



**A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE PRÉ-AQUECIMENTO EM JUNTA
SOLDADA PELO PROCESSO TIG EM AÇO ASTM A335 P11**

***THE INFLUENCE OF PREHEATING TEMPERATURE IN JOINT WELDED BY TIG
STEEL ASTM A335 P11***

Orlando Fortunato Pereira^I
Péricles Bosquetti^{II}
Maria Aparecida Bovério^{III}

RESUMO

O aço ligado ASTM A335 P11 pode apresentar diferentes comportamentos ao sofrer diferentes tratamentos térmicos. O objetivo do presente trabalho foi de analisar comparativamente juntas soldadas do aço ASTM A-335 grau P11, unidas pelo método de soldagem TIG, em temperatura ambiente e realizando-se um pré-aquecimento de 200°C antes da soldagem. O metal base utilizado foi o aço ASTM A335 P11 e o metal de adição utilizado foi a vareta de solda ER 80S-B2. Foram realizados ensaios metalográficos, medidas de microdureza e ensaios de tração. Observou-se que não houve mudança significativa na microestrutura do material base nem na zona termicamente afetada tanto para o material base sem pré-aquecido quanto para o material pré-aquecido à temperatura de 200°C. Entretanto, na região do metal de solda observou-se uma microestrutura pouco mais irregular no metal que foi pré-aquecido, além de ter sido observado um leve aumento de dureza na região soldada nas amostras com o pré-aquecimento à 200°C. Conclui-se que o pré-aquecimento à 200°C utilizado neste trabalho influenciou discretamente na microestrutura, dureza e consequentemente nas propriedades mecânicas da junta soldada do metal base ASTM A335 P11.

Palavras-chave: ASTM A335 P11. Pré-aquecimento. Soldagem TIG.

ABSTRACT

ASTM A335 P11 alloy steel can have several tempers when undergoing a heat treatment. The objective of the present work was to comparatively analyze the welded joints of steel ASTM A-335 grade P11, joined by the TIG welding method, with ambient temperatures and preheating of 200 ° C. The base metal used for steel ASTM A335 P11 and the metal used for addition to the rod ER 80S-B2. Metallography, microhardness, and tensile tests were carried out. It was observed that there was no reduction in the microstructure of the base material nor

^I Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: orlandopereira_stz@hotmail.com

^{II} Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail:pericles.bosquetti@fatec.sp.gov.br

^{III} Pós-Doutorado em Educação (UNESP-Rio Claro), Doutorado, Mestrado e Especialização em Educação (UNESP-Araraquara), Bacharel em Letras (Centro Universitário Moura Lacerda-Ribeirão Preto). Docente e pesquisadora da Faculdade de Tecnologia (Fatec) - Câmpus de Sertãozinho e Jaboticabal. Membro do Grupo de Estudos e Pesquisas em Políticas e Gestão da Educação Superior (GEPES) do Departamento de Educação da UNESP, Câmpus de Rio Claro, vinculado ao CNPq. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br



in the thermally affected zone for both the non-preheated base material and the base material preheated to a temperature of 200°C, however, for the weld metal there was no more irregular microstructure without preheated metal. There was an increase in hardness with the help of preheating to 200°C. It is concluded that preheating to 200°C directly influences the microstructure, hardness, and tensile strength of the ASTM A335 P11 metal base welded joint.

Keywords: ASTM A335 P11. Pre-heating. TIG welding.

Data de submissão do artigo: 30/06/2021.

Data de aprovação do artigo: 23/07/2021.

DOI: 10.33635/sitefa.v4i1.178

1 INTRODUÇÃO

Devido ao surgimento de novos materiais e desenvolvimento de novas técnicas durante a recente revolução industrial, houve grande avanço nas indústrias, que passaram a ampliar a empregabilidade de materiais metálicos com as mais diversas especificações. Neste processo, com o intuito de minimizar problemas devido às divergências nos lotes de materiais, os fabricantes passaram a criar e divulgar essas especificidades necessárias dos materiais que utilizam, mediante a emissão de descrições detalhadas dos mesmos, a fim de que, quem empregasse-os respeitasse tais normas de qualidade (ASTM, 2016).

No caso dos aços, passou a serem solicitados testes mecânicos simples para determinar alguns parâmetros como a resistência à tração e elasticidade do material. Atualmente, a indústria americana, através da criação dos comitês de normas como a ASTM (American Society Testing and Materials), internacionalizou e padronizou a maioria dos testes. Após anos de aprendizado na indústria americana, a ASTM internacionalizou os processos e hoje apresenta um dos maiores sistemas de padronização de materiais e testes do mundo (ASTM, 2016).

Um aço amplamente utilizado nas indústrias termelétricas é o ASTM A-335 classe P11, devido seu excelente desempenho à altas temperaturas e suas mais variadas respostas aos diferentes tipos de tratamentos térmicos (BOSQUETTI *et al.*, 2015). A soldagem desses aços precisa de atenção especial, uma vez que são materiais temperáveis devido a adição de elementos de liga, e apresentam as zonas termicamente afetadas sujeitas ao endurecimento (GIMENES JUNIOR, 1997).

A maior parte dos metais são excelentes condutores térmicos, de maneira que, o calor gerado na região da solda escoa de maneira rápida por toda a massa do metal, resultando em um rápido resfriamento. Dessa forma, tem-se que para as várias regiões do aço há diferentes taxas de resfriamento crítico e caso haja um excedente do calor crítico no metal de solda, pode ocorrer a formação de estruturas endurecidas de martensita que podem resultar em fraturas e quebras devido as influências das tensões térmicas geradas (PEREZ, 2007).

Um método amplamente empregado para eliminar as trincas induzidas após o resfriamento do metal no processo de soldagem é o pré-aquecimento, pois, ele reduz a taxa de resfriamento da solda, além de minimizar as chances de formação de microestruturas frágeis, intervindo nas propriedades mecânicas da junta que sofreu a soldagem (GASPAR, 2013).

O objetivo do presente trabalho foi de analisar comparativamente juntas soldadas do aço ASTM A-335 grau P11, unidas pelo método de soldagem TIG, realizando-se a soldagem com os materiais em temperatura ambiente e realizando-se o pré-aquecimento à 200°C,



verificando-se assim, a influência do pré-aquecimento na microestrutura e nas propriedades mecânicas na região soldada.

2 PROCESSO DE SOLDAGEM

O processo de soldagem consiste na união de peças, ou seja, a junção do metal de base (peça que está sendo soldada) com o metal de adição que ocorre na poça de fusão dando origem ao cordão da solda. Dessa forma, após o processo de soldagem, formam-se as zonas da junta soldada, que são divididas em três regiões principais afetadas pelo calor, sendo: a zona fundida (ZF), que é composta pelo metal de adição; a zona termicamente afetada (ZTA) que é a região do metal de base que apresenta estrutura e/ou suas propriedades alteradas pelo calor de soldagem; e o metal de base (MB), que compõe a peça propriamente dita (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

O ideal seria que o metal de solda apresentasse as mesmas características e propriedades que o da zona afetada pelo calor ou que o material de base. Entretanto, isso não ocorre, uma vez que a maioria dos materiais de base provém do estado de forja ou de laminação e o metal de solda é fundido. A microestrutura formada na zona fundida terá influência de fatores como: da presença e concentração de elementos de liga, composição química e distribuição de tamanho de inclusões não-metálicas, microestrutura de solidificação, tamanho do grão da austenita anterior e ciclo térmico de soldagem. Desta forma, pode-se afirmar que ocorrerão mudanças de características mecânicas do metal na ZTA, que por sua vez poderão não resistir a alguns fatores externos em que a peça será submetida e em que o material base foi projetado (FORTES, 2005; WAINER; BRANDI; MELLO, 2011).

São diversos os processos de soldagem, que por sua vez podem ser divididos de acordo com o tipo de fonte de energia utilizada, o tipo de proteção e a natureza de união. Quanto ao tipo de fonte de energia utilizada tem-se a mecânica, a química, a elétrica e a radiante (WAINER; BRANDI; MELLO, 2011).

Já, quanto aos tipos de proteção têm-se a vácuo, a gás inerte, a gás e a fluxo. Cabe ressaltar que existem alguns processos de soldagem que não empregam nenhum tipo de proteção como são os casos da: soldagem por explosão, por atrito, por ultrassom, por ponto etc. Enquanto, o processo de soldagem por natureza de união envolve dois grandes grupos, sendo: a soldagem por pressão ou por deformação e soldagem por fusão (WAINER; BRANDI; MELLO, 2011).

Dentro do processo de soldagem por natureza de união no grupo do processo de fusão, destacam-se por sua empregabilidade nas indústrias os seguintes: *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Plasma Arc Welding* (PAW), *Submerged Arc Welding* (SAW) e *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

2.1 Soldagem a arco com eletrodo de tungstênio ou *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) ou *Tungsten Inert Gas* (TIG)

O processo de solda a arco com eletrodo de tungstênio de proteção gasosa, do inglês *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), também conhecido como *Tungsten Inert Gas* (TIG), visa a união de peças metálicas resultante do aquecimento e fusão destas por meio de um arco elétrico estabelecido entre a peça e um eletrodo de tungstênio não consumível. Com intuito de



proteger o eletrodo e a poça de fusão da oxidação e contaminações atmosférica, a poça de fusão e o arco são protegidos por um fluxo ou nuvem de gás inerte ou mistura de gases inertes, que ao serem ionizados, proporcionam a condução da corrente elétrica (CIRINO, 2009; MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

Os gases normalmente empregados são Argônio e Hélio, que também podem ser misturados e, em outros casos, a mistura de gases com Hidrogênio e Nitrogênio podem também ser empregadas. Esse tipo de soldagem pode ou não ser realizada com metal de adição, que se utilizado, ocorre diretamente na poça de fusão (CIRINO, 2009; MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

São utilizados como equipamentos básicos no processo de soldagem TIG a fonte de energia, a unidade de alta frequência, o reservatório de gás e a tocha TIG (WAINER; BRANDI; MELLO, 2011). Dessa forma, a fonte de soldagem a ser usada deve ser analisada, tendo como opções a corrente contínua de polaridade direta, a corrente contínua de polaridade inversa e a corrente alternada, na qual cada uma destas apresentam suas próprias características e peculiaridades (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982).

No caso de correntes referentemente baixas há uma emissão termiônica, que é o fenômeno de emissão de elétrons quando um metal é aquecido, e precisa-se de uma maior tensão para empurrar um número suficientes de elétrons para a corrente pretendida, assim, sua mancha catódica possui uma temperatura relativamente baixa (CAMPBEL; La COURSIERE, 1995). Conforme a corrente é aumentada, há um aumento do cátodo, que contribui na facilitação de emissão termiônica, e há um aumento, de maneira progressiva, no grau de ionização da região de queda catódica e da coluna do arco. Dessa forma, tem-se uma maior superfície emissiva, há também um condutor elétrico mais vigoroso, facilitando a circulação da corrente, uma tendência à diminuição da tensão (CAMPBEL; La COURSIERE, 1995).

Para a corrente contínua de polaridade direta, tem-se que os elétrons vão do eletrodo para o metal base, proporcionando uma penetração bem profunda, uma vez que a junta de solda será eletricamente bombardeada. Já para corrente contínua de polaridade inversa, na junta soldada há uma penetração menos profunda, o que pode resultar em problemas de ligamento (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982).

Esse tipo de soldagem não é aplicado em juntas espessas, em função da pequena taxa de deposição que ele resulta (0,2 a até 2 kg/h). Contudo, há necessita de alta qualidade, juntas de grandes espessuras podem ser soldadas completamente ou somente o passe raiz realizado por soldagem TIG (MACHADO, 1996).

2.2 Aço-liga ASTM A-335 grau P11

Dentre os principais tubos de condução de aço-liga, encontra-se o ASTM A-335, que é caracterizado como um tubo de aço ligado ferrítico, não apresentam costura, e são voltados para atividades de temperatura elevadas. Eles devem atender as normas internacionais ASTM A-335 e possuem graus/classes P5, P9, P11, P22, P91 e P92, são recomendados para o uso em caldeiras de alta pressão (TUBOS ABC, 2019).

O material A-335 é uma classificação de materiais da ASTM específica para tubos de aço-liga e baixa liga, para serviços de alta pressão e alta temperatura (até 590°C) e as classes P5 e P9 são indicadas para processos de refinaria, enquanto as classes P11, P22, P91 e P92 são para indústrias energéticas (TUBOS ABC, 2019).

Apesar do aço A-335 classe P11 apresentar propriedades mecânicas inferiores aos demais, ele apresenta baixo coeficiente de expansão térmica e alta condutividade térmica.



Torna-se a melhor alternativa dentro dos ciclos térmicos, equipamentos e componentes a vapor pressurizado, além de possuir um custo menor que os demais (ASTM, 2015).

O aço-liga ASTM A-335 P11 apresenta em sua composição 1,0% de cromo e 0,5% de molibdênio. É um material empregado em tubulações de indústrias químicas, estações de geração de energia, tubos superaquecidos, caldeiras, trocadores de calor e vasos de pressão devido desempenho à elevadas temperaturas (FONSECA, 2004; ZAMPIERI JÚNIOR, 2014).

2.3 Tratamento térmico e o pré-aquecimento

Normalmente, são realizados dois tipos de tratamentos térmicos em soldas de tubulações, sendo elas: o pré-aquecimento e o pós-soldagens. O objetivo do pré-aquecimento é de diminuir a taxa de resfriamento ao término da solda, fazendo com que o material não esfrie rapidamente, o que resultaria no endurecimento excessivo devido possível formação de fase martensítica, de ductilidade baixa (TELLES, 2001).

O tratamento térmico pode ser executado de maneira localizada, por aquecimento de uma banda circunferencial ao longo de todo componente da solda identificada ao centro aproximado da banda (ASME, 2016).

O pré-aquecimento em metais que possuem elevada condutibilidade térmica promove as operações de soldagem de maneira mais fácil (GIMENES JUNIOR, 1997). É definido como temperatura de pré-aquecimento a temperatura inicial na qual as peças, ou parte dela, será exposta antes do processo de soldagem iniciar-se. Dessa forma, tem-se que diferentes tipos de soldagens podem exigir diferentes tipos de temperaturas (PEREZ, 2007; MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

Tem-se ainda que o pré-aquecimento da junta onde será realizado o processo de solda, pode reduzir a taxa de resfriamento do metal. Assim, tem-se que a temperatura de pré-aquecimento, dependendo do tipo de solda e do tipo de material pode estar no intervalo de 50-540°C, contudo, normalmente utiliza-se um intervalo de 150-200°C (PEREZ, 2007). Um adequado controle do pré-aquecimento nas regiões adjacentes a junta a ser soldada é essencial, para que ocorra a retirada de umidade da peça (GASPAR, 2013).

O processo de pré-aquecimento pode diminuir o teor de martensita da solda, refinar os microconstituintes produzindo grãos mais uniformes, desta forma, proporcionando a melhoria da ductilidade, redução da dureza e diminuindo a probabilidade de ocorrência de fissuras ao decorrer do resfriamento. Em alguns metais o rápido resfriamento da estrutura pode favorecer no surgimento de microestruturas no local da solda que podem ser benéficas ao processo de soldagem e união das estruturas evitando trincas após sua soldagem (FORTES, 2005; ROSALINO; SFALSIN JUNIOR; SIQUEIRA, 2014).

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS UTILIZADOS

O metal base utilizado foi uma chapa do aço ASTM A335 P11, com espessura de 9,75 mm e 6000 mm de comprimento para soldagem das amostras, cuja faixa de composição química está apresentada na Tabela 1. O metal de adição utilizado foi a vareta ER 80S-B2, com diâmetro de 1/8”, que é indicada para soldagem de aços resistentes a fluência, como o AS-387 grau 11 e o ASTM A335 P11.



Tabela 1 - Composição química do aço ASTM A335 Grau P11

Grau	C	Mn	P≤	S≤	Si	Cr	Mo
P11	0.05-0.15	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50-1.00	1.00-1.50	0.44-0.65

Fonte: ASTM (2015)

A Figura 1 mostra as chapas chanfradas preparadas com ângulo de 37,5°:

Figura 1 – Chapas chanfradas usadas para a realização das soldagens



Fonte: os autores (2021)

Para a realização das soldagens, duas chapas foram mantidas à temperatura ambiente enquanto as outras duas foram pré-aquecidas à temperatura de 200°C. Para acompanhamento da temperatura de pré-aquecimento, foi utilizado termômetro digital MINIPA MT350A.

O aquecimento das chapas foi realizado com o auxílio de um conjunto de oxiacetileno, com pressões de oxigênio de 3,0 kgf/cm² e do acetileno de 0,5 kgf/cm², dois reguladores de gás, duas mangueiras, um punho com o misturador de gases e o bico n°10.

Para a soldagem, foi utilizada uma inversora de solda ESAB Tipo LHN 220i Plus

Após a soldagem, utilizando uma fresadora universal TOS n° 3, foram confeccionados corpos de provas para ensaios de tração com medidas conforme a norma ASTM E8/8M-11. Também foram confeccionadas tiras com medidas de 10x10x210 mm para a realização dos ensaios de metalografia e microdureza.

3.1 Ensaios de Tração

Para realização dos ensaios de tração foi utilizada a máquina de ensaios mecânicos universal da marca INSTRON da Fatec Sertãozinho.

3.2 Ensaios de Metalografia

Para a metalografia, as amostras foram preparadas em Politriz Metalográfica Marca Teclago, Modelo PL 02 EDT. Fez-se o polimento progressivo utilizando-se as lixas 120, 220, 320, 400, 600, 800 e 1000 e em seguida, fez-se os polimentos em politriz utilizando-se pano para polir e pó de alumina de 1 micron, revelando-se na sequência através de ataque químico por Nital 2%. O microscópio utilizado para análise de metalografia (microestrutura) foi o Microscópio Óptico, Marca ZEISS Modelo Áxio Vert. A1, na Fatec Campus Sertãozinho SP.



3.3 Ensaio de Microdureza

Para as microdurezas, utilizou-se microdurômetro digital Modelo MHV 2000, Marca TIME utilizando as mesmas amostras dos ensaios de metalografia, na Fatec Sertãozinho SP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

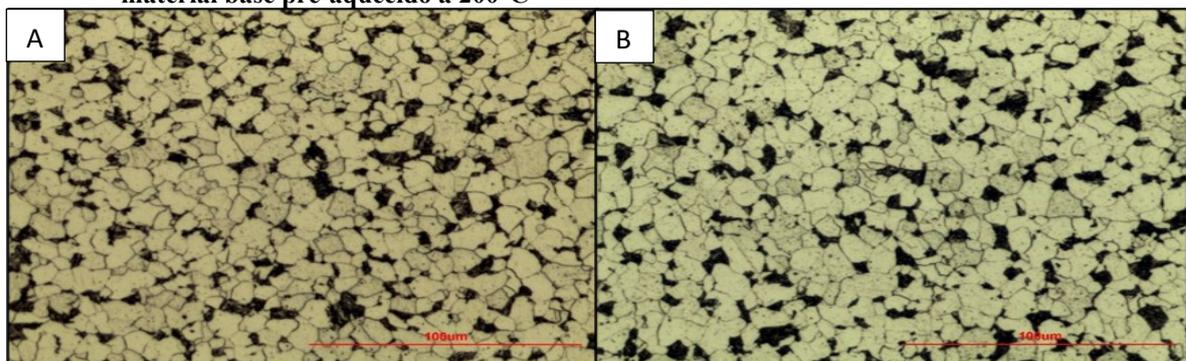
Os resultados obtidos referente aos ensaios de metalografia, de microdureza e de tração, comparando os comportamentos do material base (chapa de ASTM A335 P11) pré-aquecida à 200°C e material base (chapa ASTM A335 P11) não aquecida estão a seguir.

4.1 Ensaio de Metalografia

Pode-se observar na Figura 7 a distribuição da microestrutura do metal base (ASTM A335 P11), analisado por meio de metalografia com aumento de 200 vezes. Na Figura 7A encontra-se o metal que não sofreu pré-aquecimento, enquanto a Figura 7B refere-se ao material pré-aquecido a 200°C.

Nota-se que não houve mudança significativa na microestrutura do material base, tanto para o material base sem pré-aquecimento quanto o material base pré-aquecido à temperatura de 200°C, o que era de se esperar, visto sem uma temperatura baixa para alterações na microestrutura. Ao analisar-se as Figuras (7A e 7B) nota-se a ocorrência de ferrita (partes claras) e perlita (partes escuras), em grãos refinados, típicos do aço P11 recozido.

Figura 7 - Metal base, ataque Nital 3% em aumento 200x. (A) material base sem pré-aquecido e (B) material base pré-aquecido à 200°C

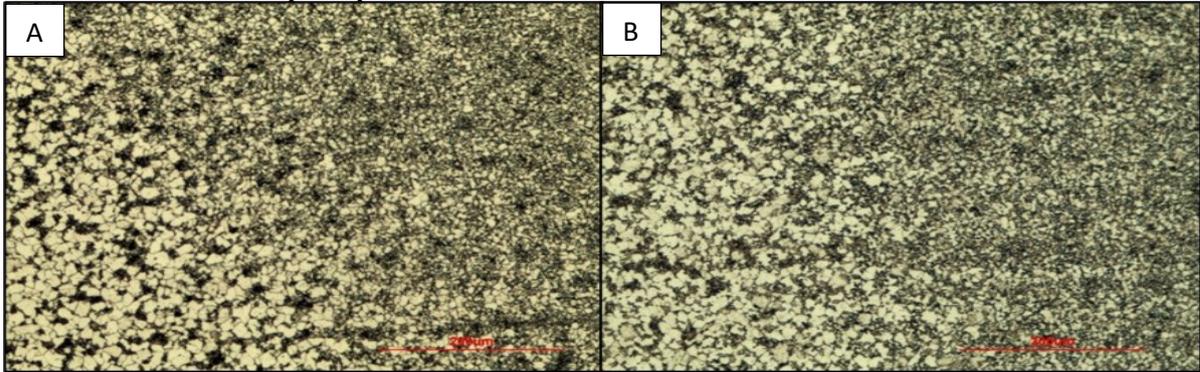


Fonte: os autores (2021)

Na Figura 8 é apresentado a região de transição entre o metal base e a zona termicamente afetada (ZTA) pela soldagem. Tanto na Figura 8A (metal base não pré-aquecido) como na 8B (material base pré-aquecido à 200°C), observa-se uma diminuição do tamanho dos grãos da microestrutura do aço ASTM A335 P11. A zona afetada termicamente (ZTA) apresentou-se com microestrutura constituída de grãos ferríticos e perlíticos menores e mais refinados, possivelmente isto ocorreu ao aquecimento acima da zona crítica e devido ao posterior resfriamento, mais rápido, gerado durante a soldagem TIG, ocasionou a formação de grãos mais refinados, em ambas as microestruturas.



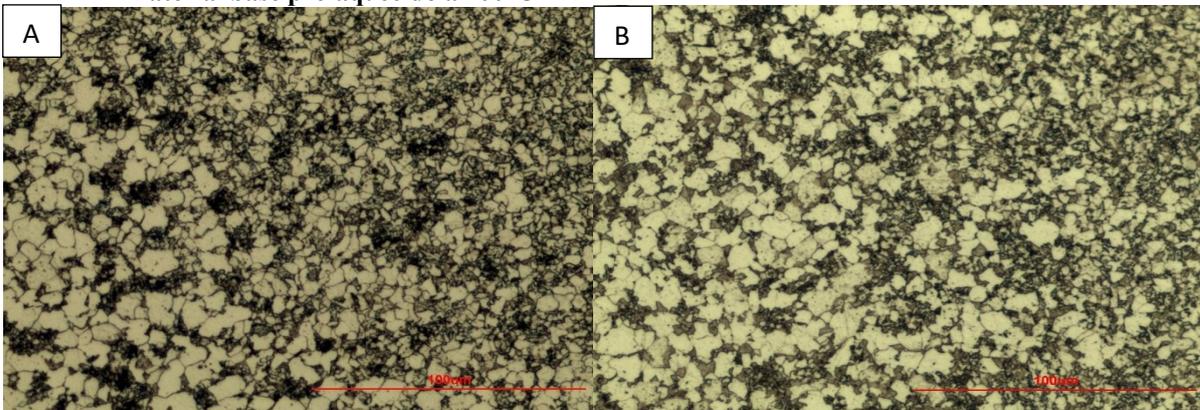
Figura 8 - Metal base e ZTA ataque Nital 3% em aumento 100x. (A) Material base não pré-aquecido e (B) Material base pré-aquecido à 200°C



Fonte: os autores (2021)

Observa-se, no entanto, que a amostra com pré-aquecimento à 200°C apresentou grãos ligeiramente mais crescidos, provavelmente devido ao resfriamento mais lento, visto o pré-aquecimento aplicado. Esse crescimento de grãos, favoreceu à ocorrência de uma microestrutura mais uniforme da região da Zona Térmicamente Afetada com o Metal de base, como pode ser observado em maior aumento (200x) na figura 9.

Figura 9 - Metal base e ZTA ataque Nital 3% em aumento 200x. (A) Material base não pré-aquecido e (B) Material base pré-aquecido à 200°C

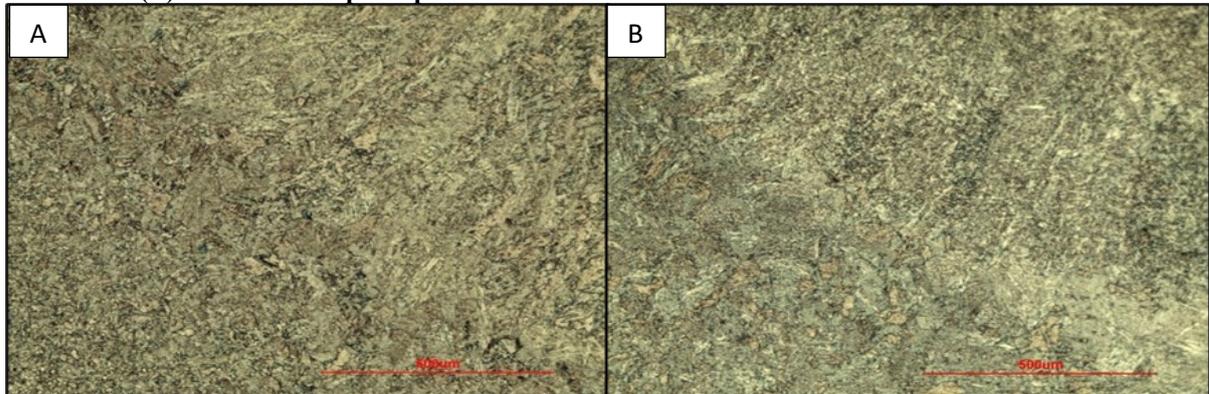


Fonte: os autores (2021)

Na Figura 10, observa-se a região de transição entre a ZTA e a região do metal de solda, em que se observa a formação de microestruturas mais uniformes e refinadas entre essas regiões na amostra que foi pré-aquecida a 200°C. Observou-se um maior refinamento das lamelas de perlita e da ferrita na microestrutura do material, na amostra que ocorreu aplicando-se o tratamento de pré-aquecimento à 200°C (Figura 9B), comparado ao material sem tratamento de pré-aquecimento (Figura 9A). Verifica-se ainda, na zona fundida, também um maior refinamento na microestrutura, verificando-se a formação de bainita mais refinada na amostra com pré-aquecimento. Dessa forma, verifica-se que, devido ao pré-aquecimento, a taxa de resfriamento mais lenta favoreceu ao maior refinamento na microestrutura da região de solda, refinando-se e uniformizando-se as microestruturas da ZTA e da região de solda, tornando-a assim menos frágil e mais resistente.



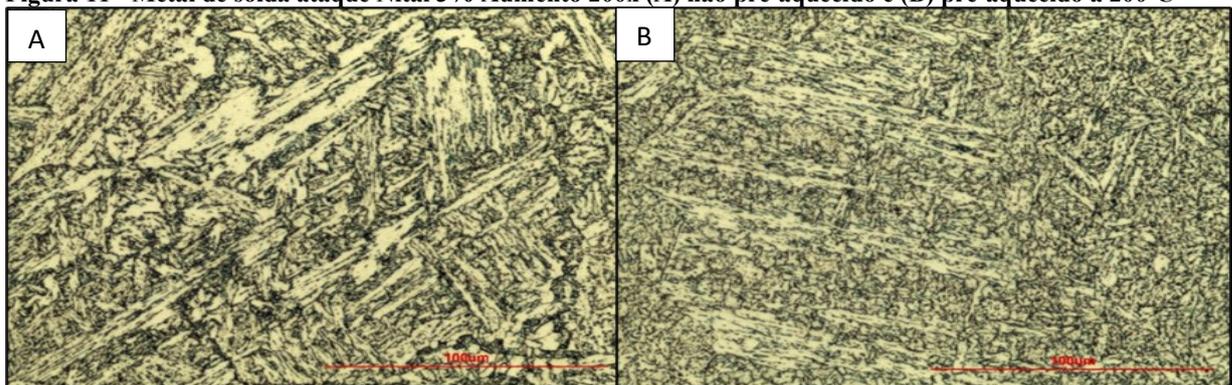
Figura 10- ZTA e metal de solda ataque Nital 3% em aumento de 50x. (A) Material base não pré-aquecido e (B) Material base pré-aquecido à 200°C



Fonte: os autores (2021)

As Figuras 11A e 11B referem-se ao metal de solda (MS) não pré-aquecido e pré-aquecido a 200°C, respectivamente. Nota-se a formação de textura bruta de solidificação em ambos os materiais com e sem o pré-aquecimento. Pode-se observar que o material não pré-aquecido (Figura 11A) apresenta microestrutura mais grosseira com formação predominante de bainita irregular quando comparado ao material pré-aquecido, onde também se observa a presença de bainita, mas com aspecto mais refinado. Novamente a menor taxa de resfriamento, favoreceu a formação de uma microestrutura bainítica mais refinada, que melhora as características mecânicas do material. De acordo com Azevedo, Domingos e Alvarenga (2014), a irregularidade nessa distribuição confere ao material perda de ductilidade e aumento de fragilidade.

Figura 11 - Metal de solda ataque Nital 3% Aumento 200x (A) não pré-aquecido e (B) pré-aquecido à 200°C



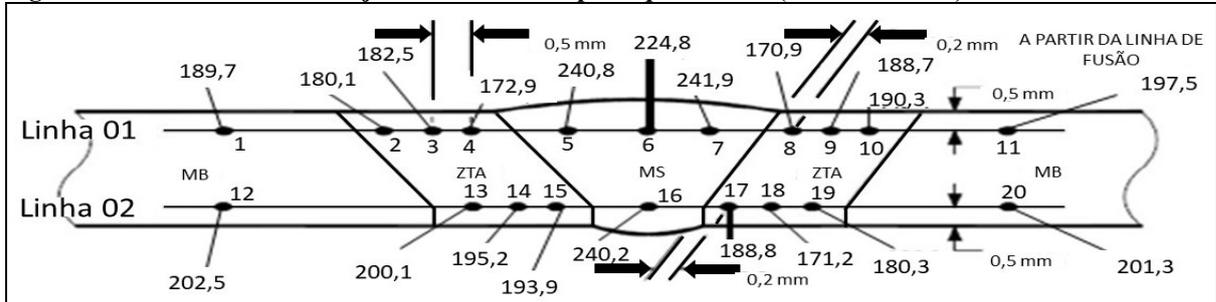
Fonte: os autores (2021)

4.2 Ensaio de Microdureza (Vickers)

A Figura 12 apresenta os resultados obtidos no ensaio de Microdureza Vickers no corpo de prova soldado a temperatura ambiente ($\pm 30^\circ\text{C}$), ou seja, sem pré-aquecimento. Os resultados mostram uma dureza máxima de 202,5 HV no metal de base (MB), de 200,1 HV na ZTA e de 241,9 HV no metal de solda (MS).



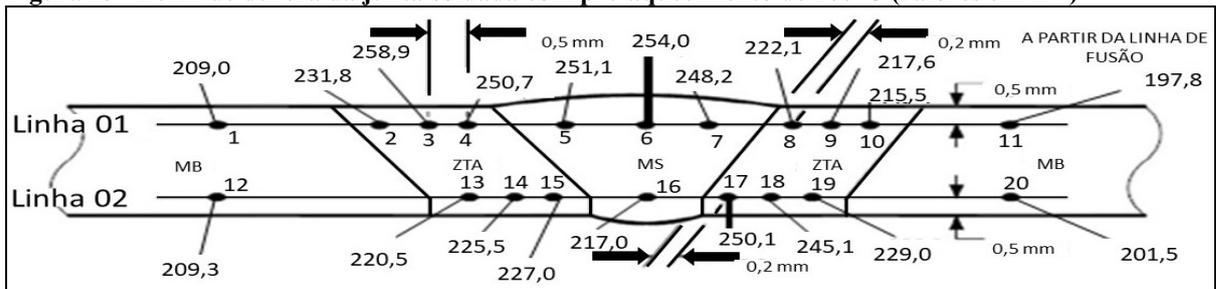
Figura 12 - Perfil de dureza da junta soldada sem pré-aquecimento (valores em HV)



Fonte: os autores (2021)

A figura 13 apresenta os resultados de Microdureza Vickers obtidos no corpo de prova com pré-aquecimento de 200°C. No metal de base (MB) obteve-se uma dureza máxima de 209,3 HV, de 258,9 HV na ZTA e de 254,0 HV no metal de solda (MS).

Figura 13 - Perfil de dureza da junta soldada com pré-aquecimento de 200°C (valores em HV)

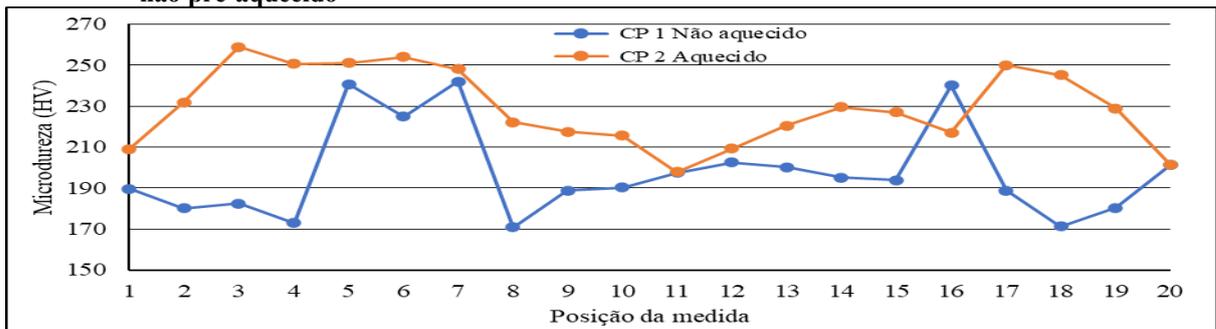


Fonte: os autores (2021)

Observando as Figuras 12 e 13, que mostram as medidas de microdureza, pode-se observar que houve um ligeiro aumento de dureza no perfil geral das medidas, na amostra que sofreu o pré-aquecimento à 200°C, devido ao tempo de resfriamento mais lento tornando também o perfil das durezas mais uniforme ao longo das regiões de Solda, ZTA e metal base.

Comparando os resultados expostos na Figura 14, pode-se observar que com a aplicação de pré-aquecimento à 200°C (CP 2) houve um aumento de tempo de resfriamento, por consequência um ligeiro aumento na dureza, mas mantendo dentro dos limites aceitáveis para o aço ASTM A335 P11, comparado ao tratamento sem pré-aquecimento (CP 1).

Figura 14 - Perfil de Microdureza Vickers nos corpos de prova das juntas soldadas pré-aquecido 200°C e não pré-aquecido



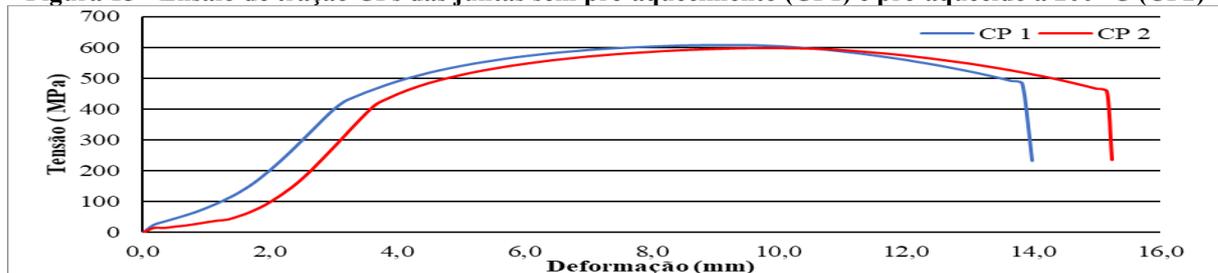
Fonte: os autores (2021)



4.3 Ensaio de Tração

Pode-se observar na Figura 15, as curvas de Tensão x Deformação das amostras, um ligeiro aumento de resistência à tração na amostra com a aplicação da temperatura de pré-aquecimento (CP 2), comparado à amostra soldada sem pré-aquecimento (CP 1). A ligeira alteração na microestrutura contribuiu na diferença de limite de escoamento e % alongamento.

Figura 15 - Ensaio de tração CPs das juntas sem pré-aquecimento (CP1) e pré-aquecido à 200 °C (CP2)



Fonte: os autores (2021)

Tendo em vista que o limite mínimo especificado de resistência a tração para aço ASTM A335 P11 é de 415 MPa, pode-se notar que em ambos os casos, obteve-se valores sensivelmente superiores. Comparativamente, observou-se um comportamento mais dúctil da amostra que foi pré-aquecida à 200°C, apresentando maior deformação à ruptura.

5 CONCLUSÃO

Através dos testes realizados pode-se concluir que houve alterações discretas, porém significativas nas microestruturas da zona termicamente afetada e da zona fundida tanto para a junta do material ASTM A335 P11 não pré-aquecido quanto para a junta pré-aquecida à temperatura de 200°C, visto a melhor uniformização microestrutural, que refletiu na maior uniformidade no perfil de durezas e na maior ductilidade no ensaio de tração observadas.

Conclui-se ainda que houve um aumento de dureza nas amostras com pré-aquecimento à 200°C, pois acabou por influenciar no tempo de resfriamento, tornando-o mais lento, favorecendo a uniformização da microestrutura e crescimento de grãos, aumentando o limite de resistência à tração e o aumento da %alongamento da junta soldada.

Por fim conclui-se que o pré-aquecimento à 200°C influi favoravelmente na microestrutura, na uniformização do perfil dureza e na ductilidade e resistência à tração na junta soldada do metal base ASTM A335 P11.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM. **The history of ASTM international**. West Conshohocken: ASTM-International, 2016. Disponível em: https://www.astm.org/ABOUT/history_book.html. Acesso em: 08 fev. 2021.

_____. **A335/A335M**: standard specification for seamless ferritic alloy-steel pipe for high-temperature service. West Conshohocken: ASTM-International, 2015.



AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME. **Power piping. code for pressure piping, B31.1.** 1 ed. Nova Iorque: ASME, 2016.

BOSQUETTI, P. *et al.*, Produção da junta soldada do aço ASTM A335 P11 para tubulação de vapor em caldeiras: caracterização por análise microestrutural e microdureza. **Revista Academus**, Sertãozinho, 2015, v. 3, n. 1, p. 1-8. Disponível em: <https://www.revistaacademus.com.br/revista/index.php/revistaacademus/article/view/19/24>. Acesso em: 08 fev. 2021.

CAMPBELL, R. D.; La COURSIERE, E. J. A guide to the use of tungsten electrodes for GTA welding. **Welding Journal**, Miami, v. 74, n. 1, p. 39-45, 1995.

CIRINO, L. M. **Estudos dos efeitos da polaridade na soldagem com corrente contínua e alternada pelos processos TIG e MIG/MAG.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FONSECA, A. S. **Soldagem TIG.** Varginha: SENAI Centro de Formação Profissional “Aloysio Ribeiro de Almeida”, 2004.

FORTES, C. **Apostila de Metalurgia da Soldagem.** Contagem: Esab, 2005.

GASPAR, N. J. **Potencial uso do passe de revenimento no reparo de soldas: avaliação via mapeamento de durezas.** 2013. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica) - Universidade Santa Cecília, Santos, 2013.

GIMENES JUNIOR, L. **Tratamento térmico em juntas soldadas.** 1997. Disponível em: <https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/metal/tratamento-termico-em-juntas-soldadas.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2021.

MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas: processos.** Porto Alegre, RS: Ed. do Autor, 1996.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamento e tecnologia.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

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

PEREZ, F. R. C. **A influência da temperatura de pré-aquecimento na microestrutura e propriedades mecânicas na soldagem MIG/MAG robotizada de aços SAE 8620 com ABNT LN28.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia: UNESP, Bauru, 2007.

ROSALINO, A. L.; SFALSIN, L. M. J.; SIQUEIRA, T. R. **Análise da influência do pré-aquecimento em uma junta soldada com eletrodo revestido – aço SAE1045.** FAACZ, Aracruz, ES, 2014.



TELLES, P. C. S. **Tubulações industriais materiais, projetos, montagem.**10^a ed. Rio de Janeiro, UFRJ, 2001.

TUBOS ABC. **Aplicações dos tubos de aço liga ASTM A335.** 2019. Disponível em: <https://www.tubosabc.com.br/produtos/tubos/tubos-de-conducao-aco-liga/tubo-de-aco-liga-astm-a335/>. Acesso em: 08 fev. 2021.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. de. **Soldagem processos e metalurgia.** 8 Reimpressão. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2011.

ZAMPIERI JÚNIOR, C. R. **Determinação da tenacidade a fratura da região da solda de um tubo de aço ferrítico ASTM A335 Gr. P22 através do deslocamento da abertura da ponta da trinca (CTOD).** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.