norma ABNT NBR15454, onde utilizando-se uma máquina de polir Pantec modelo Polipan 2D lixas convencionais a base d'água com granulometria crescente de 240, 320, 400, 600, 800, 1200, evitando uma superfície irregular, obtendo assim uma amostra sem desníveis para melhor análise e sempre girando a amostra em 90° a cada troca de lixa.

Após o polimento, foi realizado o ataque químico com Nital 3% durante 5 segundos e retirado o excesso utilizando o álcool etílico 96%. Para analisar a micrografia dos corpos de prova, foi utilizado o microscópio óptico Pantec modelo MK100 e um computador com o software para captura de imagem IS Capture.

Para o ensaio de dureza foi utilizado o método Rockwell na escala B, com base na norma ABNT NBR NM ISO 6508-1 [19], utilizando-se um durômetro DIGIMESS, modelo Time *VardnessTester* TH 130, as amostras possuíam as dimensões de 6x6 mm, sendo realizadas cinco medições de dureza em cada amostra.

O ensaio de dobramento realizado para a qualificação do soldador e qualificação do processo de soldagem, especificado pela norma ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), seção IX, item QW-163. Os corpos de prova para os testes de dobramento guiado devidamente preparados de maneira que sejam obtidos corpos de prova retangulares. Realizado por uma prensa hidráulica BONEVAU 60 toneladas. A amostra, apoiada nas extremidades afastadas a uma distância especificada, é dobrada através de uma barra centralizada conforme ilustra a figura 5.

Figura 5: Esquema de dobramento guiado.



Fonte: [22]

Para o ensaio de dobramento ser aceito, a solda e a zona afetada pelo calor (desenvolvido durante o processo de soldagem) devem estar contidas onde foi realizado o dobramento, sendo que, após o teste, os corpos de prova não devem apresentar defeitos visíveis na solda, ou na zona afetada pelo calor, maiores do que 3 mm [21].

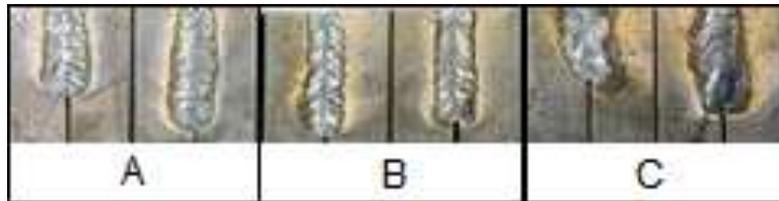
Sendo simples e eficaz para detectar problemas metalúrgicos, da qualidade da solda e também avaliar de forma qualitativa a habilidade do soldador. Em resumo, o objetivo é verificar a presença de defeitos na solda e sua capacidade de deformação.

3. Resultados e discussão

3.1 - Execução do processo de Soldagem

A Figura 6 destaca 6 amostras das peças soldadas com o eletrodo ESAB E6013 variando a corrente nos 3 níveis estabelecidos, figura 6A corrente elétrica 10% abaixo da corrente nominal, figura 6B corrente elétrica nominal estabelecida pelo fabricante e a figura 6C corrente elétrica 10% acima da corrente nominal.

Figura 6: Amostras soldadas com variações de corrente.



Fonte: Autores

Após a soldagem foram separadas as amostras de acordo com cada especificação de soldagem realizada e feita as primeiras análises visuais. A solda realizada com a corrente nominal recomendada pelo fabricante, obteve bom aspecto visual, sem descontinuidades e sem trincas. A solda realizada com a corrente 10% abaixo da medida nominal apresentou baixa penetração, solda frágil, sem trincas. Já a solda realizada com a corrente 10% acima da medida nominal apresentou alta penetração, chegando a furar o metal base em determinadas regiões, com aspecto visual de solda deformado e apresentando trincas.

3.2 - Metalografia das soldas

Na figura 7 a micrografia do aço ABNT 1020 com a ampliação de 100x, sem processo de soldagem, e seus constituintes com grãos de Perlita nas fases escuras e grãos de Ferrita nas fases claras, compatível com a especificação da literatura de referência [17].

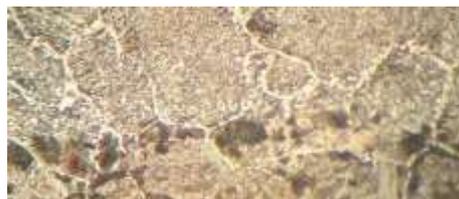
Figura 7: microestrutura do aço ABNT 1020, ampliação de 100X.



Fonte: Autores.

A figura 8 mostra a micrografia do aço após a soldagem feita com a corrente em 75 A. Onde cada formato do grão foi devido sua temperatura e o tempo de permanência. Ocorreu uma redução do tamanho dos grãos de perlita e ferrita, formação de grãos grosseiros [17].

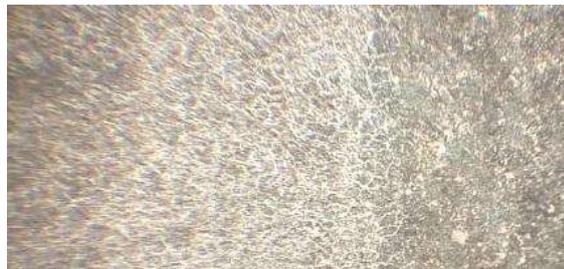
Figura 8: micrografia com corrente 75A, ampliação de 100X.



Fonte: Autores.

A figura 9 mostra a microestrutura do aço com soldagem feita com a corrente em 67,5 A. Pode-se observar que o aço houve uma redução do tamanho dos grãos de perlita, grãos recristalizados e redução do tamanho do grão da ferrita, sendo que o material de solda não obteve uma boa penetração, somente superficial [19,20].

Figura 9: Micrografia com corrente a 67,5 A, ampliação de 100X



Fonte: Autores.

A figura 10 mostra a microestrutura do aço com soldagem feita com corrente a 82,5 A. Onde pode-se observar o refino dos grãos, grãos recristalizados, redução do tamanho dos grãos de perlita e ferrita e ocorreu a formação de ferrita acicular [17].

Figura 10: Micrografia com corrente a 82,5 A, ampliação de 100X



Fonte: Autores.

Através do ensaio metalográfico observa-se que ocorreu pequenas modificações na estrutura do metal base, sem interferir nas características do aço, não interferindo no resultado final do experimento.

3.3 - Resultados do Ensaio de dureza

No ensaio de dureza, as amostras com solda a corrente elétrica padrão estabelecida, 10% acima da corrente nominal e corrente 10% abaixo da medida nominal obteve maiores valores de dureza em relação ao aço com dureza de 80 HRB aferido no laboratório, os resultados estão organizados na tabela 3. Observando-se que a quantidade de calor fornecida ao material durante o processo de soldagem ocasiona o aumento da dureza, diminuindo a ductilidade e a tenacidade [19].

Tabela 3: Medidas dos testes de dureza HRB.

	67,5 A (HRB)	75 A (HRB)	82,5 A (HRB)
Amostra 1	94	92	99
Amostra 2	96	90	104
Amostra 3	90	93	102
Amostra 4	100	90	95
Amostra 5	99	93	95
Amostra 6	91	90	94
Amostra 7	92	97	97
Amostra 8	96	91	92
Amostra 9	100	100	90
Amostra 10	91	99	98
Média	94,9	93,5	96,6
Desvio padrão	3,87	3,80	4,32

Fonte: Autores.

Devido o resultado do desvio padrão ter sido alto observa-se que as amostras soldadas não obtiveram uma uniformidade no processo de soldagem, pois a corrente elétrica no ambiente onde foi realizado as soldas tem outros equipamentos consumindo energia e naturalmente ocorre perdas na corrente elétrica.

3.4 - Resultados do ensaio de dobramento

Ensaio realizado conforme as especificações do código ASME seção IX, sendo o metal base o aço ABNT 1020, o método de solda por eletrodo revestido, utilizando o eletrodo ESAB E6013, os resultados estão organizados a seguir:

Ensaio realizado da solda com corrente nominal padrão, ilustrado na figura 11-a, obteve resultados satisfatórios sem imperfeições ou trincas conforme ilustra a figura 11-b.

Figura 11-a: Solda com corrente nominal.



Fonte: Autores.

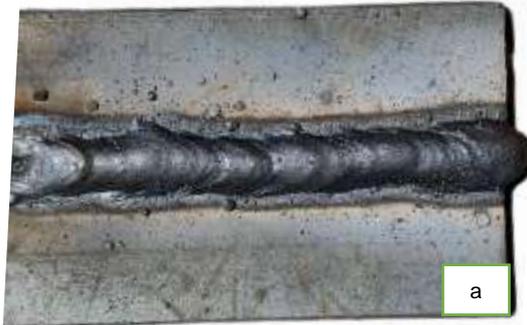
Figura 11-b: Teste de dobramento.



Fonte: Autores.

Ensaio realizado da solda com corrente elétrica 10% abaixo da nominal, ilustrado na figura 12-a, também obteve resultados satisfatórios sem imperfeições ou trincas, conforme ilustra a figura 12-b.

Figura 12-a: Solda com corrente abaixo da nominal.



Fonte: Autores.

Figura 12-b: Ensaio de dobramento.



Fonte: Autores.

Ensaio realizado com corrente elétrica 10% acima da nominal, ilustrado na figura 13-a, obteve imperfeições na solda e trincas no ensaio de dobramento, conforme ilustra a figura 13-b.

Figura 13-a: Solda com corrente acima da nominal.



Fonte: Autores.

Figura 13-b: Ensaio de dobramento.



Fonte: Autores.

As amostras com corrente elétrica 10% acima da corrente nominal obtiveram, esses resultados devidos às altas temperaturas de soldagem, ocorrendo descontinuidades no cordão de solda como mordeduras causadas por corrente elevada e peça com alta temperatura.

4. Conclusão

O processo de soldagem por eletrodo revestido mostra-se versátil em termos de materiais soldáveis em soldagem de aço carbono baixa liga, não necessita de gases externos, o equipamento é simples, barato e portátil. De acordo com os resultados obtidos durante o experimento, a soldagem com o eletrodo revestido mostra-se certa facilidade para soldar os metais, com fácil abertura do arco, bom acabamento superficial, pouca escória e de fácil remoção, com baixa produção de respingo. As amostras realizadas com a soldagem de corrente nominal estabelecida obtiveram o melhor resultado em relação às outras amostras. Pois as amostras com a corrente elétrica 10% abaixo da medida nominal obtiveram em sua solda, baixa penetração, apresentou dificuldade no ponto de início do arco elétrico. As inspeções visuais mostraram que as amostras soldadas com a corrente elétrica 10% acima da medida nominal apresentaram-se uma solda ruim e aparentemente de má

qualidade, gerando mais gases na hora da soldagem, maior geração de respingo e no ensaio de dobramento, apresentou-se trincas na região das soldas, consequência da alta temperatura de soldagem.

5. Referências

- [1] Handa Gustiawan, “ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ELETRODOS E6010 E E6013 UTILIZANDO A SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO EM AÇO ASTM A36,” *Ayayay*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [2] T. C. Silva and W. A. Pereira, “Entre soldagem TIG e eletrodos revestidos em aço inox,” pp. 1–16, 2013.
- [3] C. T. Vaz, I. Felizardo, A. D. Bernardina, A. Q. Bracarense, E. Caires, and P. Pessoa, “Eletrodos Revestidos Impermeáveis do Tipo Baixo Hidrogênio (Low hydrogen impermeable covered electrodes),” pp. 2–10.
- [4] E. E. Boaden, “COMPARAÇÃO ENTRE O COMPORTAMENTO DE ELETRODOS REVESTIDOS UTILIZANDO DISPOSITIVOS DE SOLDAGEM POR GRAVIDADE E COM CONTROLE AUTOMÁTICO DO COMPRIMENTO DO ARCO ELÉTRICO.,” no. July, pp. 1–7, 2011.
- [5] A. L. Filho, “UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ Antenor Leonello Filho ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM COM ELETRODOS REVESTIDOS NA ESTABILIDADE DO ARCO E,” 2005.
- [6] B. Garcia and G. Barrionuevo, “ELETRODO REVESTIDO EM RELAÇÃO A TENSÃO DE TRAÇÃO COMPARATIVE STUDY OF ELECTRODE SOLES BY ELECTRODE COATED IN RELATION TO DRIVE TENSION,” pp. 51–58, 2018.
- [7] ESAB, Apostila de metalurgia da soldagem, 2004, Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf> . Acessado em 15 de Agosto de 2021.
- [8] H. N. Farneze, J. C. F. Jorge, L. F. G. de Souza, and I. de S. Bott, “Estudo comparativo de metais de solda de aço de alta resistência obtidos pelos processos eletrodo revestido e arame tubular para aplicação em equipamentos de amarração offshore,” *Soldag. Inspeção*, vol. 14, no. 2, pp. 151–160, 2009
- [9] A. R. Micalli Jr., J. R. Batalha, R. Razera, and S. L. Mariucci, “Módulo de Tecnologia de Fabricação e Soldagem,” p. 1119, 2002.
- [10] P. J. Modenesi, “. Introdução à Física do Arco Elétrico E sua Aplicação na Soldagem dos Metais,” *Dep. Eng. Met. e Mater. Univ. Fed. Minas Gerais - UFMG*, p. 159, 2004,
- [11] N. M. C. S. E. SILVA, “Influência da velocidade e posição de soldagem nas propriedades de juntas soldadas pelo processo de eletrodo revestido.,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [12] R. Noll, “AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO CICLO TÉRMICO NA SOLDAGEM DE AÇOS ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL),” pp. 1–29, 2000.

- [13] T. U. Munchen, “ENSAIO DE TRAÇÃO E METALOGRAFIA DO AÇO SAE 1020,” *e-conversion - Propos. a Clust. Excell.*, pp. 29–50, 2018.
- [14] L. Rodrigues, C. dos Santos, R. Veloso, M. Lemos, C. dos Santos, and R. de Freitas Cabral, “Estudo da microestrutura e da microdureza dos aços 1020 e 1060,” *Cad. UniFOA*, vol. 9, no. 2 (Esp.), pp. 39–44, 2017.
- [15] M. de A. Marconi and E. M. Lakatos, *FUNDAMENTOS DE METODOLOGIA CIENTÍFICA*, vol. 6, no. 11. 1967.
- [16] LECHETA, Alex; CONTO, Douglas de. Estudo comparativo de ensaios destrutivos e não destrutivos para concreto. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [17] COLPAERT, Hubertus et al. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. Editora Blucher, 2008.
- [18] NOVIKOV, Ivan Ivanovich. Teoria dos tratamentos térmicos dos metais. Ed. UFRJ, 1994.
- [19] ABNT NBR NM ISO 6508-1. Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell, 2019.
- [20] SOUZA, S. A. Ensaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos. 5 ed. reimpr. São Paulo: Blucher, 2014.
- [21] Houle. M; McGuire. R - Casti Guidebook to ASME Section IX - Welding Qualifications Third Edition Vol. 2; Edmonton, Alberta T5H3J7 Canada, Casti Publishing Inc.; Canada; Ano: 2001.
- [22] BIOPODI, Ensaio de dobramento, 2016, Disponível em: < <https://biopodi.com.br/artigos/ensaio-de-dobramento/>>. Acessado em 20 de Agosto de 2021.