

# AVALIAÇÃO COMPORTAMENTAL DE AÇOS API 5L-X52 E API 5L-X70, SOLDADOS PELO PROCESSO COM ELETRODO REVESTIDO, UTILIZADOS EM TUBULAÇÕES<sup>1</sup>

Sidney da Silva Guimarães<sup>2</sup>  
 Luiz Cláudio Cândido<sup>3</sup>

## Resumo

Os aços utilizados na fabricação de tubos vêm sendo continuamente desenvolvidos com o objetivo de se elevar a resistência mecânica dos mesmos, mantendo-se adequada tenacidade e boa soldabilidade. Com isso, é possível empregar aços com menores espessuras, o que reduz o peso por comprimento de tubo, além de permitir o aumento da pressão de trabalho admissível para tubos de mesma espessura. Este trabalho avaliou as características comportamentais de tubos de aços API 5L, graus X52 e X70, soldados pelo processo ao arco elétrico com eletrodo revestido. Após corte das tubulações, na seção transversal, foram soldadas amostras com chanfro em V (60°), empregando-se eletrodo AWS E6010 para passe de raiz e eletrodo AWS E7018 para passes de enchimento e acabamento. As juntas soldadas foram caracterizadas química, mecânica e metalograficamente. Os ensaios de tração e de dobramento indicaram baixo desempenho das soldas em função da má qualidade dos eletrodos, provavelmente pelo inadequado sistema de armazenamento. Foram realizados ensaios dureza/microdureza na região soldada. Os corpos de prova ensaiados foram analisados macro e, empregando-se microscopia eletrônica de varredura, microfratograficamente.

**Palavras-chave:** Aço API 5L-X52; Aço X70; Soldagem; Comportamento mecânico.

## BEHAVIORAL ASSESSMENT OF STEEL AND API5L-X52 API5L-X70, SOLDIERS BY THE PROCEEDING WITHS TICK, USED INPIPES

### Abstract

Steels used in the manufacture of pipes are being continually developed with the objective of raising the strength of the same, keeping adequate toughness and good weldability. This makes it possible to employ steel with smaller thickness, which reduces the weight per length of pipe and also allows increased allowable working pressure for tubes of equal thickness. This study evaluated the behavioral characteristics of steel pipes API 5L X52 and X70 grades, welded by the electric arc process with coated electrodes. After cutting of pipes in cross section, were welded with V-groove samples (60°), using AWS E6010 electrode for root pass and electrode AWS E7018 for filling and finishing passes. The welded joints were characterized chemical, mechanical and metallographically. The tensile and bending indicated poor performance of welds due to the poor quality of the electrodes, probably due to inappropriate storage system. Assays were performed hardness / microhardness in the weld region. The specimens were tested and analyzed macro, using scanning electron microscopy, microfractografically.

**Keywords:** API 5L-X52 steel; API 5L-X70 steel; Welding; Mechanical behavior.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro metalurgista. Mestrando. Redemat/UFOP. Ouro Preto, MG, Brasil. sidneysgjoie@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Engenheiro metalurgista. Membro da ABM; Prof. Associado IV do Dep. Eng. Metalúrgica e de Materiais/Escola de Minas/UFOP. Ouro Preto, MG, Brasil. candido@em.ufop.br

## 1 INTRODUÇÃO

Os aços do tipo API geralmente são utilizados em tubulações (minerodutos, gasodutos, etc.) por apresentarem alta resistência mecânica. Os aços de grau X52 foram confeccionados na década de 60, do século passado. Por apresentarem carbono equivalente relativamente alto apresentavam soldabilidade limitada.<sup>(1)</sup>

Entretanto, atualmente existe uma tendência de reduzir a quantidade de carbono nos aços, uma vez que essa redução tem um efeito benéfico nas propriedades da junta soldada, principalmente na ductilidade.<sup>(2)</sup> Assim, aços que apresentam limites de escoamento na faixa de X-70 a X-100, possuem teores de carbono menores que 0,1% (em massa).

Os aços de alta resistência mecânica eram produzidos até a década de 1970, do século passado, pelo processo de laminação a quente, seguida de uma normalização; no entanto gerava uma estrutura bandeada de ferrita (tamanho de grãos ASTM nº 7 ou 8 ) e perlita, em função do carbono equivalente alto, possibilitando segregação de carbono e manganês em determinadas regiões do material. Este processo foi modificado para operações de conformação termomecânica, permitindo a produção de aços X-70, com reduzidos teores de carbono e adições dos elementos de liga como nióbio e vanádio. A estrutura passou a apresentar maior uniformidade e com grãos mais refinados de ferrita. A partir da década de 80 esta tecnologia foi aperfeiçoada com a introdução do processo de resfriamento acelerado, juntamente com o conceito de laminação a quente. Foi então possível, produzir aços X80 com teores de carbono ainda mais reduzidos, melhorando assim sua soldabilidade. Neste caso a estrutura apresentava-se mais refinada, do tipo ferrítica-bainítica.

Para atingir níveis de resistência ainda maiores como 827 MPa (X120), é necessário produzir um aço utilizando uma composição química diferenciada e processos de laminação controlada onde os mecanismos de endurecimento por refino de grãos e precipitação são conseguidos aplicando-se processamento termomecânico, seguido por um resfriamento acelerado, tendo como principais produtos de transformação a bainita inferior e ripas de martensita.<sup>(3)</sup>

Este trabalho avaliou as características comportamentais de dois aços API com graus X52 e X70, utilizados em minerodutos, e soldados pelo processo a arco elétrico com eletrodo revestido.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de tubulações dos minerodutos I e II, de uma indústria mineradora, com aços API 5L X52 e API 5L X70, respectivamente, foram cortadas partes dos mesmos e, posteriormente, soldadas. A soldagem da tubulação dos minerodutos foi feita por meio de uma junta de topo com chanfro em V (Figura 1).

Uma sequência de passes controlada foi adotada para soldagem, onde o eletrodo AWS E6010 foi utilizado para realizar o passe de raiz e o eletrodo AWS E7018 para fazer os passes de enchimento e acabamento (Figura 2).

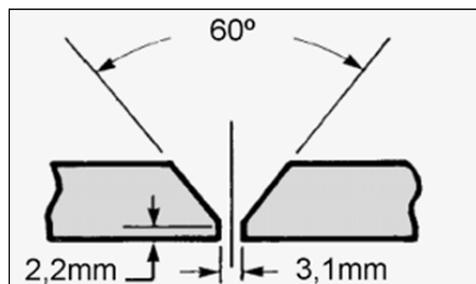
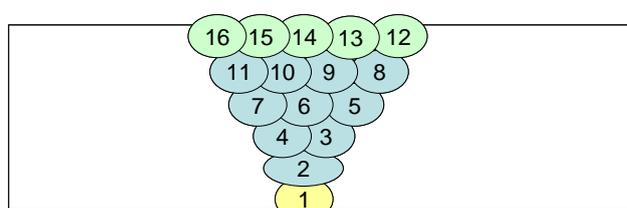


Figura 1 – Figura representando a junta soldada para execução do reparo embutido.



● Passe de raiz ● Passe de enchimento ● Passe de acabamento

Figura 2 – Representação esquemática da sequência de passes controlada na soldagem da junta de topo com chanfro em V.<sup>(4)</sup>

Normalmente, na soldagem em campo de minerodutos utiliza-se corrente em torno de 125A; daí a razão para escolha deste valor na especificação do procedimento de soldagem.

Uma companhia de mineração disponibilizou duas amostras de tubos empregadas nos minerodutos I e II correspondentes aos aços API 5L X52 e API 5L X70, respectivamente. Salienta-se que o aço API 5L X52 é empregado no início do mineroduto I, ligando-se o sistema de bombeamento ao mineroduto I que é de aço API 5L X60. A Figura 3 apresenta os tubos, após a operação de soldagem.

A composição química nominal e as propriedades mecânicas básicas do metal de base da tubulação estão nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1– Composição química nominal do aço API 5L X52 e X70 (% em massa)<sup>(5)</sup>

Aços API	C <sub>máx</sub>	Si <sub>máx</sub>	Mn <sub>máx</sub>	P <sub>máx</sub>	S <sub>máx</sub>	Ti <sub>máx</sub>	(V + Nb + Ti) <sub>máx</sub>
X52	0,16	0,26	1,40	0,025	0,015	0,04	0,15
X70	0,08	0,28	1,66	0,019	0,010	0,03	0,09

Tabela 2 – Propriedades mecânicas básicas dos aços API 5L X52 e X70<sup>(5)</sup>

Aços API	L <sub>R(mín.)</sub> (MPa)	L <sub>E(mín.)</sub> (MPa)	Alongamento (%)	EA (J)	L <sub>E</sub> / L <sub>R</sub>
X52	455	358	≥ 21	≥ 40	≤ 0,92
X70	565	482	≥ 22	≥ 45	≤ 0,93

Onde:

L<sub>R(mín.)</sub>– Limite de resistênciamínimo

L<sub>E(mín.)</sub>–Limite de escoamento mínimo

EA–Energia absorvida no ensaio de Impacto Charpya 0°C



(a)



(b)

**Figura 3**– Fotografias de amostras de tubos soldados (a) e (b) aços API 5L X70; (c) e (d) aços API 5L X52.

Os consumíveis utilizados foram os eletrodos AWS E6010 (celulósico) e E7018(básico), ambos com o diâmetro de 3,25mm. A composição química nominal dos consumíveis e a especificação do procedimento de soldagem estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

**Tabela 3**– Composição química nominal dos consumíveis (% em massa)<sup>(6)</sup>

<b>Eletrodo AWS</b>	<b>C<sub>máx</sub></b>	<b>Si<sub>máx</sub></b>	<b>Mn<sub>máx</sub></b>
E6010	0,09	0,10	0,30
E7018	0,07	0,50	1,30

**Tabela 4**– Especificação do procedimento de soldagem empregado

<b>Materiais</b>	API 5L: X52 e X70
<b>Espessura das chapas</b>	21mm (X52) e 9mm (X70)
<b>Processo de soldagem</b>	Eletrodo revestido (SMAW)
<b>Posição</b>	Plana
<b>Temperatura entre passes</b>	Não aplicável
<b>Método de limpeza após os passes</b>	Martelamento (picadeira) e escovamento
<b>Pré-aquecimento</b>	Não aplicável
<b>Tratamento térmico após a soldagem</b>	Não aplicável

<b>Consumíveis</b>						
<b>Passe</b>	<b>Eletrodo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Corrente CC<sup>+</sup> (A)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Velocidade (mm/s)</b>
Raiz	E6010	Celulósico	3,25	125	25	1,50
Enchimento	E7018	Básico	3,25	125	25	1,50
Acabamento	E7018	Básico	3,25	125	25	1,50

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os materiais foram caracterizados com auxílio de análises químicas e metalográficas, e ensaiados mecanicamente (tração, dobramento, dureza e microdureza).

A composição química dos aços estudados está apresentada nas Tabelas 5 e 6. Comparando-se estes resultados com as especificações existentes para dutos, verifica-se que os aços em questão atendem a Norma API.

**Tabela 5**- Composição química do aço API X52 analisado (% em massa)

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Cu</b>
0,192	0,159	0,008	0,016	1,361	0,008	0,010	0,001	0,061	0,027

<b>W</b>	<b>Ti</b>	<b>Sn</b>	<b>Co</b>	<b>Al</b>	<b>Nb</b>	<b>Fe%</b>
0,002	0,001	0,001	0,003	0,022	0,001	98,130

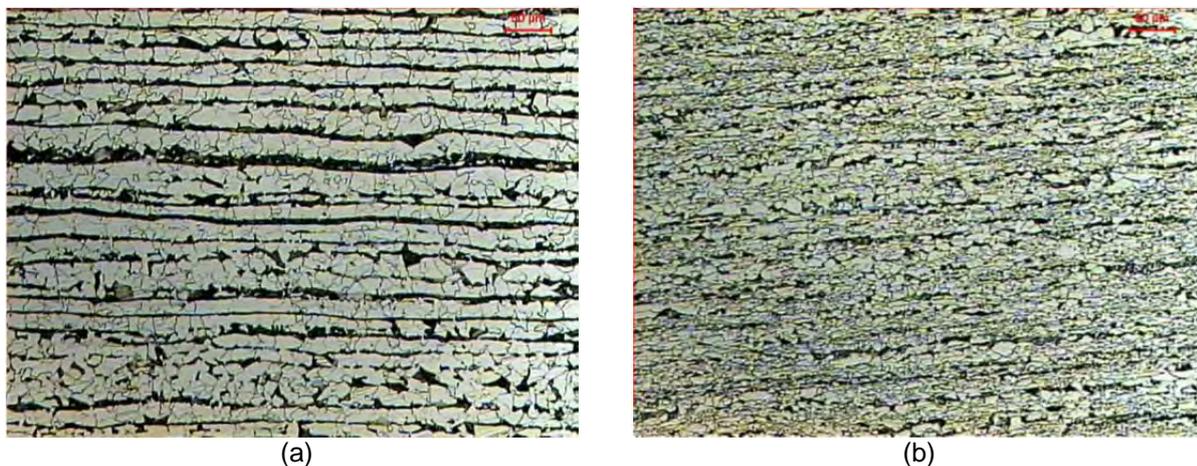
**Tabela 6** - Composição química do aço API X70 utilizado (% em massa)

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Cu</b>
0,087	0,213	0,002	0,018	1,461	0,014	0,253	---	0,039	0,008

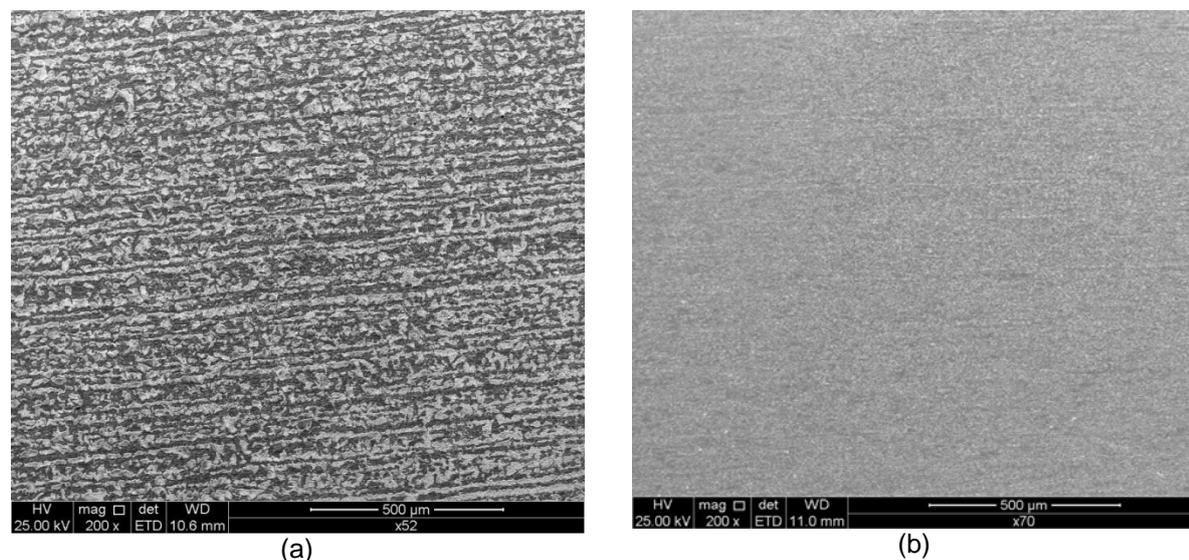
<b>W</b>	<b>Ti</b>	<b>Sn</b>	<b>Co</b>	<b>Al</b>	<b>Nb</b>	<b>Fe%</b>
0,003	0,015	0,001	0,003	0,020	0,034	97,830

As Figuras 4(a,b) e 5(a,b) mostram as microestruturas, obtidas por microscopia ótica e eletrônica de varredura, dos aços API 5L X52 e X70, respectivamente, na seção

longitudinal. Elas são constituídas de ferrita (clara) e perlita (escura). Nota-se na Figura 4(b) que a microestrutura do aço X70 apresenta grãos mais refinados. Destaca-se, também, o bandeamento bastante pronunciado, principalmente, para o aço X52, em decorrência do maior teor de carbono equivalente e do processo de laminação a quente.

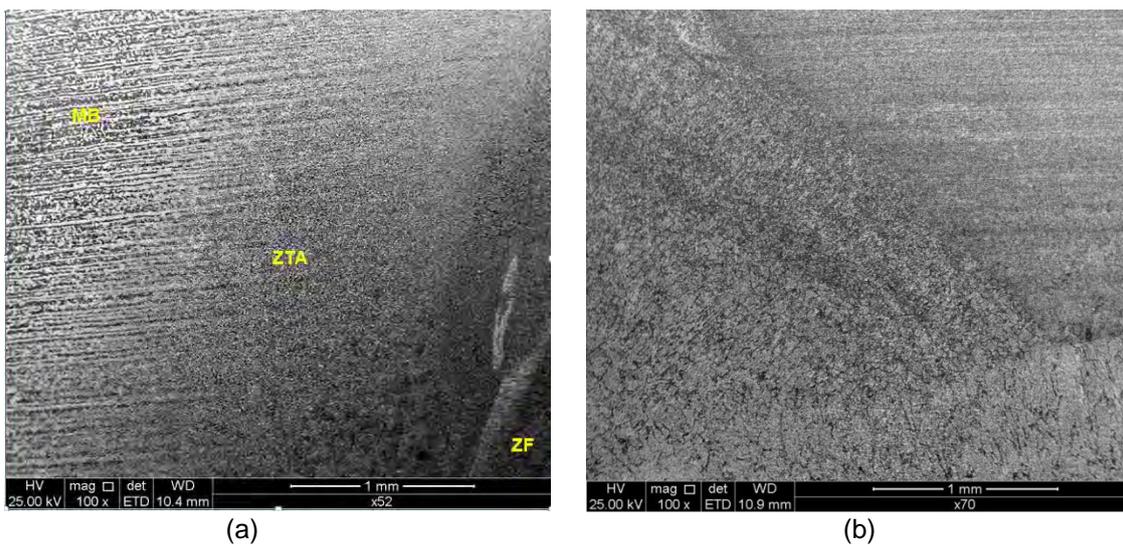


**Figura 4** – Microestruturas dos aços API na seção longitudinal; (a) X52 e (b) X70; 200X; Nital 2%. MO.

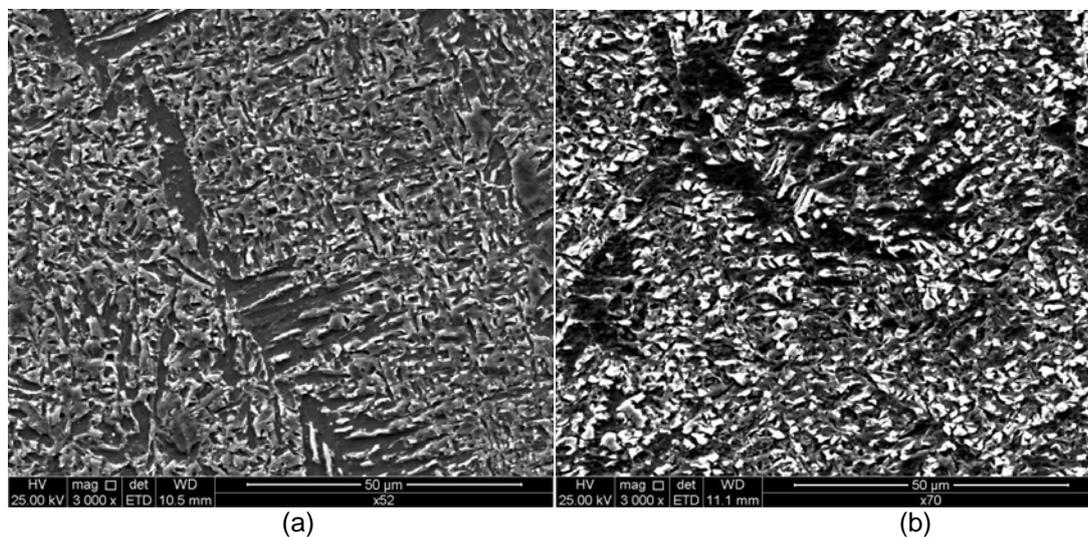


**Figura 5**– Microestruturas dos aços API na seção longitudinal; (a) X52 e (b) X70; 200X; Nital 2%. MEV.

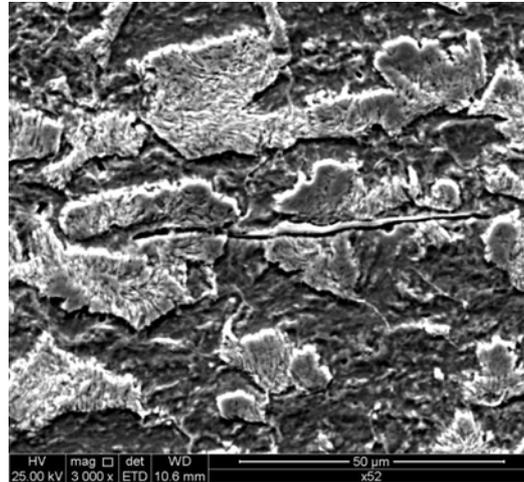
As Figuras 6(a,b) e 7(a,b) ilustram as microestruturas dos aços X52 e X70, na região das soldas, obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Destaca-se a maior heterogeneidade na ZF do aço X52, com presença de ferrita alotriomórfica (primária de contorno de grão). Figura 7a) Verifica-se, também, ferrita acicular (Figura 7a,b). Com aumentos maiores provavelmente seria possível observar o constituinte M-A (martensita-austenita residual), após ataque especial (Nital 5% seguido de leve polimento e novamente atacado com Picral 5%). A parte escura é a ferrita que é atacada mais intensamente. Trindade,<sup>(7)</sup> trabalhou com aço ASTM A36 e Campos,<sup>(8)</sup> com aço API X80, ambos soldados, também observaram esta microestrutura. A Figura 8 ilustra uma inclusão no metal base.



**Figura 6**– Microestruturas dos aços API na seção longitudinal; (a) X52 e (b) X70; 100X; MB – metal base; ZTA – zona termicamente ativada; ZF – zona fundida; Nital 2%; MEV.

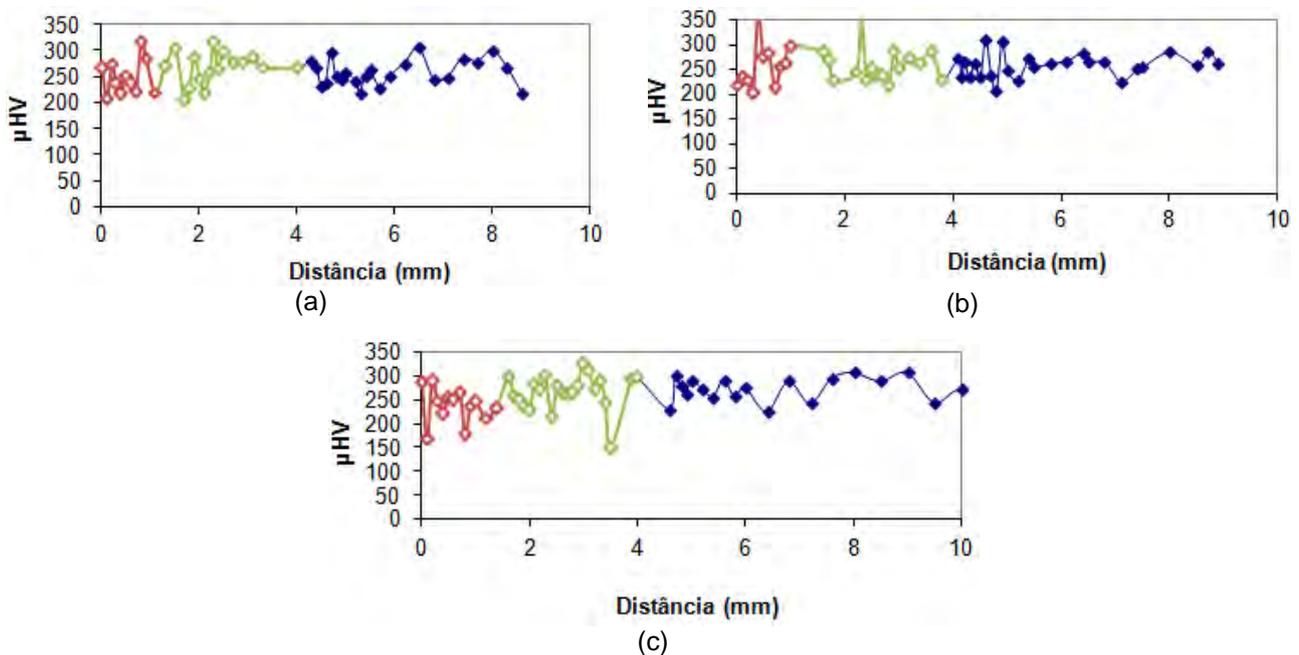


**Figura 7** – Microestruturas dos aços soldados API: X52 (a) e X70 (b); zona fundida (ZF); Nital 5%/Picrato 5%; 3.000X; MEV.

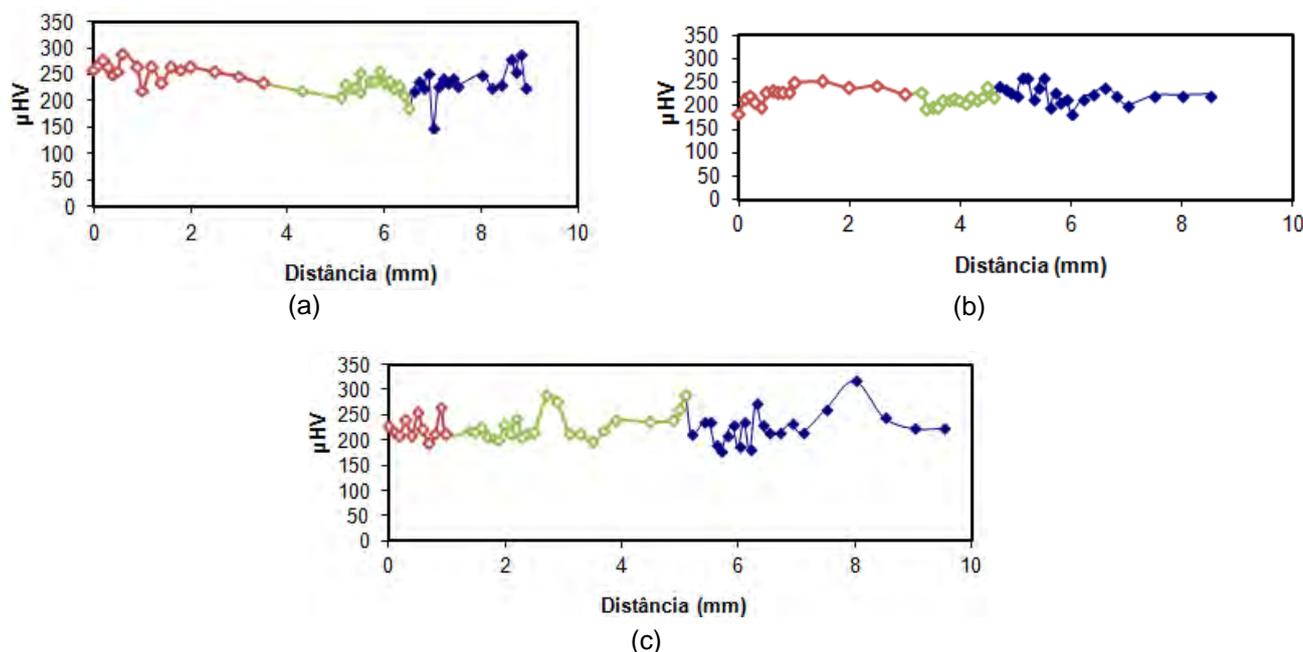


**Figura 8** – Microestrutura do aço API X52 no metal base; presença de inclusão alongada; Nital 5%/Picrato 5%; 3.000X; MEV.

As Figuras 9(a-c) apresentam perfis de microdureza Vickers *versus* distância do metal base até a zona fundida dos aços X52 e X70, respectivamente.



**Figura 9** – Perfis de microdureza Vickers (10g) na região soldada do aço API X52; passes: (a) raiz; (b) enchimento; (c) acabamento; MB (vermelho); ZTA (verde); ZF (azul).



**Figura 10** – Perfis de microdureza Vickers (10g) na região soldada do aço API X70; passes: (a) raiz; (b) enchimento; (c) acabamento; MB (vermelho); ZTA (verde); ZF (azul).

Nota-se nas Figuras 9 e 10 que os valores de microdureza Vickers, de modo geral, estão maiores no aço API X52 em relação ao aço API X70, e que a região de acabamento do cordão de solda apresenta dureza superior às demais regiões em função do maior grau de resfriamento que o material é exposto, apesar da camada de escória formada durante o processo de soldagem.

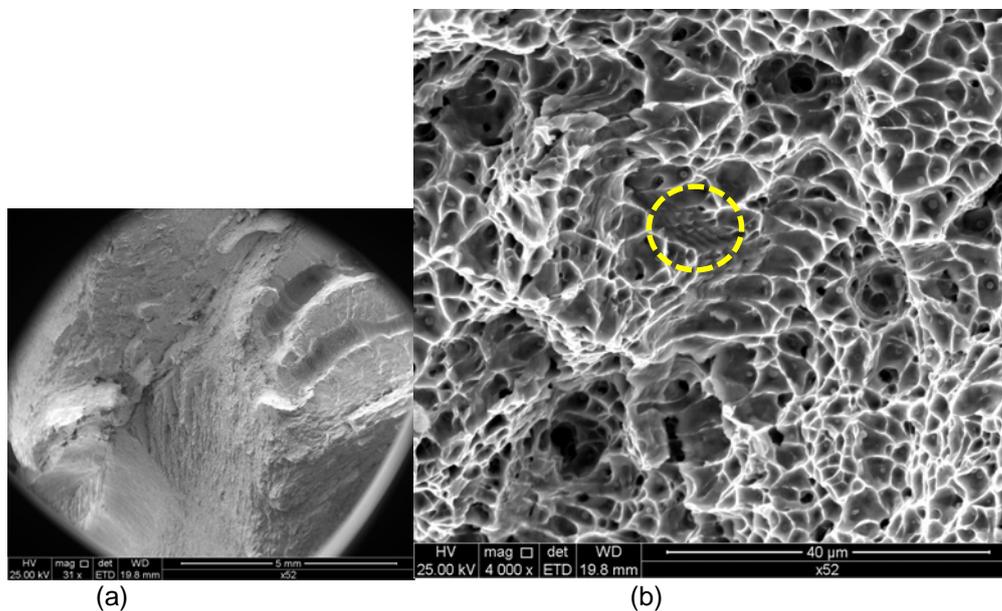
Foram realizados ensaios de tração de juntas soldadas do aço API X52. A Tabela 7 apresenta os valores médios obtidos para três corpos de prova (CPs) ensaiados. Os valores de resistência mecânica encontram-se na faixa prevista para o metal base deste tipo de aço. No entanto, todos os CPs fraturam-se na zona fundida, indicando que a solda não foi de boa qualidade, provavelmente em função do inadequado armazenamento dos eletrodos, principalmente, o básico que é higroscópico. A Figura 11(a,b) ilustra uma fratura macroscopicamente após ensaio de tração. Destaca-se na Figura 11(b) a presença de descontinuidades ("defeitos") na superfície de fratura e inclusões. A análise microfratográfica por MEV pode ser vista na Figura 12(a,b), que ilustra o aspecto dúctil da fratura com presença de *dimples*.

**Tabela 7-** Propriedades mecânicas em tração dos aços API X52 e X70 soldados

Aço API	$L_{E(0,2\%)} (MPa)$	$L_R (MPa)$	Alongamento (%)
X52	451	592	16
X70	378	523	15



**Figura 11**– Macrofratografias da região da solda após ensaio de tração; aço “X52”; (a) superfícies de fratura; (b) destaque da fratura com presença de descontinuidades ("defeitos").



**Figura 12**– Microfratografias da região da solda após ensaio de tração; aço “X52”; (a) 31X; (b) 4.000X; destaca-se a presença de *dimples* e o provável constituinte martensita/austenita residual (círculo). ME

#### 4CONCLUSÕES

- Observou-se metalograficamente que o aço API X52 apresenta um marcante bandeamento em sua microestrutura em função da composição química e da laminação a quente;
- Análises por microscopia eletrônica de varredura indicaram presença do constituinte martensita-austenita (M-A) na zona fundida dos materiais soldados;
- Os valores de microdureza Vickers foram, de modo geral, maiores para o aço API X52, especialmente, na região de acabamento do cordão de solda;
- Os corpos de prova soldados sofreram fratura na zona fundida, sendo que o aço API X52 apresentou maior resistência mecânica por tração;
- A fratura do aço API X52 na região da zona fundida indicou presença de inclusões provenientes do procedimento de soldagem.
- O procedimento de soldagem utilizado foi inadequado, pelo uso de eletrodos em mau estado de conservação e o não emprego de pré e pós aquecimento.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Cia. Samarco Mineração S.A. pela doação de tubos dos Minerodutos I e II e, a Cia. Siderúrgica VSB Tubos do Brasil pela confecção dos corpos de prova, análises, ensaios e ao CNPq pela bolsa do mestrando e a FAPEMIG pela viabilidade na participação do evento.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 GRAY, J.M.; PONTREMOLI, M. Metallurgical options for API grade X70 and X80 linepipe. In: International Conference Pipe Technology, Rome-Italy, 1987.
- 2 BARNES, A. Local Brittle Zone in C-Mn Steel Multipass Welds, Welding Institute Bulletin, 1990.
- 3 CASTRO, R.M., Avaliação da soldagem de reparos embutidos no Mineroduto I da Samarco Mineração S.A., Programa de Pós-Graduação da REDEMAT, UFOP, 2011..
- 4 ESAB, Welding Pipeline Handbook. Haynes Techbook, 2003
- 5 API STANDARD 1104, Welding of Pipelines and Related Facilities, Nineteenth Edition, Washington 1999.
- 6 FORTES C. Soldagem de Tubulações. ESAB, 2004.
- 7 TRINDADE, V. B., Influência do tratamento térmico de normalização em metais de solda baixa liga de arco submerso, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2001
- 8 CAMPOS, T. O. Desenvolvimento do grau X80 Q para tubo de aço sem costura e caracterização de sua junta soldada obtida pelo processo de eletrodo revestido. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais/Escola de Minas/UFOP, 2012.