



ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM EM AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA HARDOX®

Alexandre Milanez¹

Kainã Kulkamp Machado²

Gabriel Felisbino³

José Vitor Dal Toé Júnior⁴

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo analisar os parâmetros de soldagem tipo MAG (Metal Ative Gas) para o aço de alta resistência Hardox 450® da empresa SSAB. O procedimento de soldagem utilizado incluiu a variação da posição de soldagem, posição horizontal e vertical descendente e regulagem de máquina seguindo procedimento indicado pelo fabricante do material. Em cada soldagem foram coletados dados como tempo de soldagem, tensão, corrente, velocidade do arame e vazão do gás. Após a soldagem, amostras foram retiradas e analisadas para avaliar os defeitos de soldagem. As amostras retiradas dos materiais soldados indicaram que ocorre, na posição de soldagem vertical descendente uma falta de penetração, principalmente na posição vertical descendente. Mesmo utilizando um arame eletrodo com maior resistência mecânica, todas as amostras ensaiadas em ensaio de tração romperam na região de solda ou na ZTA, com valores de tensão menores que a tensão de ruptura do material.

Palavras-chave: Parâmetros de Soldagem MAG, Aços de Alta Resistência, Resistência mecânica do Cordão de Solda.

1 INTRODUÇÃO

O processo de união de peças através da soldagem está cada vez mais presente nas indústrias, como na construção naval, em prédios e na indústria rodoviária. Especificamente, as indústrias que fabricam implementos rodoviários, utilizam tipos diferentes de materiais como: aços comuns SAE 1020, aços estruturais ASTM A36 e aços de alta resistência, como o Hardox fabricado pela empresa SSAB. A utilização dos aços de alta resistência se aplica em componentes com alto grau de esforço e desgaste, como caçambas e estruturas de veículos florestais.

Os aços de alta resistência se baseiam na resistência mecânica, com limite de ruptura acima de 1000 MPa. Devido a elevada resistência mecânica deste aço, a soldagem deste material acaba por influenciar na resistência a ruptura do material, pois o ciclo de

¹ Doutor em engenharia de Minas Metalúrgica e Materiais. Professor da SATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br.

² Graduando em Engenharia Mecânica – SATC. E-mail: kaina.machado@hotmail.com.

³ Graduando de Engenharia Mecânica – SATC. E-mail: felisbinogabriel@hotmail.com.

⁴ Graduando de Engenharia Mecânica – SATC. E-mail: daltoejr@gmail.com.



aquecimento e resfriamento modifica a microestrutura do material. A região onde ocorre a modificação estrutural do material no processo de soldagem é conhecida como ZTA, ou zona termicamente afetada.

A forma como a ZTA afeta a resistência mecânica de um material de alta resistência e ocasiona defeitos internos na região de solda, depende de fatores como tensão, corrente, vazão do gás e velocidade do consumível. Segundo a SSAB (2011), tais variáveis são determinadas via experimentos, afim de resultar em um aporte térmico limitado, recomendado pelo fabricante do material, gerando boas propriedades mecânicas na ZTA.

Este trabalho irá analisar as influências que os parâmetros de soldagem exerceram sobre a resistência mecânica dos materiais soldados. Os parâmetros de soldagem foram fornecidos pelo fabricante do aço, SSAB, pelo software Webcalc. Para avaliar a qualidade do processo de soldagem, ensaios destrutivos foram utilizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Aços de alta resistência são utilizados em muitas áreas, inclusive no ramo de implementos rodoviários, onde o peso da estrutura de sustentação (chassi) é de suma importância para que a empresa consiga vender seus produtos de forma competitiva no mercado. A chamada “Lei da Balança” restringe um limite máximo de peso e dimensão para cada modelo de implemento, para que possa transitar nas estradas do país (ALFREDO, 2009).

Segundos os estudos de Rodrigues (2012), os aços de alta resistência possuem elementos de liga que agregam resistência mecânica, tais como: Limite de Ruptura, Limite de Escoamento, Módulo de Elasticidade, etc. que atendem aos limites requeridos na indústria de implementos rodoviários, sem precisar adicionar uma quantidade alta de carbono (C). A alta quantidade de C aumenta a dureza do material, porém em quantidade excessiva pode fragilizá-lo e causar dificuldades no processo de soldagem.

2.1 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA: HARDOX 450®

Segundo SSAB (2015), o Hardox 450® é uma chapa de alta resistência com dureza em Brinell na faixa dos 450 kgf /mm² e limite de escoamento variando entre 1.100 a 1.300 MPa. Por possuir uma elevada resistência a abrasão, este aço tem aplicação típica em



componentes e estruturas sujeitas ao desgaste abrasivo, como exemplo pode ser citado o implemento rodoviário do tipo caçamba.

A Tabela 1 apresenta o percentual de carbono e os elementos de liga presentes nesse tipo de aço.

Tabela 1: Composição química do aço Hardox 450®

C Máx (%)	Si Máx (%)	Mn Máx (%)	P Máx (%)	S Máx (%)	Cr Máx (%)	Ni Máx (%)	Mo Máx (%)	B Máx (%)
0.26	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	1.5	0.60	0.005

Fonte: SSAB (2015).

A composição química do aço Hardox 450®, aliado ao tratamento térmico realizado pelo fabricante garante a resistência mecânica ao qual este aço foi projetado.

2.2 SOLDABILIDADE EM AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Antes da aplicação de elementos de liga combinados com tratamento térmicos, utilizava-se a adição de carbono para obter ganho nas tensões de escoamento e ruptura. Porém, a partir de um determinado nível de carbono, o material começa a apresentar alguns defeitos em determinados processos de fabricação, dentre eles o processo de soldagem (RODRIGUES, 2012).

Os aços de alta resistência apresentam limites de tensões semelhantes ou até superiores a aços comuns com alto teor de carbono, sendo que a diferença está nos elementos de liga que suprem a necessidade excessiva de C. Dessa forma, além do material de alta resistência possibilitar a fabricação de uma estrutura com seções reduzidas, possui melhor soldabilidade por não apresentar uma quantidade excessiva de carbono na sua composição química (RODRIGUES, 2012).

2.3 ZONA TERMICAMENTE AFETADA (ZTA)

A Zona Termicamente Afetada (ZTA) ou zona afetada pelo calor é uma região no material base, onde devido ao aporte térmico causado pelo processo de soldagem, ocorre a modificação microestrutural do material. Esta mudança microestrutural altera as propriedades mecânicas, sendo a extensão e a magnitude dessa mudança de propriedades, depende



principalmente do tipo de material base (aço comum, aço ligado, aço com médio teor de carbono), do material depositado (material do arame eletrodo), da capacidade dissipativa de calor que o material possui e da quantidade de calor que é depositado durante o processo (ESAB, 2005).

Na Figura 1 pode-se analisar como esta região é afetada conforme a temperatura em que é submetida.

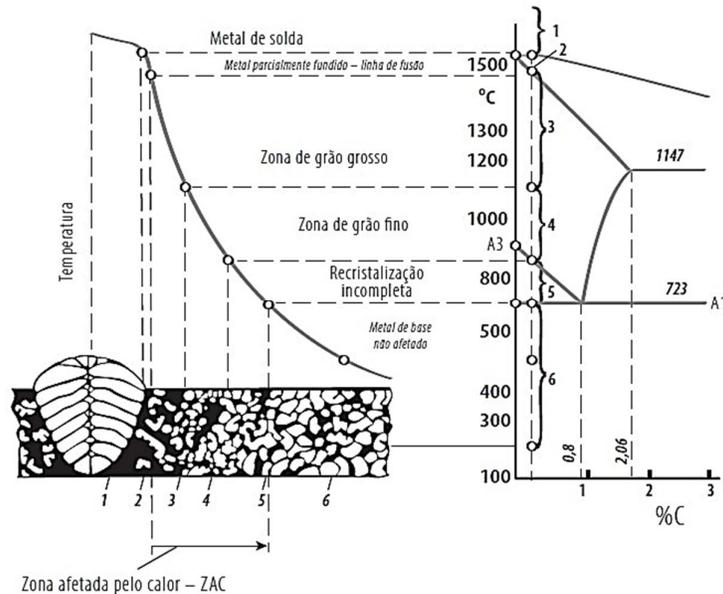


Figura 1: Zonas do material base afetadas pelas temperaturas de soldagem
Fonte: SENAI (2013).

A velocidade de resfriamento em um processo de soldagem não deve ser muito elevada, podendo no material a que se queira soldar, ocorrer a precipitação de martensita, uma estrutura cristalina extremamente dura e frágil ao mesmo tempo. Segundo a empresa ESAB (2005), outra questão que fragiliza a ZTA é a presença elevada de átomos de hidrogênio, estes por sua vez podem ficar alocados nos poros relativamente grandes. O aprisionamento de hidrogênio devido ao resfriamento rápido faz com que se crie pressões internas no material, que por sua vez, quando não possui uma boa tenacidade, pode sofrer trincas, as chamadas “trincas a frio induzida por hidrogênio”. A Figura 2 mostra uma trinca causada por hidrogênio em um cordão de solda.

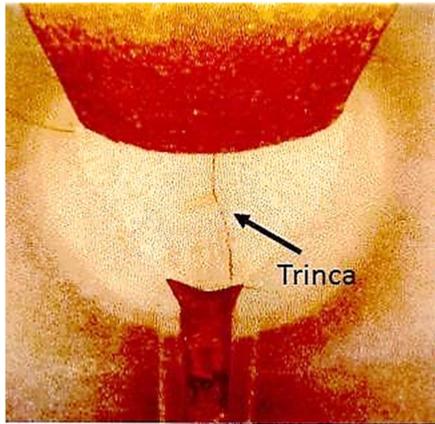


Figura 2: Trinca a frio induzida por hidrogênio
Fonte: Júnior (1998).

Uma trinca no cordão de solda, dependendo da utilização da peça soldada, pode causar uma falha catastrófica colocando em perigo a operação de um equipamento e das pessoas envolvidas na operação.

2.4 PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Conhecer os modos de transferência metálica entre arame eletrodo e peça é de extrema importância para manter a qualidade do cordão de solda. Os parâmetros de soldagem são os fatores que mais afetam a qualidade do cordão de solda, produtividade e custo das juntas soldadas.

Segundo Moreira (2008), as variáveis de soldagem se dividem em quatro grupos básicos:

- Variáveis pré-determinadas: Tipo e espessura do metal de base; propriedades requeridas para o metal de adição;
- Variáveis de fundo: Processo de soldagem; tipo de equipamento; projeto da junta; técnica de soldagem; tipo e diâmetro do eletrodo, fluxo, gás, etc.;
- Variáveis secundárias: Comprimento do eletrodo e posicionamento da tocha de soldagem em relação à peça;
- Variáveis primárias: corrente (tipo e intensidade), tensão e velocidade de soldagem.

A Figura 3 mostra as características geométricas principais de um cordão de solda na seção transversal.

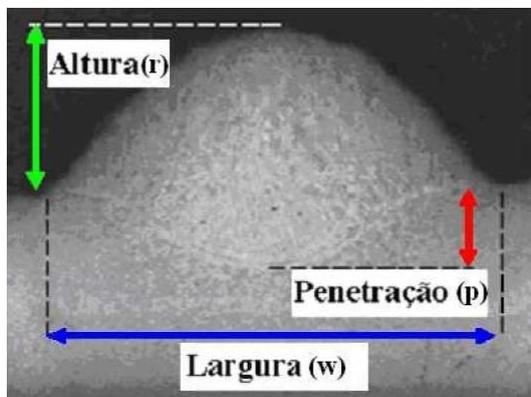


Figura 3: Seção transversal do cordão de solda e suas principais características
Fonte: Moreira (2008 apud Marinho. et al.)

Os parâmetros de cordão de solda, largura, altura (reforço) e penetração do cordão de solda são parâmetros de projeto, dando a junta soldada a resistência mecânica necessária para a integridade do conjunto soldado.

A tensão do arco elétrico está diretamente relacionada à largura do cordão de solda, assim como está inversamente relacionada à altura do mesmo, ou seja, aumentando a tensão no processo de soldagem, obtém-se um aumento na largura do cordão e uma diminuição da altura (ou reforço), assim como uma diminuição de penetração. A regulagem desse tipo de parâmetro se dá de forma direta na soldagem MIG/MAG, ou seja, consegue-se aumentar ou diminuir a tensão na máquina sem alterar outros tipos de parâmetros (MODENESI, 2005).

Um aumento na corrente de soldagem, sendo mantidas constantes as demais variáveis, acarretará em um aumento na taxa de deposição do material de adição e conseqüentemente aumentará a penetração e largura do cordão de solda. A regulagem da corrente na máquina de soldagem, diferentemente da regulagem de tensão, não ocorre de maneira direta na soldagem MIG/MAG, a corrente é diretamente proporcional à velocidade do arame, desse modo, à medida que a velocidade do arame é aumentada, a corrente aumenta também (MODENESI, 2005).

A velocidade de soldagem é a velocidade de deslocamento do arco elétrico no decorrer do comprimento da junta. A penetração e a quantidade de material depositados na junta é inversamente proporcional à velocidade de soldagem, em outras palavras, quanto mais tempo o operador levar para percorrer o caminho do cordão, maior energia de soldagem será fornecida, aumentando a penetração e quantidade de material depositado (MODENESI, 2005).



A vazão do gás ou fluxo de gás é a quantidade em litros de gás de proteção que se espalha por minuto em torno da poça de fusão. O aumento na corrente no processo de soldagem requer uma maior vazão de gás de proteção, afim de gerar uma maior segurança quanto a gases externos, como o oxigênio por exemplo, extremamente prejudicial para a solda (MODENESI, 2005).

2.5 POSIÇÕES DE SOLDAGEM

A posição de soldagem nada mais é do que a posição da junta a ser soldada em relação ao soldador. Existem vários tipos de posições como a soldagem plana, horizontal, vertical ascendente, vertical descendente e sobre-cabeça, sendo que, dentre destas, pode-se dividir ainda entre sodas de topo e de filete. A Tabela 2 mostra os tipos de posições de soldagem e o código da norma ASME para cada posição de soldagem.

Tabela 2: Códigos de soldagem segundo a norma ASME seção IX

Posição de soldagem	Código ASME	Tipo de união
Horizontal	2G	Topo
	2F	Em filete
Plana	1G	Topo
	1F	Em filete
Vertical Descendente	3Gd	Topo
	3Fd	Em filete
Vertical Ascendente	3Gu	Topo
	3Fu	Em filete
Sobre cabeça	4G	Topo
	1G	Em filete

Fonte: ASME (1987).

A norma ASME é a principal norma de soldagem seguida em vários países, inclusive no Brasil. Seguindo a posição de soldagem, os parâmetros de regulagem do equipamento de solda devem ser alterados conforme uma recomendação do fabricante do arame de soldagem.

No caso da soldagem dos aços Hardox 450[®], SSAB indica através do Webcalc (programa disponível via web para informações de soldagem dos aços de alta resistência fornecidos por ela) indica um nível de regulagem para controlar a quantidade de energia



depositada no aço. Essa regulagem minimiza o efeito da temperatura de soldagem na resistência mecânica da chapa.

2.6 ENSAIOS DE SOLDABILIDADE

Os ensaios de soldabilidade são utilizados para verificar os procedimentos de soldagem e a qualidade final do cordão de solda. Existem ensaios para soldagem do tipo destrutivo e não destrutivo.

Os ensaios não destrutivos são utilizados para conferir a qualidade de um cordão de solda em peças que necessitam de controle de qualidade e garantia assegurada. São exemplos de ensaios não destrutivos o ultrassom, partículas magnéticas, raio X, gamagrafia, etc.

Os ensaios destrutivos são utilizados para avaliar o procedimento de soldagem e avaliar o soldador na sua perícia em operar o equipamento. Alguns ensaios podem ser utilizados, como o ensaio de tração, dobramento, de impacto, metalográfico, etc.

Alguns ensaios, como o ensaio de tração e metalográfico são comuns e dispensam revisão bibliográfica. Já ensaios como o de dobramento merecem uma atenção especial por serem específicos para avaliar o cordão de solda.

2.6.1 ENSAIO DE DOBRAMENTO

Segundo Dalcin (2007), o ensaio de dobramento indica qualitativamente a ductibilidade do material. Consiste em dobrar um corpo de prova de eixo retilíneo e seção circular, retangular ou quadrada sendo bi apoiado a uma distância especificada. Através de um cutelo é aplicada uma força perpendicular ao eixo do corpo de prova bem no centro entre os apoios, até que seja atingido um ângulo desejado, normalmente ângulos (α) de 90, 120 ou 180°, como ilustra a Figura 4. Se a zona tracionada não apresentar trincas ou fissuras, o material está aprovado.



Figura 4: Ensaio de dobramento
Fonte: Dalcin (2007).

Na avaliação da qualidade da solda é medido o alongamento da face de solda (zona tracionada), conforme Figura 5.

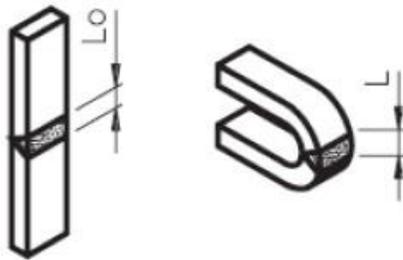


Figura 5: Ensaio de dobramento em corpo de prova soldado
Fonte: Dalcin 2007.

A equação 1 representa como é determinado o alongamento da zona tracionada.

$$A = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (1)$$

Lembrando que o reforço da solda é retirado através de usinagem ou esmerilhamento.

O resultado serve para determinar se a solda é apropriada ou não para determinada aplicação (DALCIN, 2007).

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

As chapas de Hardox 450[®] com dimensional de 300 x 150 x 4 mm foram doadas pela empresa Librelato Implementos Rodoviários que auxiliou nos trabalhos e utilizou os resultados para desenvolvimento interno. A tabela 3 indica as posições de soldagem utilizadas



nos ensaios que seguiram o que a empresa Librelato utiliza comumente na sua linha de montagem de implementos rodoviários.

Tabela 3: Posições de soldagem e respectivas quantidades de chapas utilizadas.

Material	Posição de soldagem	Tipo de união	Quantidade em pares de chapa
Hardox®	Horizontal	Topo	2 pares
		Em filete	2 pares
	Plana	Topo	2 pares
	Vertical Descendente	Topo	2 pares
		Em filete	2 pares

Fonte: Os autores.

Cada par de chapa formou uma amostra a ser analisada, totalizando em 10 amostras soldadas no LAENS (Laboratório de Aspersão Térmica e Engenharia de Soldagem) da Faculdade SATC, soldadas por um soldador fornecido pela empresa Librelato. O gás de proteção utilizado em todas as soldagens realizadas foi uma mistura de 75% de CO₂ com 25% de Ar.

Para adquirir os dados dos parâmetros de soldagem, tais como: Tempo [s]; Tensão [V]; Corrente [A]; Velocidade do Arame [m/min] e Vazão do Gás [l/min], foi utilizado um dispositivo de coleta de dados acoplado ao equipamento de soldagem.

Para a união das chapas, foi utilizado uma máquina de solda multiprocesso IMC, com a regulagem de tensão no equipamento baseado nas recomendações da SSAB para bitola de chapa, tipo de união e posição de soldagem utilizando o WebCalc para fornecer estes dados. O arame ER80S-G – Ø1,2 mm foi utilizado como metal de adição.

Após a soldagem, os corpos de prova foram retirados, utilizando uma máquina de corte a laser da empresa Librelato para ensaios de: tração, dobramento, desgaste em roda de areia e metalográfico. A figura 6 mostra a disposição dos corpos de prova na chapa soldada, sendo que uma parte da chapa soldada foi descartada para eliminar defeitos de início e fim do cordão de solda.

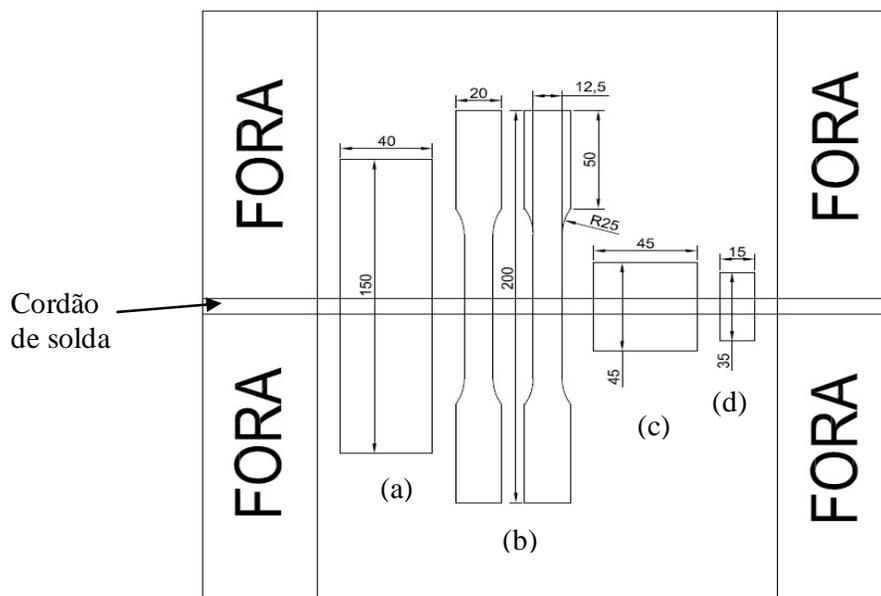


Figura 7: Disposição de corte dos corpos de prova: (a) ensaio de dobramento; (b) ensaio de tração; (c) ensaio de desgaste e (d) ensaio metalográfico
Fonte: Os autores.

Os ensaios de tração foram realizados no LACAMI - SATC (Laboratório de Caracterização Microestrutural) através de uma máquina EMIC DL 10000 para ensaios mecânicos destrutivos. A Figura 8 apresenta um dos corpos de prova fixado na máquina em questão e pronto para o ensaio, a área em destaque mostra a região do CP que foi retirado o reforço do cordão de solda.



Figura 8: Ensaio de tração.
Fonte: Os autores.



Para o ensaio de dobramento foi utilizado nesta análise o dobramento guiado à 180°, que consiste em bi apoiar o corpo de prova e aplicar uma carga, com um cutelo, bem no centro da região soldada até a dobra atingir 180° ou o CP romper, o que ocorrer primeiro. A Figura 9 mostra o corpo de prova sendo ensaiado.

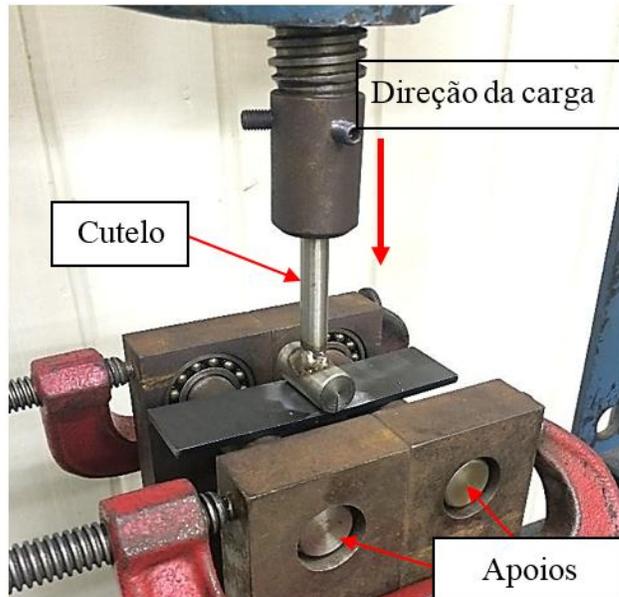


Figura 9: Ensaio de dobramento guiado à 180°.
Fonte: Os autores.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

As análises e comentários sobre o presente estudo foram divididas para melhor compreensão dos resultados obtidos nos experimentos.

4.1 APORTE TÉRMICO

Com os valores retirados dos ensaios dos ensaios, foi calculado o aporte térmico utilizando a equação 1.

$$Q = \frac{k \times U \times I \times 60}{v \times 1000} \quad \text{Equação 1}$$



Sendo:

- Q = Aporte de calor [kJ/mm]
- U = Tensão [V]
- I = Corrente [A]
- v = Velocidade de soldagem [mm/min]
- k = Rendimento térmico [adimensional]

Utilizando a equação 1, foi possível determinar o aporte térmico durante o processo de soldagem. A Tabela 4 mostra os valores calculados e obtidos durante os ensaios para a posição de soldagem vertical descendente.

Tabela 4: Parâmetros de soldagem.

Posição de soldagem	Q (kJ/mm)	k	U (V)	I (A)	v (mm/min)
Soldagem descendente	0,3	0,8	18,3	174,9	532,5

Fonte: Os autores.

Os valores de aporte térmico foram inseridos no Webcalc 2.2 da empresa SSAB, gerando gráficos de controle que indicam se a quantidade de calor entregue à chapa pelo processo está dentro das recomendações do fabricante. A figura 10 mostra os gráficos gerados pelo Webcalc para todas as posições de soldagem executadas neste experimento.

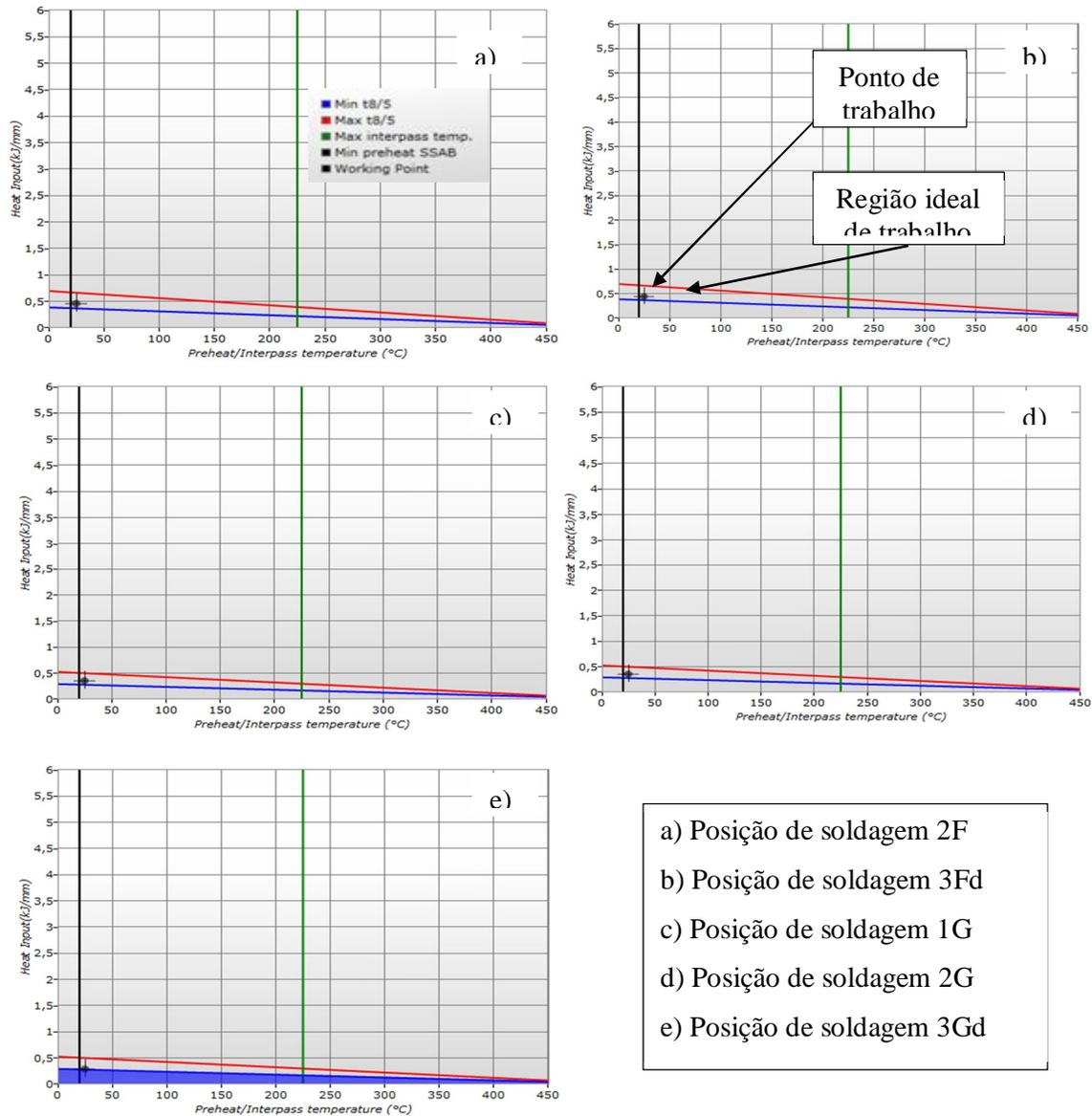


Figura 10: Gráfico de aporte térmico na soldagem do Hardox® 450
Fonte: Os autores.

Os gráficos da figura 10 indicam que os valores de aporte térmico estão dentro do campo indicado como ideal pelo fabricante do aço SSAB. A função dos gráficos é indicar possíveis problemas de ordem microestrutural causada pela temperatura de trabalho e formação de trincas por hidrogênio no processo.



4.2 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração realizados nos corpos de prova retirados das peças soldadas indicaram rompimentos na solda, mais precisamente no material depositado. A figura 12 mostra o gráfico de resistência a tração para o Hardox[®] 450, soldagem de topo.

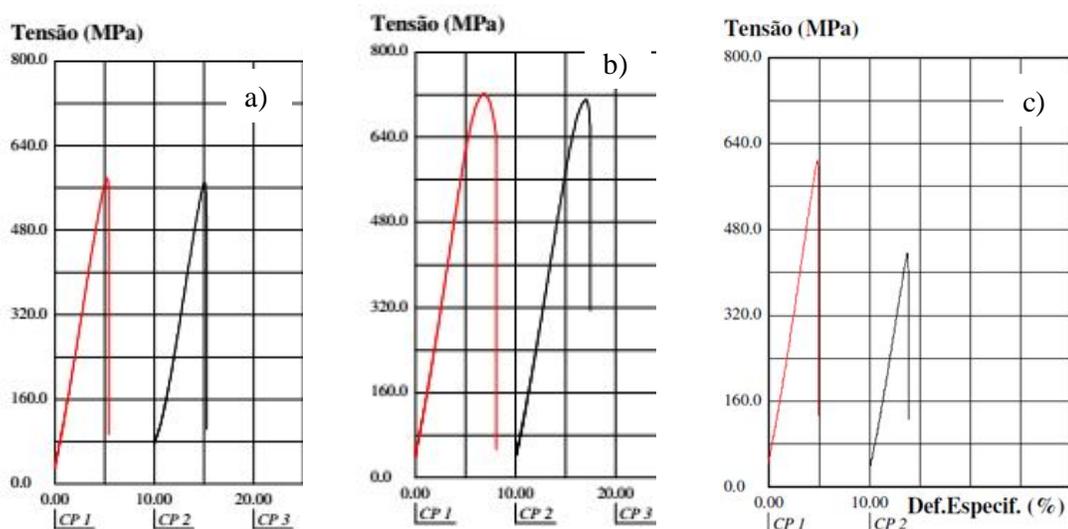


Figura 12: Gráfico de resistência mecânica: a) Horizontal, b) Plana, c) Vertical descendente.
Fonte: Os autores.

Os resultados dos ensaios de tração mostram que a soldagem vertical descendente é a mais crítica pela falta de penetração e defeitos que diminuem o valor de resistência mecânica máxima da junta soldada. A soldagem de filete não foi analisada para o ensaio de tração devido à dificuldade de se obter um corpo de prova.

Como a soldagem vertical descendente apresentou menor valor de resistência mecânica, uma amostra desta soldagem foi analisada via ensaio metalográfico. A figura 13 mostra a imagem metalográfica da soldagem vertical descendente.

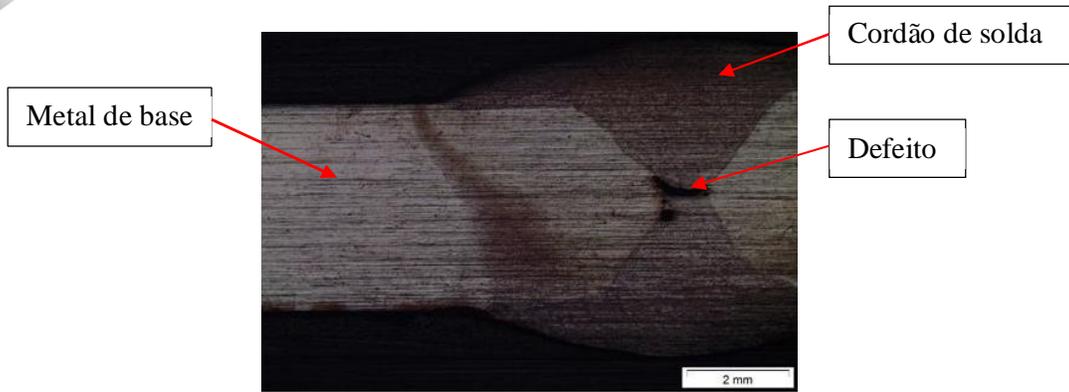


Figura 13: Análise macroestrutural da ZTA soldagem vertical descendente.
Fonte: Os autores.

O defeito indicado no ensaio metalográfico está relacionado com a falta de penetração do material no momento da soldagem. Como na soldagem vertical descendente os valores de tensão e corrente elétrica são menores que para as demais posições de soldagem, acaba por reduzir a penetração do material e por consequência, ocasionar o aparecimento de defeitos de soldagem.

Esta falta de penetração indica que para união de peças com elevado fator de segurança, a soldagem vertical descendente deve ser evitada.

4.3 ENSAIOS DE DOBRAMENTO

A análise do ensaio de dobramento para os corpos de prova, foram analisados verificando a formação de trincas na região de solda. A figura 14 mostra a imagem do corpo de prova para o Hardox soldado na SATC.

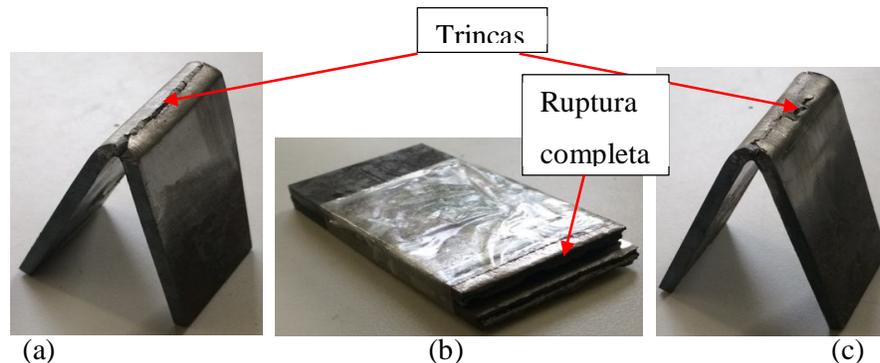


Figura 14 Dobramento soldagem plana, onde: (a) Soldagem em posição plana; (b) soldagem em posição vertical descende; (c) Soldagem na posição horizontal.
Fonte: Os autores.



Os ensaios de dobramento mostraram que praticamente todos os corpos de prova foram reprovados. Acredita-se que o problema esteja no diâmetro do cutelo no ensaio, com diâmetro pequeno que acaba por tornar o ensaio muito severo. Para verificar esta problemática, novos ensaios podem ser feitos com diferentes cutelos e verificar o resultado.

CONCLUSÕES

Com base nas pesquisas realizadas, nos resultados obtidos e nas análises feitas neste trabalho, pode-se concluir os seguintes pontos:

- Quanto aos parâmetros de soldagem, as soldagens realizadas estão dentro da faixa recomendada pelo fabricante SSAB, indicando uma menor alteração microestrutural;
- A resistência mecânica da união soldada fica restrita a resistência do material do cordão de solda, mesmo utilizando um material com maior resistência mecânica como material de adição.
- A soldagem vertical descendente apresentou menor resistência mecânica, conforme as referências bibliográficas indicam;
- A menor penetração de soldagem induz defeitos de soldagem que acabam por diminuir a resistência da junta soldada.
- Quanto ao dobramento, todos os materiais romperam antes mesmo de atingir o ângulo de 180°. A falta de penetração, alta resistência mecânica do metal de base, diâmetro de punção incorretos são possíveis causas do rompimento dos corpos de prova no ensaio de dobramento.

REFERÊNCIAS

ALFREDO, W. **Lei da Balança**: Considerações Gerais. CENTRAN – Centro de excelência em Engenharias de Transportes, 2009.

ASME IX. **Soldagem e Brasagem**: Norma regulamentadora para qualificação de soldagem. 1987

CALLISTER, Jr.; WILLIAM, D. **Materials Science and Engineering**. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007.

COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4. ed. Revista e Atualizada. São Paulo: Editora Blucher, 2008.



DALCIN, G. B. **Ensaio dos Materiais**. Santo Ângelo: URI, 2007.

ESAB. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. 2005.

JÚNIOR, R. C. S. F. **Influência dos Parâmetros de Soldagem na Formação de Trincas a Frio em Juntas Soldadas de Aços ARBL**. Campina Grande, 1998.

MODENESI, P. **Introdução à Física do Arco Elétrico**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

_____. **Terminologia Usual de Soldagem e Símbolos de Soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

MOREIRA, H. S. **Estudo da Influência dos Parâmetros de Soldagem MIG e da Morfologia do Cordão do Comportamento à Fadiga de Juntas Soldadas de um Eixo Traseiro Veicular**. São Paulo: USP, 2008.

RODRIGUES, S. M. **Estudo do Comportamento em Fadiga de Juntas Soldadas de Aços Bifásicos de Alta Resistência Mecânica**. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

SENAI. **Soldagem: Área Metalurgia**. São Paulo: SENAI-SP editora, 2013. 720 p. il.

SSAB. **Domex 700 MC**: Hot Rolled, Extra High Strength, Cold Forming Steel. Data Sheet. Borlänge, Sweden. February, 2011.

SSAB. **Hardox 450**. Data sheet. Sweden. November, 2015.