

O PAPEL DO ANTIRRESPINGO SOBRE A QUALIDADE DA SOLDA – PARTE II: SOLDAGEM MIG DE AÇO INOXIDÁVEL

Ricardo Zimpel, ricardo.zimpel@stara.com.br ¹

Juliano Dante Koeppel, juliano.koeppel@stara.com.br ¹

Luís Adolfo Berni, luis.berni@ufsm.br ²

Cristiano José Scheuer, cristiano.scheuer@gmail.com ²

¹ Stara: Máquinas e implementos agrícolas, Não-Me-Toque, RS, Brasil.

² Grupo de Tecnologia e Mecânica dos Materiais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

Resumo. Os aços inoxidáveis são amplamente utilizados em aplicações onde a resistência à corrosão constitui um requisito de projeto. Para a produção de estruturas soldadas a partir de aços inoxidáveis, costumam empregar os aços inoxidáveis da classe dos austeníticos, que apresentam uma melhor soldabilidade quando comparada aos demais. Dentre os diversos aços que integram essa família, o AISI 304 é um dos mais utilizados devido ao seu menor custo quando comparado aos demais. Em função dos parâmetros de soldagem aplicados, dadas às características da junta, eventualmente formam-se respingos durante a operação. Tais respingos geram prejuízo ao acabamento da junta, exigindo que os mesmos sejam removidos. Como uma operação comum de retirada dos respingos, tem-se os processos de remoção mecânica por escovamento e/ou esmerilhamento. Porém, tais operações alteram o acabamento original das peças de aço inoxidável. Como usualmente os componentes fabricados a partir de aços inoxidáveis são usados sem pintura superficial, devido ao seu aspecto atrativo, tais operações não são recomendadas. Como uma alternativa, tem-se o emprego de agentes ‘antirrespingos’, os quais inibem a retenção dos respingos e/ou reduzem a sua adesão a superfície. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do emprego de dezesseis marcas diferentes de agentes ‘antirrespingos’ sobre as características de soldas produzidas pelo processo MIG sobre chapas de aço inoxidável AISI 304. A caracterização do material soldado se deu por análise macro e microestrutural e por medidas de microdureza. Os resultados obtidos evidenciam que os agentes ‘antirrespingos’ avaliados não exercem qualquer efeito sobre as características dimensionais, macro e microestruturais e microdureza dos cordões de solda.

Palavras chave: Soldagem MIG. Aço Inoxidável. Curto-circuito. Antirrespingo. Qualidade da solda.

1. INTRODUÇÃO

Os respingos são defeitos intrínsecos de cordões de solda, gerados por diferentes fatores tais como: polaridade incorreta e baixa intensidade de corrente, contaminação do consumível e metal de base, arco instável, etc. No caso dos processos MIG/MAG, outro fator que exerce efeito sobre a formação de respingos corresponde ao tipo de transferência metálica: curto-circuito, goticular e pulverização.

Em última análise, a escolha do tipo de transferência metálica sempre depende das características da junta, pois é controlada fundamentalmente pelos parâmetros elétricos do processo. Se os requisitos de qualidade forem menos rigorosos e o retrabalho não for necessário, a formação de respingos não será um problema. Se uma peça de trabalho for processada posteriormente após a soldagem, por exemplo, por pintura, a remoção subsequente de respingos é demorada e dispendiosa.

Se as causas dos respingos forem conhecidas, é possível tomar contramedidas direcionadas com a tecnologia certa – ou proteger a peça de trabalho e a tocha de soldagem da adesão de respingos com agentes ‘antirrespingos’

especiais. Neste sentido, mesmo sob as melhores condições técnicas, os respingos não podem ser completamente evitados durante a soldagem MIG/MAG. Para evitar ao máximo a adesão destes, os agentes ‘antirrespingos’ são altamente recomendados como pré-tratamento da peça de trabalho. A película protetora fornecida pelo agente ‘antirrespingo’ permite que as partículas projetadas aderem apenas levemente sobre a peça soldada, facilitando a sua remoção.

O material mais frequentemente soldado corresponde o aço carbono, conhecido por sua alta formação de respingos. Nos aços inoxidáveis, o fundido é um pouco mais viscoso, o que reduz a tendência de formação de respingos. Embora reduzida, a sua ocorrência se processa sobre os aços inoxidáveis. Neste caso, a formação dos respingos promove dano sobre o acabamento do aço inoxidáveis, exigindo a realização de operações de acabamento para a sua remoção. Tais operações produzem marcas superficiais sobre a peça.

Esse efeito é indesejado, já que os aços inoxidáveis costumam ser empregados sem qualquer pintura

superficial, já que o seu aspecto superficial original é atraente.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência e efeito do emprego de dezesseis diferentes marcas de agentes ‘antirrespingo’ na soldagem MIG do aço inoxidável AISI 304.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais adotados na confecção e caracterização dos corpos de prova foram regidos por literatura científica específica, e por normas disponíveis para qualificar a soldagem de chapas de aços inoxidáveis.

A Figura 1 ilustra as dimensões dos elementos da junta adotados. O tipo de configuração utilizada na análise correspondeu à junta de todo com chanfro em I, adotando uma fresta de 1,5 mm, com deposição de cordões em ambas as faces da junta. Cabe destacar que o preparo das amostras soldadas e a sua soldagem foram realizados pela empresa requerente.

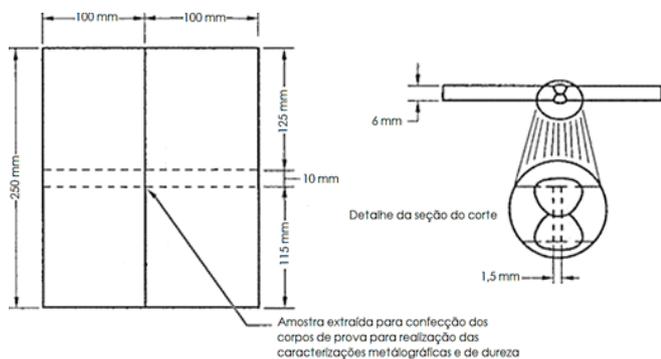


Figura 1. Esquema da junta montada, com a indicação das suas dimensões.

Para a execução da soldagem dos corpos de prova, empregou-se os parâmetros e consumíveis descritos na Tabela 1. Estes parâmetros foram definidos com base na literatura e em testes preliminares.

Tabela 1. Parâmetros adotados para execução do cordão.

Parâmetros	AISI 304
Corrente (A):	190 - 215
Tensão (V):	20 - 22
Proteção gasosa:	4%CO ₂ e 96%Ar
Metal de adição:	AWS ER308LSi
Posição de soldagem:	Plana
Tipo de operação:	Manual

Foram avaliadas dezesseis marcas distintas de agentes ‘antirrespingo’, comercializados nacionalmente. Em todos os casos, os ‘antirrespingos’ foram aplicados na forma de spray aerossol. Em cada junta soldada, o agente ‘antirrespingo’ foi aplicado em ambas as placas soldadas, e também em ambos os lados destas. A Tabela 2 compila as características dos agentes ‘antirrespingos’ empregados

neste estudo. O nome e marca destes foram suprimidos por questões éticas.

Tabela 2. Características dos agentes ‘antirrespingos’.

1	Antirrespingo isento de silicone e solventes, e é solúvel em água. Por não conter gases prejudiciais, ele é atóxico. O fabricante não informa especificamente a composição do produto na embalagem.
2	Antirrespingo livre de silicone e agentes que causam problemas sobre a pintura. É atóxico, biodegradável e possui aditivo anticorrosivo. O fabricante não informa a composição do produto na embalagem.
3	Antirrespingo composto por elementos tensoativos aniônico, emulsionantes, conservantes, anticorrosivos. Não é inflamável e atóxico, biodegradável e livre de silicone.
4	Não foram encontradas informações sobre o produto
5	Não foram encontradas informações sobre o produto
6	Não foram encontradas informações sobre o produto
7	Antirrespingo não inflamável, isento de silicone, e contém aditivos anticorrosivos. O fabricante não informa a composição do produto na embalagem.
8	Antirrespingo formulado com ingredientes naturais e seguros, não contém solvente e silicone, não é inflamável e contém aditivos anticorrosivos. O fabricante não informa a composição do produto na embalagem.
9	Antirrespingo biodegradável, não contém silicone ou solventes. Não agride o meio ambiente e a saúde. O fabricante não informa a composição do produto.
10	Não foram encontradas informações sobre o produto
11	Antirrespingo isento de silicone e solventes cancerígenos. O fabricante não informa a composição do produto.
12	Antirrespingo livre de silicone e agentes que causam problemas nos processos de pintura. É atóxico, biodegradável e possui aditivo anticorrosivo. O fabricante não informa a composição do produto na embalagem.
13	Não foram encontradas informações sobre o produto
14	Antirrespingo isento de silicone, biodegradável, não libera vapores nocivos no ambiente de trabalho. Formulado com aditivo anticorrosivo. Não é inflamável. O fabricante não informa a composição do produto na embalagem.
15	Antirrespingo isento de silicone, biodegradável, não libera vapores nocivos no ambiente de trabalho. Formulado com aditivo anticorrosivo. Não é inflamável. O fabricante não informa a composição do produto na embalagem.
16	Não foram encontradas informações sobre o produto

Os corpos de prova foram analisados visualmente. A eficácia de cada ‘antirrespingo’ foi avaliada no tocando a mitigação da ocorrência de respingos e oxidação. Com o objetivo de viabilizar a caracterização metalográfica e de microdureza dos cordões de solda, após análise visual os corpos de prova foram usinados em amostras de acordo com as dimensões previamente indicadas na Figura 1.

Para facilitar o preparo, as amostras foram embutidas em resina termofixa (baquelite). Após embutimento, as amostras foram inicialmente lixadas com lixas de carboneto de silício nas gramaturas entre 120 à 1200 e, posteriormente, polidas mecanicamente utilizando um disco de feltro e uma suspensão abrasiva de Al_2O_3 com partículas de 1 μm . Após etapa de preparo, as amostras foram limpas em banho de ultrassom com álcool etílico por 10 minutos, e secas sob fluxo de ar quente.

Para viabilizar as observações macro e microestruturais, as amostras do aço inoxidável AISI 304 foram submetidas ao ataque químico metalográfico utilizando o reagente Nital 5%. O ataque foi realizado mergulhando as amostras na solução durante um período de 5 s sob agitação manual. Após o ataque, as amostras foram submetidas novamente ao banho ultrassônico.

A microestrutura das amostras foi examinada por microscopia óptica. A caracterização foi realizada nas posições centrais de cada região (ZF – zona fundida, ZTA – zona termicamente afetada e MB – metal de base) ao longo da linha da face (vide Figura 2). A macroestrutura das amostras foi examinada utilizando um escâner de mesa. A largura e reforço dos cordões foram determinadas conforme indicado na Figura 2, usando o software ImageJ.

As medidas de dureza foram feitas ao longo da seção transversal dos cordões com posições de medidas tomadas conforme indicado na Figura 2. Partindo-se da posição central, foram medidos os valores de dureza, em direção ao metal de base, a uma profundidade de 2 mm abaixo da superfície, sendo as leituras realizadas a cada 500 μm , até atingir uma distância de $12 \times 10^4 \mu m$ do centro do cordão.

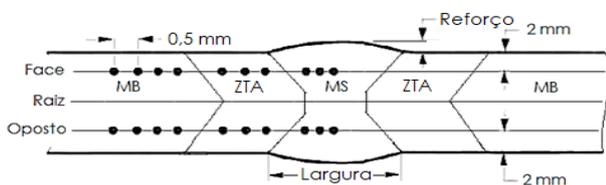


Figura 2. Esquema indicando os pontos de medição de dureza na junta soldada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 ilustra a fotografia da amostra de aço AISI 304 soldada utilizando o agente ‘antirrespingos’ da marca 1, mostrando o aspecto superficial dos cordões na face (a) e contraface (b). Observa-se a inexistência de respingos na face da junta, e poucos respingos na contraface. Comparando-se todas as marcas avaliadas, pode-se afirmar que, em maior ou em menor proporção, foram observados respingos em todas as amostras.

Observa-se a formação de um depósito de fuligem preta na superfície da solda e metal adjacente. Essa fuligem possivelmente é proveniente do vapor do próprio agente ‘antirrespingo’ produzido devido ao calor intenso do arco, que se condensa sobre a superfície da amostra. A temperatura do arco supera o ponto de ebulição destas substâncias e, dessa forma, estas vaporizam-se. Em razão do metal de base, e mesmo a zona termicamente afetada,

não atingirem temperaturas muito elevadas, a condensação de vapor metálico acontece sobre estas já que se encontram em menor temperatura.

Cabe destacar que essa fuligem é um depósito de pequenas partículas que não exercem influência alguma sobre a solda, trazendo prejuízo somente sobre o seu aspecto visual. Esta pode ser facilmente removida por esfregação de um pano embebido em solvente, caso a limpeza seja efetuada logo após a execução da operação de soldagem. Do contrário, se deixada por várias horas, a fuligem tende a aderir ao metal exigindo a utilização de escovamento para a sua remoção.

Na Figura 3 são apresentadas fotografias evidenciando o aspecto superficial dos cordões depositados em ambos os lados (a – face, b – contraface) da amostra de aço carbono SAE 1020, utilizando o agente ‘Antirrespingos’ da marca 1. Neste caso, não é verificada a existência de respingos na face da junta, e ocorrem poucos respingos na sua contraface. Em contrapartida, é possível identificar uma considerável oxidação ao entorno do cordão depositado. As demais marcas apresentaram comportamento variado em relação a ocorrência de respingos e oxidação, conforme descrito na Tabela 3.

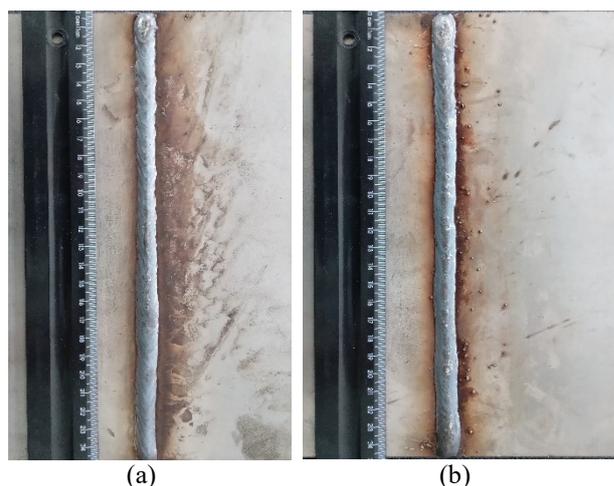


Figura 3. Fotografias mostrando o aspecto da amostra soldada empregando o agente ‘antirrespingo’ da marca 1.

Na Figura 4 é mostrada a macrografia da seção transversal da amostra de aço AISI 304 soldada empregando o agente ‘Antirrespingo’ marca 1. Novamente as macrografias das demais condições não foram apresentadas por questão de espaço. De modo análogo ao observado para as amostras de aço carbono (parte I), não ocorre qualquer variação em relação ao aspecto macrográfico dos cordões em função da variação da marca de ‘antirrespingo’ utilizada. A similaridade dos cordões é confirmada pela comparação entre os valores de suas largura e reforço, os quais são informados na Tabela 3. É possível identificar que em todas as condições avaliadas os cordões apresentaram o defeito geométrico do tipo penetração incompleta na raiz da junta. Por fim, não observa-se a ocorrência de outros defeitos intrínsecos, além dos respingos, e de outro defeito geométrico além da falta de penetração de raiz.

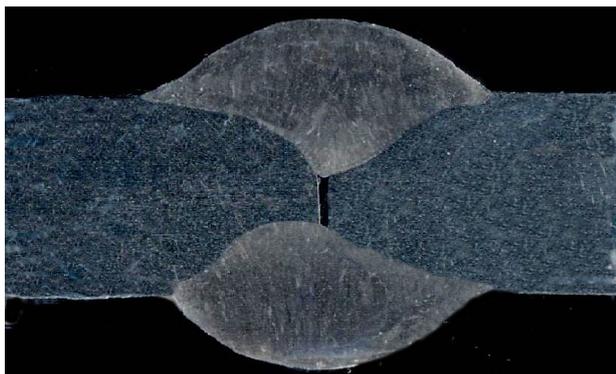


Figura 4. Macrografias da seção transversal da amostra de soldada empregando o agente 'antirrespingo' marca 1.

A Tabela 3 compila e sintetiza os principais resultados da caracterização visual e dimensional dos cordões.

A Figura 5 ilustra a micrografia das diferentes regiões da junta soldada empregando o agente 'antirrespingo' da marca 1, no aço inoxidável AISI 304. Neste caso é possível notar claramente que a extensão da zona termicamente afetada é menor quando comparada aquela formada no aço carbono, discutido na parte I desta pesquisa. Isso se deve a menor condutividade térmica do aço inoxidável, em função do seu elevado teor de elementos de liga, o que concentra o calor junto a poça de fusão, conduzindo somente uma pequena parcela ao metal de base.

Tabela 3. Características dos cordões depositados usando as diferentes marcas de agente 'antirrespingo'.

Marca	Lado da junta	Largura (mm)	Reforço (mm)	Comentários gerais
1	Face	8.89	2.02	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.29	2.09	Poucos respingos e pouca fuligem
2	Face	9.49	1.96	Poucos respingos e pouca fuligem
	Oposto	9.08	1.96	Poucos respingos e pouca fuligem
3	Face	8.68	1.56	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.34	1.81	Poucos respingos e muita fuligem
4	Face	9.14	2.22	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.49	2.12	Poucos respingos e pouca fuligem
5	Face	8.89	2.17	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.49	2.17	Poucos respingos e muita fuligem
6	Face	10.35	2.42	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	10.35	2.17	Muitos respingos e muita fuligem
7	Face	10.05	2.91	Poucos respingos e pouca fuligem
	Oposto	10.21	2.17	Poucos respingos e pouca fuligem
8	Face	10.11	1.96	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.94	2.37	Poucos respingos e pouca fuligem
9	Face	10.02	2.16	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	8.88	2.37	Poucos respingos e muita fuligem
10	Face	9.82	1.81	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	10.09	1.89	Muitos respingos e muita fuligem
11	Face	9.28	2.62	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	11.16	2.42	Muitos respingos e muita fuligem
12	Face	10.6	2.22	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.69	2.77	Poucos respingos e muita fuligem
13	Face	9.49	2.22	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	8.93	2.22	Muitos respingos e muita fuligem
14	Face	10	2.17	Poucos respingos e pouca fuligem
	Oposto	10.06	2.42	Muitos respingos e pouca fuligem
15	Face	8.93	1.76	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.74	1.74	Poucos respingos e muita fuligem
16	Face	9.74	2.22	Poucos respingos e muita fuligem
	Oposto	9.49	2.22	Muitos respingos e muita fuligem

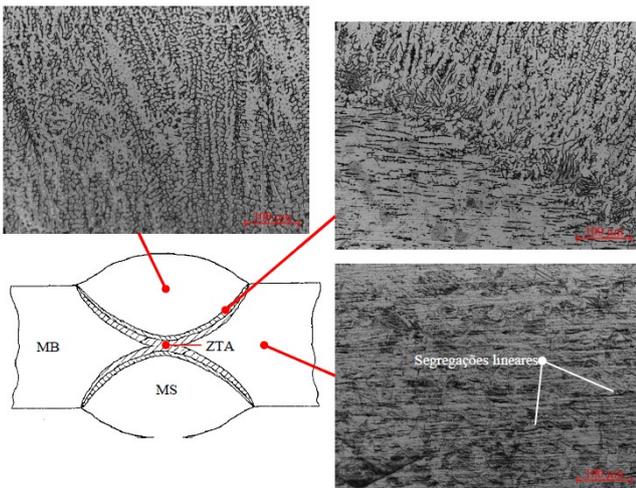


Figura 5. Micrografia da amostra de aço AISI 304 soldada empregando o agente 'antirrespingo' da marca 1.

A microestrutura do metal de solda (MS) é constituída por duas regiões, uma região dendrítica em tonalidade mais clara, e uma região interdendrítica em tonalidade mais escura. Pela literatura sabe-se que a região dendrítica é constituída pelo microconstituente austenita ($Fe-\gamma$), enquanto que a região interdendrítica é composta pelo microconstituente ferrita delta ($Fe-\delta$). A microestrutura prevista pelo diagrama de Schaeffler para a composição química dos metais de adição e de base empregados, prevê uma microestrutura predominantemente austenítica com cerca de 10 a 20% de ferrita delta.

A análise da microestrutura da região da zona termicamente afetada (ZTA) evidencia a ocorrência de crescimento epitaxial da estrutura de grão no MS. Este tipo de crescimento é benéfico para as soldas, pois incorpora a estrutura de grãos do MS aos grãos do metal base (MB). Esse comportamento evita que a interface entre eles (ou seja, a ZTA) se torne uma região com alta concentração de tensões. Também, não observa-se a ocorrência de granulação grosseira e fina nas regiões adjacentes ao cordão de solda, e que a extensão da ZTA é pequena. A microestrutura do metal de base indica que o material foi conformado por laminação a quente. Esta é constituída por uma estrutura austenítica monofásica, e por segregações lineares. Essas segregações lineares correspondem à ferrita delta, cercada por carbonetos à base de cromo, ambos formados durante a operação de laminação a quente.

O emprego dos demais agentes 'antirrespingos' não produziu qualquer modificação do padrão da microestrutura das diferentes regiões da junta soldada mostradas na Figura 5, e por isso não serão aqui apresentadas.

Na Figura 6 é apresentado o perfil de dureza medido na seção transversal das amostras de aço inoxidável AISI 304 soldadas empregando diferentes marcas de agente 'antirrespingo'. Observa-se que a dureza na região do metal de solda (MS) é menor que aquela do metal de base (MB). No MS, o calor do gerado pelo arco elétrico produz o recozimento e a recuperação da microestrutura, levando a uma queda na sua dureza. Estes valores de dureza

aumentaram gradualmente na região da zona termicamente afetada (ZTA), atingindo os valores típicos do metal de base (MB). Observa-se que a extensão da ZTA é pequena, em virtude da baixa condutividade térmica do material conforme anteriormente explicitado. A dureza superior do MB é devido à sua maior homogeneidade química e microestrutural.

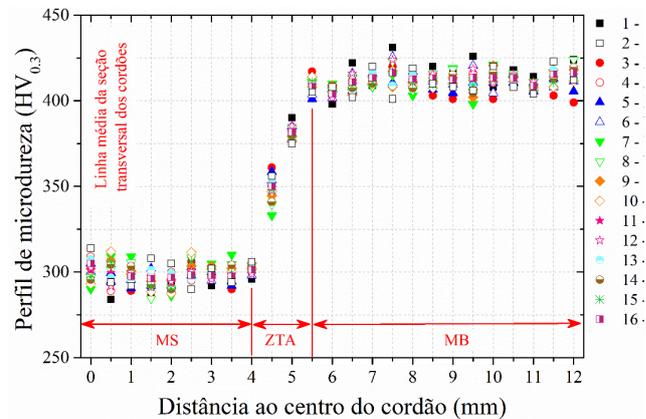


Figura 6. Microdureza das amostras de aço AISI 304 soldadas empregando os diferentes agentes 'antirrespingo'.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados da análise visual, das análises macro e micrográficas, e das medições de microdureza pode-se afirmar que:

- Nenhuma das marcas de agente 'antirrespingo' avaliadas foi totalmente eficiente na eliminação da ocorrência dos respingos;
- Todas as marcas de agente 'antirrespingo' avaliadas levaram à formação, em maior ou menor escala, de óxidos;
- Os agentes 'antirrespingos' não exercem qualquer efeito sobre as características dimensionais, macro e microestruturais e microdureza dos cordões de solda; e,
- Todas as condições investigadas exibiram penetração incompleta na raiz da junta soldada.

5. REFERÊNCIAS

- MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE A.Q. Soldagem: Fundamentos e tecnologia. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2017.
- OKUMURA, Toshie; TANIGUCHI, Célio. Engenharia de Soldagem e Aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 1982.
- SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. 1ª ed. São Paulo: Editora Artliber, 2008.
- WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio D. Homem. Soldagem, Processos e Metalurgia. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992.