

# POTENCIAL USO DO PASSE DE REVENIMENTO NO REPARO DE SOLDAS: AVALIAÇÃO VIA MAPEAMENTO DE DUREZAS<sup>1</sup>

Natal de Jesus Gaspar<sup>3</sup>  
Manoel Messias Neris<sup>4</sup>  
Willy Ank de Moraes<sup>5</sup>  
Eduardo Sanches Farias<sup>6</sup>  
José Carlos Morilla<sup>7</sup>

## Resumo

Reparos realizados em equipamentos que trabalham sob pressão, os quais são constituídos de metais soldados com tratamento térmico pós-soldagem, deve ser seguida por um novo tratamento térmico, o que nem sempre é possível. Assim torna-se necessário encontrar novas formas de se reparar estruturas em aços sem a aplicação de um tratamento térmico adicional pós-reparo. Este trabalho fornece orientações sobre os métodos disponíveis para a realização deste reparo através da técnica denominada de passe de revenimento (Temper Bead), onde cordões de solda adicionais são aplicados e o respectivo aporte de calor é explorado como alternativa para a eliminação do tratamento térmico pós-soldagem. Além disso, este tipo de soldagem pode ser utilizado para controlar a microestrutura, a dureza final e outras propriedades do material na região próxima à solda.

**Palavras-chave:** Soldagem; Dureza; Aço liga; Passe de revenimento.

## POTENTIAL USE OF THE PASS IN THE REPAIR WELD TEMPERING: EVALUATION THROUGH MAPPING OF HARDNESS

### Abstract

Repairs performed on equipment that work under pressure, which are made of metal welded to the post-welding heat treatment should be followed by further heat treatment, which is not always possible. Thus it is necessary to find new ways to fix steel structures without the application of a further heat treatment after repair. This paper provides guidance on the methods available to perform this repair using a technique called pass temper (Temper Bead), where additional weld beads are applied and its heat input is explored as an alternative for the elimination of post-heat treatment welding. Furthermore, this type of welding can be used to control the microstructure, hardness and other properties of the final material in the region near the weld.

**Key words:** Welding; Hardness; Alloy steel; Tempering pass.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Eng. Industrial Mecânico, especialista em soldagem, mestrando em Eng. mecânica., Universidade Santa Cecília (Unisantia); najega@uol.com.br.

<sup>3</sup> Prof. Titular, Faculdade de Eng., Unisantia; Especialista em soldagem. manoelneris@uol.com.br.

<sup>4</sup> Prof. Adjunto, Faculdade de Eng., Unisantia. Especialista em Produto da Usiminas-Cubatão; willyank@unisantia.br

<sup>5</sup> Eng. Industrial Mecânico, Consultor Técnico de projeto, Unisantia, farias.edu@gmail.com

<sup>6</sup> Prof. Dr. coordenador, curso de Eng. de Produção, Unisantia, morilla@unisantia.br.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, vários tipos de materiais são desenvolvidos para as mais diversas finalidades e aplicações.<sup>(1)</sup> Para a construção de uma nova instalação ou manutenção muitas empresas desejam reduzir os custos de fabricação e materiais. Para atender a essas necessidades, os projetistas estão precisando de aços com elementos de liga, enquanto fabricantes, montadores e contratantes devem utilizar equipamentos e técnicas que os ajudem a trabalhar de forma rápida e eficiente. “Muitas construções na década de” 1970 foram construídas usando aços 2,25Cr-1Mo(cromo – molibdênio) conforme recomendações da American Society for Testing of Materials - ASTM A335;<sup>(2)</sup> hoje, muitos fabricantes e projetistas estão usando cada vez mais uma liga com 9 Cr-1Mo-V (ASTM A335 Gr - P91), denominada liga P91.

A meta de melhoria da eficiência de plantas Termoelétricas, pelo aumento da temperatura e pressão do fluido de trabalho, vem sendo perseguida por muitas décadas. Por exemplo, uma planta Termoelétrica que opere a 538°C/18,5 MPa, pode ter aumentada a sua eficiência em 6% ao alterar a sua condição de operação para 593°C/ 30MPa. A 650°C o ganho em eficiência situa-se em 8%.

O aço 9Cr-1Mo-V modificado caracteriza-se pela excelente resistência à corrosão, o que resultou na recomendação de engenheiros projetistas para o seu uso em paredes d’água quando as caldeiras operarem com carvão altamente corrosivo.<sup>(3)</sup> A quase totalidade dos aços utilizados nos equipamentos submetidos a altas temperaturas se caracteriza por uma resistência à ruptura máxima de 60MPa à 600°C.<sup>(3)</sup>

A liga P91 é aplicada basicamente em áreas de serviço extremo de caldeiras e instalações petroquímicas, como superaquecedores e reaquecedores. Em caldeiras modernas, que operam com combustíveis fósseis, a temperatura de operação gira em torno de 550°C.<sup>(3)</sup>

O aço ASTM A355 grau P91 normalmente permite uma redução da espessura da parede, pelo menos, com uma razão de 2 para 1. Se a parede é mais fina, as cargas de suspensão são mais leves. Além disso, uma parede que é de 50% mais fina leva menos tempo para soldar e usa menos metal de enchimento.

Dependendo da aplicação de soldagem da liga P91, vários códigos são utilizados para a construção de centrais Elétricas e Refinarias de Petróleo. A ASME (American Society of Mechanical Engineers) determina os seguintes códigos para a construção e montagem:

- ASME B31.1- Power Piping , 2010;
- ASME B31.3 - Process Piping, 2010;
- ASME Seção I - Rules for Construction of power Boiler, 2010;
- ASME Seção III - Alternative Rules for Construction of High Power Boiler, 2010;
- ASME Seção VIII - Rules for Construction of Pressure Vessels, 2010;
- ASME Seção IX - Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators, 2010.

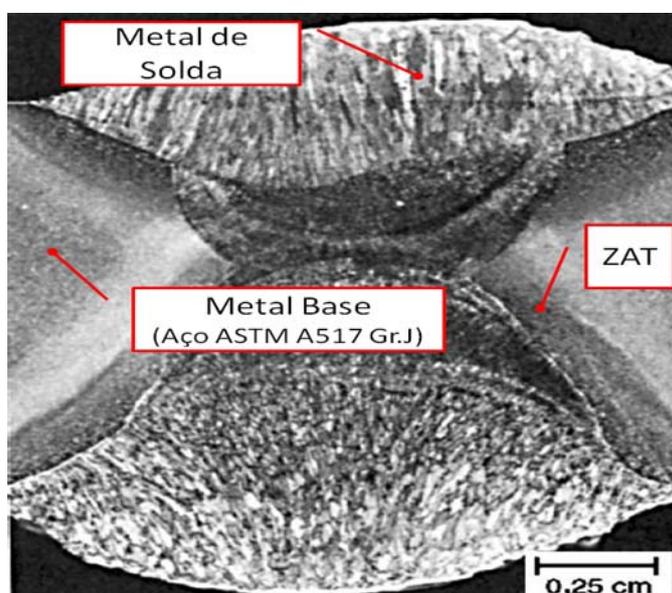
A Soldagem da liga P91 geralmente requer cuidados para a soldagem de peças, onde devem ser mantidas as temperaturas de preaquecimento, interpasse e pós-aquecimento em faixas determinadas para cada código. O pré-aquecimento recomendado pelo ASME B31.1 (item 134.1, pag. 83)<sup>(4)</sup> e ASME B31. 3 (item 330.1.1, pag. 65)<sup>(5)</sup> tem a finalidade de eliminar a umidade e, conseqüentemente, reduzir a fissuração por hidrogênio ou trinca a frio. Essas são descontinuidades que

ocorrem algum tempo após a soldagem, o que a torna extremamente crítica, o hidrogênio é introduzido na poça de fusão através da umidade ou do hidrogênio contidos no eletrodo ou no metal de base,<sup>(6)</sup> também reduzem o gradiente térmico entre o material de base e poça fusão de soldagem, melhora a soldabilidade, reduzindo o calor necessário para fazer a solda, reduzindo tendências do aparecimento de trincas a quente.

## 1.1 Fundamentação Teórica

A soldagem de materiais com grandes espessuras e aços de alta liga normalmente, requer a manutenção de preaquecimento e temperaturas mínima e máxima de interpasse. Se o material se resfria abaixo da temperatura mínima entre os passes, os problemas podem surgir de retenção ou de contaminação da solda por hidrogênio. Através de muita pesquisa foi descoberto que o hidrogênio aprisionado era o responsável pelos defeitos de solda, e o termo fragilização pelo hidrogênio tornou se sinônimo de um desastre iminente. Se o material se torna muito quente, o que pode acontecer durante a soldagem de passes múltiplos, alguns aços pode perder a sua resistência à corrosão.<sup>(7)</sup>

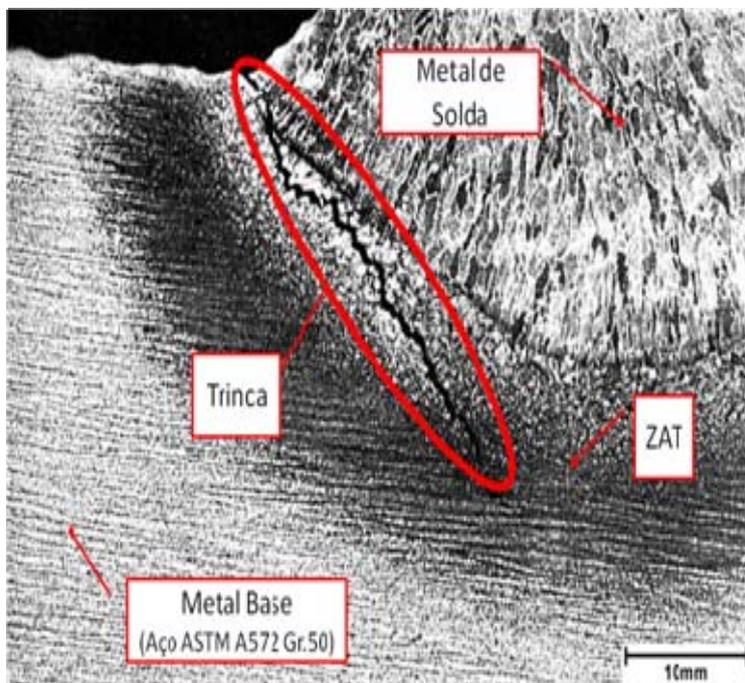
A Zona Afetada Termicamente (ZAT), que é a região da solda que não se fundiu durante a soldagem, pode se tornar um elo fraco em uma junta soldada que, em condições normais, seria suficientemente resistente. Primeiramente, a estrutura granular da ZAT não é tão refinado e, portanto, é mais fraca que o metal de base circunvizinho ou que o metal de solda (MS) com estrutura bruta de fusão. Em segundo lugar, se a ZAT se resfriar muito rapidamente em determinados aços, forma-se uma estrutura cristalina frágil e dura conhecida como martensita.<sup>(8)</sup> A Figura 1 ilustra estas diferentes partes de uma junta soldada.



**Figura 1.** Regiões de uma junta soldada. (figura adaptada do ASM Metals Hand-book, Metallographic Techniques and Microstructures).<sup>(8)</sup>

Os poros relativamente grandes da ZAT são locais naturais de captura do hidrogênio atômico. Quando dois átomos de hidrogênio se encontram há uma união imediata entre eles para formar o hidrogênio molecular (H<sub>2</sub>, estado gasoso). As moléculas de hidrogênio resultantes são maiores que a estrutura cristalina do metal e podem ficar impedidas de migrarem livremente. À medida que mais e mais átomos de hidrogênio

migram até os poros e formam moléculas que permanecem aprisionadas, podem se desenvolver enormes pressões internas.<sup>(7)</sup> Estas trincas podem ocorrer em aços de alta resistência mecânica, como no bem conhecido estudo de Savage<sup>(9)</sup> realizado em aços do tipo HY-80, entre duas fases dissimilares, como descritos por Rowe et. AL<sup>(10)</sup> ou mesmo observável em operações de soldagem de manutenção no campo.<sup>(11)</sup> Um exemplo deste tipo de fissuração pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2.** Trinca induzida por hidrogênio em um aço estrutural. (Curso de Análise de Falhas da ABM.<sup>(11)</sup>)

O defeito causado, conhecido como fissuração a frio, inicia-se na ZAT, tornando-se particularmente perigoso porque a trinca não fica imediatamente aparente a olho nu. Ela ocorre depois que o metal resfriou de 200°C até a temperatura ambiente, e é muitas vezes chamada de trinca a frio. Esse defeito pode ocorrer logo após o resfriamento até a temperatura ambiente ou pode levar horas, dias, ou mesmo meses antes que aconteça.<sup>(7,11)</sup> Os aços carbono e os de mais baixa resistência possuem plasticidade suficiente para acomodar as tensões internas resultantes da pressão do hidrogênio de forma que não causem trincas no aço. Por outro lado, aços que possuam alta dureza e alta resistência não apresentam plasticidade suficiente para acomodar a pressão, e se houver muito hidrogênio pode ocorrer fissuração.<sup>(7,11)</sup>

Para que ocorra a difusão do hidrogênio, e Tratamento Térmico Pós Soldagem (TTPS), um pré-aquecimento, geralmente de 200 a 260°C é requerido.<sup>(4,5)</sup> Um Tratamento Térmico Pós Soldagem requer o controle da temperatura em fases distintas para o alívio de tensão causado pela soldagem. O código ASME B31. 1,2010,<sup>(4)</sup> descrevem algumas recomendações para a liga P91.

Entretanto os códigos prevêem essas recomendações para serviços novos, em unidades em construção, quando se fala em manutenção são encontradas dificuldades na soldagem e na recuperação de juntas soldadas. Em vários segmentos da indústria Química, Petroquímica, Petrolífera e Nuclear, é de primordial importância à correta recuperação de juntas soldadas, quando estas apresentam

algum defeito,<sup>(6,7)</sup> principalmente quando estão envolvidos materiais de maiores teores de liga.

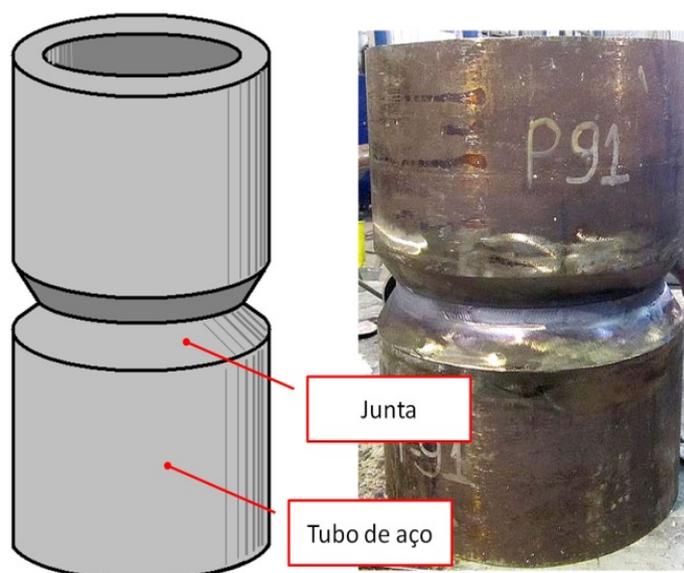
Uma técnica permitida para pequenos reparos em materiais ferrosos, sem fazer TTPS, é permitido pelo AWS D10. 8 , chamado passe de revenimento ou Temper Bead<sup>(12)</sup>. Esta norma define a soldagem Temper Bead como sendo um cordão de solda depositado em um local específico ou superfície com a finalidade de influenciar as propriedades metalúrgicas da ZAT ou do MS.

Assim, este trabalho apresenta uma sucinta revisão abordando os seguintes assuntos:

- O aço ASTM A355, grau P91, que se baseia em normas técnicas internacionais e,
- A técnica de soldagem Temper Bead.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado neste trabalho um tubo de aço ASTM A335 Grau P91 de 12" schedule 160. A Figura 3 ilustra esquematicamente e fotograficamente a amostra de tubo (e sua junta) que foi empregado neste estudo. A composição química do aço está listada na Tabela 1.



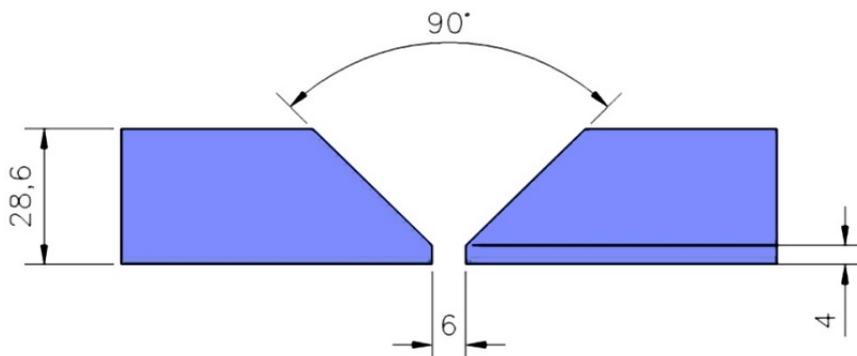
**Figura 3.** Esquema e foto da amostra do tubo de aço ASTM A355 Grau P91 empregado neste estudo.

**Tabela 1.** Composição química do metal de base e consumível de soldagem

Material	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Nb	%Mo	%V
<b>TUBO ASTM A335 Grau P91</b>	0,08	0,30	0,020	0,010	0,20 a 0,50	8,0 a 9,5	-	-	0,85 a 1,05	0,18 a 0,25
<b>Eletrodo E 9015 B9</b>	0,10	1,00	-	-	0,25	9,0	0,80	0,08	1,00	0,25
<b>Arame tubular (E90C-B9)</b>	0,10 a 0,13	0,60 a 1,20	0,020	0,015	0,50	8,0 a 10,0	0,80	0,07	0,85 a 1,20	0,18 a 0,25
<b>TIG (E90S-B9)</b>	0,10	0,50	-	-	0,30	-	0,70	0,06	1,00	0,20
(Gás: Star Gold Plus – White Martins)										

A soldagem da peça de teste foi executada conforme padrão empregando o processo de arame tubular com arame sólido Thermanit – MTS-3-MC - Boehler, para o processo TIG foi utilizada a vareta Thermanit MTS-3 da Boehler, toda a soldagem foi executada por soldador qualificado conforme as recomendações do ASME Section IX.<sup>(13)</sup>

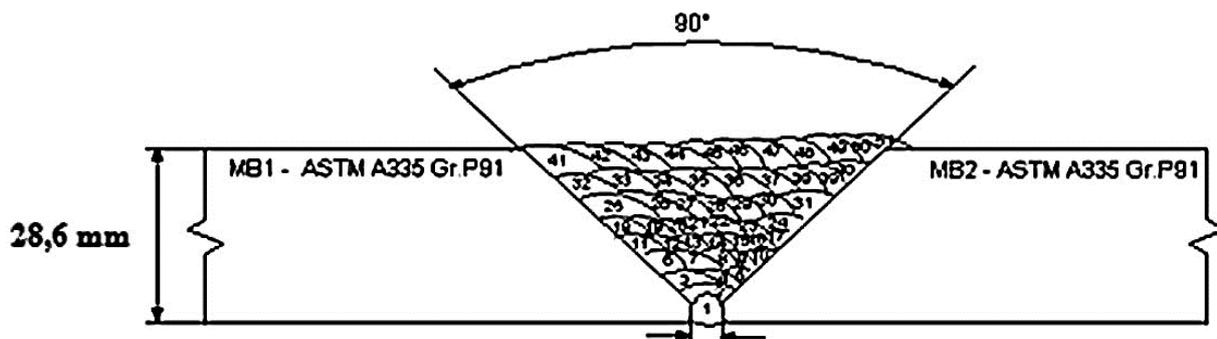
O metal de adição empregado na soldagem Temper Bead foi o eletrodo revestido E9015 B9, cuja composição química também é apresentada na Tabela 1. As dimensões de preparação para a soldagem da peça de teste estão demonstradas na Figura 4 e a seqüência de soldagem é apresentada na Figura 5.



**Figura 4.** Dimensões da peça de teste preparada para execução de soldagem.

Antes da realização do tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT) a junta soldada foi submetida a um ensaio radiográfico para a verificação de descontinuidades, tendo seu laudo satisfatório.

Foi realizado o TTAT conforme as recomendações do código ASME B31.3<sup>(5)</sup> (2008). Na edição do ASME IX (2010)<sup>(13)</sup> o aço ASTM A355 Grau P91 foi enquadrado como PN P15E.



**Figura 5.** Seqüência de soldagem.

O ciclo térmico utilizado para os parâmetros de soldagem e TTAT está demonstrado nas Figuras 6 e 7.

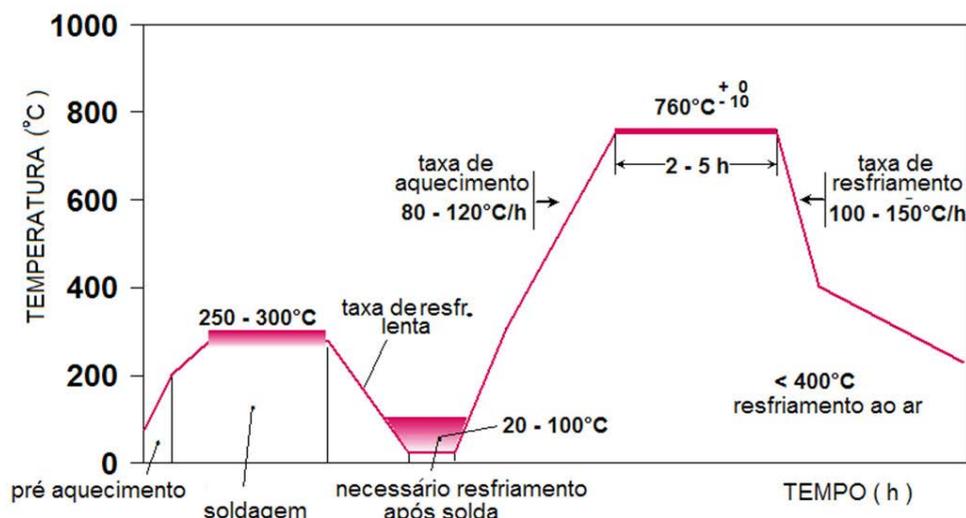


Figura 6. Ciclo térmico de soldagem e tratamento térmico.

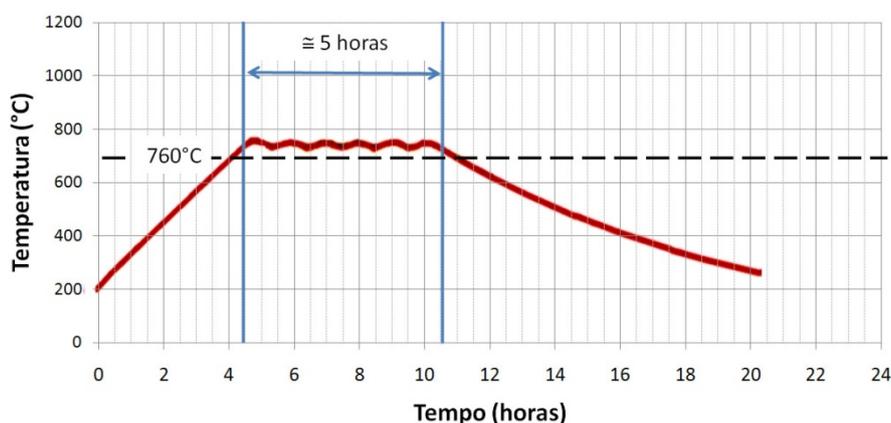


Figura 7. Ciclo térmico de soldagem e tratamento térmico.

### 3 RESULTADOS

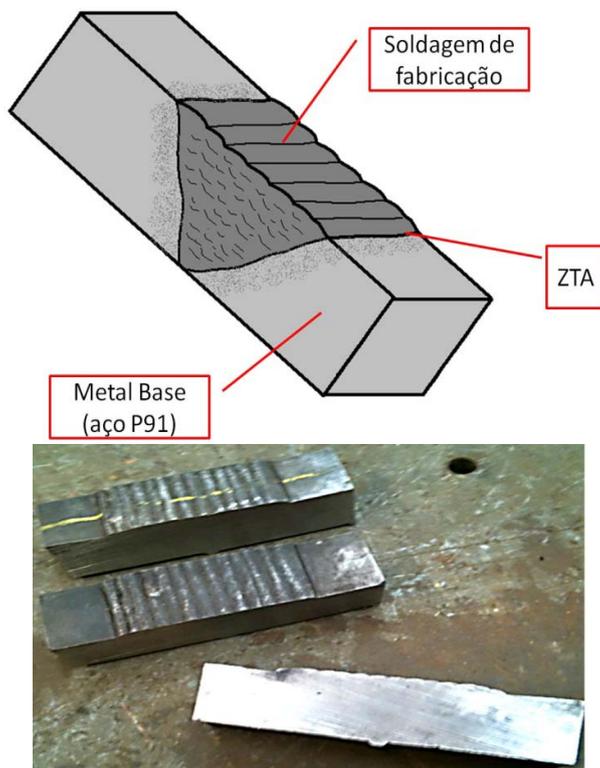
#### 3.1 Simulação e teste da técnica Temper Bead

Foi executada sobre uma “meia cana” (Figura 8). A soldagem dos passes de revenimento (Temper Bead), com três camadas de solda. O objetivo desta técnica é a de melhorar a tenacidade da microestrutura da ZTA. É nesta região grosseira que há uma tendência para a formação da martensita durante a soldagem e por isso se exige o TTPS.



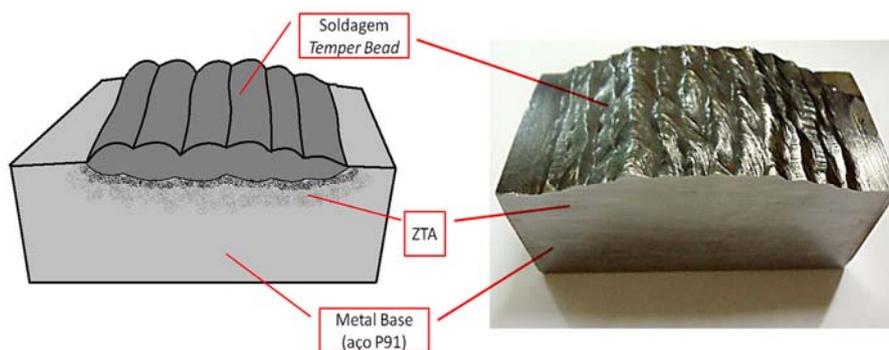
Figura 8. “Meia cana” preparada para ser soldada com os passes de Temper Bead.

Com o tubo já soldado, foram retiradas amostras de corpos de prova para a realização de ensaios de dureza Vickers e metalografia, como mostrado na Figura 9.



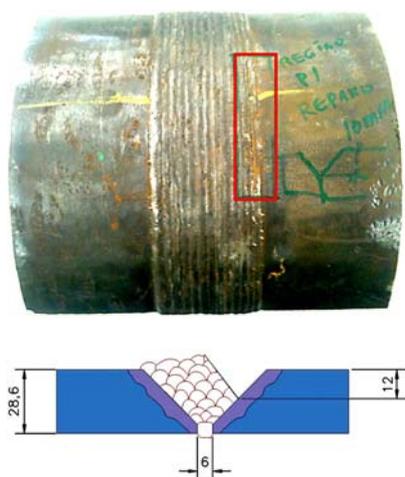
**Figura 9.** Amostras dos corpos de prova A.T / TIG para ensaio de dureza Vickers e metalografia.

Após a aplicação da técnica Temper Bead na “meia cana”, também foi retirado amostras de corpos de prova para os mesmos ensaios, onde será verificada a eficiência desta técnica, como ilustrado na Figura 10.



**Figura 10.** Amostras dos corpos de prova da soldagem *Temper Bead*.

Em um dos corpos de prova, foi simulado um reparo entre metal de solda (MS) e o metal de base (MB), na peça ilustrada na Figura 11 e cortada conforme as dimensões também mostradas na Figura 11.



**Figura 11.** Região da peça de teste soldada pela técnica Temper Bead marcada para a execução do reparo e dimensões do corpo de prova.

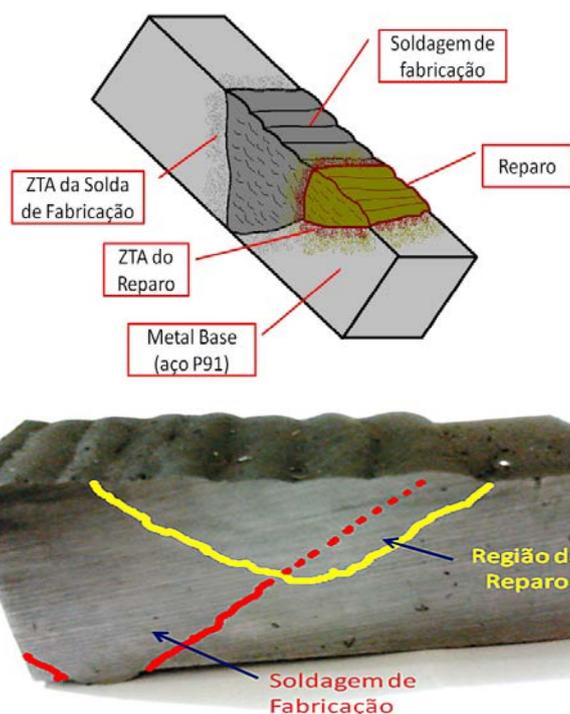
Neste corpo de prova foi empregado um reparo com a utilização da técnica Temper Bead.

Durante a soldagem, a variação de parâmetros tais como: intensidade de corrente, tensão e velocidade de soldagem, teve forte influência nas características da solda. Estes parâmetros determinaram a energia envolvida no processo.

Como em situações práticas nem sempre é possível medir a energia fornecida durante a execução da solda, é possível estimar seu valor conforme a Eq. 1. A energia fornecida pelo arco por unidade de comprimento de solda é conhecida por aporte térmico (H).

$$H = \frac{V * I}{v} \quad (1)$$

Após a soldagem de reparo, retirou-se um corpo de prova para executar ensaio de dureza e metalografia conforme demonstrado na Figura 12.



**Figura 12.** Soldagem do reparo – processo eletrodo revestido.

### 3.2 Caracterização

Foram preparados corpos de prova para análise metalográfica. A preparação dos CP's constituiu de lixamento com seguinte sequência de granulometria (180, 240, 320, 400, 600), seguido de um polimento (pasta de diamante com 6  $\mu\text{m}$ ).

Após a preparação da superfície dos CP's foi utilizado o reagente Vilella para a identificação dos passes de solda para posterior medição de microdureza e macrodureza dureza Vickers.

A análise das durezas compreendeu a varredura na espessura da peça até as camadas depositadas, visando verificar o efeito da redução da dureza pelo método aplicado, e se os níveis de dureza estão dentro dos aceitáveis, cujo valor limite estabelecido pelo código ASME B31. 3<sup>(5)</sup> é de 241HB (253 Vickers). Para a varredura de dureza nos CPs com solda reparada foi utilizado um microdurômetro digital modelo MHV- 2000 (Figura 13), com uma aplicação de carga de 4,98N.



Figura 13. Análise de microdureza Vickers das peças soldadas.

Nos CPs de solda de fabricação (Figura 9) foram mensurados valores de macrodureza Vickers, no padrão ilustrado pela Figura 14. Os corpos de prova com solda reparada forneceram dados de microdureza (Figuras 15 e 16).

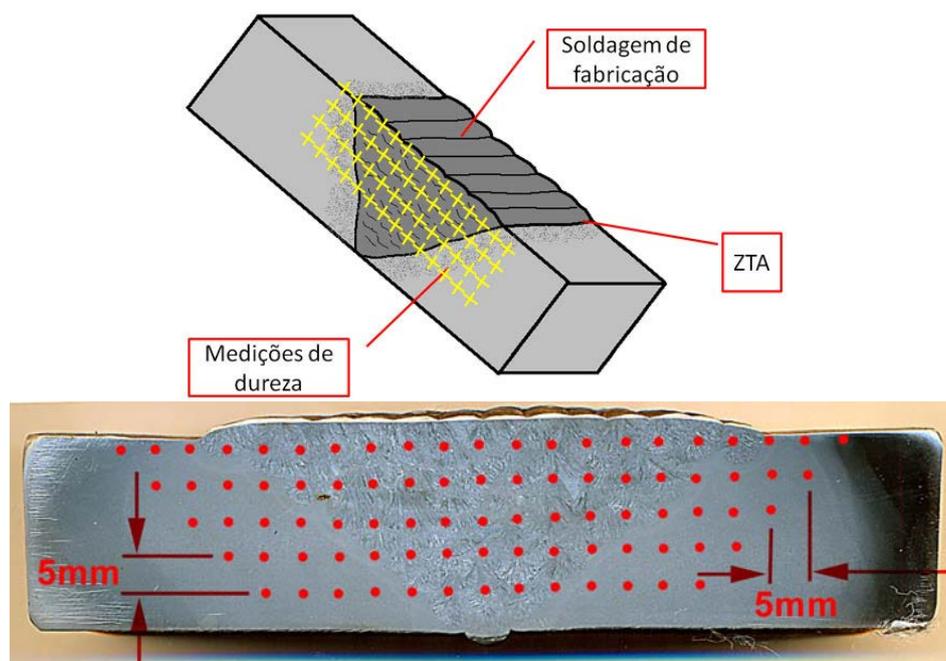
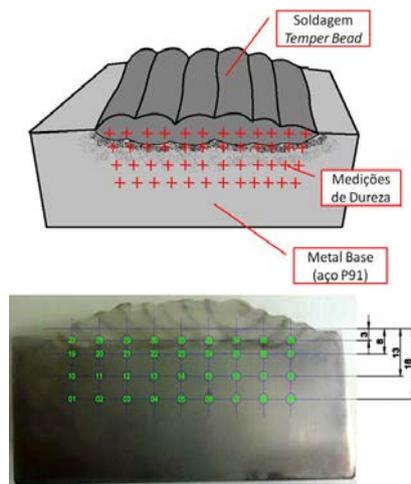
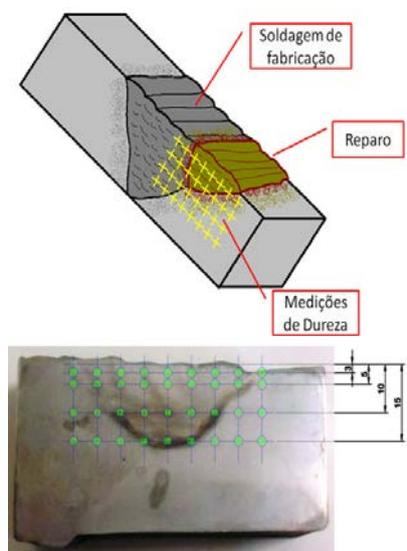


Figura 14. Mapeamento para varredura de macro dureza Vickers (quantidade de pontos: 5x21 pontos).

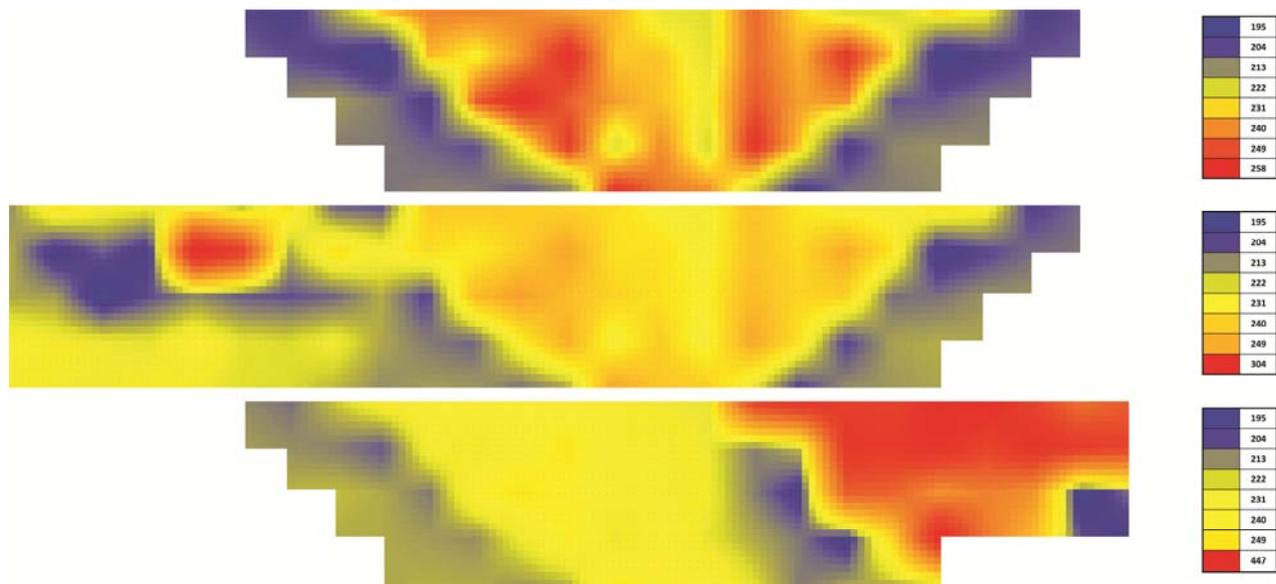


**Figura 15.** Mapeamento da varredura de micro dureza Vickers no corpo de prova com depósito simples de Temper Bead (quantidade de pontos: 4×9 pontos).

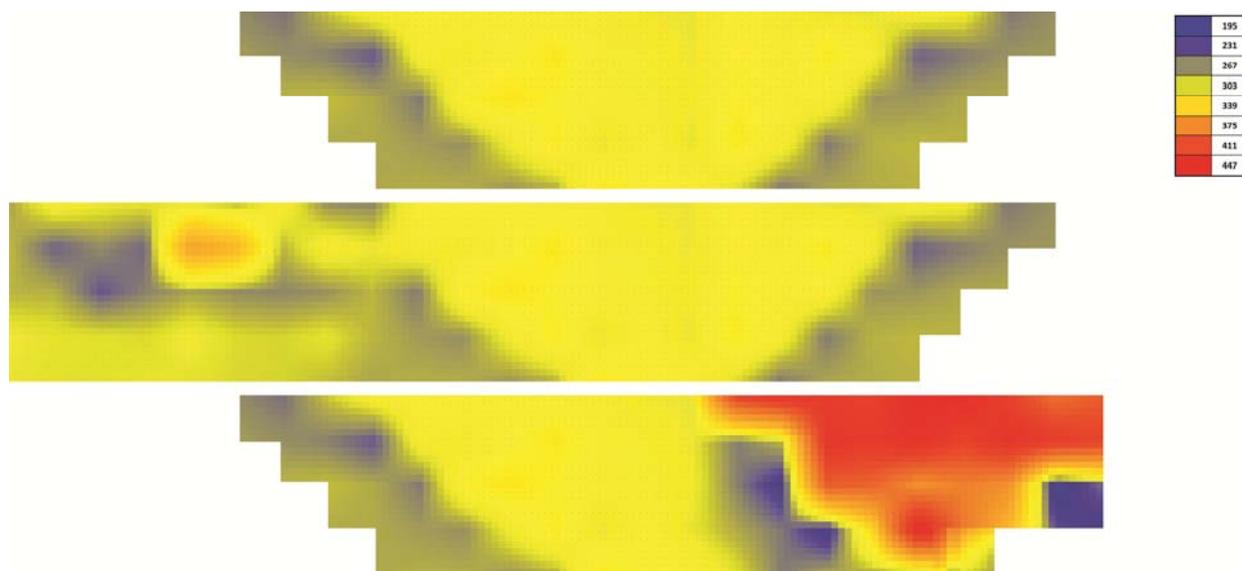


**Figura 16.** Mapeamento da varredura de micro dureza Vickers no corpo de prova de com reparo na solda por Temper Bead (quantidade de pontos: 4×9 pontos).

Obteve-se uma determinada quantidade de pontos de dureza que posteriormente foram interpolados, empregado-se o software Matlab® (V-6.5). Assim foi possível multiplicar os resultados obtidos, permitindo-se construir um mapeamento de durezas. O mapeamento obtido está ilustrado nas Figuras 17 e 18. Estas figuras ilustram como a distribuição de dureza relativamente suave da junta soldada de fabricação não é seriamente perturbada pela presença de um cordão de solda simulando o Temper Bead (Figura 10). Porém a tentativa de reparo empregado esta técnica gerou uma grande perturbação na dureza do material, conforme pode ser observado pelo mapeamento feito.



**Figura 17.** Mapeamento de macro e micro dureza Vickers nas juntas soldadas de fabricação (acima: 41×180 pontos), no depósito de *Temper Bead* (meio: 41×180+61×161 pontos) e no reparo feito por *Temper Bead* (abaixo: 41×180+61×161 pontos). Cada mapeamento está representado por uma escala de durezas própria (258 HVmáx; 304 HVmáx e 447 HVmáx).

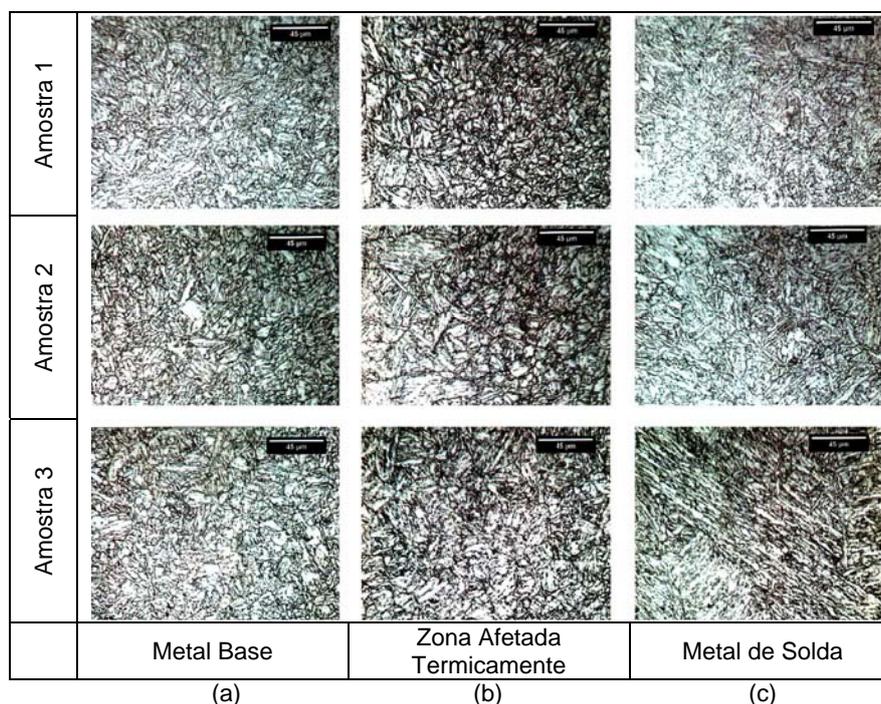


**Figura 18.** Mapeamento de macro e micro dureza Vickers nas juntas soldadas de fabricação (acima: 41×180 pontos), no depósito de *Temper Bead* (meio: 41×180+61×161 pontos) e no reparo feito por *Temper Bead* (abaixo: 41×180+61×161 pontos). Escala de durezas única para os três mapeamentos (447 HVmáx).

Após a realização dos ensaios de dureza Vickers foi realizado o ensaio metalográfico para verificação do tipo de estruturas presente nas diferentes regiões das peças soldadas. Foram determinadas as estruturas formadas em toda a região da solda, ZTA e MB, da soldagem com o processo AT e TIG, soldagem do *Temper Bead* e soldagem do reparo. Para a realização do ensaio metalográfico foi utilizado o reagente “Vilella”, conforme recomendado pela norma ASTM E407 – 07<sup>(14)</sup>.

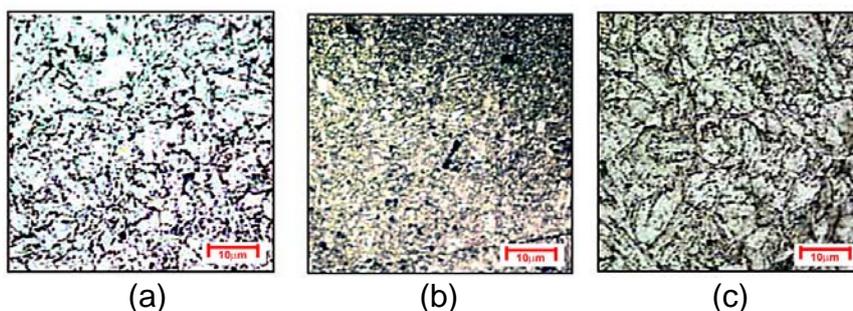
A análise metalográfica do metal base revelou uma microestrutura composta por grãos poligonais de ferrita com finos carbonetos dispersos, mesmo tipo de estrutura apresentada na região da Zona Afetada Termicamente (ZAT). Porém no Metal de

Solda (adição) observou-se uma microestrutura composta por finos carbonetos esferoidais e carbonetos alinhados nos contornos de grão. A Figura 19 resume as estruturas observadas.



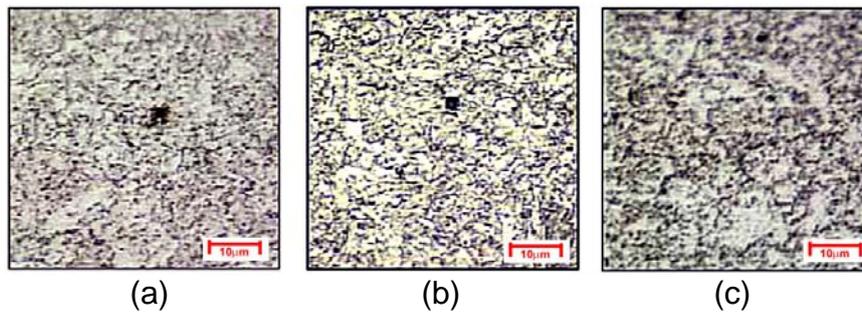
**Figura 19.** Metalografia da junta soldada de fabricação.

No Corpo de Prova Temper Bead houve uma maior variação de microestrutura na Zona Afetada Termicamente (ZAT), como pode ser observado na Figura 20. Esta observação está alinhada com o mapeamento de durezas apresentado nas Figuras 17 e 18.



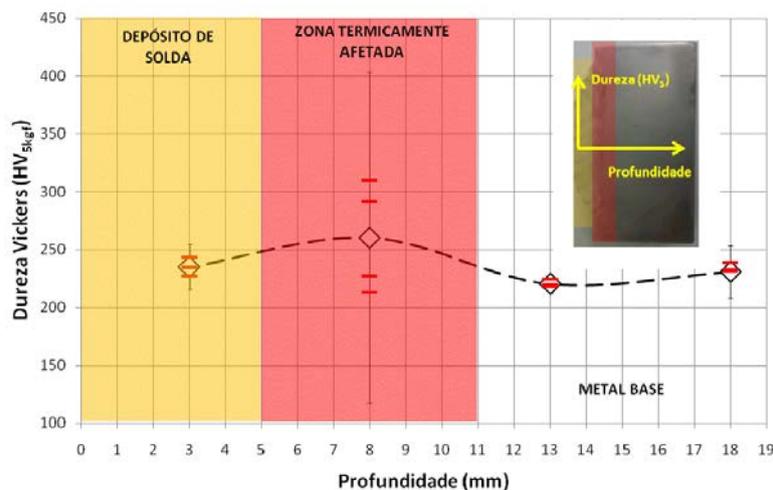
**Figura 20.** Metalografia do metal após soldagem simulando o *Temper Bead*: (a) metal de base (1.000x) (b) ZAT (1.000x) e (c) metal de solda (1.000x).

No corpo de prova do reparo, a maior variação de durezas foi registrada, como mostrado no mapeamento apresentado nas Figuras 17 e 18. As microestruturas são relativamente variadas também, com destaque para a microestrutura do metal de solda (Figura 21), que sofreu influência das camadas de *Temper Bead* superiores.



**Figura 21.** Metalografia do metal recuperado pela tentativa de *Temper Bead*: (a) metal de base (1.000x) (b) ZAT (1.000x) e (c) metal de solda (1.000x).

A Figura 22 apresenta um gráfico com as tendências de dureza, por região (metal base, ZAT e metal de adição).



**Figura 22.** Gráfico apresentando os resultados gerais de medição de dureza Vickers.

## 4 DISCUSSÃO

O mapeamento de dureza feito nos CPs reparados indicou um elevado gradiente de dureza que pode ser atribuído a uma maior intensidade de aporte térmico. Esse aporte foi causado pelo procedimento de soldagem e geometria da solda deste reparo.

A análise metalográfica aponta que não foi utilizada devidamente a técnica de revenimento no procedimento de reparo repassado do prestador de serviço contratado para este trabalho. O mapeamento de dureza feito nos CPs permitiu não apenas obter informações de melhor interpretação prática como também permitiu comprovar os problemas na execução do procedimento de soldagem previsto.

Sendo assim, para que esta técnica seja empregada com sucesso devem-se considerar quatro pontos importantes:

- Maior volume de solda, homogeneizando o aporte térmico e assim suavizando seu efeito;
- Utilizar uma geometria de chanfro mais branda no reparo, amortecendo o efeito de concentração de tensão de origem térmica;
- Utilizar a técnica de *Temper Bead* de meia camada, variando os parâmetros de soldagem e velocidade buscando uma melhor combinação dos mesmos;

- Acompanhar operadores inexperientes na técnica, treinando-os anteriormente de forma a qualificar o procedimento de recuperação em laboratório.
- A menor intensidade do aporte térmico causada pelo tipo de deposição de solda introduzido pelo procedimento de Temper. Bia laboratorial ofereceu uma forte indicação de que a técnica realmente tem aplicação prática, porém se for devidamente executada.

## 5 CONCLUSÃO

A vantagem da técnica do passe de revenimento por deposição controlada é de não necessitar executar o TTAT, porém, essa técnica demanda tempo e treinamento da mão de obra e nem sempre é de simples execução.

Novos estudos baseados desta técnica devem ser desenvolvidos, sendo necessária para isso a utilização de novas avaliações, uma vez que a soldagem dessa liga é complexa e difícil.

## Agradecimentos

Ao Eng<sup>o</sup> Willy Ank da Usiminas-Cubatão; por realizar o mapeamento de dureza através do software Matlab® (V-6.5);

Ao Dr<sup>o</sup> Eng José Carlos Morilla e Manoel Messias Neris da Universidade Santa Cecília pelo fornecimento de material didático e orientações na elaboração do respectivo trabalho.

A empresa Jambeiro pela execução da soldagem das peças de teste.

## REFERÊNCIAS

- 1 Características do processo de desenvolvimento de produtos metalúrgicos. Módulo 5, Cap.2 p. 455-480. In: MORAIS, W.A.; MAGNABOSCO, A.S; NETTO, E.B.M.; Metalurgia física e mecânica aplicada. 2<sup>a</sup> Edição. São Paulo: ABM, 2009.
- 2 ASTM A335; Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High Temperature Service. 2010.
- 3 LISBOA, Maurício Barreto, Tese “Nova geração de aços ferríticos Fe-Cr-W(V) Análise da evolução microestrutural e comportamento mecânico sob condições de fluência - Rio de Janeiro, Julho de 2007”.
- 4 ASME B31.1 [*Power Piping*], Edition 2008 - Add 2009.
- 5 ASME B31.3 [*Process Piping*], Edition - 2008.
- 6 SILVA, C. L.; SILVA, J.; PARANHOS, R.; LAMAV; CCT; UENF; Artigos/metsol – Infosolda -2003.
- 7 The metallurgical effects of fusion welding. Chapter 2, p.56-113. In: LANCASTER, J.; *Handbook of Structural Welding*. Reprinted. Cambridge: Abington Publishing. 1997.
- 8 Metallography: An Introduction. In: *Metallography and Microstructures*, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 3–20.
- 9 SAVAGE, W. F.; NIPPES, E. F.; SZEKERES, E. S., *Welding Journal*, 55: 276s, 1976.
- 10 ROWE, M.D.; NELSON, T.W; LIPPOLD, J.C.; “Hydrogen-Induced Cracking along the fusion boundary of dissimilar metal welds”. *Welding Journal*, 78(2):31-37, 1999.
- 11 Tipos de Falhas. Chapter 4, p.45-154. In: GODEFROID, L.B.; CANDIDO, L.C.; MORAIS, W.A.; Curso de Análise de Falhas. São Paulo: ABM. 2009.
- 12 AWS D10.8 *Recommended Practices for Welding of Chromium-Molybdenum Steel Piping and Tubing*. Pág. 10, 1996.
- 13 ASME seção IX – Welding and Brazing Qualification - Edition - July 1, 2010.
- 14 ASTM - E 407-07 – Standard Practice for Microetching Metals Alloys.