

## ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE AÇO CARBONO COM ADIÇÃO DE MANGANÊS PARA PRODUÇÃO DE TUBOS COM COSTURA ATRAVÉS DO PROCESSO DE SOLDAGEM ERW/HFIW\*

Ranieri Silveira do Rosário<sup>1</sup>  
Andersan dos Santos Paula<sup>2</sup>  
Saulo Brinco Diniz<sup>3</sup>

### Resumo

Este trabalho teve por finalidade caracterizar e avaliar a evolução microestrutural de um aço carbono com adição de manganês utilizado para fabricação de um tubo através de um processo de soldagem por alta frequência e submetido a uma sequência de tratamento térmico. Foram coletadas amostras pertinentes à região de metal base e linha de solda para cada etapa de processamento, de modo a avaliar as fases e constituintes formados após a etapa de soldagem e pós tratamento térmico. De acordo com as micrografias apresentadas e gráficos dos perfis de dureza Vickers da região de solda referente a cada amostra, foi possível fazer uma avaliação completa no que diz respeito a caracterização microestrutural do material. A sequência de tratamento térmico adotada promoveu uma homogeneização da microestrutura no material como um todo (exceto na linha de solda), resultando em uma estrutura com evidências de início de esferoidização após o revenido.

**Palavras-chave:** Aço carbono-manganês; Soldagem por alta frequência; Normalização; Têmpera; Revenido.

### CARBON-MANGANESE STEEL MICROSTRUCTURAL ANALYSIS FOR THE PRODUCE PIPES THROUGH THE ERW/HFIW WELDING PROCESS

#### Abstract

This paper aims to characterize and evaluate the microstructural evolution of a carbon steel with manganese addition used to produce pipes through a process of high frequency welding and subjected to subsequent heat treatment sequence. Some samples were collected in particular region of the base metal and the weld line relate to processing step in order to evaluate the constituents and phases formed after the welding step and heat treatments. According to the micrographs shown and Vickers hardness profiles, was possible to make a complete assessment in respect of the microstructural characterization of the material. The heat treatment sequence adopted promoted homogenization of the microstructure in the material as a whole (excluding the weld line), resulting in a structure with evidence of spheroidizing after tempered.

**Keywords:** Carbon-manganese Steel; High frequency welding; Normalizing; Quenching; Tempering.

<sup>1</sup> Eng. Metalurgista da UFF, Volta Redonda, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Eng. Metalurgista, D.Sc. em Ciências dos Materiais, Professora Adjunta, IME, Rio de Janeiro, RJ, Brasil; e orientadora credenciada do PPGEM/UFF, Volta Redonda, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Eng. Metalurgista, M.Sc. em Eng. Metalúrgica, Doutorando em Ciências dos Materiais, IME,; e Técnico de Educação - Soldagem, CTS-Solda, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. saulo\_brinco@hotmail.com.

## 1 INTRODUÇÃO

Os tubos utilizados nas mais variadas operações de prospecção, extração, transporte e distribuição, são tubos fabricados com ou sem solda. Sendo os tubos que sofreram soldagem por resistência elétrica denominados de tubos com costura e os sem solda tubos sem costura. A confecção dos tubos segue normas rígidas da “*American Petroleum Institute*” (conhecida como API) e da “*International Organization for Standardization*” (ISO), cujas propriedades mecânicas, composições químicas e tolerâncias dimensionais deverão atender a norma de modo a assegurar a qualidade do produto.

Muitos desafios são encontrados no que diz respeito ao processo de produção (confecção) dos tubos com costura, por exemplo: (i) estreita faixa de propriedades mecânicas para se trabalhar; controle adequado no que se refere a qualidade da matéria-prima utilizada; e ao final do processo de produção do tubo, se tenha as características dimensionais e geométricas perfeitamente controladas [1].

Tubos para exploração e produção, são conhecidos como tubos OCTG (*Oil Country Tubular Goods*), estes são utilizados nas operações de revestimento de poços. Os tubos do tipo OCTG podem ser classificados como: tubos utilizados na perfuração; tubos para revestimento; e tubos para condução.

O aço carbono-manganês em estudo (grau J55, mas que pode ser enquadrado no grau N80Q ou P110 após o tratamento térmico de têmpera e revenido) segue a norma regulamentadora API5CT da *American Petroleum Institute* para tubos OCTG. Sendo assim, essa norma especifica algumas condições técnicas, por exemplo, a de limite de escoamento mínimo e limite de resistência mínimo para alguns graus [2].

O processo que envolve a extração (condução) de petróleo exige a utilização de aços extremamente resistentes à corrosão, fadiga, abrasão e ao impacto (tenacidade), visto que, condições cada vez mais desafiadoras são encontradas devido a condições geológicas complexas encontradas no fundo do mar. Neste sentido, os tubos OCTG são utilizados nas operações de produção e condução de petróleo, pois são tubos que atendem perfeitamente as condições críticas de processo [3].

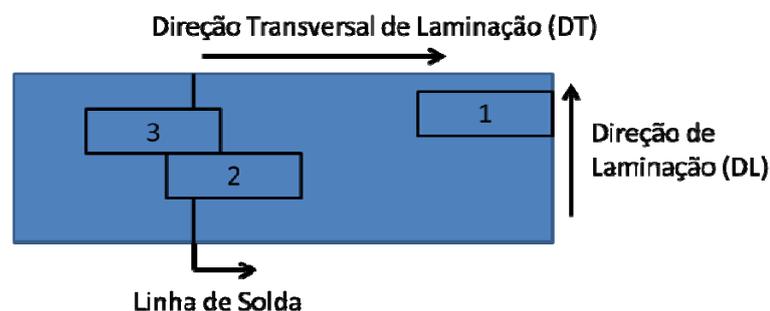
Os tubos OCTG para revestimento podem ser fabricados por processos de soldagem por resistência elétrica (ERW), sendo eles: Soldagem por resistência elétrica a baixa frequência ou soldagem por resistência elétrica a alta frequência. Tendo em vista a necessidade de se fabricar tubos com excelência em desempenho; o processo de soldagem por alta frequência tem sido muito utilizado por ser um processo de soldagem mais vantajoso do que o por soldagem elétrica a baixa frequência, haja vista que, a soldagem por alta frequência apresentar uma maior produtividade e qualidade.

Este trabalho (desenvolvido no âmbito do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação de Rosário [4]) teve como objetivo caracterizar e avaliar a evolução microestrutural de da região de solda (linha de solda, ZTA (Zona Termicamente Afetada), zona de transição e metal base a esquerda e a direita da linha de solda) de um aço carbono-manganês utilizado para fabricação de um tubo através de um processo de soldagem por alta frequência e submetido a uma sequência de tratamentos térmicos (tratamento térmico de normalização e têmpera seguido de revenido).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado foi um tubo de aço médio carbono-manganês, no qual foi soldado pelo processo de soldagem por alta frequência - ERW/HFIW, a partir uma chapa laminada a quente com espessura 5 mm. Tal aço tem a seguinte composição química: 0,24%C, 1,27%Mn, 0,11%Si, 0,008%P, 0,001%S em peso (p/p).

Foram retiradas amostras do tudo em regiões próximas a linha de solda (região onde ocorreu a soldagem dos tubos), nas seguintes condições: sem tratamento térmico e pós-tratamento térmico com uma conjugação de: normalização prévia a 820°C região da solda, e subsequente têmpera (temperatura de encharque 920°C e resfriado em água com agitação) seguido de revenido (temperatura de encharque 670°C), estes dois últimos em todo o volume do tubo. Todo o processamento para soldagem e tratamentos térmicos foram realizados com parâmetros de testes, em escala industrial, mas por questão de sigilo não são citadas as empresas envolvidas. Para a caracterização microestrutural, das distintas condições, foram selecionadas 3 regiões: (i) metal base distante da ZTA e linha de solda vinculada a seção transversal associada a direção de laminação (DL) e (ii) dois conjuntos distintos contendo a linha de solda e suas respectivas posições a direita e a esquerda da linha de solda (contendo o par ZTA e metal base). Na Figura 1 são representadas as regiões onde foram coletadas as amostras para as análises de microscopia óptica e dureza, nas distintas condições de estudo. Na Figura 1, “1” indica a amostra retirada em uma posição distante da linha de solda, “2” indica o conjunto linha de solda e lado direito com ZTA e metal base – DT (Direção Transversal), e “3” indica o conjunto linha de solda e lado esquerdo com ZTA e metal base – DT.



**Figura 1.** Esquema ilustrativo referente ao posicionamento de retirada das amostras nas distintas condições de estudo.

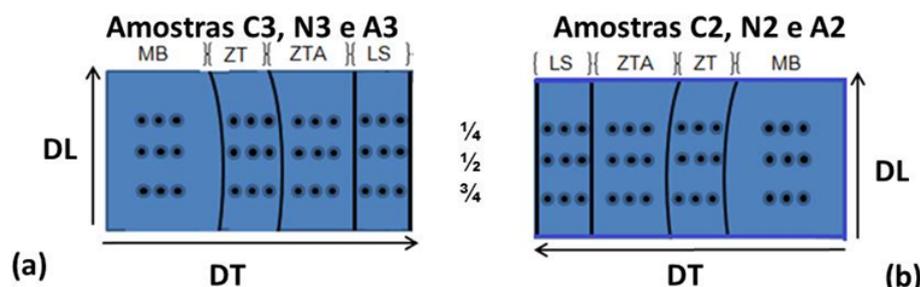
Desta forma as amostras neste estudo foram nomeadas da seguinte forma:

(i) A primeira letra indica a condição prévia da amostra, podendo ser “C” para como recebida, ou seja, amostra do tubo que não sofreu tratamento térmico; e “A” para a amostra do tubo que foi submetida a sequência completa de tratamento térmico iniciada pela normalização (na região da solda), têmpera e um posterior tratamento térmico de revenido (estes dois últimos em todo o volume do tubo).

(ii) o segundo algarismo indica a posição da amostra, podendo ser: “1” para a amostra retirada em uma posição distante da ZTA, “2” para a amostra retirada da linha de solda e lado direito com ZTA e metal base – DT, e 3 para a amostra retirada da linha de solda e lado esquerdo com ZTA e metal base – DT.

Para a análise via microscopia óptica (realizada em um microscópio óptico da marca Leica e com uma câmera digital e um programa de análise de imagens - *Image Pro-Plus*) as amostras foram embutidas a quente com uma resina fenólica e em seguida lixadas com lixas de carbetto de silício de 220 à 1200 mesh com um posterior

polimento em uma solução aquosa de alumina com granulometrias de 1,0; 0,5 e 0,3  $\mu\text{m}$ . Após as etapas anteriores as amostras tiveram a microestrutura revelada com uma solução de Nital 3% durante aproximadamente 10 segundos, em seguida, foram lavadas em água corrente e com álcool etílico, e secadas com um jato de ar quente. Todas as análises microestruturais foram realizadas a  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{1}{4}$  da espessura, porém apenas serão apresentadas para as condições pós-tratamento térmico, para base de comparação, as microestruturas obtidas a  $\frac{1}{4}$  da espessura. Todas as análises de dureza Vickers e microscopia óptica foram realizadas em regiões a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  da espessura da chapa que deu origem ao tubo. Para a análise de dureza Vickers (marca Spectru, modelo Carl Zeiss) foi utilizado uma carga de 30 gramas com um tempo de aplicação de carga de 20 segundos. Foram realizadas 3 medições de durezas nas amostras C2, A2, C3 e A3 em regiões correspondentes à junta de solda (metal base (MB), zona de transição (ZT), zona termicamente afetada (ZTA) e linha de solda (LS)). Na Figura 2 é apresentada uma ilustração de como foram realizadas as medições de dureza Vickers para as distintas amostras.



**Figura 2.** Esquema de como foram realizadas as medições de dureza ( $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  da espessura) Vickers nas distintas amostras em estudo. (a) amostras da linha de solda e região a direita e (b) amostras da linha de solda e região a esquerda.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

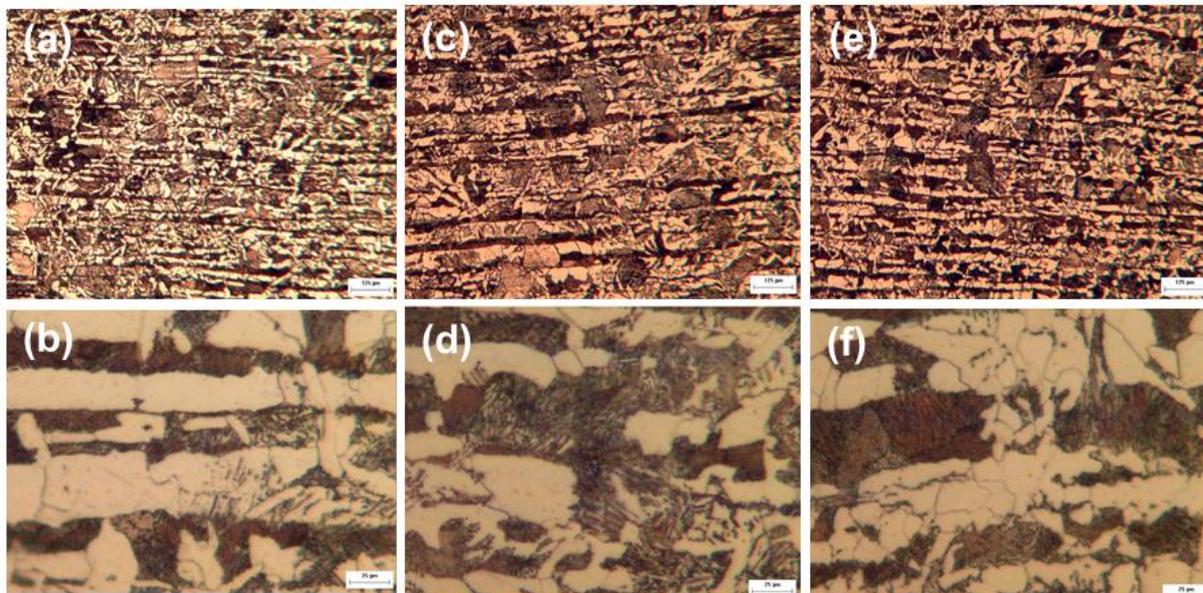
O aço em estudo apresenta inclusões do tipo óxido globular, serie fina e grossa, de intensidade 1, com a ressalva que a  $\frac{1}{4}$  da espessura predomina-se a serie fina.

A Figura 3 apresenta o detalhamento microestrutural da amostra C1, ou seja, amostra como recebida extraída distante da linha de solda, com um aumento de (a,c,e) 200x e (b,d,f) 1000x, que se refere ao metal base em regiões a (a,b)  $\frac{1}{4}$  da espessura, (c,d)  $\frac{1}{2}$  espessura e (e,f)  $\frac{3}{4}$  da espessura do metal.

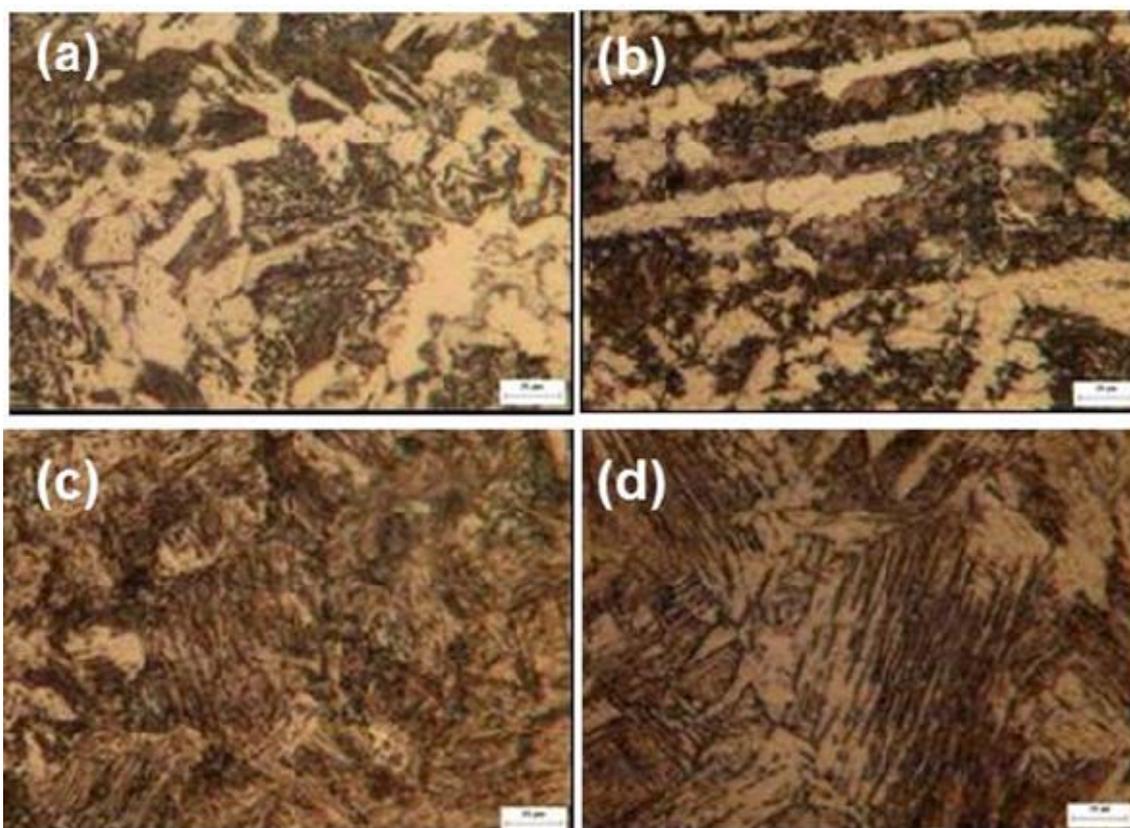
De acordo com a Figura 3 pode-se verificar que o material apresenta uma microestrutura perlítica-ferrítica e um alinhamento típico de aços laminados a quente. Após o ataque torna-se evidente uma leve segregação de soluto (inclusões de sulfetos com ataque de Nital 3%) somente na região a  $\frac{1}{2}$  espessura (Figura 3c,d), característica do processo de solidificação da placa que deu origem a chapa laminada a quente do aço em estudo.

Devido a presença de segregação em regiões a  $\frac{1}{2}$  da espessura como apresentado na Figura 3, e também como as microestruturas das amostras em estudo, não apresentaram mudanças significativas quando analisadas em regiões a  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{3}{4}$  da espessura, serão apenas apresentadas a análise microestrutural obtida a  $\frac{1}{4}$  da espessura para amostras pós-tratamentos térmicos. As Figuras 4 e 5 apresentam os aspectos microestruturais das amostras C2 e C3 (condição como recebida) observadas com um aumento de 1000x. Tais amostras foram observadas em

regiões do metal base (a), zona de transição (b), zona termicamente afetada (c) e linha de solda (d).



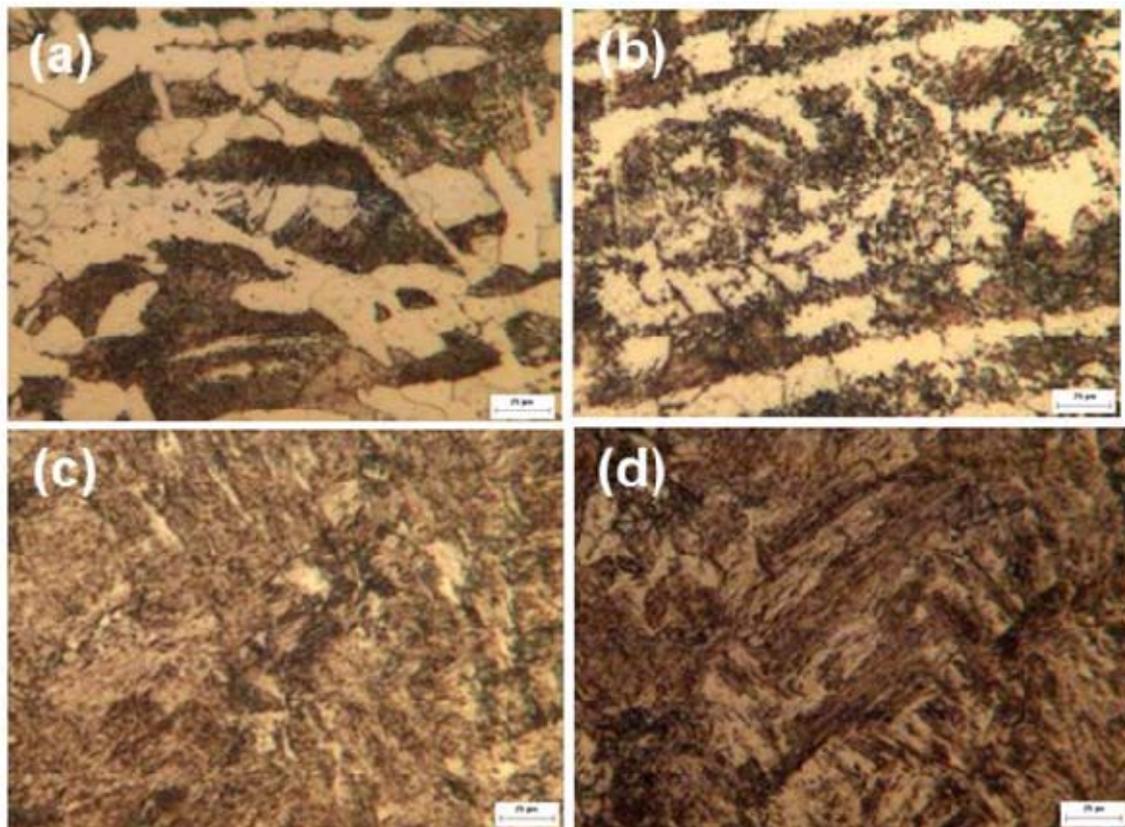
**Figura 3.** Microestrutura da amostra 1C: (a-b)  $\frac{1}{4}$  da espessura, (c-d)  $\frac{1}{2}$  espessura e (e-f)  $\frac{3}{4}$  da espessura. Aumentos de (a,c,e) 200x e (b,d,f) 1000x. Microscopia óptica, Nital 3%.



**Figura 4.** Microestrutura da amostra 2C, região a  $\frac{1}{4}$  da espessura, visualizada no (a) metal base (b) na zona de transição; (c) na zona termicamente afetada; e (d) linha de solda. Microscopia óptica, Nital 3%, aumento de 1000x.

Avaliando as micrografias apresentadas nas Figuras 4 e 5 referente as amostras 2C (conjunto - linha de solda e lado direito com ZTA e Metal Base - DT) e 3C (conjunto -

linha de solda e lado esquerdo com ZTA e Metal Base - DT), verifica-se que: (i) o metal base apresenta uma microestrutura perlítica-ferrítica alinhada e refinada (Figuras 4a e 5a); (ii) em ambas as amostras a região de transição do material apresenta uma estrutura perlítica-ferrítica alinhada, porém com uma perlita degenerada devido ao grande aumento de temperatura que esta região sofre decorrente do processo de soldagem (Figura 4b e Figura 5b); e (iii) em ambas as amostras na zona termicamente afetada há a ocorrência de formação de ferrita acicular com presença de alguns carbonetos (Figura 4c e Figura 5c) e (iv) em ambas as amostras na região de linha de solda verifica-se nitidamente a formação de ferrita acicular circundada por carbonetos e a evidências de alguns agrupamento de grãos de ferrita isolados com aspecto tendo a acicular (região mais clara – Figura 4d e Figura 5d).

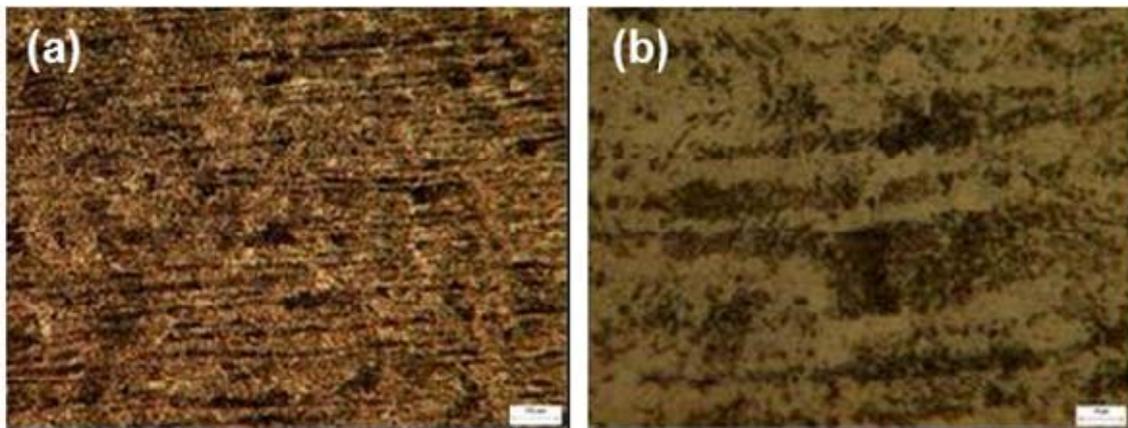


**Figura 5.** Microestrutura da amostra 3C, região a  $\frac{1}{4}$  da espessura, visualizada no (a) metal base (b) na zona de transição; (c) na zona termicamente afetada; e (d) linha de solda. Microscopia óptica, Nital 3%, aumento de 1000x.

Dessa maneira pode-se dizer que ambos os lados da linha de solda lado esquerdo (Figura 4) e direito (Figura 5), tiveram o mesmo aspecto microestrutural, e desta forma, pode-se afirmar que o material apresentou uma homogeneidade com relação as microestruturas formadas após a etapa do processo de soldagem sem tratamento térmico.

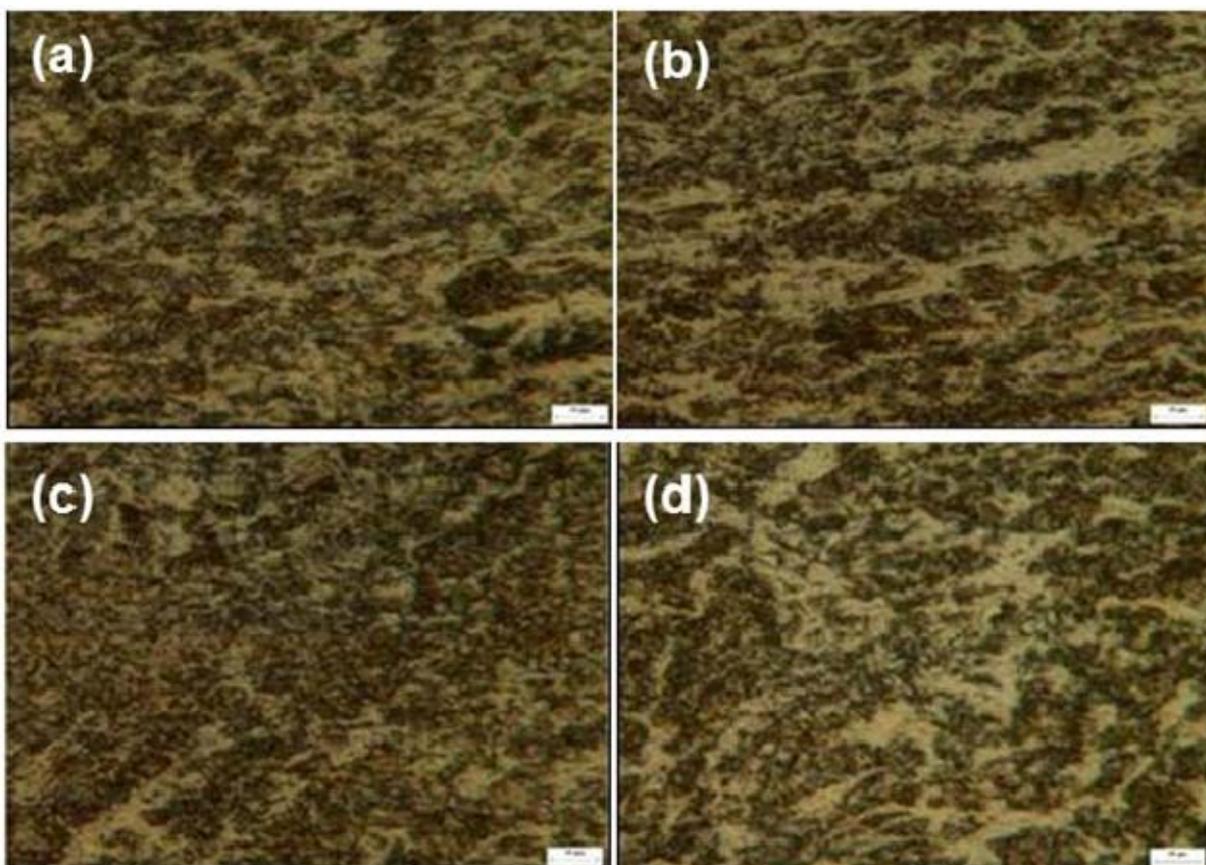
Na Figura 6 é apresentada a microestrutura da amostra 1A, ou seja, amostra retirada de uma região do metal base distante da linha de solda e ZTA condição pós-soldagem com a sequência completa de tratamento térmico (normalização na região de soldagem, e posterior têmpera seguido de revenido em todo volume do tubo), visualizada com aumento de 200x (Figura 6a) e 1000x (Figura 6b). Enquanto que nas Figuras 7 e 8 são apresentados os aspectos microestruturais das amostras A2 e

A3 observadas com um aumento de 1000x. Tais amostras foram observadas em regiões do metal base (a), zona de transição (b), zona termicamente afetada (c) e linha de solda (d).

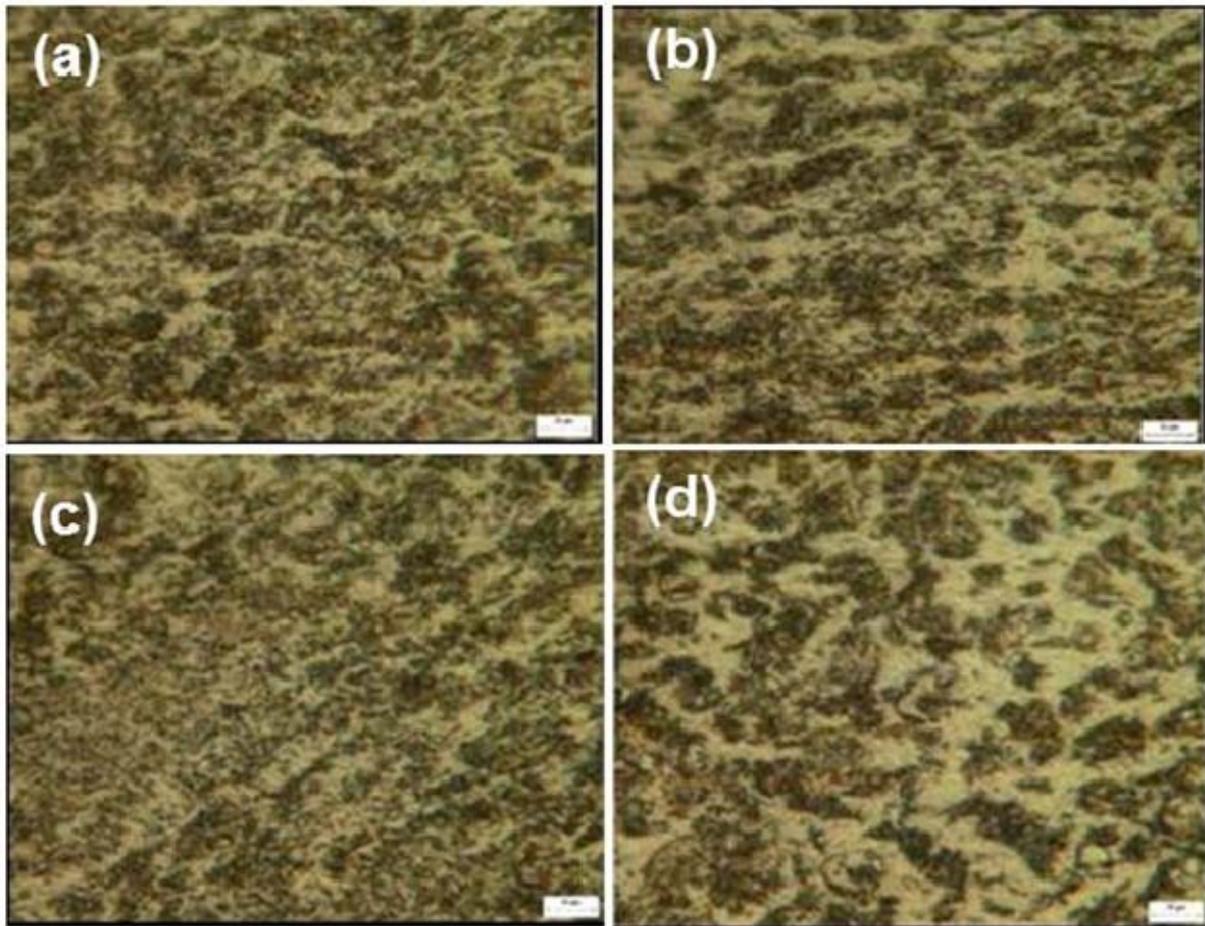


**Figura 6.** Microestrutura da amostra 1A, região a  $\frac{1}{4}$  da espessura, visualizada com aumento de (a) 200x e (b) 1000x. Microscopia ótica, Nital 3%.

De acordo com a Figura 6, pode-se observar que a amostra 1A apresenta uma microestrutura perlítica-ferrítica extremamente refinada, no qual tal refinamento é maior nesta amostra do que nas amostras 1C (Figura 3). De acordo com as amostras 2A e 3A (Figuras 7 e 8), além de terem apresentado uma estrutura perlítica-ferrítica refinada há um início de esferoidização da perlita.



**Figura 7.** Microestrutura da amostra A2, região a  $\frac{1}{4}$  da espessura, visualizada no (a) metal base (b) na zona de transição; (c) na zona termicamente afetada; e (d) linha de solda. Microscopia ótica, Nital 3%, aumento de 1000x.



**Figura 8.** Microestrutura da amostra A3, região a  $\frac{1}{4}$  da espessura, visualizada no (a) metal base (b) na zona de transição; (c) na zona termicamente afetada; e (d) linha de solda. Microscopia óptica, Nital 3%, aumento de 1000x.

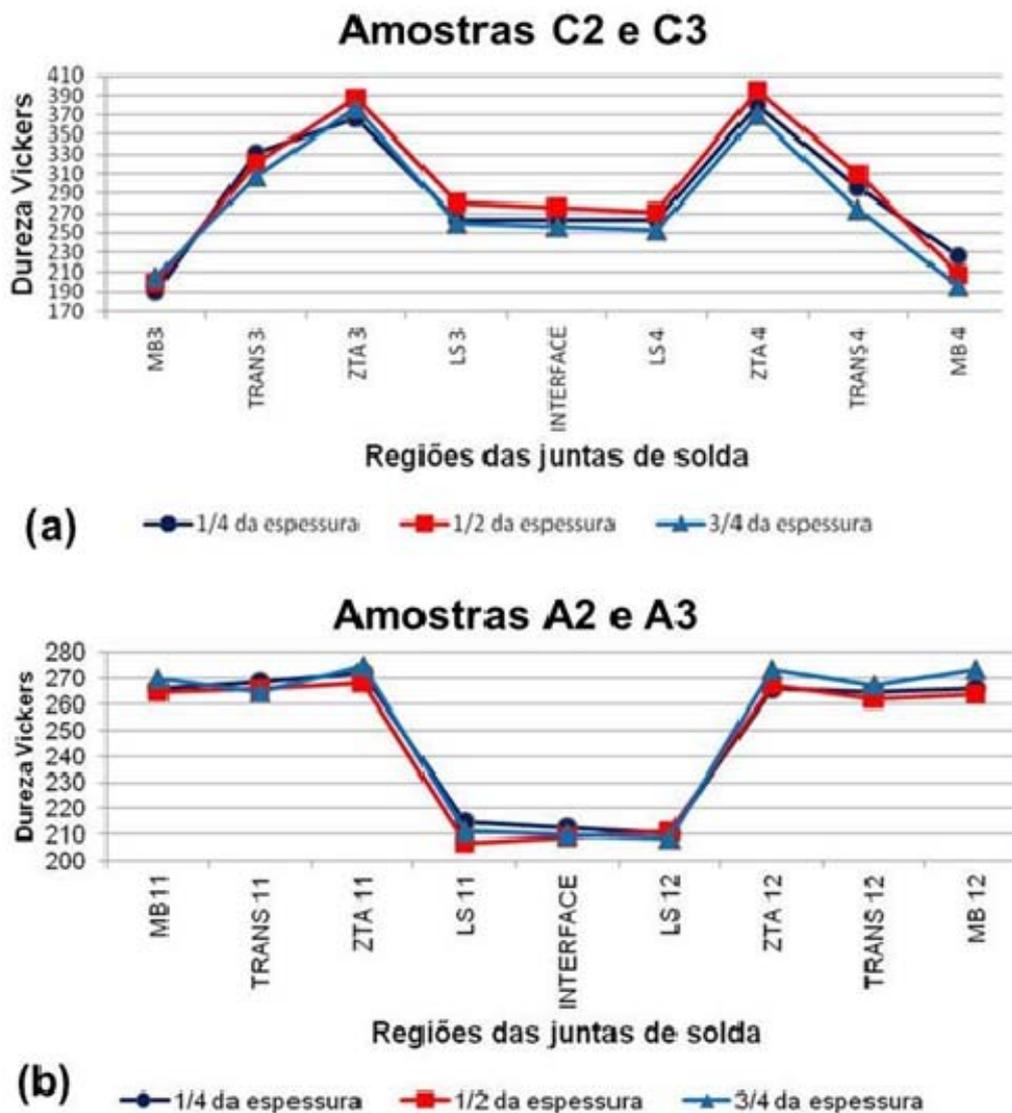
A Figura 9 contém os gráficos que apresentam o perfil da dureza Vickers referente às condições de processamento pelas quais o tubo de aço foi submetido, em regiões a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  da espessura.

De acordo com o perfil de dureza apresentado na Figura 9, apesar de existir uma segregação de soluto em regiões a  $\frac{1}{2}$  espessura, como apresentado na Figura 3(c,d), não existe uma diferença significativa em termos de dureza entre as 3 regiões –  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  da espessura.

As amostras referentes à linha de soldagem, sendo elas: amostra 2C (linha de solda – lado direito) e amostra 3C (linha de solda – lado esquerdo) apresentam uma nítida homogeneidade quanto a dureza do material com relação às regiões da junta soldada (Figura 9a), contudo superiores aos valores do metal base e inferiores a da ZTA e Zona de Transição (ZT). As micrografias apresentadas na Figura 4 e Figura 5, ajudam a entender melhor o porquê da diferença de dureza para cada região da junta soldada, haja vista a morfologia e fases presentes nestas regiões.

Para as amostras 2A e 3A, pode-se observar um mesmo perfil de dureza independente do lado analisado (direito ou esquerdo – Figura 9b), ou seja, maiores valores de dureza em regiões do metal base, zona de transição e ZTA, e menores valores de dureza nas regiões da linha de solda e interface. Para este mesmo conjunto de amostras é válido comentar que na região da linha de solda, as amostras apresentaram uma maior formação de ferrita acicular o que confere ao material uma redução na dureza nesta região (Figura 9), porém os valores

apresentam-se superiores aqueles referentes a metal base da condição como recebida (Figura 9a – regiões MB). Tal fato pode ser comprovado pelas micrografias apresentadas nas Figuras 6 e 7.



**Figura 9.** Perfil de dureza Vickers para as amostras em estudo. (a) amostras na condição como recebida (C2 e C3) e (b) amostras após sequência completa de tratamento térmico.

#### 4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que:

- o metal base sem tratamento térmico apresenta com um leve alinhamento da microestrutura ferrítica-perlítica e uma segregação central;
- as componentes térmicas e mecânicas do processo de soldagem em estudo foram capazes de promover uma modificação das fases presentes (de estrutura acicular e perlita degenerada) associada uma homogeneização microestrutural das fases presentes, porém manteve-se a segregação central;
- regiões com agrupamentos de grãos ferríticos foram formadas junto a linha de solda tanto nas amostras somente soldadas, como também na condição com a

sequência completa de tratamento térmico, o que promoveu uma menor dureza nesta região comparada a ZTA e Zona de Transição;

- os tratamentos térmicos adotados foram capazes de homogeneizar a dureza nas regiões do metal base, ZTA e Zona de Transição, porém a dureza manteve-se inferior na linha de solda, no entanto com valores superiores da condição do metal base antes de qualquer tratamento térmico;

- a sequência completa de tratamento térmico adotada (normalização prévia na região de soldagem, e posterior têmpera e revenimento no volume total do tubo) contribuiu para promover o início da esferoidização desta microestrutura no material como um todo (exceto na linha de solda).

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a EEIMVR/UFF pela infraestrutura laboratorial para as análises apresentadas, e a CAPES pela bolsa de doutorado do aluno S.B. Diniz.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 FREITAS, JJ. Validação de uma metodologia de ensaio de resistência ao cisalhamento para avaliação da aderência de interfaces revestimento metálicobainha de cimento aplicada a poços de petróleo. Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, RN, Brasil, 2007.
- 2 SILVA, RC. Caracterização de um aço microligado ao boro e tratado termicamente utilizado na fabricação de tubos. Dissertação de Mestrado, UNESP, Guaratinguetá, SP, Brasil, 2009.
- 3 TENARIS CONFAB – Tratamento Térmico. Acesso em: 25 fev. 2013. Disponível em: [http://www.tenaris.com/TenarisConfab/pt/prodser/octg\\_termico.aspx](http://www.tenaris.com/TenarisConfab/pt/prodser/octg_termico.aspx)
- 4 Rosário RS, Estudo da Evolução Microestrutural de Aço Carbono com Manganês para Produção de Tubos Com Costura Através do Processo de Soldagem ERW/HFIW, Trabalho de Conclusão de Curso, EEIMVR/UFF, Volta Redonda/RJ - Brasil, 2014.