



**INFLUÊNCIA DA CALIBRAGEM A QUENTE NAS PROPRIEDADES DOS AÇOS  
USI SAC 350 E ASTM A106 Gr. B.**

***INFLUENCE OF HOT CALIBRATION ON THE PROPERTIES OF THE STEELS USI  
SAC 350 AND ASTM A106 GR. B.***

Claudemir Alves da Silva – claudemirfatec2507@gmail.com  
Edmilson José Santana – edmilson.j.santana@hotmail.com  
Tecnólogos em Mecânica: processos de soldagem  
Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil

Prof. Esp./ Mestrando Antônio Carlos Muniz Ventura Junior – acm.ventura@gmail.com  
Profa. Pós-Dra. Maria Aparecida Bovério – mariaboverio@hotmail.com  
Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil

**RESUMO**

Este artigo apresenta um estudo de mudança comportamental da microestrutura submetido ao processo de calibragem a quente entre dois tipos de materiais: Aços SAC 350 e ASTM A106 Gr. B, em que os corpos de prova foram submetidos a uma temperatura de 685°C e resfriado rapidamente, e o segundo aquecido e resfriado lentamente. O estudo apresenta as diferenças na metalografia comparadas a um material que não sofreu nenhum aquecimento, sendo submetido o mesmo procedimento aos dois tipos de materiais nas mesmas condições. Após o aquecimento foi realizado o resfriamento de três corpos de prova para cada material, sendo um corpo de prova aquecido e resfriado rapidamente com água, o segundo resfriado ao ar calmo, o terceiro não foi submetido a nenhum aquecimento. Em seguida foi feita a realização dos ensaios de tração, e metalografia para verificação das possíveis variações em suas características e resistência mecânica. Os resultados dos materiais ASTM A106 Gr B e USI SAC 350 indicam que com a presença de aquecimento e um resfriamento rápido em água, o escoamento do material diminui ocasionado pelo ancoramento do carbono e consequentemente a movimentação de discordâncias, fazendo com que a resistência do material aumente e tornando-se a interface elástica - plástica uma região de armazenamento de energia favorecendo assim, a diminuição da transformação dos contornos de grãos e aumentando a resistência aos deslocamentos de planos internos no material.

**Palavras-Chave:** Aquecimento. Resfriamento e Microestrutura. Calibragem a Quente. Aços USI SAC 350 e ASTM A106 Gr B.

**ABSTRACT**

This article presents a behavioral change study of the microstructure subjected to the hot calibration process between two types of materials: SAC 350 steels and ASTM A106 Gr. B, in which the specimens were subjected to a temperature of 685 °c and cooled Quickly, and the second warmed and cooled slowly. The study presents the differences in metallography compared to a material that did not undergo any warming, and the same procedure was submitted to the two types of materials under the same conditions. After heating, three



specimens were cooled for each material, being a body of proof heated and cooled quickly with water, the second cooled to calm air, the third was not subjected to any warming. Subsequently, traction tests were carried out, and Metallography was performed to verify the possible variations in their characteristics and mechanical strength. The results of the materials ASTM A106 Gr B and USI SAC 350 indicate that with the presence of heating and a rapid cooling in water, the flow of the material decreases caused by the anchoring of the carbon and consequently the movement of dislocations, making With that the resistance of the material increase and becoming the elastic-plastic interface a region of energy storage favoring thus, the reduction of the transformation of the grain contours and increasing the resistance to the displacement of internal planes In the material.

**Keywords:** Heating assembly. Cooling and microstructure. Hot calibration. USI SAC 350 steels and ASTM A106 Gr B.

**DOI:**

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico ocorre em ritmo muito acelerado em todos os setores industriais, e, em especial, na indústria metalúrgica, a qual necessita aplicar novas tecnologias no desenvolvimento e fabricação de equipamentos de última geração. Com o aumento da demanda de mercado, as indústrias devem adotar políticas adequadas, envolvendo todos os colaboradores que trabalham na empresa tendo em vista a manutenção da qualidade, dos prazos e do atendimento às necessidades dos clientes e compradores de seus produtos. Em particular, nas indústrias metalúrgicas, alguns entraves devem ser superados para que as mesmas possam atender adequadamente seus clientes. Dentre as dificuldades, destaca-se o processo de calibragem de peças metálicas, uma vez que as mesmas se tornam empenadas devido às tensões provocadas por processos de soldagem, tornando-se inadequadas à sua utilização.

O processo de calibragem dos aços, que consiste em um aquecimento localizado seguida de um rápido resfriamento, se mostra inadequado em muitos casos pois pode causar mudanças na microestrutura do material. Mesmo assim, tal prática é adotada devido a fatores tais como: demanda de mercado; encarecimento do produto; produtividade; necessidade de faturamento da empresa, entre outros. Mediante tal realidade, resta ao colaborador operador dos equipamentos de calibragem de aços desconsiderar tais inadequações e tornar as peças macroscopicamente corretas, sem se preocupar com a microestrutura interna, mesmo que isto comprometa a qualidade e a vida útil das mesmas.



Diversos tipos de aços, em especial os aços de médio e alto teor de carbono, bem como ligas de aço tendem a alterar sua microestrutura quando os mesmos são submetidos a processos de aquecimento seguido de resfriamento, podendo acarretar danos irreparáveis nas peças constituídas de estes materiais, inutilizando-as. Igualmente peças que apresentam grandes dimensões, ou com componentes não susceptíveis ao calor são inadequados a tratamentos térmicos, mesmo que em regiões localizadas, as quais poderia acarretar num empenamento ainda maior na mesma.

A respeito de todo este cenário, as empresas costumam adotar a calibragem de peças a quente, utilizando-se processo de aquecimento e resfriamento rápido, sem apresentarem uma avaliação dos possíveis danos ocorrido por essa prática, podendo comprometer a vida útil das peças e equipamentos que sofreram aportes térmicos através da soldagem. Ressalta-se ainda que mesmo aquelas cujo processo de aquecimento acontece de forma localizada, a Zona Termicamente Afetada (ZTA), se mostra fragilizada e encruada, em relação às demais regiões da peça.

Primando-se pela qualidade das peças, bem como pela vida útil das mesmas em suas mais diversas aplicações e finalidades, faz-se necessário conhecer suas alterações microestruturais acarretadas pela adoção dessas práticas de calibragem.

O artigo foi organizado em seções, a seção 2 apresenta a revisão bibliográfica, a seção 3 a metodologia: materiais e métodos, a seção 4 os resultados e discussões e a seção 5 as conclusões.

## **2 SOLDAGEM E AÇO**

O processo de fabricação de peças metálicas faz parte da evolução humana, trazendo à sociedade praticidade, conforto segurança e comodidade. Com o desenvolvimento da soldagem houve grande revolução no processo de fabricação, tornando as peças e equipamentos mais leves e apresentando maior variedade de modelos.

Segundo a *American Society for Testing and Materials (ASTM)* a soldagem pode ser definida como “processo de união de materiais usados para obter coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”. Assim, levando em consideração



todos os processos envolvidos, na união, proteção e o aspecto conceitual, a soldagem pode ser definida como “O processo de união baseado no estabelecimento de forças de ligação química de natureza similar às atuante no interior dos próprios materiais, na região de ligação entre os materiais que estão sendo unidos” (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009, p.18-19).

Porém a soldagem traz consigo alguns inconvenientes que podem dificultar e interferir na qualidade e performance dos equipamentos. Um deste inconvenientes é o aporte térmico que pode causar distorções e empenamentos causando uma etapa indesejada no processo de fabricação. Em geral, os efeitos do processo e dos parâmetros de soldagem na estrutura do material são devido aos efeitos térmicos e de composição química. Os efeitos da composição química estão ligados a zona de fusão, enquanto os efeitos térmicos afetam a zona de fusão e a Zona Termicamente Afetada (ZTA). Os mesmos parâmetros se aplicam à fabricação de tubulações, condutores, bicas que transportam fluidos, gases ou mesmo óleo. O termo “tubulação industrial” se refere a um conjunto de tubos e de seus acessórios. A importância das tubulações deve-se ao fato do ponto de geração ou de armazenagem dos fluidos estarem em geral, distante do seu ponto de utilização, sendo estas o meio de ligação entre estes dois pontos (TELLES, 2010). Os tubos de aço, que hoje dominam quase todos os campos de aplicação industrial, são de desenvolvimento relativamente recente, datando de 1825 o primeiro tubo de aço fabricado na Inglaterra, só em 1886 com a primeira patente dos irmãos Mannesmann, do “laminador oblíquo”, foi possível produzir economicamente tubos de aço sem costura. Por essa época os tubos de aço eram necessários, principalmente para resistir às pressões cada vez mais altas das tubulações de vapor (TELLES, 2010).

O aço ASTM A106 Gr. B apresenta boa soldabilidade a diversos processos (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009, p.18-21), sendo utilizado em caldeiras com temperaturas elevadas e pressão excessiva. O aço USI SAC 350 apresenta boa resposta aos processos de soldagem, porém seu emprego está mais voltado a construção civil e indústrias. Por apresentarem ductilidade, resistência a altas temperaturas, fácil soldabilidade, não apresentarem costura em seu processo de conformação, os tubos ASTM A106 Gr.B são muito utilizados nas fornalhas das caldeiras e equipamentos condutores pressurizados, o processo de fabricação por extrusão torna suas características favoráveis a essas aplicações.



## **2.1 Princípios básicos do processo de extrusão**

De forma resumida, podemos caracterizar a extrusão como um processo de conformação plástica que consiste em fazer passar um tarugo ou lingote, colocado dentro de um recipiente, pela abertura existente no meio de uma ferramenta, colocada na extremidade do recipiente. Para essa operação utiliza-se a ação de compressão de um pistão acionado pneumática ou hidraulicamente. Machado (2008) distingue os diversos processos de extrusão quanto à temperatura de trabalho, as dimensões do produto e ao sentido de deslocamento do pistão. Em relação à temperatura de trabalho, podemos classificar como:

a) Extrusão a quente: utilizada quando o objetivo é a obtenção de grandes reduções de seção numa só etapa. Engloba a maioria dos processos para obter produtos longos semiacabados (barras) e acabados (perfis e tubos).

b) Extrusão a frio: utilizada para pequenas reduções de seção em vários estágios. Muito utilizada quando o interesse é a obtenção de peças de precisão.

## **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

Esta pesquisa é de cunho bibliográfico e experimental/laboratorial. Buscou-se, inicialmente, os conhecimentos sobre o assunto através da pesquisa bibliográfica, pois é o tipo de pesquisa elaborada a partir de material já publicado, e tem como objetivo colocar o pesquisador em contato direto com materiais já escritos sobre o assunto da pesquisa. E, no caso deste artigo, investigou-se a literatura sobre soldagem e aço. No que concerne à pesquisa laboratorial é realizada em situações controladas, em laboratórios, uma vez que precisa de um ambiente de acordo com o estudo a ser desenvolvido, pois o contexto é controlado pelo ambiente de laboratório. (PRODANOV; FREITAS, 2013).

### **3.1 Materiais**

Atualmente as peças fabricadas pelas indústrias metalúrgicas e siderúrgicas não levam em consideração as modificações em sua microestrutura causadas pelos tratamentos térmicos por elas sofridos. Dentre os fatores atribuídos a este cenário se encontram a produtividade, as



necessidades e especificações impostas pelos clientes, os prazos de entrega, lucratividade, entre outros. O descaso com tal prática acarreta na diminuição da qualidade da peça e da vida útil do equipamento ou peça de uma forma geral. Tendo em vista comprovar tal problema, realizou-se neste trabalho de conclusão de curso um estudo da mudança da microestrutura de aços em peças metalúrgicas, quando as mesmas são submetidas a distintos tratamentos térmicos.

Neste trabalho, escolhemos dois tipos de aços distintos: a Aço ASTM A106 Gr.B na forma de tubo e o Aço USI SAC 350 na forma de laminado.

### 3.1.1 Aço ASTM A106 Gr B

O Aço ASTM A106 Gr.B apresenta baixa liga ferrítica, contendo elementos de liga em sua composição química conforme visto na Tabela 1:

**Tabela 1 - Composição Química do aço ASTM A106 Gr B**

Elementos (% em peso)		C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V
Exigido	mínimo	-	0,29	-	-	0,10	-	-	-	-	-
	máximo	0,30	1,06	0,035	0,035	-	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08
Encontrado		-	-	-	-	-	-				

**Fonte: Vallourec (2015)**

Dentre os elementos químicos presentes na liga do aço ASTM A106 Gr B, destacam-se:

- Cromo (Cr): Ocasionalmente alta resistência mecânica e dureza, eleva o limite de elasticidade do aço e aumenta a resistência à corrosão;
- Manganês (Mn): Proporciona aumento de dureza, resistência ao choque e ao desgaste;
- Silício (Si): Provoca o aumento da elasticidade e a resistência mecânica do aço;
- Molibdênio (Mo): Sua ação nos aços é semelhante à do tungstênio, emprega-se em geral, adicionada com cromo, produzindo os aços de grande resistência mecânica;



- Cobre (Cu): Acarreta um aumento à resistência atmosférica dos aços tornando-os resistentes a meios desprotegidos;
- Níquel (Ni): Provoca um aumento na resistência mecânica, na tenacidade e na resistência a corrosão, reduzindo, porém, sua soldabilidade.

O Aço ASTM A106 Gr B é adequado para dobras ou curvaturas, conformações devido as suas propriedades mecânicas conforme mostrado na Tabela 2, sendo muito utilizado para serviços de altas temperaturas e para o transporte de fluidos, como o óleo, gás natural, água, vapor aplicados em caldeiras, em superaquecedores e permutadores.

**Tabela 2 - Propriedades Mecânica do aço ASTM A106 Gr B**

Ensaio Mecânico (Área mm <sup>2</sup> )		LE (MPa)	LR (MPa)	AL (%)
Exigido	mínimo	205	415	25
	máximo	-	-	-
Encontrado		344	523	36

**Fonte: Vallourec (2015)**

### 3.1.2 Aço USI SAC 350

O Aço USI SAC 350 é um aço de baixa liga e baixo percentual de carbono, apresentando em sua composição química elementos conforme visto na Tabela 3:

**Tabela 3 - Composição Química do aço USI SAC 350**

Elementos (% em peso)		C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu
Exigido	mínimo	-,	-,	0,010	-	0,50	-	0,05
	máximo	0,25	1,50	0,060	0,020	1,50	0,60	0,40
Encontrado		-	-	-	-	-	-	-

**Fonte: USI SAC 350 (2014)**



Os aços estruturais USI SAC 350 são resistentes à corrosão atmosférica pois os elementos de liga presentes em sua composição química (Cobre, Cromo, Silício e Fósforo) produzem uma camada de óxido altamente protetora. Dentre as principais vantagens de utilização deste material são: o aumento do tempo de vida útil dos componentes; melhora da rigidez e resistência mecânica dos conjuntos montados; e a ótima relação custo-benefício obtida em projetos da construção civil e da indústria em geral. Suas principais propriedades mecânicas são vistas na Tabela 4:

**Tabela 4 - Propriedades Mecânicas do aço USI SAC 350**

Ensaio Mecânico (Área mm <sup>2</sup> )		LE (MPa)	LR (MPa)	AL (%)
Exigido	mínimo	350	500	MAIOR OU = 16
	máximo	-	650	-
Encontrado		-	-	-

Fonte: USI SAC 350 (2014)

Os aços estruturais USI SAC 350 são utilizados em pontes, implementos agrícolas, vagões e equipamentos para mineração, ventiladores industriais, entre outros.

### 3.2 Métodos

Os processos de soldagem de equipamentos por mais adequados que sejam, causam sempre um empenamento indesejado nos mesmos, acarretando variações lineares e/ou angulares na peça submetida ao processo. Tais deformidades acontecem devido ao aporte térmico causado pelo processo de união dos metais pelas juntas soldadas, gerando uma segunda etapa (Calibragem) a ser trabalhada durante o processo de fabricação. A correção destas deformidades pode ser realizada a quente ou a frio, mas podem causar variações indesejadas em sua microestrutura, conforme mencionado anteriormente.

Nesta seção apresentamos os processos de calibragem aplicados aos aços ASTM A106 Gr B e USI SAC 350, cujos corpos de prova foram extraídos de um tubo e de uma chapa de ½", laminado a quente. Em ambos os materiais serão aplicados dois processos distintos de calibragem: Aquecimento seguido de rápido resfriamento com água; Aquecimento seguido de



lento resfriamento ao ar calmo (sem vento ou correntes de ar). Os resultados obtidos serão comparados com o mesmo material antes de sofrer aquecimento. O objetivo é verificar possíveis mudanças na microestrutura destes materiais, bem como na resistência mecânica causada pelo aquecimento e resfriamento brusco, analisando assim a influência da calibragem localizada, nos equipamentos fornecidos nessas composições. Tal fato é importante pois as empresas apresentam sérios problemas e grandes dificuldades com essas calibrações.

### **3.2.1 Processo de aquecimento e resfriamento do material**

O processo de aquecimento e resfriamento de corpos de prova feitas no aço ASTM A106 Gr B e o no aço USI SAC 350 ocorreram da seguinte forma: um primeiro corpo de prova foi submetido a uma temperatura de 685°C e, em seguida, resfriado rapidamente com água. Um segundo corpo de prova deste mesmo material foi aquecido igualmente a uma temperatura de 685°C, mas resfriado lentamente, ao ar calmo.

### **3.2.2 Ensaio mecânicos de Tração**

Os ensaios mecânicos consistem em avaliar as propriedades mecânicas de um material metálico através dos ensaios de tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento e pressão interna, determinando a resistência do material a cada um dos esforços. A escolha do ensaio mecânico mais interessante ou mais adequado para cada produto metálico depende da finalidade do material. (SOUZA, 1982, p.1). No presente estudo, serão realizados ensaios de tração, os quais podem ser estudadas as propriedades mecânicas dos aços ASTM A106 Gr B e USI SAC 350 em corpos de prova padronizados. Os corpos de prova após ensaios de tração evidenciam que a ruptura ocorreu exatamente na região afetada pela temperatura.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez realizados os ensaios descritos nas seções anteriores, foram elaboradas tabelas para cada um dos corpos de provas, apresentando os valores experimentais obtidos das seguintes grandezas: Força Máxima; Tensão de Resistência; Limite de Escoamento; Alongamento Total; Estricção e Modulo de Elasticidade, bem como o gráfico do ensaio mecânico aplicado nos respectivos corpos de prova, até sua ruptura. Os resultados estão divididos em duas sessões: Uma para o aço ASTM A106 Gr. B e outra para o USI SAC 350, como se segue nas subseções a seguir.

### 4.1 Resultados obtidos para os Corpos de Prova do aço ASTM A106 Gr B

Os dados experimentalmente obtidos pelos corpos de prova referentes ao material ASTM A106 Gr B estão vistos a seguir. A primeira tabela se refere ao corpo de prova submetido a 685 °C e resfriado rapidamente com água. O segundo diz respeito ao corpo de prova aquecido a 685 °C e resfriado ao ar calmo e o último conjunto de resultado diz respeito ao material que não sofreu aquecimento.

Corpo de prova (CP-01) ASTM A106 Gr B, aquecido a 685°C e resfriado rapidamente com água.

**Tabela 5 - Material ASTM A106 Gr B - CP 01**

**Observação: Equipamento – WDW100EB – Capacidade – 100kN**

<b>Amostra</b>	<b>A [%]</b>	<b>RA [%]</b>	<b><math>\sigma_{esc0,2\%}</math> [MPa]</b>	<b><math>\sigma_{res}</math> [MPa]</b>
CP A1	61	7,5	346.77	532.37

**Fonte: Laboratório de Ensaio Mecânicos da Fatec de Sertãozinho (2018)**

Corpo de prova (CP-02) ASTM A106 Gr B, aquecido a 685°C e resfriado ao ar calmo.



**Tabela 6 - Material ASTM A106 Gr B - CP 02**

**Observação: Equipamento – WDW100EB – Capacidade – 100kN**

Amostra	A [%]	RA [%]	$\sigma_{esc0,2\%}$ [MPa]	$\sigma_{res}$ [MPa]
CP B2	66	5,5	403.88	518.95

Fonte: Laboratório de Ensaio Mecânicos da Fatec de Sertãozinho (2018).

Corpo de prova (CP-03) ASTM A106 Gr. B, não foi submetido a nenhum aquecimento.

**Tabela 7 - Material ASTM A106 Gr. B - CP 03**

**Observação: Equipamento – WDW100EB – Capacidade – 100kN**

Amostra	A [%]	RA [%]	$\sigma_{esc0,2\%}$ [MPa]	$\sigma_{res}$ [MPa]
CP C3	63	9	370.69	529.35

Fonte: Laboratório de Ensaio Mecânicos da Fatec de Sertãozinho (2018)

## 4.2 Resultados obtidos para os Corpos de Prova do aço USI SAC 350

Os dados experimentalmente obtidos pelos corpos de prova referentes ao material USI SAC 350 estão vistos a seguir. Da mesma forma que a seção anterior, a primeira tabela se refere ao corpo de prova submetido a 685 °C e resfriado rapidamente com água. O segundo diz respeito ao corpo de prova aquecido a 685 °C e resfriado ao ar calmo e o último conjunto de resultado diz respeito ao material que não sofreu aquecimento. Corpo de prova (CP-B2) material USI SAC 350 aquecido a 685°C e resfriado rapidamente com água.

**Tabela 8 - Material USI SAC 350 - CP B2**

**Observação: Equipamento – WDW100EB – Capacidade – 100kN**

Amostra	A [%]	RA [%]	$\sigma_{esc0,2\%}$ [MPa]	$\sigma_{res}$ [MPa]
CP 02	62	8	312.91	480.45

Fonte: Laboratório de Ensaio Mecânicos da Fatec de Sertãozinho (2018)



Corpo de prova (CP-C3) material USI SAC 350 aquecido a 685°C e resfriado ao ar livre.

**Tabela 9 - Material USI SAC 350 - CP C3**

**Observação: Equipamento – WDW100EB – Capacidade – 100kN**

<b>Amostra</b>	<b>A [%]</b>	<b>RA [%]</b>	<b><math>\sigma_{esc0,2\%}</math> [MPa]</b>	<b><math>\sigma_{res}</math> [MPa]</b>
CP 03	54	8,5	383.08	510.02

**Fonte: Laboratório de Ensaos Mecânicos da Fatec de Sertãozinho (2018)**

Corpo de prova (CP-A1) material USI SAC 350, não sofreu aquecimento.

**Tabela 10 - Material USI SAC 350 - CP A1**

**Observação: Equipamento – WDW100EB – Capacidade – 100kN**

<b>Amostra</b>	<b>A [%]</b>	<b>RA [%]</b>	<b><math>\sigma_{esc0,2\%}</math> [MPa]</b>	<b><math>\sigma_{res}</math> [MPa]</b>
CP 01	51	8,5	361.91	504.26

**Fonte: Laboratório de Ensaos Mecânicos da Fatec de Sertãozinho (2018)**

### 4.3 Discussão

Uma vez apresentadas as tabelas associadas aos ensaios mecânicos dos corpos de prova associados aos aços ASTM A106 Gr B e USI SAC 350, iniciamos a discussão dos mesmos.

Ao apresentar os valores dos ensaios mecânicos nas quais os corpos de prova foram submetidos, para verificar o comportamento elástico-plástico dos materiais em estudo, analisar a variação de valores de tração, escoamento e alongamento, estudar a estrutura resultante no tocante a morfologia e dimensões dos grãos e certificar se ocorre alterações que venham a comprometer uma estrutura em operação.



Partindo-se que, o aquecimento aplicado nos materiais utilizados para estudo está abaixo da temperatura crítica de transformação dos aços, as estruturas resultantes serão ferritas e perlitas, como ilustrado nas seções 4.1 e 4.2. Outro fator importante, é que as rupturas dos corpos de prova ocorreram nas regiões de aquecimento localizado, indicando que alterações ocorreram e portanto, a referência de estudo é o material como recebido pelo fabricante, onde os profissionais de fábrica podem estar comprometendo a vida útil do equipamento.

Sendo assim, comparando-se os resultados do material ASTM A106 Gr B no estado como recebido e no estado resfriado em água, verifica-se que com a presença de aquecimento e um resfriamento rápido em água, o escoamento do material diminui ocasionado pelo ancoramento do carbono e conseqüentemente a movimentação de discordâncias, fazendo com que a resistência do material aumente e tornando-se a interface elástica-plástica uma região de armazenamento de energia favorecendo assim, a diminuição da transformação dos contornos de grãos e aumentando a resistência aos deslocamentos de planos internos no material. Analisando-se as microestruturas dos materiais, percebe-se este travamento de contornos de grãos no corpo de prova resfriado em água, ocasionando um leve aumento de estruturas ferríticas no material, dificultando a difusão do carbono, sendo compatível com os resultados apresentados.

Com o corpo de prova resfriado ao ar, verifica-se uma ligeira queda de propriedade do material, devido ao período de tempo de acomodação da estrutura proporcionada pela redução e rearranjo das discordâncias no interior dos grãos, desacelerando a sua movimentação, representando um aumento de escoamento no material, para deforma-se ou transforma-se, ocorrendo uma ligeira queda de resistência mecânica. As microestruturas em questão, representam este processo de transformação pela distribuição uniforme e alinhamento na matriz do material, comportando-se como se estivesse sofrido um tratamento de normalização.

Com relação ao material USI SAC350, comparando os resultados obtidos com relação ao recebido do fabricante, seguem as mesmas premissas com relação ao aço ASTM A 106, referentes as condições de resultados resfriado ao ar.

O resultado com resfriamento forçado mostrou uma alteração preocupante com relação ao limite de escoamento, representando próximo de 11% de redução abaixo do mínimo que a



norma do fabricante sugere para utilização em áreas de aquecimento constante, conforme apresentado na Tabela 4.

Esta alteração pressupõe que ocorre uma dispersão de elementos precipitados na matriz e no contorno de grão, travando a movimentação de discordâncias.

## 5 CONCLUSÕES

Conclui-se que o tubo ASTM A 106 Gr B pode ser trabalhado por calibragem, tanto resfriado ao ar como resfriado em água, pois os resultados apresentados nos ensaios mecânicos estão próximos aos do material como recebido, fazendo com que não ocorram mudanças significativas que compromettesse a aplicação deste material nas linhas de aquecimento e trocas térmicas nos aquecedores das caldeiras. As estruturas estão coerentes com o material aço de baixo teor de carbono, e pequenas alterações de tamanho e da morfologia dos grãos são aceitáveis para a sua aplicação e continuidade de propriedades mecânicas.

O material USI SAC 350 pode ser aplicado a calibragem de preferência com resfriamento ao ar, pois no resfriamento forçado, os resultados apresentaram alterações nas propriedades mecânicas do material, tornando susceptível a falha em operação devido ao fluxo contínuo de transformações termodinâmicas que ocorrem no equipamento. Sendo assim, é necessário reavaliar a aplicação de um procedimento térmico para correção dimensional nas estruturas, ou que seja menos agressivo ao material com a diminuição da temperatura aplicada, para evitar perdas de características mecânicas do projeto.

É importante frisar que os pontos que sofrem a aplicação do processo de calibragem, tornam-se locais preferenciais para início de fragilização do material ou da estrutura, como demonstrado pelos resultados dos ensaios de tração para ambos os materiais, e portanto, o corpo técnico na fábrica deve evitar excesso de aplicação destes procedimentos.



## REFERÊNCIAS

ASTM A 106 Gr B. **Standard Specification for, Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheated, and Heat-Exchanger Tubes.** Copyright. (c) ASTM International. 100 Barr Harbor Dr., P.O. Box C-700 West Conshohocken PA USA.

FACULDADE DE TECNOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FATEC). **Laboratório de Análise e Ensaios de Materiais.** Sertãozinho, São Paulo, 2014.

MACHADO, Marcelo Lucas P. **Conformação Mecânica dos Metais.** Espirito Santo, IFES, 2008.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia.** 3. ed. Belo Horizonte: UFG, 2009.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SOUZA, Sérgio Augusto: **Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos: fundamentos teóricos e práticos.** 5. ed. São Paulo: Blucher, 1982.

TELES, Pedro C. Silva. **Tubulações Industriais. Materiais, projeto e montagem.** 10. ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2010.

USI SAC 350. **Material USI SAC 350.** 2014. Disponível em: <<http://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2013/11/us-0073>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

VALLOUREC. **ASTM A106 Propriedades Mecânicas e Composição Química.** 2015. Disponível em: <<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/astm-a106-propriedades-mecanicas-e-composicao-quimica.html>>. Acesso em: 30 set. 2018.