

## **Influência do tipo de processo e chanfro na micrografia e microdureza da soldagem de um aço estrutural de diferentes composições químicas**

### **Influence of the type of process and chamfer on the micrograph and microhardness of welding a structural steel of different chemical compositions**

DOI: 10.34117/bjdv8n5-311

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

#### **Rosália Sousa Andrade**

Mestranda em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA

Endereço: Av. Getúlio Vargas, 04 - Monte Castelo, São Luís - MA, CEP: 65030-005

Brasil

E-mail: rosaliaandrade@acad.ifma.edu.br

#### **Waldemir dos Passos Martins**

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA

Endereço: Av. Getúlio Vargas, 04 - Monte Castelo, São Luís - MA, CEP: 65030-005

Brasil

E-mail: waldemir@ifma.edu.br

#### **RESUMO**

A integração de tecnologias eficientes de soldagem de qualidade para metais de composições química diferentes é uma componente chave na qualidade bem-sucedida da soldagem para sistemas de transporte e usinas. A soldagem do aço ASTM A36 de variadas composições químicas pode ser usada, porém é desconhecido o comportamento microestrutural e de dureza desses metais juntos em um chanfro estreito. Neste sentido, este trabalho propõe a investigação do comportamento microestrutural e de microdureza de juntas soldadas com o aço estrutural ASTM A36 diferentes composições químicas, através do uso das técnicas de chanfro “V” estreito e convencional, chapa de 10 mm, de topo. Analisou-se as microestruturas da ZF e da ZTA, bem como o comportamento da curva de distribuição da dureza das diferentes juntas soldada. Utilizou-se os processos de soldagem MIG/MAG e Arame tubular, com eletrodos de diâmetro de 1,2 mm e gás de proteção Ar + 25% CO<sub>2</sub>. Os resultados mostraram que os elementos constituintes do metal de adição influenciam nas propriedades mecânicas da ZF, por favorecerem o aparecimento de microestruturas, como a ferrita acicular, principalmente, quando empregada a técnica de chanfro convencional e a propriedades de dureza é tão influenciada pelo tipo de processo de soldagem utilizados, por outro lado, a técnica de chanfro estreito empregada pode ter relação com níveis de dureza maiores na ZFs e ZTAs.

**Palavras-chave:** composição química diferente, astm a36, microestruturas, microdureza, chanfro estreito.

## ABSTRACT

The integration of efficient quality welding technologies for metals of different chemical compositions is a key component in successful welding quality for conveyor systems and power plants. Welding ASTM A36 steel of various chemical compositions can be used, but the microstructural and hardness behavior of these metals together in a narrow bevel is unknown. In this sense, this work proposes the investigation of the microstructural and microhardness behavior of joints welded with ASTM A36 structural steel with different chemical compositions, through the use of narrow and conventional “V” chamfer techniques, 10 mm plate, top. The microstructures of the ZF and the ZTA were analyzed, as well as the behavior of the hardness distribution curve of the different welded joints. MIG/MAG and tubular wire welding processes were used, with electrodes with a diameter of 1.2 mm and shielding gas Ar + 25% CO<sub>2</sub>. The results showed that the constituent elements of the filler metal influence the mechanical properties of the ZF, as they favor the appearance of microstructures, such as acicular ferrite, especially when the conventional chamfer technique is used, and the hardness properties are so influenced by the type of material. welding process used, on the other hand, the narrow chamfer technique employed may be related to higher hardness levels in ZFs and ZTAs.

**Keywords:** different chemical composition, astm a36, microstructures, microhardness, narrow chamfer.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de soldagem, juntamente com outros setores de fabricação, são foco de muitos investimentos tecnológicos, voltados para produtividade, qualidade, redução de custos, segurança e meio ambiente, se fazendo necessário uma permanente busca por novas tecnologias de soldagem, tais como novos processos, novas técnicas e novos materiais.

O aço ASTM A36, segundo Colpaert(2008), é categorizado como o aço estrutural de grãos finos mais utilizado, principalmente, em aplicações estruturais em que se exige menos peso e possui boa resposta para solicitações de tenacidade em condições de temperaturas baixas, na ordem de até - 40°C. O autor também o classifica como um aço ferrítico e de carbono de média resistência mecânica, sendo ligado ao manganês, com poucas concentrações de fósforo e enxofre. Soares (2015) complementa ao dizer que o carbono no aço A36 é o elemento responsável pela soldabilidade, resistência ao impacto e redução de ductilidade e que os outros elementos de liga só ajudam a melhorar estas propriedades.

No que diz respeito a geometria e chanfro, Okumura e Taniguchi (1982) destacam que a geometria da solda deve ser feita de acordo com o tipo de aplicação e que chanfros na solda tem relevância no comportamento da junta soldada. Modenesi (2008) explica

que o formato de um chanfro é projetado para facilitar a acessibilidade da solda até o fundo da junta, sem requerer tanto metal de adição.

Alguns estudos, como o de Torres (2016), apontam para o fato de que a soldagem utilizando a técnica do chanfro estreito pode reduzir certas transformações metalúrgicas que ocorrem na solda. Segundo este autor, as juntas de chanfro estreito são preparadas com pequenos ângulos, o qual diminui a quantidade de metal a ser depositado, menor tempo de soldagem para o preenchimento, significando menor calor fornecido ao metal de base, assim, reduzindo possíveis distorções, além de aumentar a produtividade.

Entretanto, não se tem literatura sobre o comportamento específico da soldagem de dois aços de mesma classificação, como o ASTM A36, porém de composições químicas diferentes em chanfro estreito, dada a dificuldades que este tipo de chanfro apresenta no quesito de limpeza de escória, geração de descontinuidades e desvio de arco, que influenciam significativamente nas propriedades mecânicas e microestruturais da junta.

Com base nesse pressuposto, este trabalho tem como objetivo investigar o comportamento da microestrutura e propriedade de microdureza de juntas soldadas do aço estrutural ASTM A36 de diferentes composições químicas, utilizando-se as técnicas de chanfro estreito e convencional, bem como os processos MIG/MAG e Arame Tubular.

## 2 METODOLOGIA

Neste trabalho utilizou-se, como material de base, o aço de classificação ASTM A36 com diferentes composições químicas em forma de chapas com dimensões de 200 mm x 100 mm x 10 mm (comprimento x largura x espessura) que aos pares geraram os corpos-de-prova a serem soldados, cujas composições químicas e propriedades mecânicas dos metais utilizados são as apresentadas na Tabela 1. A partir deste ponto, para que se evite repetições desnecessárias a todo instante da denominação dos aços, adotar-se-á a seguinte nomenclatura: **A1** = aço ASTM A36 1; **A2** = aço ASTM A36 2.

Tabela1. Composição química e propriedades mecânicas do aço A1 e A2

Composição	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
<b>A1</b>	0,099	0,07	0,427	0,012	0,006	0,010	0,001	0,058	0,008
<b>A2</b>	0,159	0,022	0,408	0,011	0,006	0,020	0,003	0,080	0,008
Propriedade Mecânica	LE (MPa)			LR (MPa)			E (%)		
<b>A1</b>	250			360			42		
<b>A2</b>	287			424			32		

Fonte: Composição química: TeamLab, 2020

Como consumíveis, foram utilizados arames sólido e tubular, de diâmetros 1,2 mm, norma AWS/ASME SFA 5.18 e norma AWS/ASME SFA 5.36, do tipo ER70S-6 e E71T-1, respectivamente, ambos os arames fornecidos pela ESAB. Para a proteção da poça de fusão, foi utilizada a mistura comercial de Ar + 25%CO<sub>2</sub>, sendo esta escolha justificada pela necessidade de um cordão de geometria mais regular, já que a aplicação envolve técnicas de soldagem com chanfros e esta mistura possibilita um arco mais suave e conseqüentemente com menos respingos. As composições químicas e propriedades mecânicas dos consumíveis são as mostradas na Tabelas 2.

Tabela 2. Composição química e propriedades mecânicas dos consumíveis ER70S-6 e E71T-1

Composição	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
<b>ER70S-6</b>	0,080	0,90	1,50	-	-	-	-	-	-
<b>E71T-1</b>	0,040	0,50	1,30	-	-	-	-	-	-
Propriedade Mecânica	LE (MPa)			LR (MPa)			E (%)		
<b>ER70S-6</b>	460			560			26		
<b>E71T-1</b>	630			670			24		

Onde: LE = limite de escoamento; LR = Limite de Resistência e E = alongamento.

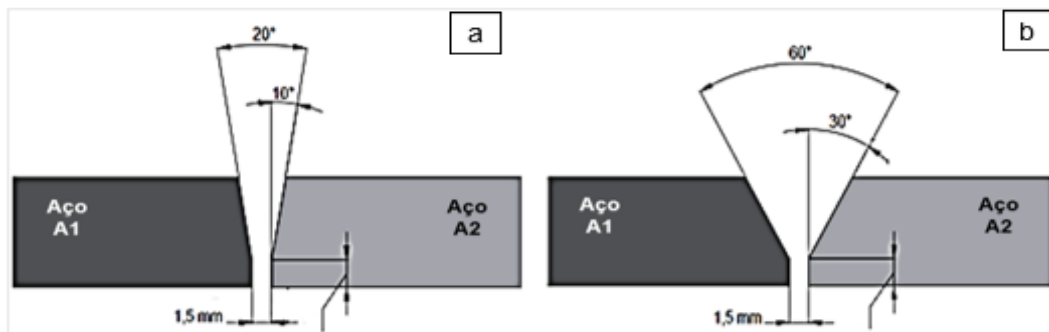
Fonte: ESAB

Estes arames foram selecionados por sua composição química e propriedades mecânicas satisfatórias, sendo que o arame maciço é altamente recomendado para a soldagem de aços em geral com tensão de ruptura mínima de 485 Mpa e o arame tubular apresenta baixos índices de respingos e ótima remoção de escória. Além disso, ambos são destinados para soldagem de aços de baixo e médio teor de carbono, que em geral, são utilizados em soldagem estrutural e construção pesada.

A preparação dos corpos de prova para soldagem se deu mediante o biselamento das chapas em ângulos de 10° e 30° que aos pares formaram as juntas soldadas com chanfro em ângulo de 20° e 60° perfazendo um corpo de prova com dimensões de 200 mm x 110 mm x 10mm, como mostra Figura 1. Estes corpos de prova foram soldados na posição plana e na condição puxando proporcionando assim maior penetração. A vazão

da mistura gasosa Ar+25%CO<sub>2</sub> foi fixada em 13 L/min. Para a soldagem com arame tubular, assim como com o processo MIG/MAG foram determinados três passes para o chanfro de 20° e quatro passes para a soldagem com chanfro a 60°.

Figura 1. Representação esquema da junta a ser soldada. (a) chanfro estreito (20°); (b) chanfro convencional (60°)



Fonte: a autora, 2020

Para cada corpo de prova soldado foi feito uma réplica para efeito de avaliação da repetibilidade dos parâmetros de soldagem. De cada corpo de prova soldado foram retiradas amostras cortadas no sentido transversal à soldada para avaliação composição química e para avaliação da microdureza e micrografia.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS JUNTAS SOLDADAS

As composições químicas das zonas fundidas (ZF) são mostradas na Tabela 3. Estas composições foram levantadas pela TeamLab – Laboratório de ensaio pertencente à rede brasileira de ensaios – RBLE e acreditado pelo COCRE de acordo com a ABNT NBR ISOIEC 17025.

Tabela 3. Composição química da ZF da junta soldada com chanfro de 20° e 60°

Composição	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
<b>Processo de soldagem MIG/MAG</b>									
<b>ZFCH20</b>	0,078	0,484	0,906	0,001	0,012	0,020	0,014	0,002	0,084
<b>ZFCH60</b>	0,104	0,488	0,896	0,010	0,016	0,055	0,027	0,004	0,083
<b>Processo de soldagem com Arame Tubular</b>									
<b>ZFCH20</b>	0,074	0,290	0,738	0,016	0,014	0,009	0,007	0,001	0,012
<b>ZFCH60</b>	0,066	0,373	0,847	0,022	0,011	0,010	0,005	0,002	0,012

Fonte: Composição química: TeamLab, 2020

Os valores de carbono nos metais de solda se encontram próximos aos apresentados nos metais de base (vide Tabela 1). Quando se utilizou o arame tubular

houve diminuição nos percentuais de carbono, silício, manganês, cromo e cobre nos metais de solda, em relação aos metais de solda provenientes do processo MIG/MAG. Conforme Figueiredo (2004), os produtos das reações dos elementos de liga e suas porções residuais afetam profundamente a microestrutura da solda, além de alterar a temperabilidade básica do metal de base. Por conta disso se fará uma correlação dos elementos químicos e microestruturas encontrados nas juntas soldadas na próxima seção.

Da Tabela 3 observa-se que a ZF apresenta teores de carbono variando de 0,066% a 0,104%. O carbono é um dos mais importantes elementos no controle da microestrutura nos aços carbono, sendo que a microestrutura da ZF é modificada, quando há teores de 0,05% a 0,15% de carbono, tendo como maior efeito controlar a quantidade de formação de carbeto (MARTINS, 2008).

Como os níveis de carbono na ZF se encontram suficientemente baixos, previnem a formação de ripas de martensita e promovem a formação de ferrita acicular (FA) à custa da ferrita poligonal de contorno de grão (FP(G)) e produz o refinamento do grão nas regiões reaquecidas, que conforme Figueiredo (2004), tem como consequência a limitação da espessura dos veios de FP(G) influenciando também na formação de ferrita de segunda fase (FS), como será demonstrado na seção das microestruturas resultantes.

O manganês, outro elemento que merece enfoque nesta análise, é responsável pelo aumento da resistência mecânica e da temperabilidade pelo abaixamento da temperatura de transformação de austenita em ferrita. O teor de Mn na ZF se encontra abaixo de 1% e o aumento da tenacidade nas soldas se dá pelo seu balanceamento com o carbono de modo a favorecer a formação de ferrita acicular e um consequente refino da sua microestrutura.

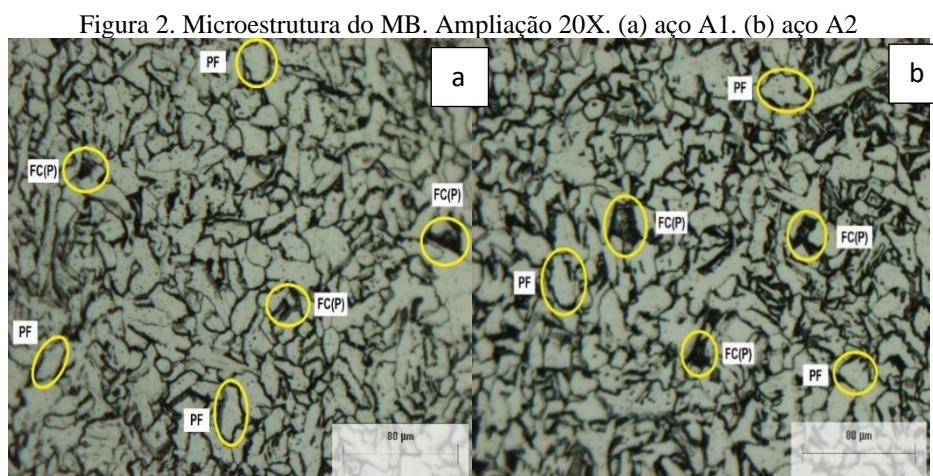
A presença do níquel, em teores abaixo de 2,5%, refina a microestrutura da ZF. Como o manganês, o níquel reduz o tamanho de grão da ferrita acicular e refina a microestrutura resultante. Neste sentido, a adição controlada de manganês e de níquel à ZF como estabilizadores da austenita promove a melhoria das propriedades mecânicas. Para ZF com os mais baixos teores de manganês o aumento do teor de Si promove a formação de FA (FIGUEIREDO, 2004).

### 3.2 ANÁLISE MICROESTRUTURAL DAS JUNTAS SOLDADAS

As microestruturas obtidas são apresentadas nas figuras e seguem as condições de soldagens estabelecidas e correspondem às regiões do metal de base (MB), zona fundida (ZF) e zona termicamente afetada pelo calor (ZTA), nesta última região é avaliada a

região de grão grosso da ZTA (RGGZTA). A microscopia ótica foi empregada para identificar e classificar a microestrutura qualitativamente na junta soldada e o sistema de classificação dos microconstituintes adotado foi o do Instituto Internacional de Soldagem – IIW Doc. N° IX-1533-88 IXJ-123-87, revisão 2 de junho de 1988.

A Figura 2 mostra a microestrutura dos MB onde se observa uma microestrutura formada por uma matriz de ferrita poligonal (PF) e quase-poligonal destacando-se na matriz em branco, dispersa ao longo de toda essa matriz, o que vai de acordo com o estudo de Silva Júnior, Carlech e Neto (2010).

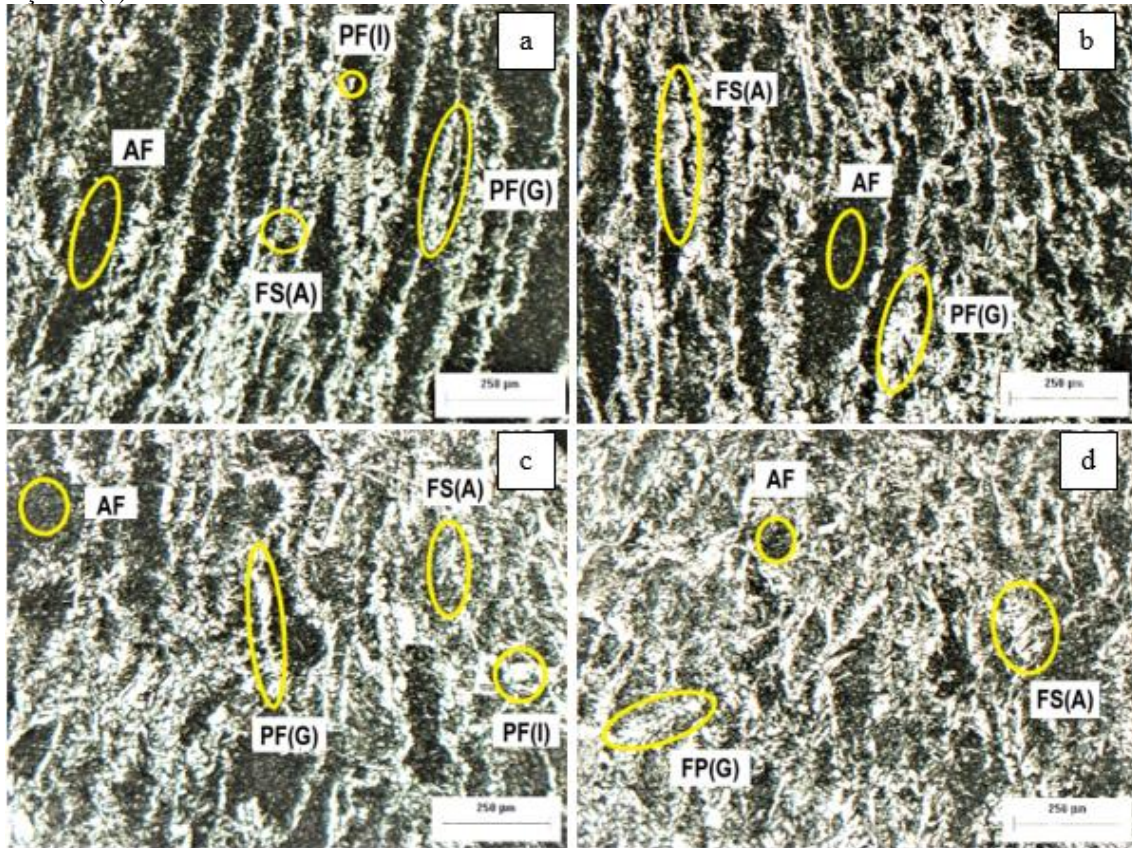


Fonte: a autora (2021)

De acordo com a Figura 2, a perlita FC(P), que é o microconstituente mais escuro, se apresenta bem distribuída, formando suas colônias concentradas em vários pontos da matriz ferrítica (elementos claros). Isso se dá porque durante a laminação a temperatura mais elevada garante a transformação completa da fase ferrita em austenita, e, durante o resfriamento lento, ocorre a coalescência dos grãos e a formação das lamelas de ferrita e cementita, que compõem a perlita, devido a difusão do carbono (MARTINS, 2008).

As Figura 3a e 3b mostram a microestrutura da ZF do passe de acabamento dos corpos de prova soldados com o processos MIG/MAG para ao ângulo de chanfro de 20° , enquanto que as Figura 3c e 3d mostram a microestrutura da ZF dos corpos de prova soldados com Arame Tubular, para esta condição de chanfro, mostrando os lados dos aços A1 e A2, respectivamente.

Figura 3. Microestrutura da ZF de junta soldada com chanfro estreito em ampliação de 50X: processo MIG/MAG, lado do Aço A1 (a) e lado do Aço A2 (b); e processo Arame Tubular Aço A1 (c) e lado do Aço A2 (d)



Fonte: a autora (2021)

Na figura se vê uma microestrutura composta, principalmente por Ferrita Acicular (FA), Ferrita de Contorno de grão (FP(G)) e regiões com ferrita com segunda fase (FS) e ferrita intragranular (FP(I)). A presença de uma microestrutura repetitiva consistindo em grão colunar, ferrita de granulação grossa e fina e perlita, estrutura não afetada dentro da zona de solda, confirma que há uma modificação significativa da microestrutura devido a passes múltiplos (MARTINS, 2008).

De um modo geral, se observa que as micrografias não apresentam grandes diferenças quanto aos microconstituintes presentes, tanto quando se compara em termos de processo, quanto se compara em relação aos aços, comportamento já esperado, visto estes possuem classificação igual, porém com composições químicas diferentes, mesmo que não significativamente (vide Tab. 1).

As Figuras 3a e 3b exibem que a microestrutura da ZF proveniente da soldagem MIG/MAG apresenta aspecto colunar típico que está associado com o processo de solidificação. Já nas Figuras 3c e 3d, que mostram a ZF resultante da soldagem com arame



tubular, a microestrutura tende a perder essa característica, o que pode ser explicado por conta da energia de soldagem ser maior nesse processo.

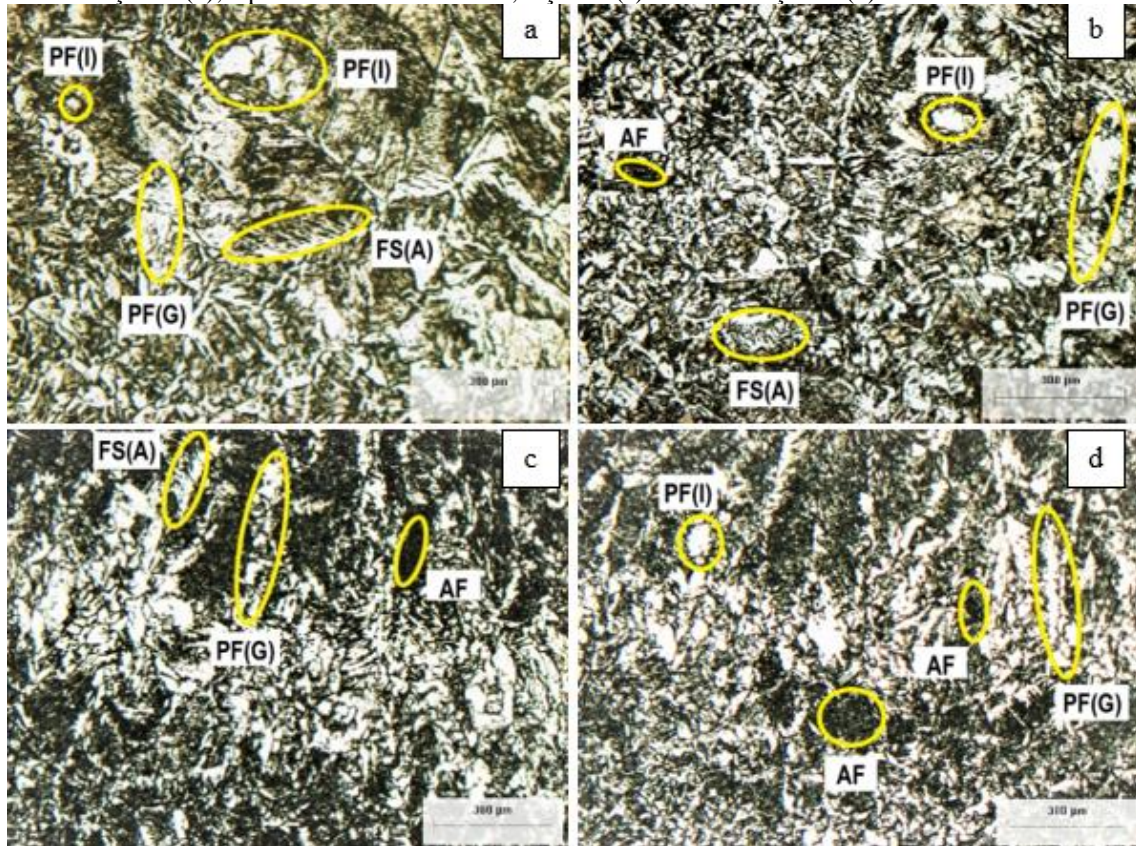
A ferrita acicular (FA) é bastante visível na ZF de ambos os processos utilizando chanfro estreito, mas principalmente nas Figuras 3a e 3b, correspondentes ao processo MIG/MAG. Conforme Maciel, Alcântara, Kiminami (1997), é o microconstituente mais desejado na junta soldada, de pequena granulometria devida a uma subestrutura de discordâncias e devido à presença de elementos estabilizadores e formadores deste microconstituente, como o Mn, presente no MB e Mn e Ni dos arames, presente na constituição da junta soldada, mesmo com pequena fração volumétrica promovem a elevação da resistência mecânica aliada à boa tenacidade. Por outro lado, outra microestrutura que se destaca é a PF(G), que se apresenta com tamanho de grão relativamente grande e tende a formar veios longos ao longo dos contornos de grãos colunares austeníticos e em grande quantidade, de forma alterada, nas Figuras 3c e 3b.

Segundo Modenesi (2008), uma grande quantidade de ferrita de contorno de grão não é desejável em soldas que devem apresentar uma grande resistência à fratura por clivagem (fratura frágil).

Contrapondo-se à presença de PF(G) e PF(I), microconstituintes de baixa dureza e baixa resistência à propagação de trincas, tem-se a ocorrência de ferrita de segunda fase alinhada FS(A) e não alinhada FS(NA), que na sua presença, conferem ao material boa resistência mecânica, mesmo não garantindo boa tenacidade. O surgimento dessas microestruturas está associado a taxas de resfriamento mais elevadas, que é quando a ferrita cresce na forma de lamelas a partir da PF(G), dando origem a FS(A) ou FS(NA). A martensita não se apresenta devido a presença do baixo teor de carbono nos materiais.

Nas zonas termicamente afetadas das juntas soldadas com configuração de chanfro estreito, se observa os mesmos elementos microestruturais presentes nas ZFs, porém se nota uma menor quantidade de ferrita acircular, como se pode observar na Figuras 4, que apresentam as ZTAs dos lados aços A1 e A2 para a soldagem MIG/MAG e Arame tubular, respectivamente. Nessa zona também se identifica uma região com tamanho de grão de perlita muito elevado, denominada região de grão grosseiro (RGG), condição que tende a resultar na perda de resistência mecânica do material e diminuição da tenacidade.

Figura **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento..** Microestrutura da ZTA de junta soldada com chanfro estreito em ampliação 50X: processo MIG/MAG, lado do Aço A1 (a) e lado do Aço A2 (b); e processo Arame Tubular, Aço A1 (c) e lado do Aço A2 (d)



Fonte: a autora (2021)

Comparando-se as Fig. 4a e 4b, processo MIG/MAG, e as Fig. 4c e 4d, processo Arame tubular, observa-se que a região de grãos grosseiros da ZTA se apresenta mais estreita nas juntas soldadas com o segundo processo.

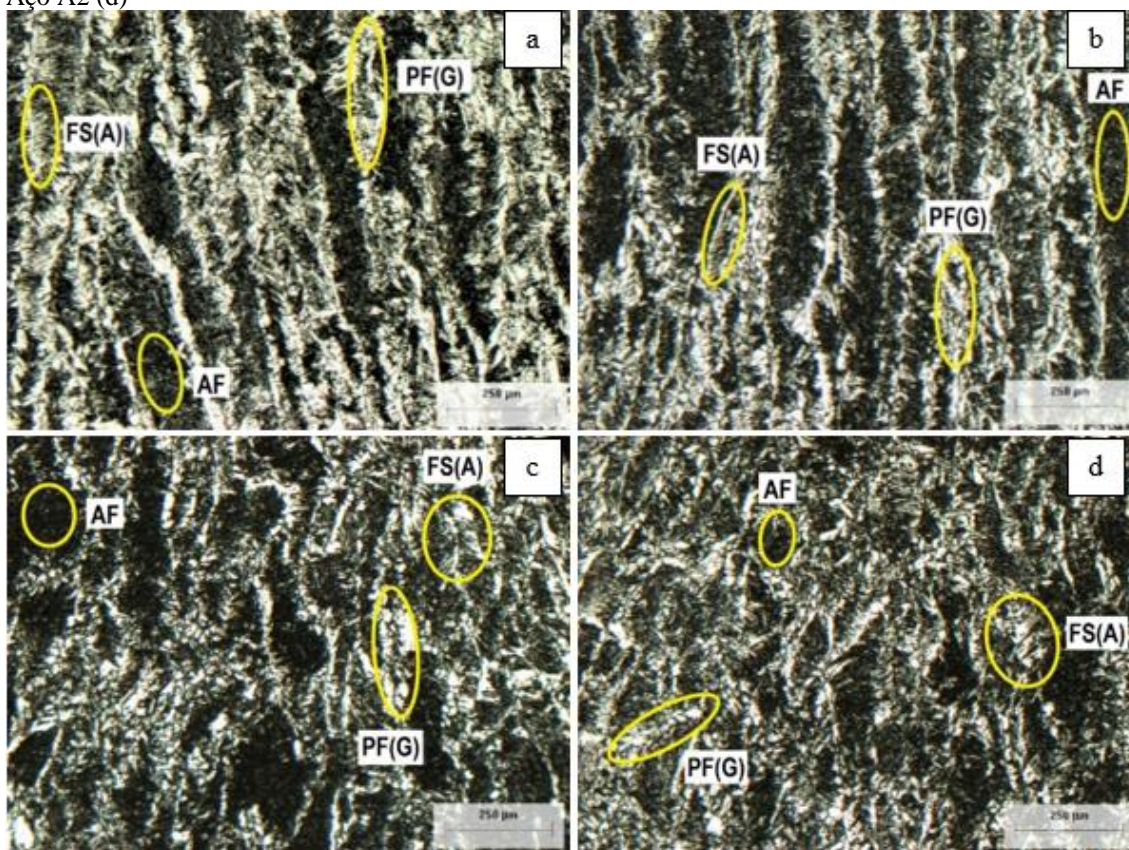
Lima junior (2013) ressalta que a extensão desta zona e sua granulometria influenciam nas propriedades mecânicas das juntas soldadas, de forma que menor extensão e granulometria tem-se uma menor possibilidade de formação de microestruturas frágeis.

A extensão e granulometria da ZTA também é influenciada pelo número e a sequência de passes, fatores que conforme Lancaster (1999) são importantes, principalmente nas soldas de aços ferríticos, pois cada passe aquece uma porção do metal de solda pré-existente acima da temperatura de transformação formando austenita. Aquecendo a altas temperaturas, os grãos de austenita crescem e no resfriamento há a formação de microestruturas grosseiras, como fica bem definido no caso das juntas soldadas com arame tubular (Fig. 4c e 4d), enquanto o aquecimento a temperaturas mais

baixas resulta em microestruturas mais finas o que está associado, inclusive com uma melhor tenacidade.

Em todo caso, quando o número de passes é menor, também será menor a quantidade de metal de solda refinado pelos passes subsequentes, e aqui, enfatiza-se que o arame tubular utiliza menos passes que o processo MIG/MAG, por conta da sua maior taxa de deposição. De modo geral, assim como ocorreu na soldagem com chanfro estreito (20°), as micrografias dos corpos de prova soldados em chanfro convencional (60°), que são expostas nas Figuras 5 e 6, apresentaram semelhança quanto aos microconstituintes presentes.

Figura 5. Microestrutura da ZF de junta soldada com chanfro convencional em ampliação 50X: processo MIG/MAG, lado do Aço A1 (a) e lado do Aço A2 (b); e processo Arame Tubular, Aço A1 (c) e lado do Aço A2 (d)



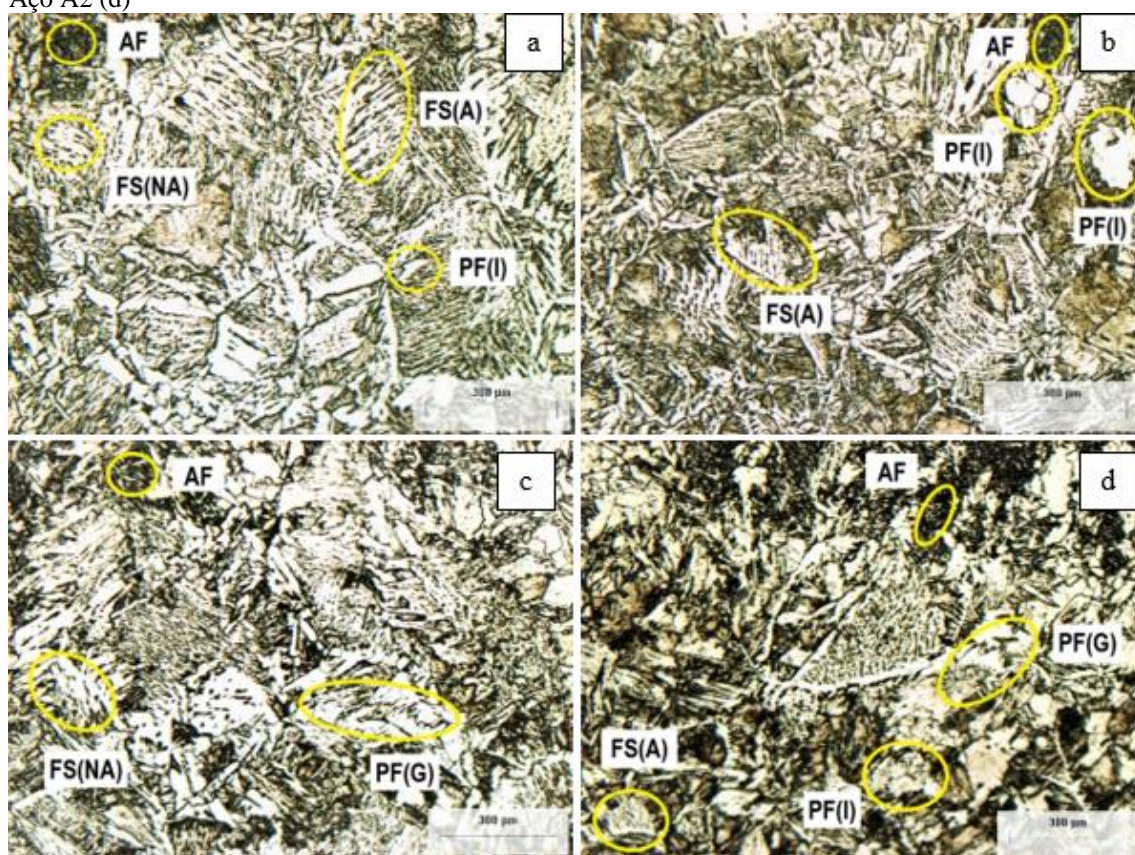
Fonte: a autora (2021)

As zonas fundidas das juntas soldadas com chanfro convencional também apresentaram aspectos parecidos com as das juntas soldadas com chanfro estreito, ou seja, se podem observar muitas regiões colunares para ambos os processos, porém para a soldagem com arame tubular (Figuras 5c e 5d) as zonas fundidas perdem um pouco dessa característica, o que pode ser explicado devido a maior temperatura utilizada nesse

processo, o que significa, como citado por Modenesi (2008), que cada passe durante a sua deposição afeta os que foram depositados anteriormente.

A microestrutura da Figura 6 mostra grãos colunares no cordão de solda e grãos grossos de perlita e ferrita na ZTA com baixo aporte de calor. Pode-se observar que os grãos colunares ficam mais grossos com o aumento do aporte de calor. Cada passe de solda mostra uma orientação diferente dos grãos. Os grãos são principalmente grossos e celulares próximos à linha central do cordão.

Figura 6. Microestrutura da ZTA de junta soldada com chanfro convencional em ampliação 50X: processo MIG/MAG, lado do Aço A1 (a) e lado do Aço A2 (b); e processo Arame Tubular, Aço A1 (c) e lado do Aço A2 (d)



Fonte: a autora (2021)

O engrossamento do grão próximo à linha de fusão (na ZTA) resulta em grãos colunares grossos no metal de solda. Um aumento na entrada de calor aumentou o tamanho médio das diferentes fases presentes no metal de solda e a linha de centro de solda mostra a estrutura de dendritos colunares.

Para a configuração de chanfro convencional se utiliza um número de passes maior, assim o aporte de calor total aumenta, os grãos na ZTA são maiores em tamanho devido ao aquecimento repetido e refinamento de grãos em comparação com a soldagem

com entrada de calor mais baixa na soldagem multipasse, como elucidado por Martins (2008). Pela taxa de resfriamento mais rápida, grãos mais finos são formados e grãos finos produzem dureza mais alta.

Elementos microligantes derivados de consumíveis ou da diluição com o metal base (MB) tem um efeito complexo sobre a microestrutura e propriedades das juntas soldadas. O papel da composição química na formação da ferrita acicular (FA) depende da influência direta que o elemento tem sobre a temperabilidade básica do MB (FIGUEIREDO, 2004).

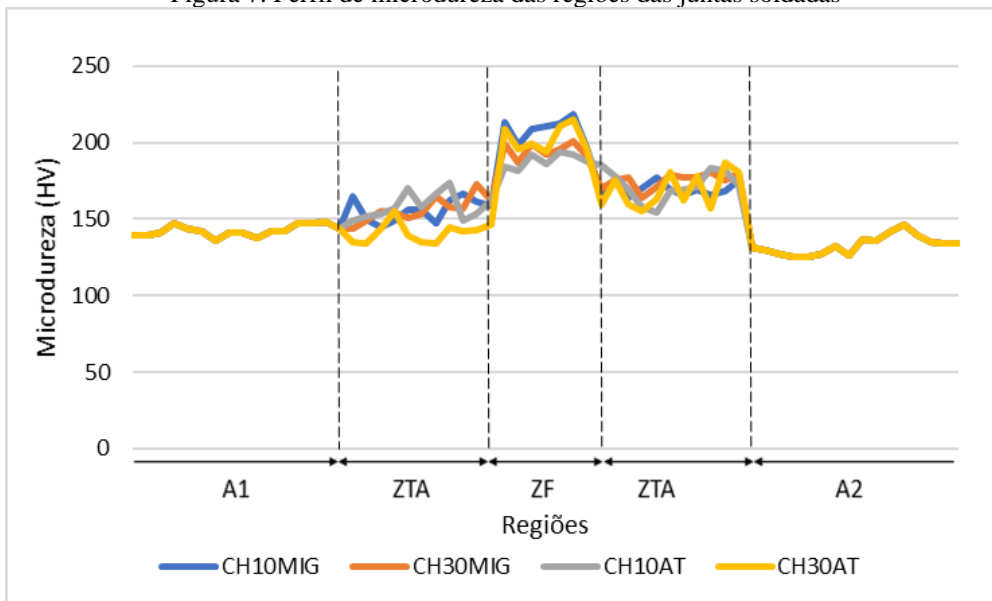
Como já se foi dito, o microconstituente ferrita acicular é desejável para que se tenha boas propriedades mecânica nas juntas soldadas, porém o nível de temperabilidade requerido para desenvolver estruturas de FA é bem crítico e é, portanto, também influenciado por outros elementos tais como alumínio e níquel, que dependendo do nível inicial da temperabilidade, pode promover ou restringir o desenvolvimento da FA (FIGUEIREDO, 2004; MARTINS, 2008).

### 3.3 ANÁLISE DE MICRODUREZA DAS JUNTAS SOLDADAS

O gráfico da Figura 7 mostra a tendência sequencial do comportamento da dureza nas regiões das juntas soldadas com diferentes configurações, isto é, abrange o comportamento das variações do metal de base A1 e A2 junto a zona fundida (ZF), que proporcionam duas zonas termicamente afetadas diferentes, para a soldagem utilizando processo MIG/MAG e arame tubular, bem como para a técnica de chanfro empregada.

Os resultados do ensaio de microdureza mostraram que o comportamento da dureza foi similar para todas as condições do experimento, de modo que a Figura 7 mostra que a tendência da dureza na ZF foi maior que nas ZTA's, que por sua vez, foi maior do que nos materiais de base. Para efeitos de melhor comparação, foram plotados gráficos com as médias dos valores de microdureza medidos, discriminando as técnicas de chanfro estreito e convencional apresentados nas Figuras 8 e 9.

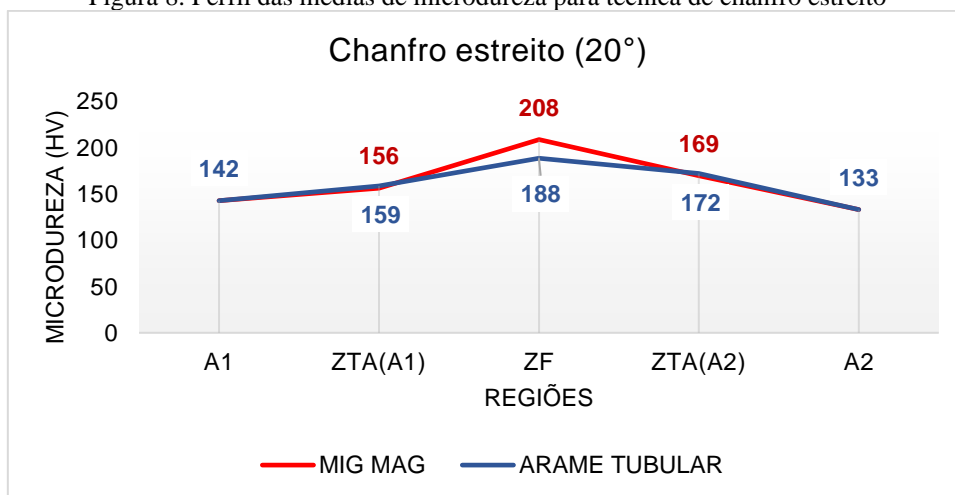
Figura 7. Perfil de microdureza das regiões das juntas soldadas



Fonte: a autora, 2021

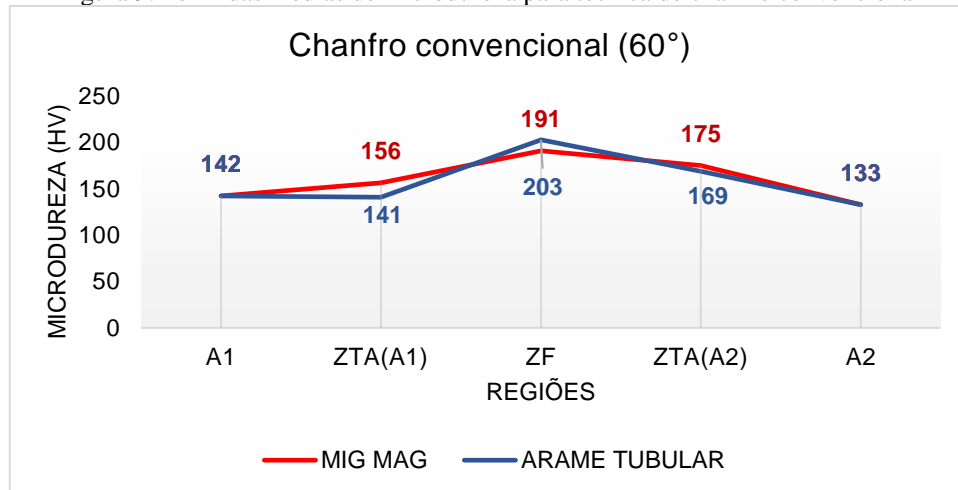
As figuras 8 e 9 ratificam a tendência de comportamento dos valores de dureza medidos, onde se observa que ocorre um aumento gradual a partir dos materiais de base até atingir valores maiores na zona fundida, além disso, as figuras comprovam que a dureza medida é maior na ZF, em comparação com as outras, independente do processo de soldagem e da configuração do chanfro utilizados.

Figura 8. Perfil das médias de microdureza para técnica de chanfro estreito



Fonte: a autora, 2021

Figura 9. Perfil das médias de microdureza para técnica de chanfro convencional

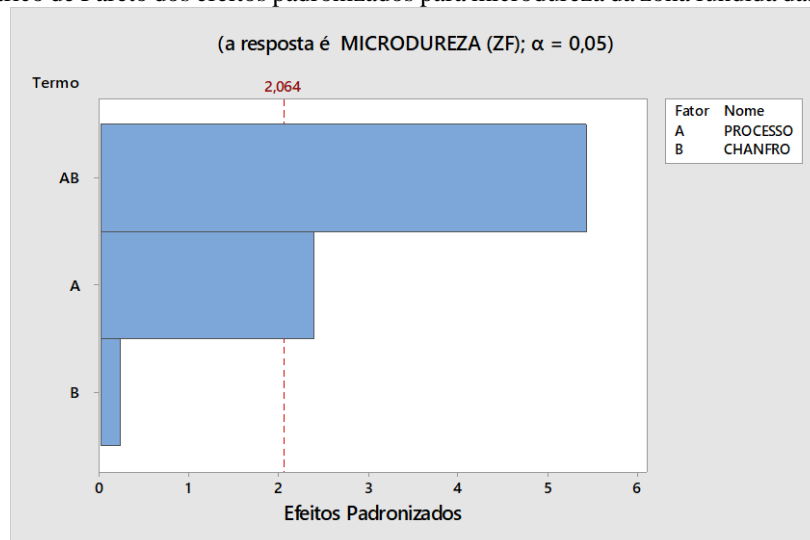


Fonte: a autora, 2021

Em seus estudos, Osório (2019), Barbosa *et al* (2018) e Gonçalves, Martins e Fonseca (2017) justificam tal comportamento devido a microestrutura apresentada por cada região, o que nos leva a conclusões de Linnert (1994), que afirma que as medições de microdureza sofrem consideráveis variações devido à natureza da microestrutura e a área onde é localizado o indentador para medir a dureza.

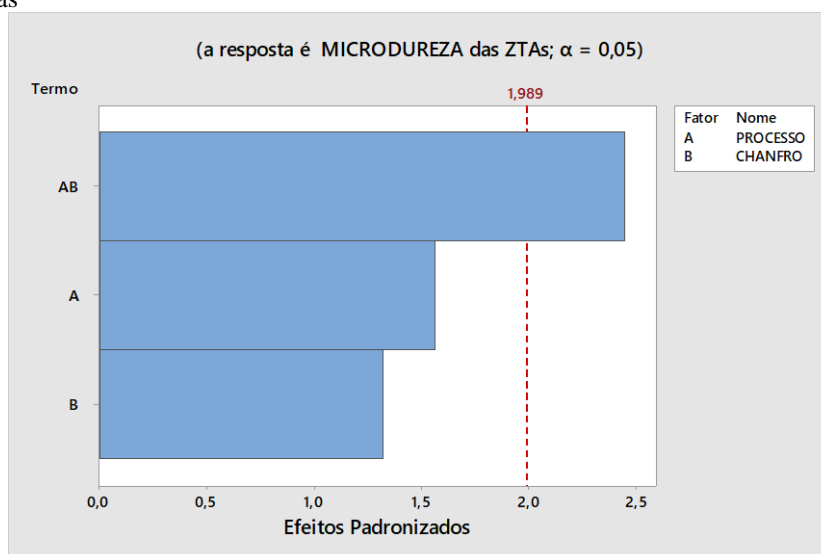
As Figuras 10 e 11 mostram o gráfico de Pareto dos dados de microdureza medidos nas regiões mais problemáticas das juntas soldadas, onde se apresenta uma perspectiva complementar dos dados de dureza do ponto de vista estatístico e se pode visualizar e identificar os fatores significativos e não significativos na análise de microdureza.

Figura 10. Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados para microdureza da zona fundida das juntas soldadas



Fonte: a autora, 2021

Figura 11. Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados para microdureza da zona termicamente afetada das juntas soldadas



A partir da Figura 10 se pode observar que a microdureza na zona fundida, para um nível de significância de 0,05, será influenciada principalmente pela interação entre o processo utilizado e o chanfro empregado

Já na zona termicamente afetada, a microdureza, como mostra a Figura 11, não é influenciada significativamente pela técnica de chanfro, nem pelo processo de soldagem, mas a interação dos dois fatores promove efeitos nos resultados de microdureza dessa região.

Algo a se considerar, conforme Taylor (2014), é que os valores de dureza mais altos na zona fundida que nos metais de base estão relacionados com as microestruturas desenvolvidas ao longo da junta durante o processo e ao refinamento de um passe pelo subsequente, que ocasiona uma taxa de resfriamento baixa. Barbosa *et al* (2018) defende que uma estrutura mais refinada está relacionada com maior quantidade de ferrita acicular e menor quantidade de ferrita primária de contorno de grão.

Além disso, os níveis de dureza nas zonas termicamente afetadas serem maiores do que nos metais de base, também é explicado por Mine *et al* (2012) devido à maior temperabilidade dessas regiões em função do crescimento de grãos.

#### 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos das análises das juntas soldadas de 10 mm de espessura dos aços de mesma classificação, mas composição química diferentes, sob diferentes condições de chanfro e processo, se concluiu o seguinte:



- A caracterização química da junta soldada mostrou que, principalmente a presença de carbono, manganês e o silício influencia nas propriedades mecânicas da mesma, além de alguns outros elementos como níquel e alumínio, que em menor percentual presente, podem permitir ou não desenvolvimento de ferrita acicular, que é um componente microestrutural que proporciona boas propriedades mecânicas a junta soldada.

- A microestrutura encontrada nas juntas soldadas, tanto nas zonas fundidas quanto nas zonas termicamente afetadas, se apresenta de forma semelhante, quando se visualiza em termos de processo de soldagem empregado, entretanto, em relação ao chanfro, que dita a quantidade de passes utilizados, ocorre uma diferenciação, visto que quando o número de passes é maior, como é o caso quando a técnica de chanfro convencional é empregada, o aporte de calor total aumenta, ocorre o refinamento de um passe pelo subsequente, que leva a uma taxa de resfriamento mais baixa e aparecimento de ferrita acicular, que garante melhores propriedades mecânicas.

- Por outro, nas juntas soldadas com chanfro estreito, a taxa de resfriamento é maior, o que favorece a formação de grãos grosseiros, principalmente na zona termicamente afetada, o que resulta numa estrutura mais fraca que o metal de base.

- O comportamento da dureza nas juntas estudadas segue uma tendência, em que há um aumento gradativo a partir dos materiais de base até a zona fundida do cordão de solda, independente de processo ou chanfro empregados. De modo que se pode concluir, que essas variáveis não influenciam significativamente nessa propriedade. Entretanto, vale ressaltar que a dureza média foi um pouco maior na ZTA das juntas soldadas com a técnica do chanfro estreito.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**. Philadelphia: ASTM, 1992.

BARBOSA, Luiz Henrique Soares. *et. al.* Microestrutura e características mecânicas da zona fundida de um aço naval soldado ao arco submerso com aporte térmico muito elevado. **Soldagem & Inspeção**. v. 23. p. 168-179. 2018.

COLPAERT, Humberto. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos**. 5º Edição. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2008

FIGUEIREDO, Kleber Mendes de. **Aplicação de ensaio de impacto Charpy instrumentado no estudo da tenacidade à fratura dinâmica nas soldas a arco submerso em aços para caldeiras**. 2004. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

GONÇALVES, Daniel Casassola; MARTINS, Mateus Campos; FONSECA, Maria P. Cindra. Estudo Experimental e Numérico de Tensões Residuais em Juntas Soldadas com e sem Restrição. **Soldagem & Inspeção**. v. 22. p. 147-162. 2017.

LIMA JÚNIOR, Diniz Ramos de. **Caracterização microestrutural e mecânica de juntas soldadas utilizando os processos GTAW, FCAW e SMAW.**, 2013. 81 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 2013.

LINNERT, G.E. **Welding Metallurgy: Carbon and Alloy Steels**. Fundamentals, 4 ed. American Welding Society (AWS). Miami, Florida, USA., 940 p., 1994.

MACIEL, T. M.; ALCANTARA, N. G.; KIMINAMI, C. S., Variaciones de la Microestructura y Dureza con el Tiempo de Enfriamiento en Metales de Soldadura de Aceros de Alta Resistencia e Baja Aleación". **Rev. Informacion Tecnologica**, La Serena – Chile, v. 8, n. 3, p. 89-95, 1997.

MARTINS, W. dos P., 2008, **Influência dos parâmetros de soldagem na microestrutura e propriedades mecânicas de juntas soldadas em aços de alta resistência e baixa liga soldadas pelo processo arame tubular**. São Luís. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão, São Luís, 2008.

MINE, Y. *et al.* Micro-tension behaviour of lath martensite structure of carbon steel. Departamento f **Materials Science and Engineering**. Kumamoto University. Japan. 2012. p.536-537.

MODENESI, P. J. **Terminologia Usual de Soldagem e Símbolos de Soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2008. 10 p.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de soldagem e aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., p. 461, 1982.

OSÓRIO, A.G. Effect of niobium addition on the flux of submerged arc welding of low carbon steels. **Journal of Manufacturing Processes Tech**. v. 266. p. 046-051. 2019.

SILVA JÚNIOR, S. F.; CARLECH, L. P.; NETO, M. M. **Stress Measurements in a Structural Component Using Magnetic Barkhausen Noise Analysis**, 2010. Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/bdtnet/2010/silva.pdf>>. Acesso em: 11 out 2021.

SOARES, G.G. **Caracterização da Junta Dissimilar em Solda de Materiais do Tipo Estrutural ARBL**, 83 f., Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) - Universidade de Passo Fundo: Passo Fundo, RS, Brasil, 2015.

TAYLOR, M. D. E. A. Correlations between nanoindentation hardness and macroscopic mechanical properties in DP980 steels. **Materials Science and Engineering: A**, v. 597, p. 431-439, 2014.

TORRES, Herlys Hernando Canizarez. **Avaliação do passe de raiz em junta de chanfro estreito na soldagem orbital pelo processo GMAW CMT e convencional**. 2016, 110 f., il. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.