

## **Caracterização de processos de soldagem por eletrodo revestido (SMAW) e MAG (GMAW) por meio de ensaios destrutivos**

## **Characterization of coated electrode welding (SMAW) and MAG (GMAW) processes by destructive testing**

## **Caracterización de los procesos de soldadura con electrodo recubrido (SMAW) y MAG (GMAW) mediante ensayos destructivos**

Luiz Felipe Mariano Rodrigues<sup>1</sup>  
Eli Jorge da Cruz Junior<sup>2</sup>  
Francisco Mateus Faria de Almeida Varasquim<sup>3</sup>

**Resumo:** Este trabalho compara a resistência mecânica de chapas de aço SAE 1020 soldadas pelos processos eletrodo revestido (SMAW) e MAG (*Metal Active Gas*), em relação ao material sem solda. Ensaios destrutivos de tração foram realizados para avaliar as propriedades mecânicas, como tensão de ruptura e ductilidade. Os resultados mostraram que nenhuma das soldas apresentou penetração total, comprometendo a resistência das juntas. A solda MAG apresentou os menores valores de tensão de ruptura, evidenciando perda significativa de resistência. Já a solda com eletrodo revestido apresentou valores mais próximos ao material sem solda, porém com menor capacidade de deformação, caracterizando fratura frágil. Conclui-se que os parâmetros de soldagem e a execução influenciam diretamente o desempenho final das soldas.

**Palavras-chave:** Soldagem. Eletrodo revestido. MAG. Ensaios destrutivos.

**Abstract:** This study compares the mechanical strength of SAE 1020 steel sheets welded by the coated electrode welding (SMAW) and MAG processes, in relation to the raw material. Destructive tensile tests were performed to evaluate the mechanical properties, such as tensile strength and ductility. The results showed that none of the welds presented full penetration, compromising the strength of the joints. The MAG weld presented the lowest tensile strength values, evidencing a significant loss of strength. The weld with coated electrode presented values closer to the raw material, but with lower deformation capacity, characterizing brittle fracture. It is concluded that the welding parameters and execution directly influence the final performance of the welds.

**Keywords:** Welding. Coated electrode. MAG. Destructive tests.

<sup>1</sup>Graduando. IFSP Itapetininga. <https://orcid.org/0009-0006-5945-480X>. E-mail: mariano.rodrigues@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Doutor. IFSP Itapetininga. <https://orcid.org/0000-0002-1576-3532>). E-mail: dacruz.eli@ifsp.edu.br

<sup>3</sup> Doutor. IFSP Itapetininga. <https://orcid.org/0000-0002-5130-3461>E-mail: franciscomateus@ifsp.edu.br



**Resumen:** Este trabajo compara la resistencia mecánica de láminas de acero SAE 1020 soldadas por los procesos de electrodo revestido (SMAW) y MAG, en relación al material sin soldar. Se llevaron a cabo ensayos de tracción destructivos para evaluar propiedades mecánicas, como tensión de ruptura y ductilidad. Los resultados mostraron que ninguna de las soldaduras mostró penetración total, comprometiendo la resistencia de las uniones. La soldadura MAG presentó los valores más bajos de voltaje de ruptura, mostrando una pérdida importante de resistencia. La soldadura con electrodo revestido presentó valores más cercanos al material sin soldadura, pero con menor capacidad de deformación, caracterizándose fractura frágil. Se concluye que los parámetros de soldadura y la ejecución influyen directamente en el rendimiento final de las soldaduras.

**Palabras clave:** Soldadura. Electrodo recubierto. MAG. Pruebas destructivas.

Submetido 15/01/2025

Aceito 10/03/2025

Publicado 02/04/2025

### Considerações Iniciais

A avaliação das propriedades mecânicas de materiais metálicos é realizada, principalmente, por meio de ensaios destrutivos, que submetem o material a esforços extremos até sua ruptura ou deformação irreversível. Esses ensaios são fundamentais para determinar características como resistência à tração, tenacidade e ductilidade, fornecendo informações essenciais sobre a integridade estrutural de componentes soldados.

As características mecânicas de materiais metálicos são obtidas por meio de diferentes tipos de ensaios. Em sua maioria, esses testes são considerados destrutivos, pois promovem a ruptura ou a inutilização do material (Souza, 1982).

Existem ainda os ensaios chamados não-destrutivos, utilizados para determinação de algumas propriedades físicas do metal, bem como para detectar falhas internas do mesmo. Na categoria dos ensaios destrutivos, estão classificados os ensaios de tração, dobramento, flexão, torção, fadiga, impacto, compressão e outros. O ensaio de dureza, que, embora possa, em certos casos, não inutilizar a peça ensaiada, também está incluído nessa categoria (Souza, 1982).

Entre os ensaios mais importantes está o ensaio de tração, que é utilizado para indicar o comportamento mecânico do material sob carga axial. Em conexão com a soldagem, ensaios de tração são necessários para avaliar as características da zona afetada pelo calor (ZAC) e do cordão de solda, ou seja, áreas onde podem ocorrer alterações microestruturais que afetam diretamente o desempenho da junta soldada (Souza, 1982).

E seguindo esse contexto, a soldagem nada mais é do que um processo de união permanente de materiais metálicos ou termoplásticos, realizado por meio do aquecimento localizado até a fusão, podendo ser aplicado com ou sem material de adição. “O princípio fundamental da soldagem é a geração de uma poça de fusão, que, ao solidificar, forma uma ligação entre os materiais. Esse processo pode envolver a aplicação de calor, pressão ou a combinação de ambos.” (Amaral; Gomes, 2015).

“Operação que visa obter a coalescência localizada, produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição.” (American Welding Society, 2014)

A soldagem por fusão se baseia na aplicação em pontos específicos de calor na região da junta a ser soldada, até a sua fusão e do metal de adição (quando houver). Existe muitos processos por fusão, e eles podem ser separados por subgrupos. A tabela 1 mostra os processos de soldagem por eletrodo revestido e MIG/MAG e suas características principais.

Tabela 1 – Processos de Soldagem por Fusão

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR OU DE CORTE	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem com Eletrodo Revestido	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio + O <sub>2</sub> , Argônio + CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Automática/mecanizada ou semiautomática. O arame é sólido	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessuras maior ou igual a 1mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição

Fonte: Adaptado de Marques; Modenesi; Bracarense, 2016

Os processos que utilizam o arco elétrico, como o eletrodo revestido (SMAW) e a soldagem MAG (*Metal Active Gas*), são amplamente utilizados na indústria por conta da sua eficiência e aplicabilidade em diferentes tipos de materiais. Nesse trabalho serão realizadas soldas por esses dois processos citados, que serão explicados mais afundo abaixo.

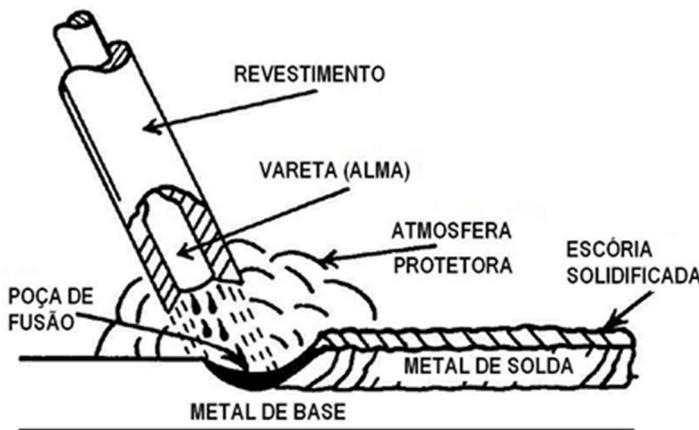
### Soldagem por Eletrodo Revestido

A soldagem com eletrodo revestido, também conhecida como processo SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), é um dos métodos mais utilizados no processo de soldagem. O

eletrodo revestido consiste em uma haste de metal chamada “alma”, que conduz corrente elétrica e fornece metal de adição para enchimento da junta. A alma é recoberta por uma camada de minerais chamada “revestimento”, que tem a função de estabilizar o arco elétrico, ajustar a composição química do cordão, pela adição de elementos de liga, proteger a poça de fusão (Bastos; Silva, 2018).

A soldagem é realizada através do calor gerado por um arco elétrico, que é mantido entre a ponta de um eletrodo metálico revestido e o material a ser soldado. Esse calor funde o metal da peça quanto o núcleo do eletrodo e o revestimento. À medida que as gotas de metal fundido se transferem para a área de fusão, elas ficam protegidas do ar pela liberação de gases causados pela decomposição do revestimento (Fortes, 2005). A escória líquida que se forma sobe à superfície da poça de fusão, ajuda a proteger o metal enquanto ele se solidifica. Além disso, o revestimento tem um papel importante em manter o arco estável e controlar a forma do cordão de solda. Essas explicações são ilustradas nas Figuras 1 e 2 abaixo.

Figura 1 - Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido



Fonte: Fortes, 2005

Figura 2 – Soldagem com Eletrodo Revestido



Fonte: Marques; Modenesi; Santos, 2012

De acordo com Modenesi *et al.* (2010), os eletrodos podem ser classificados em três tipos principais:

- Rutílicos: oferecem boa estabilidade do arco, facilidade de manuseio e bom acabamento superficial.
- Básicos: possuem baixo teor de hidrogênio, sendo ideais para soldas de alta resistência e menor risco de trincas.
- Celulósicos: oferecem alta penetração, sendo amplamente utilizados em soldagens verticais e em tubulações.

A simplicidade e a portabilidade do processo fazem com que ele seja amplamente empregado em operações em campo e em pequenas produções. Entretanto, apresenta limitações, como menor produtividade em comparação a métodos automatizados e a necessidade de remoção da escória entre passes (Silva *et al.*, 2018).

A Tabela 2 mostra as vantagens, limitações e aplicações do uso do eletrodo revestido.

Tabela 2 - Vantagens, Limitações E Aplicações Da Soldagem Com Eletrodo Revestidos

Vantagens e Limitações	Aplicações
Equipamento simples, portátil e barato.	Soldagem de produção, manutenção e em montagens no campo.

Não necessita fluxos ou gases externos.	Soldagens de aços carbono, baixa e alta liga.
Pouco sensível à presença de correntes de ar.	Soldagem de ferro fundido.
Processo extremamente versátil em termos de materiais soldáveis.	Soldagem de alumínio, níquel e suas ligas.
Facilidade para atingir áreas de acesso restrito.	
Aplicação difícil para materiais reativos.	
Produtividade relativamente baixa.	
Exige limpeza após cada passe de soldagem.	

Fonte: Adaptado de Marques; Modenesi; Santos, 2012

### Soldagem MAG

A soldagem MAG (*Metal Active Gas*), uma variante do processo GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), utiliza um arame consumível contínuo e uma proteção gasosa ativa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Segundo Pires *et al.* (2016), o CO<sub>2</sub> puro é amplamente empregado devido ao seu baixo custo e à capacidade de proporcionar alta penetração. Além disso, podem ser utilizadas misturas de gases ativos e inertes, como o argônio (Ar) e o hélio (He), que conferem maior estabilidade ao arco elétrico, melhor acabamento do cordão de solda e menor geração de respingos.

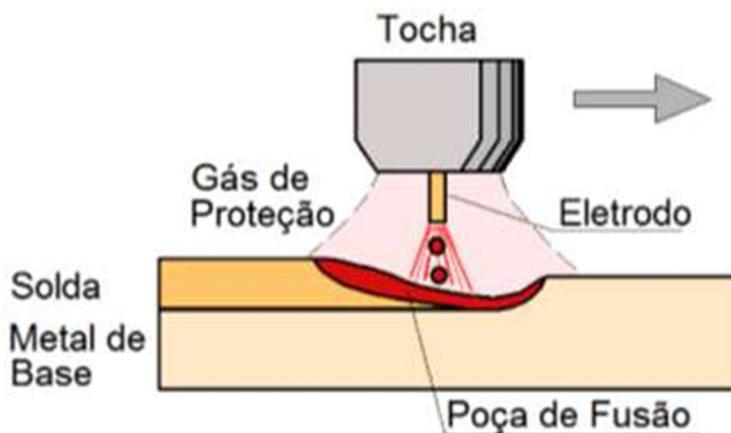
Processo no qual a junção dos metais se dá pelo aquecimento através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de arame sólido contínuo e a peça de trabalho. A proteção se dá por uma corrente de gás inerte ou ativo. Quando são usados gases inertes, o processo é conhecido como MIG (*Metal Inert Gas*), já quando se usa misturas ricas em gases ativos, o processo é conhecido como MAG (*Metal Active Gas*) (Bastos; Silva, 2018).

Uma característica importante do processo MAG é a utilização de um gás ativo, o que o diferencia do processo MIG, onde se usa apenas um gás inerte, como o argônio. Essa diferença no tipo de gás influencia diretamente nas propriedades e a estabilidade do arco elétrico, além da penetração e qualidade da solda.

No processo MAG, um arco elétrico é formado entre a ponta do fio do eletrodo e a peça, o que gera calor suficiente para fundir o material base e o fio metálico que serve como material de adição. O fio é alimentado continuamente através de uma tocha conectada à fonte de energia. A proteção gasosa, feita com um gás ativo como CO<sub>2</sub> ou misturas com argônio, protege a poça de fusão contra contaminações e também estabiliza o arco. À medida que o fio se funde, o metal é transferido para a poça, onde se solidifica e forma o cordão de solda que une as peças (Zawodny, 2001).

Na figura abaixo, é ilustrado melhor o processo da soldagem GMAW (*Gas Metal Arc Welding*).

Figura 3 – Soldagem GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)



Fonte: Marques; Modenesi; Santos, 2012

Esse processo apresenta diversas vantagens de soldagem se comparado ao eletrodo revestido, entre elas podemos destacar: elevadas taxas de deposição; grande versatilidade em relação ao tipo de material, posição de soldagem e espessuras aplicáveis; não necessita operações para remoção de escória, devido a não existência de fluxos; exige menos habilidade do soldador. Porém, o processo GMAW apresenta algumas limitações como: alta sensibilidade a variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem; maior custo de equipamentos e manutenção; e pode gerar elevada quantidade de respingo.

Por fim, este trabalho tem como objetivo comparar a resistência mecânica de chapas de aço SAE 1020 soldadas pelos processos de eletrodo revestido e MAG, em relação ao material sem solda. Para isso, foram realizados ensaios destrutivos de tração, em cada corpo de prova, visando identificar as variações nas propriedades mecânicas resultantes dos dois processos e avaliar suas limitações, como a penetração incompleta da solda.

### Metodologia

O metal base utilizado foi o SAE 1020, em chapas de 3 mm de espessura. Para a soldagem por eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding* - SMAW) foi utilizado uma inversora ESAB Bantan 2.5, e para soldagem MAG (*Gas Metal Arc Welding* - GMAW) uma máquina de solda ESAB Smashweld 227X. Os parâmetros de soldagem foram selecionados conforme catálogo do fabricante. As condições para cada uma das soldagens são apresentadas na Tabela 3.

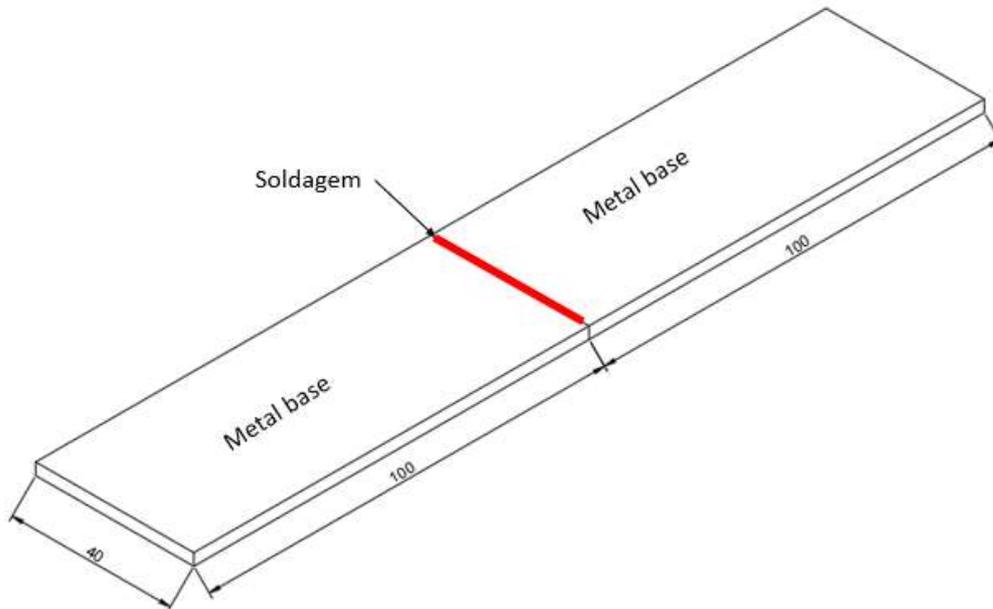
Tabela 3 - Parâmetros de soldagem e espessuras das camadas eletrodepositadas

SOLDAGEM	PARÂMETROS
<b>Eletrodo revestido</b>	Eletrodo: E6013 diâmetro 2,5mm Corrente: 200A Tensão: 30 V (parâmetro do equipamento)
<b>MAG</b>	Arame ER70S-6 diâmetro 0,8mm Corrente: 112A Tensão: 16 V (parâmetro do equipamento) Gás de proteção: CO <sub>2</sub>

Fonte: Próprio autor

Para preparação para soldagem, os materiais foram previamente cortados nas dimensões de 30 x 100 mm, sendo a face que seria soldada (30 mm) foi retificada. O ensaio de soldagem, consistiu na união de duas chapas (sem chanfro) por meio de uma solda de topo, conforme apresentado na Figura 4. Para cada um dos tipos de soldagem, foram preparados 4 corpos de prova.

Figura 4 - Microestrutura do AISD UNS S32750



Fonte: Próprio autor.

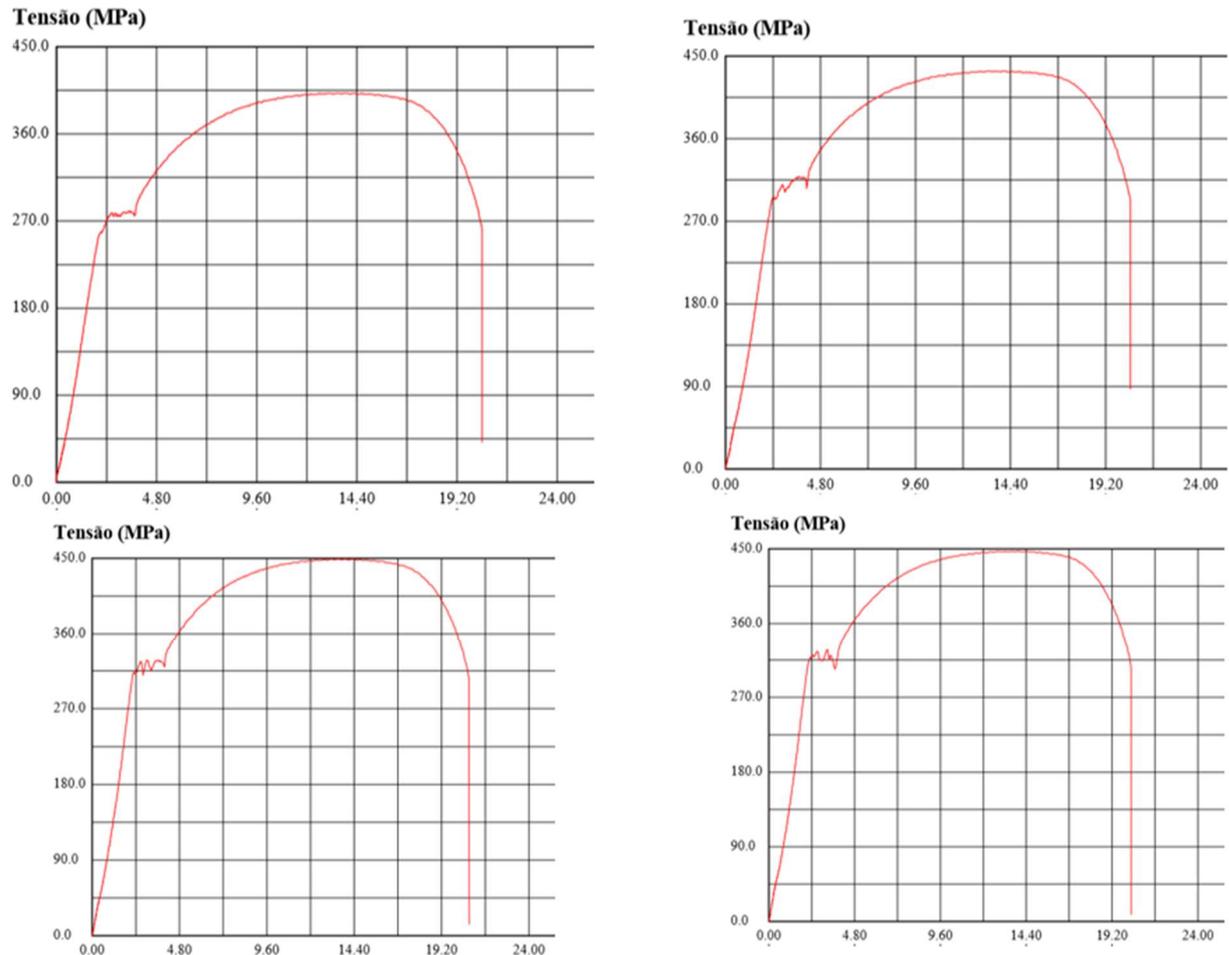
Após as soldagens, os corpos de prova foram retificados, a fim de retirar o reforço da solda, e evitar a formação de concentradores de tensão. Foram preparados corpos de prova de tração (cortados por meio de eletroerosão), conforme a norma ABNT MB-4.

Após os ensaios de tração, foram cortadas partes próximas as rupturas para a realização de fractografia em um microscópio eletrônico de varredura (Carl Zeiss EVO LS15).

### **Análise de dados e resultados**

Para obter um valor de referência, primeiramente foi ensaiado (tração) o metal base sem nenhuma solda. Os gráficos de tensão x deformação, obtidos no ensaio, são apresentados na Figura 5. Como o material possui baixo teor de carbono, ele apresentou uma fratura dúctil. Os valores de tensão de ruptura e limite de resistência foram de  $296,83 \pm 18,8$  Mpa e  $430,83$  MPa  $\pm 18,1$  MPa, respectivamente.

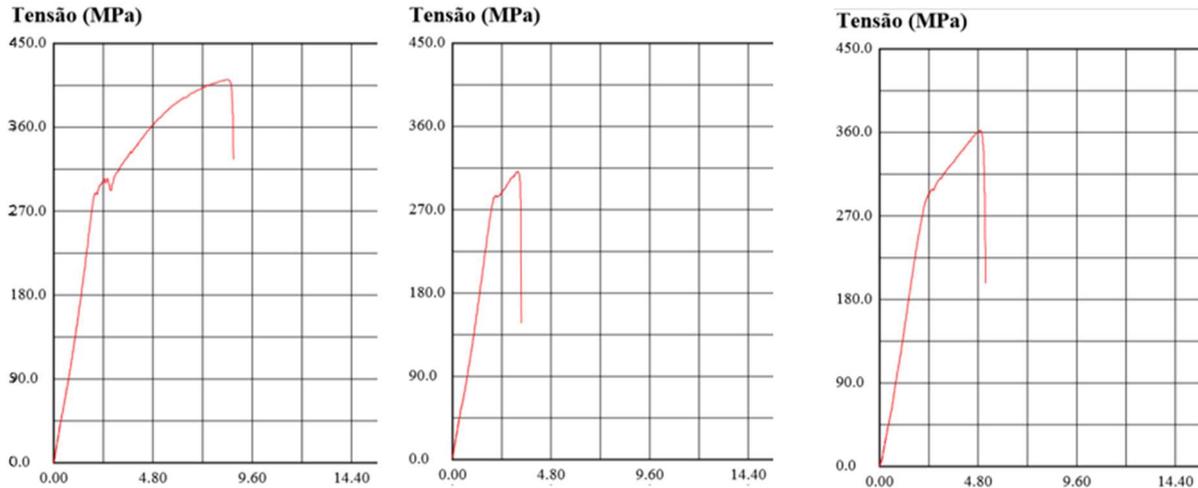
Figura 5 - Gráfico de tensão do material Sem Solda



Fonte: Próprio autor.

A figura 6 apresenta os gráficos de tensão deformação para o material soldado pelo processo de eletrodo revestido. Embora o planejamento inicial fosse a execução de quatro corpos de prova, um problema de ajuste na máquina de teste de tração inviabilizou os resultados de um dos corpos de prova.

Figura 6 - Gráfico de tensão do Eletrodo Revestido

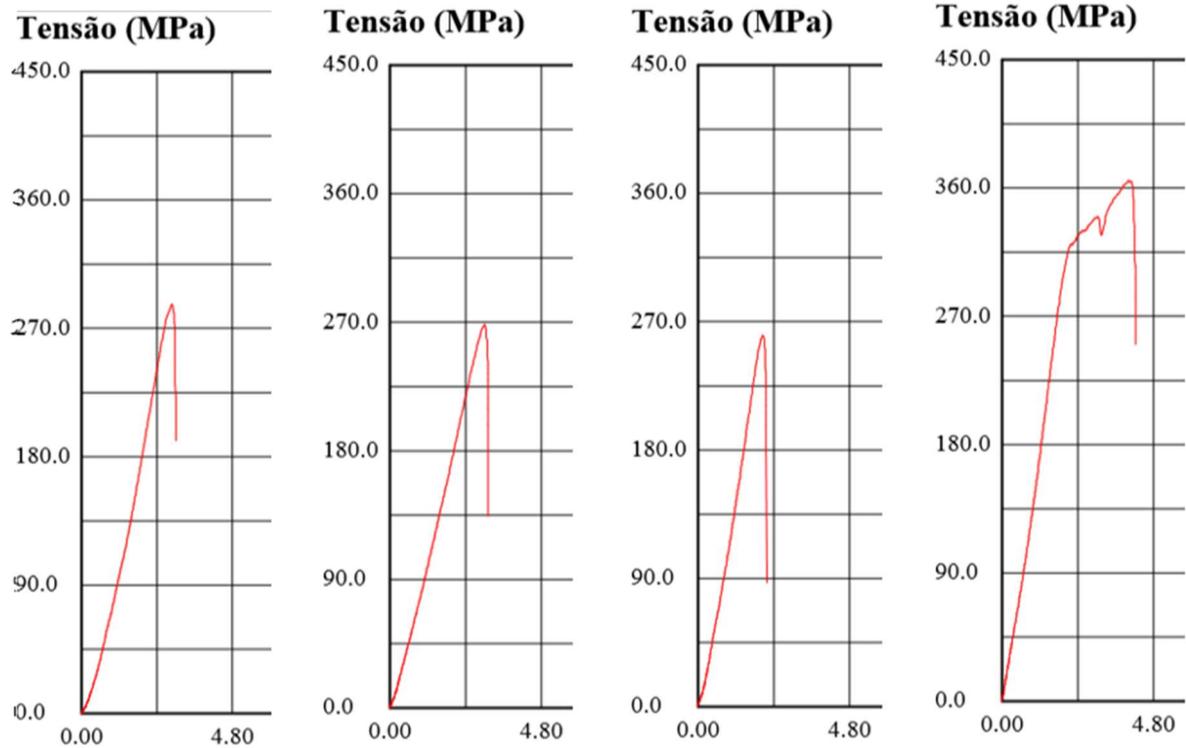


Fonte: Próprio autor.

Nota-se que os resultados apresentaram valores discrepantes, sendo também o limite de resistência coincidente com a tensão de ruptura, que foi de  $290,8 \pm 49,5$  Mpa. A discrepância entre os resultados, levou a um desvio padrão de aproximadamente 17%. Essa discrepância está associada a falta de uniformidade no processo de soldagem, que é influenciada pela habilidade do soldador (velocidade de soldagem, distância do eletrodo com a peça, posição da tocha e etc.). A ruptura ocorreu no cordão de solda. A solda por eletrodo revestido não apresentou penetração total, comprometendo a resistência da junta soldada.

A Figura 7 apresenta os gráficos de tensão x deformação do material soldado pelo processo MAG. Novamente os valores de limite de resistência e tensão de ruptura coincidiram, sendo de  $239,75$  Mpa  $\pm 38,70$ Mpa. Novamente os resultados foram discrepantes, resultando em um desvio padrão de aproximadamente 17%, evidenciando a influência da habilidade do soldador na resistência da soldagem. A ruptura também ocorreu no cordão de solda. A solda MAG foi a que apresentou menor penetração bem como tensão de ruptura.

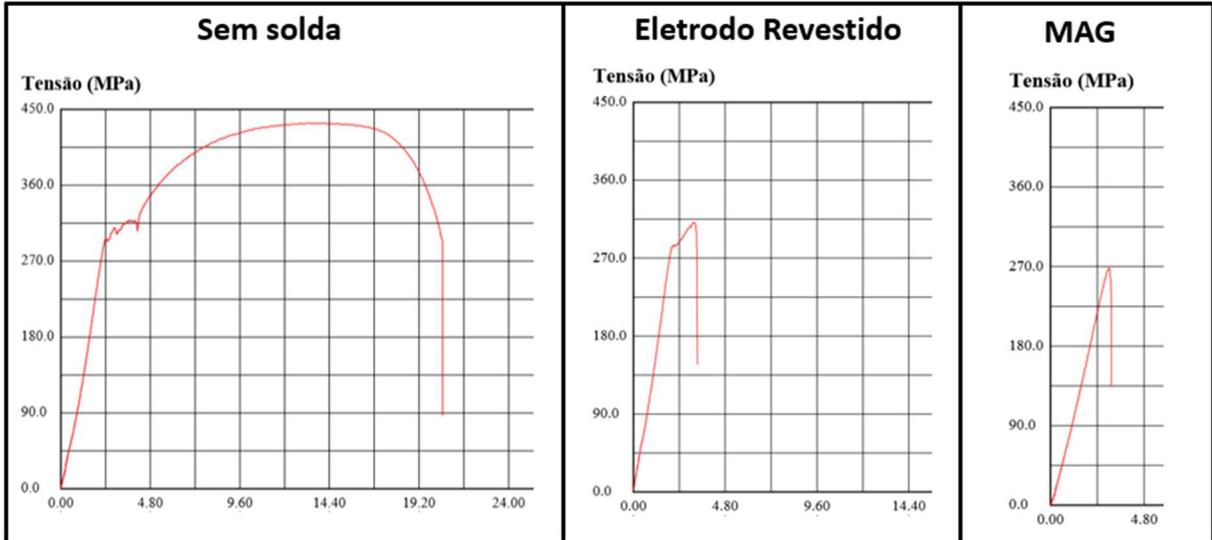
Figura 7 - Gráfico de tensão por MAG



Fonte: Próprio autor.

Na figura 8 é representado um comparativo do gráfico tensão x deformação no material sem solda com os dois tipos de soldagem realizado.

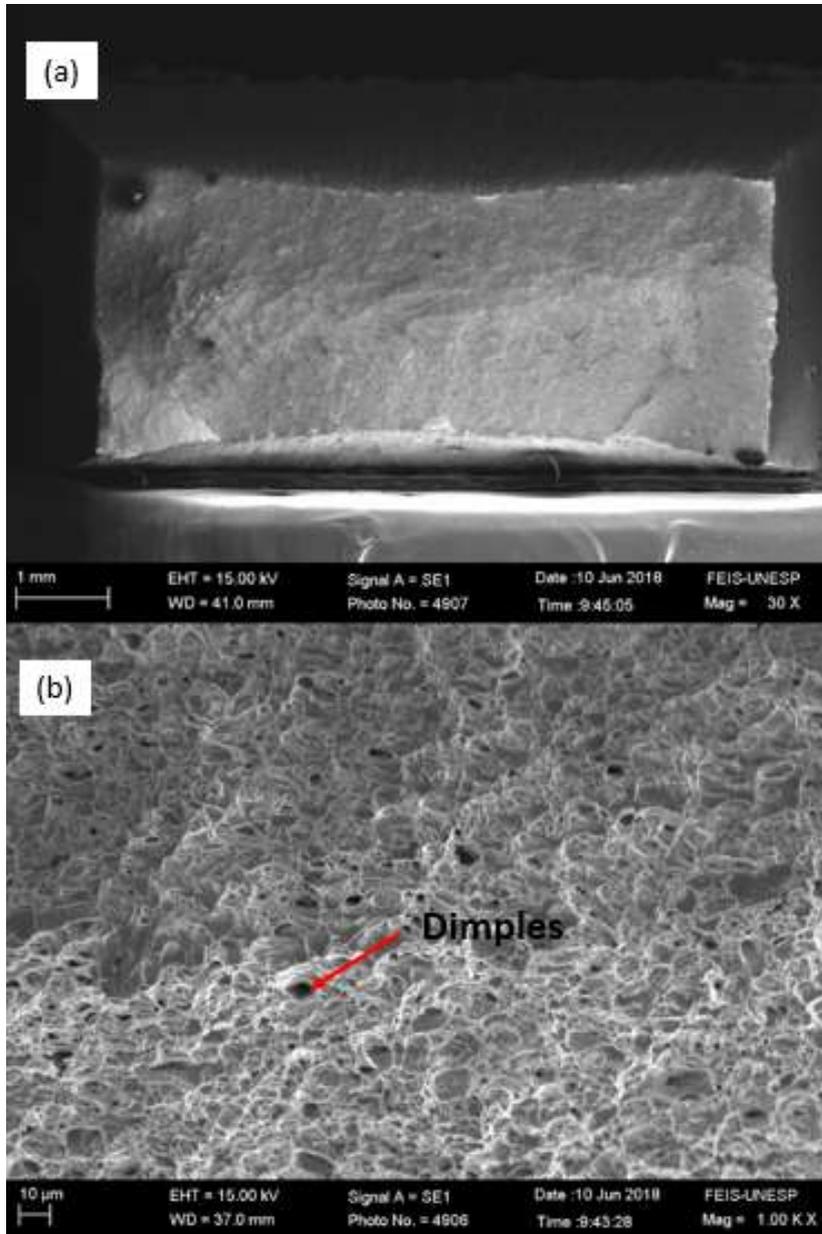
Figura 8 – Comparação dos gráficos em cada processo.



Fonte: Próprio autor.

As micrografias (fractografia) obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para o metal base (sem solda) é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Microscopia do material sem solda

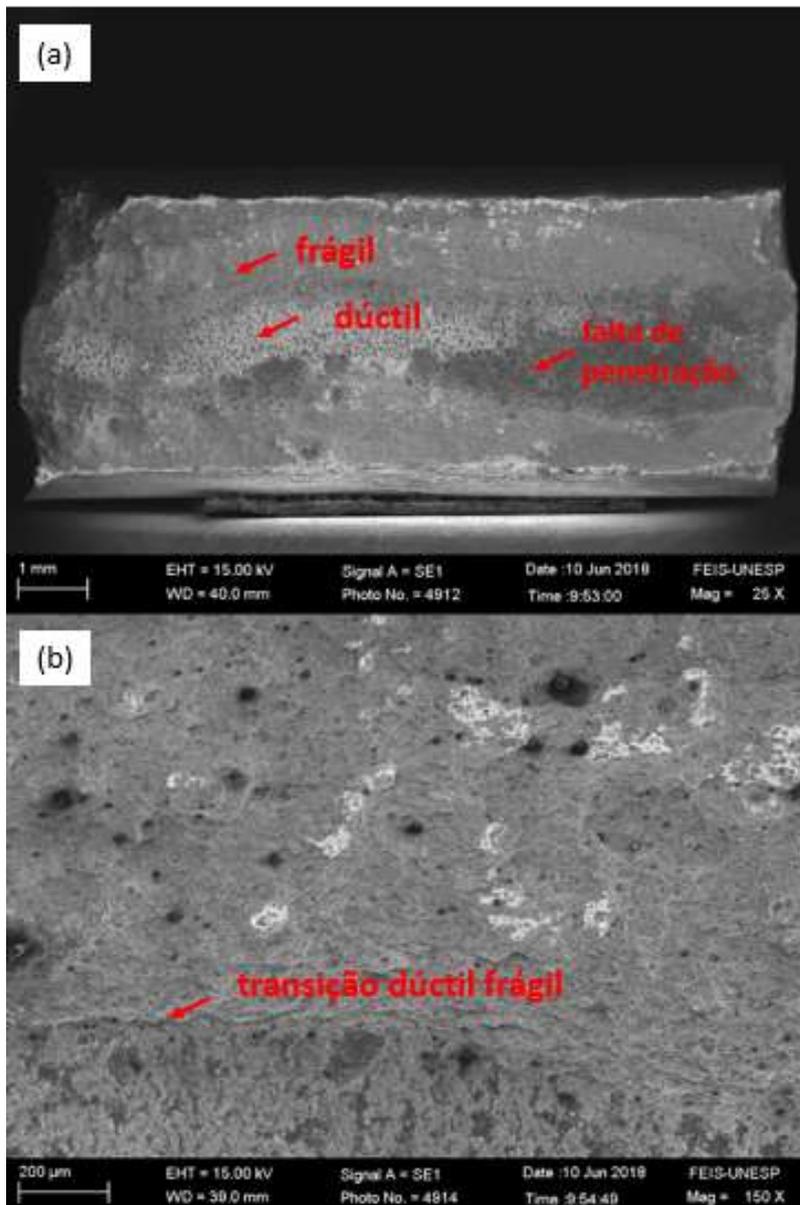


Fonte: Próprio autor.

A fractografia revela que se trata de uma fratura dúctil, sendo possível notar a estricção na Figura 9 a, bem como a superfície fibrosa, com a presença de coalescimento de microcavidades (dimples).

As micrografias (fractografia) obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para a soldagem por eletrodo revestido é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Microscopia da soldagem por Eletrodo Revestido



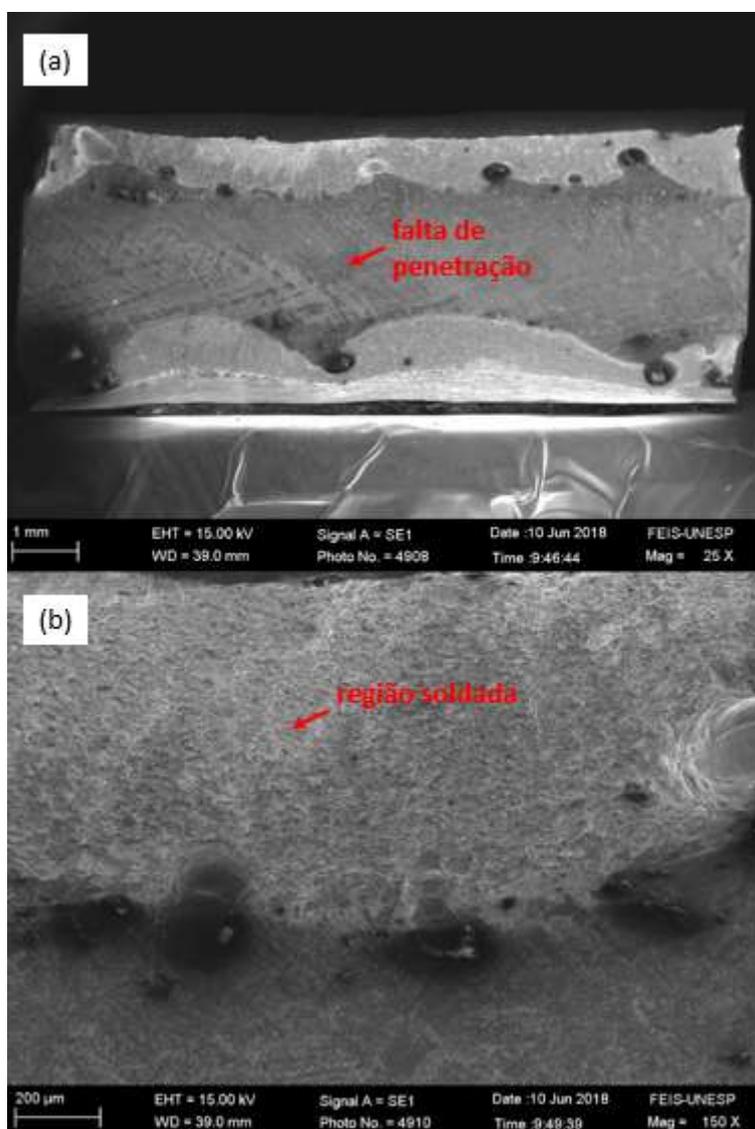
Fonte: Próprio autor.

Na Figura 10 a é possível observar que houve falta de penetração, o que afetou a resistência do cordão de solda. A ausência de estrição evidencia que o material deformou

muito pouco antes de romper, característica de uma fratura frágil. Observa-se também uma pequena região, mais para o centro do cordão, onde apresentou características de uma fratura dúctil. Essa pequena região pode ter sido resultado das taxas de resfriamento menores no centro do cordão, o que aumentou a ductilidade na região.

As micrografias (fractografia) obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para a soldagem MAG é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Microscopia da soldagem MAG



Fonte: Próprio autor.

A Figura 11 a revela que o cordão de solda foi bastante superficial, ficando a maior parte da região sem solda, o que afetou os resultados da resistência da soldagem. Ainda na região soldada, a fratura ocorreu de forma frágil, não apresentando deformação anterior a ruptura.

Para ambos os processos de soldagem, eletrodo revestido e MAG, a resistência dos cordões de solda foram afetados principalmente pela falta de penetração. Essa falta de penetração pode estar associada aos parâmetros de soldagem selecionados (correntes e tensões de soldagem), porém, como citado anteriormente, tais processos também são bastante influenciados pela habilidade do soldador, visto que são processos manuais.

### **Considerações finais**

Este trabalho teve como objetivo comparar a resistência mecânica de chapas de aço SAE 1020 soldadas pelos processos de eletrodo revestido (SMAW) e MAG em relação ao material sem solda. Os resultados dos ensaios de tração mostraram diferenças importantes entre os dois processos, que podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- Penetração da Solda

Nenhum dos processos de soldagem apresentou penetração total. Isso comprometeu a resistência da solda e influenciou negativamente os resultados, mostrando a importância de um melhor ajuste dos parâmetros de soldagem, como corrente e tensão.

- Desempenho do Eletrodo Revestido (SMAW)

A solda com eletrodo revestido apresentou resistência próxima ao material sem solda, mas com menor capacidade de deformação antes da ruptura. Isso significa que, embora tenha resistido bem, a solda foi mais frágil e quebrou mais cedo sob esforço.

- Desempenho do MAG

A soldagem MAG teve os piores resultados em resistência mecânica, com uma penetração mais superficial e menor tensão de ruptura. Esse resultado foi afetado pela dificuldade em manter a uniformidade no processo manual.

Em conclusão, a escolha entre os processos de soldagem SMAW e MAG depende da aplicação e da necessidade de resistência mecânica. O eletrodo revestido apresentou melhores resultados gerais em termos de resistência, enquanto o MAG, embora mais produtivo, mostrou

limitações em qualidade, porém todos esses processos podem ainda ser melhorados ajustando os parâmetros de solda.

## Referências

**AMARAL, A. R., & GOMES, A. L. (2015).** Processos de Soldagem: Tecnologias e Aplicações. *Editora Ciência Moderna.*

**AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). (2016).** *ASTM E8/E8M – Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.* ASTM International.

**American Welding Society (AWS). (2014).** *Welding Handbook.* 9ª edição. *American Welding Society.*

**BASTOS, G. de F. S., & Silva, L. P. N. (2018).** Importância do ensaio por ultrassom para garantia da qualidade da solda.

**CALLISTER, W. D. (2012).** *Materials Science and Engineering: An Introduction.* 9ª edição. *Wiley.*

**FONSECA, P. L. (2018).** *Materiais e Processos de Fabricação.* *Editora Atlas.*

**FORTES, C. (2005).** *Apostila de Eletrodos Revestidos.* Revisado por C. Turani Vaz. ESAB BR.

**GOMES, A. L., & NUNES, A. L. (2017).** Soldagem MAG: Características e Aplicações. *Revista Brasileira de Soldagem, 33(2), 99-108.*

**MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo J.; BRACARENSE, Alexandre Queiroz.** *Soldagem fundamentos e tecnologia.* 4. ed. atual. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2016.

**MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani; BRACARENSE, Alexandre Queiroz.** *Introdução a Metalurgia da Soldagem,* Belo Horizonte, janeiro 2012. Disponível em: <http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>

**MODENESI, P. J., SILVA, S. A., & ARAUJO, M. S. (2010).** *Avaliação de Materiais Soldados: Ensaio Destrutivos e Características Mecânicas.* *Editora Blucher.*

**PIRES, S. A., SANTOS, M. D., & COSTA, P. J. (2016).** Processos de Soldagem e Controle de Qualidade. *Revista de Tecnologia de Soldagem, 42(3), 215-228.*

**SILVA, J. A., COSTA, S. S., & ALMEIDA, C. F. (2020).** Ensaio Destrutivo em Materiais Metálicos: Uma Revisão dos Métodos e Aplicações. *Revista Brasileira de Engenharia de Materiais*, 21(5), 322-335.

**SILVA, R. A., ALMEIDA, P. T., & SANTOS, D. F. (2018).** Eletrodo Revestido: Princípios e Aplicações na Soldagem. *Revista de Soldagem e Materiais*, 39(1), 115-122.

**SOUZA, Sergio Augusto de. (1982).** Ensaio Mecânico De Materiais Metálicos: Fundamentos Teóricos e Práticos. São Paulo (SP): E. Blucher.

**ZAWODNY, J. (2001).** Welding with the right shielding gas. *Welding Journal*, December, pp. 49-50.