



## AVALIAÇÃO DO METAL P410D SUBMETIDO A SOLDAGEM

### Temístocles de Sousa Luz

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa  
Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150  
[tsluz@mecanica.ufu.br](mailto:tsluz@mecanica.ufu.br)

### Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção - Campus  
do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem. Fortaleza/CE. CEP: 60488-760 – Fone (85) 4008 9601  
[jpf@secrel.com.br](mailto:jpf@secrel.com.br)

### Valtair Antônio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa  
Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150  
[valtairf@mecanica.ufu.br](mailto:valtairf@mecanica.ufu.br)

**Resumo:** *O desenvolvimento de novas matérias acontece cada vez com mais frequência com o crescimento tecnológico atual. No entanto, para a sua inserção no mercado produtivo é necessário o desenvolvimento de estudos que garantam a sua viabilidade comercial. Para materiais metálicos, como os aços inoxidáveis, o estudo metalúrgico do mesmo é de suma importância. Dentre esses estudos destaca-se a soldabilidade desse material. Com esse intuito, procurou-se avaliar a soldabilidade do aço inoxidável ferrítico P410D, realizando um estudo de sua microestrutura pré e pós-soldado, bem como a avaliação da tenacidade na região atacada termicamente(ZAC) durante a soldagem.*

**Palavras-chave:** *Aço inoxidável ferrítico, soldagem, charpy-V*

## 1. INTRODUÇÃO

O aço inoxidável ferrítico possui, em tese, uma estrutura simples, formada basicamente por uma matriz de ferrita ( $\alpha$ ), isto é, uma solução sólida de cromo e outros elementos de liga em ferro. Em sua composição consta teor de cromo na ordem de 10,5% a 30%. À temperatura ambiente constitui-se basicamente de uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC). Em função de sua estrutura, essas ligas possuem muito pouco carbono dissolvido (Peckner, 1977). Os teores de cromo nessas ligas proporcionarão a característica de resistência à corrosão. As ligas de baixos teores de cromo, tais como as ligas 405 e 409, são utilizadas em situações que requerem baixa resistência à corrosão. (Lula, 1989)

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam uma baixa soldabilidade (comparados com os austeníticos), pois a sua solda é caracterizada por ductilidade e tenacidade baixas além de sensibilidade à corrosão intergranular. Trincas de solidificação também podem ocorrer na zona fundida. Estes problemas de soldabilidade têm limitado, até recentemente, a aplicabilidade destes aços em estruturas soldadas. De uma maneira geral, a fragilização da solda é mais intensa em aços com maiores teores de cromo e intersticiais e a sensibilidade à corrosão intergranular é maior com maiores teores de intersticiais e menores teores de cromo.

Em soldas com teores de cromo em 12% constatou-se baixos níveis de alongação e baixa resistência ao impacto. Em função disso, essas soldas são revenidas por longos períodos de tempos a temperaturas na faixa de 700 °C a 750°C. Com isso é possível se conseguir maiores valores de

elongação, no entanto a resistência ao impacto ainda permanece baixa em função dos teores de ferrita delta, que podem atingir valores na ordem de 20 a 30%. A principal razão desse fenômeno é a tendência que a ferrita delta tem de formar estruturas grosseiras pela recrystalização. É possível diminuir o problema da estrutura grosseira pela adição de titânio e molibdênio, através do efeito de nucleação que os mesmos possuem, o que poderia aumentar um pouco a resistência ao impacto. (Folkhard, 1985; AWS, 1998)

A estrutura ferrítica pode também proporcionar o crescimento de grão adjacente à zona fundida (ZAC). Este crescimento de grão é gerado pelos picos de temperatura atingidos nessas áreas. Essa região corresponde a porções do metal de base que são aquecidas acima de sua temperatura de crescimento de grão (em geral em torno de 1200 °C), tendo sua microestrutura caracterizada pelo seu elevado tamanho de grão austenítico e sua microestrutura final resultante da decomposição da austenita (Kou, 2003). Observando um diagrama de fases para um aço ferrítico (Figura 1), pode-se verificar que o mesmo é passível de regiões austeníticas na ordem de 1200 °C. Durante a soldagem, a região adjacente à soldagem atinge essas temperaturas e podem, durante o resfriamento, gerar não só uma estrutura grosseira (grãos crescidos), como também podem gerar outras estruturas frágeis, como é o caso da martensita e da bainita, muito embora tenha-se teores baixos de carbono. Observando o diagrama, mesmo para teores abaixo de 0,2% de carbono, a região  $\delta + \gamma$  ainda é presente para temperaturas abaixo de 1000 °C (Figura 1).

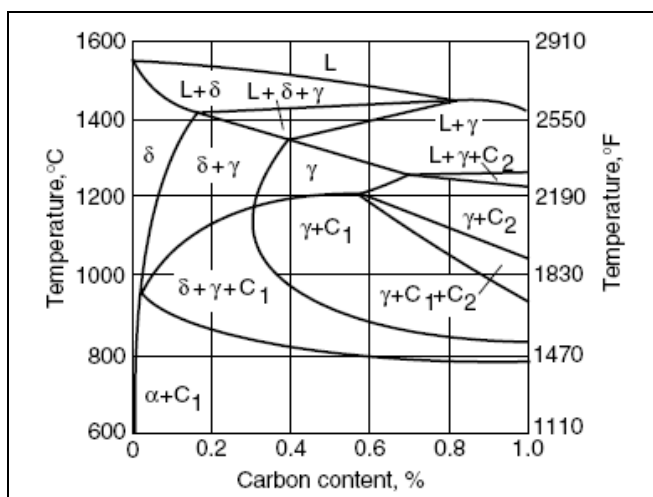


Figura 1 – Diagrama de equilíbrio para aço inoxidável ferrítico.

Recentemente desenvolveu-se uma classe de aços ferríticos com inserção de teores de níquel, os quais melhoram suas características mecânicas. A Tabela 1 mostra a composição para esse tipo de aço. Observa-se que os teores de Ni estão na ordem de 0,4% em massa. A Figura 2 retrata as características desse aço à tenacidade. Observando essa figura verifica-se que esse aço tem uma temperatura de transição na ordem de -20 °C, obtendo valores na ordem de 10kgm/cm<sup>2</sup>(10 daJ/cm<sup>2</sup>).

Tabela 1 – Composição química do aço Usinox F12N (Acelor, 2005)

Elementos	C	Si	Mn	Cr	Ni
%	0,02	0,5	0,6	11	0,4

Neste trabalho procurou-se avaliar a soldabilidade do aço inoxidável ferrítico P410D, realizando um estudo de sua microestrutura pré e pós-soldado, bem como a avaliação da tenacidade na região atacada termicamente(ZAC) durante a soldagem.

Para esse estudo foram utilizados dois materiais, um tratado termicamente em forno tipo BOX e outro tratado em forno contínuo (RB3). Os materiais caracterizam-se pela composição similar, mas estrutura diferenciada, em função do processo final de tratamento térmico utilizado.

No processo em forno BOX, o tratamento térmico do produto é passível de um maior controle, minimizando as heterogeneidades da estrutura no material, proporcionando uma estrutura

mais equiaxial, eliminando assim os indícios da laminação. Já no processo contínuo (RB3) esse controle já não é tão efetivo, podendo, em alguns casos, haver resquícios da laminação. Em função disso é possível se ter materiais de uma mesma fornada com características dissimilares.

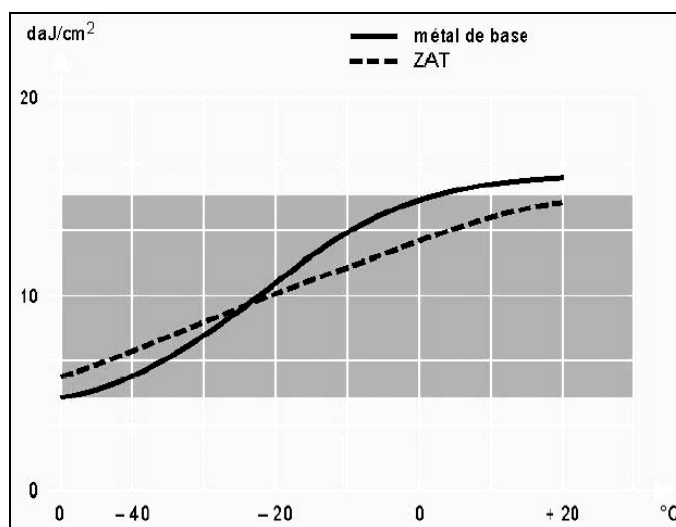


Figura 2 – Característica de tenacidade para o aço F12N (Acelor, 2005)

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 2 mostra a composição química do aço em estudo. Esta análise foi executada pela fabricante do aço. Pode-se verificar que ambos os aços apresentam similaridade em suas composições, principalmente com relação aos teores de cromo e níquel.

Tabela 2 - Composição química dos aços utilizados para análise (Dados do fabricante)

Elemento	Composição (%)	
	BOX	RB3
C	0,0137	0,0134
Co	0,0115	0,0201
Cr	10,908	11,004
Mn	0,5974	0,6149
N	0,0126	0,0144
Ni	0,383	0,367
O	0,0029	0,0024
P	0,0199	0,018
Si	0,4669	0,4507
Ti	0,0095	0,0136
V	0,0332	0,0405
W	0,0538	0,0542

Para a análise metalográfica, as amostras foram submetidas a um polimento seqüencial iniciando-se com lixas de granulação 220 até a granulação de 1200. Em seguida foram polidas com pastas de diamante, iniciando-se com granulação de 6 µm e terminando com 0,25 µm. As amostras foram submetidas seqüencialmente a um ataque químico pelo reagente Vilella's (1 g de ácido pícrico, 5 ml de ácido clorídrico e 100 ml de etanol). Foram realizadas diversas análises utilizando o microscópio ótico, tanto antes da soldagem como após a soldagem. Foi utilizado também o microscópio eletrônico de varredura para a complementação da avaliação.

Foram também confeccionados corpos de prova chapu-V conforme a norma ASTM E23-04. Confeccionou-se 5 corpos de prova para cada condição estudada. Assim avalio-se o material como recebido nas temperaturas de 0 °C, -10 °C e -20 °C. A região termicamente afetada (ZAC) também foi

avaliada nas temperaturas citadas. Para a ZAC foram avaliadas em duas energias de soldagem (1,6 kJ/mm e 2,8 kJ/mm) para os dois materiais em questão (BOX e RB3). Essas energias foram escolhidas em função dos modos de transferência metálica observadas para o arame tubular utilizado (Luz et al, 2004; Luz et al 2005).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análise metalográfica

O material, como recebido, foi submetido a uma análise metalográfica, utilizando o microscópio ótico com o acoplamento de um sistema digital capaz de capturar digitalmente as imagens da ocular. Tanto o sistema digital como ótico, foram calibrados preliminarmente, utilizando para tanto padrões fornecidos pelo fabricante do equipamento.

##### 3.1.1. Aço P410D tratado em forno tipo BOX

O aço como recebido apresenta um tamanho de grão ABNT na ordem de 10. O mesmo se caracteriza por grãos ferríticos. Os grãos apresentaram-se com um certo direcionamento, similar ao bandeamento resultante da laminação do mesmo. Em função da característica do processo de tratamento térmico pós-laminação, esse tipo de estrutura não era esperada. Pela Figuras 3 pode-se notar a presença dessas bandas de deformação.

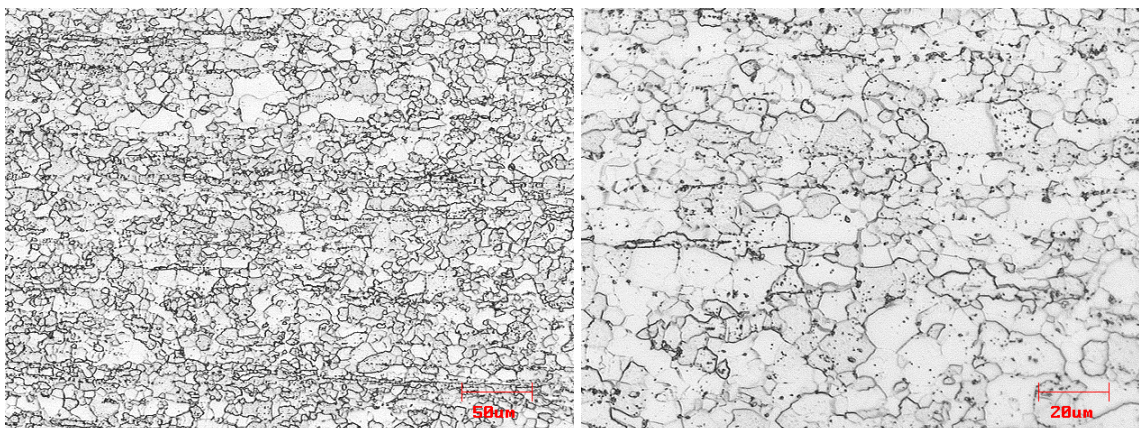


Figura 3 – Aço P410D tratado em forno tipo BOX como recebido.

O processo de tratamento térmico a que foi submetido esse material caracteriza-se pela obtenção de uma granulometria mais homogênea, garantindo assim uma qualidade otimizada do material. Teoricamente isso garantiria uma maior equiaxialidade dos grãos bem como seu maior refino, proporcionando assim uma melhoria em suas propriedades mecânicas como a resistência mecânica e tenacidade.

##### 3.1.2. Aço P410D tratado em forno tipo contínuo (RB3)

O mesmo fenômeno de bandeamento foi observado no aço como recebido com tratamento em forno contínuo. Para esse aço, no entanto, tais fenômenos são passíveis de ocorrer, em função do próprio processo, o qual possibilita, em função de sua não homogeneidade térmica, a ocorrência de tais fenômenos.

A Figura 4 retrata a microestrutura desse material tratado em forno contínuo. É nítida a presença do direcionamento dos grãos.

As amostras foram também submetidas a uma avaliação através da microscopia eletrônica. Utilizou-se para esta análise o microscópio eletrônico de varredura equipado com um sistema de



EDX, fornecendo ampliações de 20 a 300.000 vezes. Além do direcionamento dos grãos observados, verificou-se a presença de algumas precipitações no aço tratado em forno contínuo (Figuras 5). Essas precipitações basicamente acompanham os contornos de grãos.

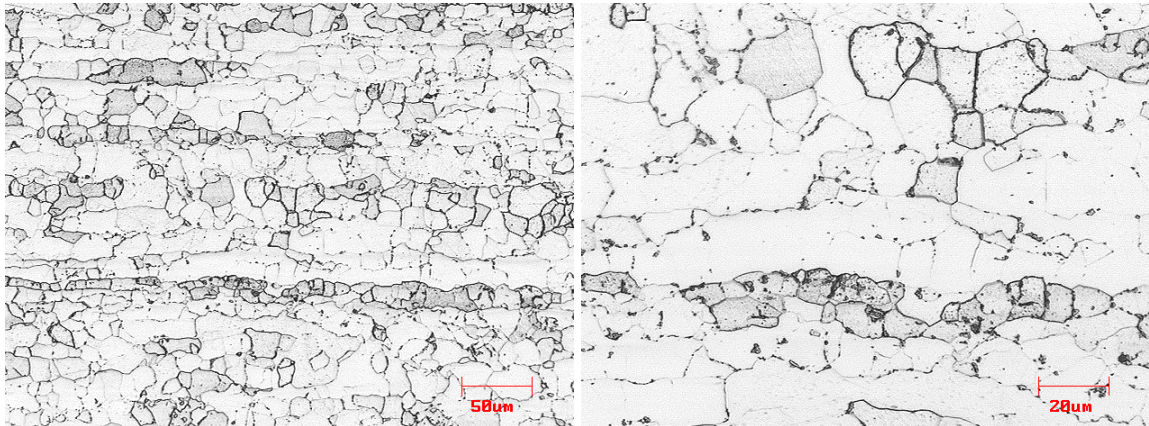


Figura 4 – Aço P410D tratado em forno tipo contínuo como recebido

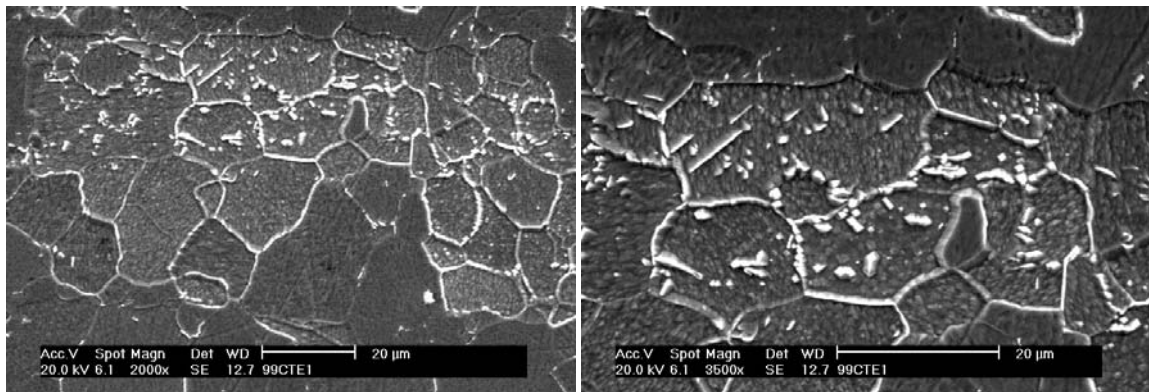


Figura 5 – Aço P410D tratado em forno tipo contínuo foto em MEV

### 3.2. Ensaio de Charpy

A Tabela 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios charpy tanto para o metal de base como para a região termicamente afetada (ZAC). Observando a Tabela 3 pode-se ver que não ocorreu grande variações nos valores adquiridos durante os ensaios realizados. Isso pode ser confirmado pelos valores dos desvios padrões observados nessa tabela. Verifica-se ainda que os valores adquiridos apresentam-se bem elevados para o padrão do material observado na Tabela 1 e na Figura 3.

Tabela 3 – Resultado da avaliação do metal de base

<b>Metal de base</b>	<b>Temper. (°C)</b>	<b>Média (J)</b>	<b>Erro (J)</b>	<b>Desv. Padrão (J)</b>
BOX	-20	<b>70,6</b>	6,3	14,1
	-10	<b>81,4</b>	7,9	17,6
	0	<b>82,2</b>	4,7	10,5
RB3	-20	<b>47,6</b>	1,9	4,9
	-10	<b>52,2</b>	3,9	10,2
	0	<b>50,2</b>	2,5	5,4

Os valores mostrados na Tabela 3 e 4 apresentam-se em J, ou seja, colocando-se um fator de correção segundo a Equação 1 (Varnauskas et al, 2004):

$$E = \frac{(E_1 - E_2) \cdot 9,81}{S} \quad (1),$$

onde  $E_1$  e  $E_2$  são as energias potencial inicial e final do pendulo, respectivamente e  $S$  a área transversal da seção do entalhe. Assim, para os valores apresentados na Tabela 3 e 4 tem-se de aplicar o fator de 2,5. Logo, valores como 47,6 J seriam equivalentes a 119 J/cm<sup>2</sup>, valor este, bem superior ao observado na Figura 3. Deste prisma pode-se verificar que os valores adquiridos em ambos os testes, mostrados na Tabela 4, apresentam-se superiores aos observados na Figura 3.

Como era de se esperar, a região da ZAC para ambos os aços (BOX e RB3) apresentaram características inferiores às do metal de base. Na Tabela 4 tem-se os valores para ambos os materiais e observa-se que ocorreu uma variabilidade muito grande nos valores adquiridos durante os ensaios. Pelos desvios padrões pode-se ter uma idéia de quanto heterogêneo apresentou-se esse material.

Tabela 4 – Resultado da avaliação da ZAC

ZAC	Energia	Temper. (°C)	Média (J)	Erro (J)	Desv. Padrão (J)
BOX	E1	-20	<b>38,2</b>	12,0	26,9
		-10	<b>59,6</b>	13,7	30,6
		0	<b>44,8</b>	9,3	20,8
	E2	-20	<b>27,8</b>	6,9	15,6
		-10	<b>39,0</b>	9,8	22,0
		0	<b>35,2</b>	5,2	11,65
RB3	E1	-20	<b>14,4</b>	6,2	13,9
		-10	<b>6,2</b>	0,5	1,1
		0	<b>47,2</b>	15,7	35,0
	E2	-20	<b>12,8</b>	8,1	18,2
		-10	<b>9,8</b>	0,8	1,8
		0	<b>30,6</b>	16,4	36,4

Os aços apresentam uma diferença peculiar com relação à tenacidade. Verifica-se que para o tratamento em BOX a tenacidade apresenta uma superioridade em relação ao RB3. Mesmo levando em consideração as variações observadas pelo desvio padrões apresentados nas duas tabelas (Tabela 3 e Tabela 4), pode-se afirmar que o processo BOX é superior ao processo RB3. Pelas Figuras 6 e 7 pode-se confirmar isso.

Outro ponto de se observar é o fato de que mesmo havendo a grande variação nos valores da energia de resistência ao impacto para os ensaios com a ZAC, uma tendência se manteve. Avaliando a Figura 7 verifica-se que as duas curvas para o aço tratado em BOX apresentam a mesma tendência. O mesmo pode ser observado para o aço tratado em RB3.

Essa variabilidade nos resultados pode estar relacionada com a estrutura da ZAC. As Figuras 8, 9, 10 e 11 retratam essa estrutura. Observa-se que tanto para o metal tratado em forno BOX quanto RB3 apresentaram as mesmas condições microestruturais. Observando as Figuras 8 e 9 tem-se uma região adjacente à fratura gerada pelo ensaio Charpy de um corpo de prova de aço P410D tratado em forno tipo BOX, cujos valores de energia foram 4 J e 8 J respectivamente. As Figuras 10 e 11 retratam as mesmas regiões para o aço P410D em forno tipo RB3 com energias de 4 J e 3 J respectivamente. Pode-se observar nitidamente a presença de fases alongadas acompanhando a fratura. Possivelmente, tais fases possam ter influenciado esses resultados.

Tais presenças podem ser resultado de um tratamento térmico ineficiente para a recuperação do material após a sua laminação. Possivelmente não se teve tempo suficiente para que as bandas de deformação fossem recuperadas por total ou também uma temperatura inadequada para o tempo em permanência no forno. Outro ponto também que se pode salientar é a questão da segregação de impurezas, devido a laminação.

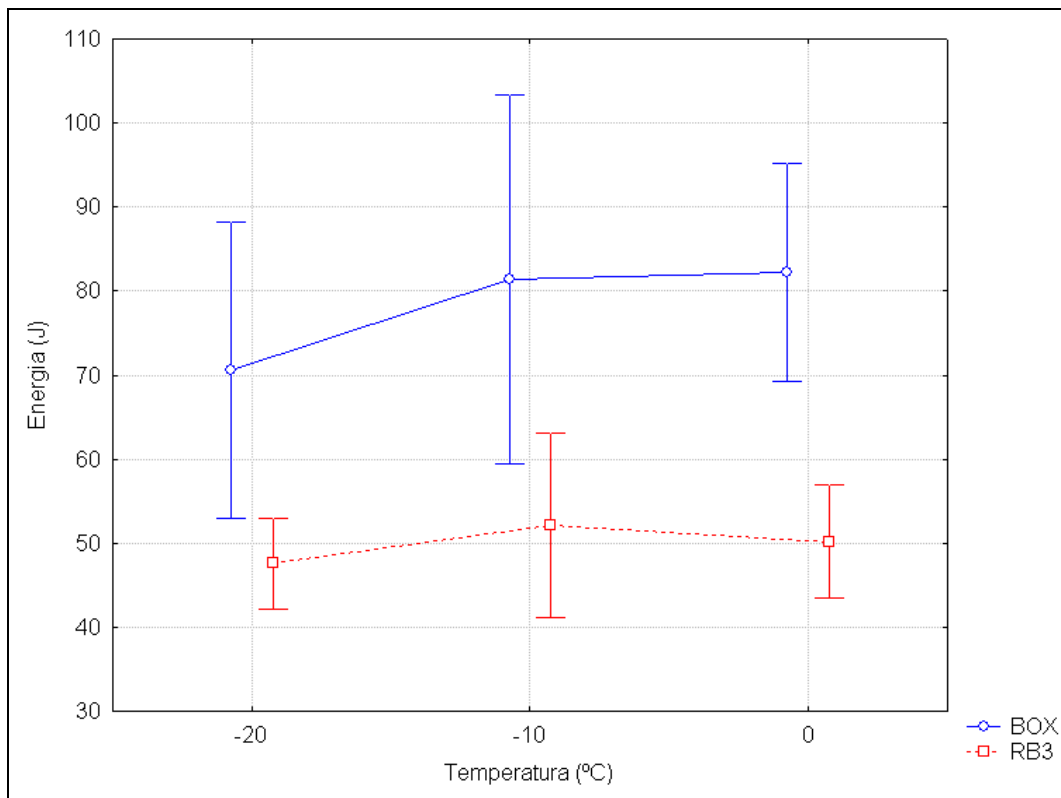


Figura 6 – Resultados dos ensaios charpy para o metal de base

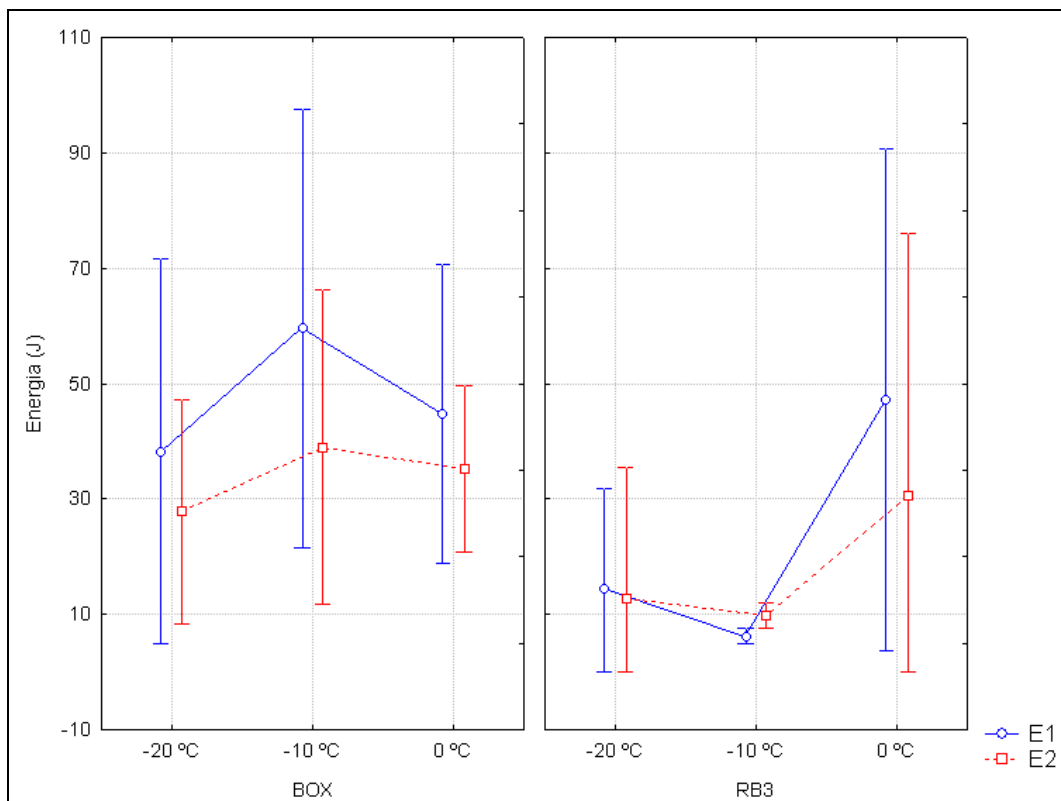


Figura 7 – Resultados do charpy para a ZAC do aço P410D.

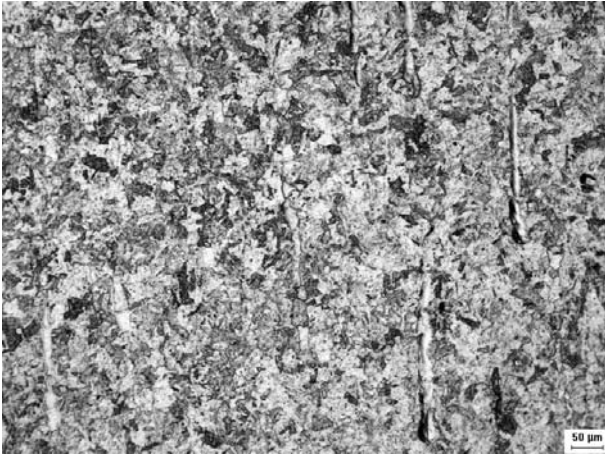


Figura 8 – Aço P410D tipo BOX, energia de resistência ao impacto de 4J e -20°C

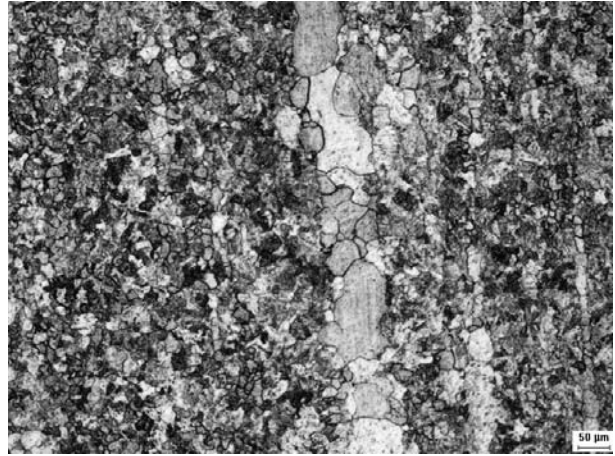


Figura 9 – Aço P410D tipo BOX, energia de resistência ao impacto de 8J e -20°C

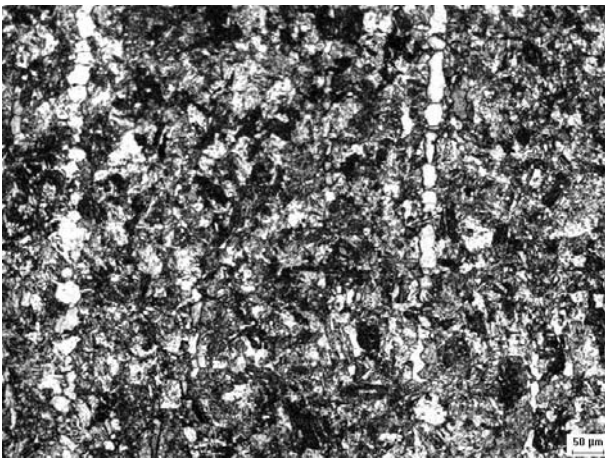


Figura 10 – Aço P410D tipo RB3, energia de resistência ao impacto de 4J e -20°C

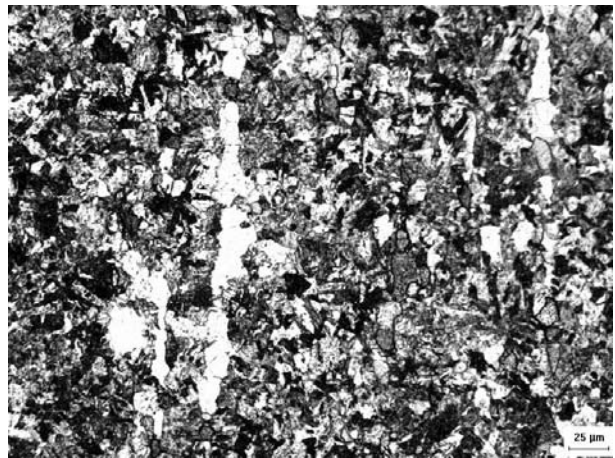


Figura 11 – Aço P410D tipo RB3, energia de resistência ao impacto de 3J e -20°C

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nas análises dos aços realizadas acima chega-se às seguintes conclusões:

- O aço em estudo, mesmo tratado em BOX, apresenta-se superior aos aços comerciais de mesma composição química.
- O processo BOX apresenta superioridade em relação ao processo RB3 com base nos testes charpy.
- Embora tenha-se grande variação, as curvas de charpy mantêm uma tendência para ambos os aços
- Os processos de tratamento térmico não apresentaram eficiência quanto à eliminação dos resíduos da laminação

#### 5. AGRADECIMENTO

Os autores deste trabalho agradecem o LAPROSOLDA/UFU, UFC e ACESITA pelo apoio laboratorial e ao CNPq pela bolsa de pesquisa.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

Aws. 1998, Welding Handbook, Vol. 4, Eight edition, Miami



- Acelor Group, 2005, Acier inoxydable ferritique à 11 % de chrome pour constructions soudées. Document UGINE & ALZ - Réf. n° 303.
- Folkhard, E., 1985, Welding Metallurgy of Stainless Steels, Springer-Verlag Wien, New York.
- Lula, R. A., 1989, Stainless steel. American Society for Metals, Ohio, USA.
- Luz, T. S.; Rodrigues, C. A. L.; Farias, J. P.; Ferraresi, V. A., 2004, Análise da transferência metálica do arame tubular em comparação ao arame sólido, III CONEM, Para, Belém.
- Luz, T. S.; Ferraresi, V. A.; Balsamo, P. S.S., Análise da transferência metálica do arame tubular com proteção gasosa, 3º COBEF, Joinville, Santa Catarina.
- Peckner, D.; Bernstein, I. M. 1977, Handbook of Stainless Steels, McGraw-Hill, New York, USA.
- Varnauskas, V.; Rudzinskas, V.; Černašėjus, O. 2004, Influence of Covering Components of Welding Electrodes on Chemical Composition and Mechanical Properties of Fused Metal, Materials Science (Medžiagotyra), Vol. 10, No. 1.

## WELDABILITY OF FERRITIC STAINLESS STEEL P410D

### **Temístocles de Sousa Luz**

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150  
[tsluz@mecanica.ufu.br](mailto:tsluz@mecanica.ufu.br)

### **Jesualdo Pereira Farias**

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Meânica e de Produção - Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem. Fortaleza/CE. CEP: 60488-760 – Fone (85) 4008 9601  
[jpf@secrel.com.br](mailto:jpf@secrel.com.br)

### **Valtair Antônio Ferraresi**

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150  
[valtairf@mecanica.ufu.br](mailto:valtairf@mecanica.ufu.br)

*Currently the development of new materials happens fast because of the technological advance. However, for insertion these materials in the actually business, many studies is necessary to guarantee commercial viability. For metallic materials, as the stainless steel, the metallurgic study is the most significant. Amongst these studies, the evaluation of heat affected zone (HAZ) is a very important. Thus, the aim of this work was evaluate the weldability of ferritic stainless steel P410D, studying the microstructure of the P410D as received (parent metal) and HAZ. Also was evaluated the tenacity of the both regions (parent metal and HAZ).*

**Key words:** Ferritic stainless steel, welding, charpy-V