



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITARIO DE MARABÁ  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

MARCELA DIAS CHAVES

**CARACTERIZAÇÃO DE TUBOS DE AÇO UTILIZADO EM PERFURATRIZES DE  
CIRCULAÇÃO REVERSA**

MARABÁ-PA

2013

MARCELA DIAS CHAVES

## **CARACTERIZAÇÃO DE TUBOS DE AÇO UTILIZADO EM PERFURATRIZES DE CIRCULAÇÃO REVERSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais (FEMAT), como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, sob a orientação do professor M.Sc.Márcio Corrêa de Carvalho.

MARABÁ-PA

2013

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA**

---

Chaves, Marcela Dias

Caracterização de tubos de aço utilizado em perfuratrizes de circulação reversa / Marcela Dias Chaves ; orientador, Márcio Corrêa de Carvalho. — 2013.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2013.

1. Tubos de aço - Análise. 2. Máquinas de perfuração. 3. Minas e recursos minerais. I. Carvalho, Márcio Corrêa de, orient. II. Título.

CDD: 19. ed.: 672.830218

---

MARCELA DIAS CHAVES

## **CARACTERIZAÇÃO DE TUBOS DE AÇO UTILIZADO EM PERFURATRIZES DE CIRCULAÇÃO REVERSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais (FEMAT), como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, sob a orientação do professor M.Sc.Márcio Corrêa de Carvalho.

Data da aprovação \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Banca examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. M.Sc.Márcio Corrêa de Carvalho–FEMAT - UFPA - Orientadora

\_\_\_\_\_  
Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra - FEMAT - UFPA - Membro interno

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ednaldo Teixeira-FACEN-UFPA - Membro externo

## **AGRADECIMENTOS**

Á Deus, que acima de tudo é Pai, Protetor, e Provedor, e sem Ele eu não seria ou conseguiria nada.

Ao meu pai Marco Antônio Braga Chaves, que sempre me incentivou e apoiou, proporcionando todas as oportunidades para que eu me tornasse uma pessoa e profissional de caráter.

A minha mãe Maria Eliete Cavalcante Dias, que é uma amiga e excelente mãe e mulher, um exemplo e espelho para mim.

Aos meus colegas que ao longo do curso estiveram ao meu lado e de alguma forma contribuíram na minha caminhada.

Aos mestres que passaram seu conhecimento contribuindo com a nossa formação.

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus aos meus pais e a todas as pessoas que amo e que colaboraram para realização deste sonho que é a graduação.

Muito Obrigada!

## RESUMO

Tubos de aço são de grande importância e largamente utilizado na indústria, em diversos tipos de aplicações como no sistema de abastecimento doméstico de água, transporte de materiais, componentes industriais, até aplicações de maiores exigências como em gasodutos, transporte de petróleo, gás natural, perfuratrizes. Objetivando caracterizar uma tubulação de aço utilizada em perfuratrizes de circulação reversa de mineradoras, através das análises e ensaios que foram realizados na amostra durante a pesquisa, foi possível obtermos informações importantes na determinação de características e propriedades do material, relevantes para determinação do aço utilizado na fabricação do tubo em questão. Concluindo assim que o mesmo é um aço-manganês de dureza média 306 HV.

**Palavras-Chave:** Tubos. Tubos usados em perfuratrizes. Circulação reversa. Caracterizar. Determinação. Aço-manganês. Dureza média 306 HV.

## ABSTRACT

Steel pipes are very important and widely used in industry, in various types of applications such as the system of domestic water supply, transportation of materials, industrial components, even greater demands as applications in pipelines, transporting oil, natural gas, drills. To characterize a steel pipe used in reverse circulation drilling from mining, through analyzes and tests that were performed on the sample during the survey, it was possible to obtain important information in determining the characteristics and properties of the material, relevant to the determination of the steel used in manufacturing the pipe in question. Thus concluding that it is a manganese steel of hardness 306 HV.

**Keywords:** Tubes. Tubes used in drills. Reverse circulation. Characterize. Determination. Manganese steel. Average hardness 306 HV.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fabricação de Tubo com costura.....	16
Figura 2: Fabricação de tubo sem costura. ....	17
Figura 3: Ilustração da localização da tubulação. ....	18
Figura 4: Penetrador e impressão Vickers. ....	20
Figura 5: Tipos de impressão Vickers. ....	21
Figura 6: Fluxograma da Metodologia. ....	25
Figura 7: Imagens com o aumento de 50x. ....	30
Figura 8: Micrografia da amostra. ....	30
Figura 9: Diagramas de tratamento térmico.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do aço.....	28
Tabela 2: Composição química dos aços-manganês.....	28
Tabela 3: Tabela de Dureza Vickers. ....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CE- Carbono Equivalente.

HV- Dureza Vickers.

A.R.W.- Solda por Resistência Elétrica.

AWS- American Welding Society.

IIW- International Institute of Welding.

Kgf- Quilograma-força.

C- Carbono.

Mn- Manganês.

P- Fosforo.

S- Enxofre.

Si- Silício.

Cr- Cromo.

Mo- Molibdênio.

Ni- Níquel.

V- Vanádio.

Cu- Cobre.

## SUMÁRIO

<b>1-INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1-OBJETIVO GERAL .....	15
1.2-OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
<b>2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1-TIPOS DE TUBOS.....	16
2.1.1-TUBOS DE AÇO COM COSTURA.....	16
2.1.2-TUBOS DE AÇO SEM COSTURA .....	17
2.1.3-TUBOS DE CIRCULAÇÃO REVERSA RC.....	18
2.2-ANÁLISE QUÍMICA .....	18
2.3-CARBONO EQUIVALENTE .....	19
2.4-DUREZA VICKERS .....	20
2.4.1-MICRODUREZA VICKERS .....	21
2.4.2-ANOMALIAS ENCONTRADAS NAS IMPRESSÕES VICKERS.....	21
2.5-METALOGRAFIA .....	22
2.5.1-ENSAIO MACROGRÁFICO .....	22
2.5.2-ENSAIO MICROGRÁFICO.....	23
2.6-PREPARAÇÃO DA AMOSTRA.....	23
2.6.1-CORPO DE PROVA OU AMOSTRA .....	23
2.6.2-CORPO DE PROVA EMBUTIDO .....	23
2.6.3-EMBUTIMENTO A QUENTE E A FRIO.....	23
2.6.4-ATAQUE QUÍMICO .....	23
2.6.5-ANÁLISE MICROESTRUTURAL.....	24
<b>3-MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1-FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	25

3.2-ANÁLISE QUÍMICA.....	25
<b>4-RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>28</b>
4.1-COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	28
4.2-ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS .....	28
<b>5-CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>

## 1-INTRODUÇÃO

Tubos de aço são de grande importância e largamente utilizado na indústria desde o século XIX, e pode ser chamado também de cilindro oco, que é amplamente utilizado, desde aplicações simples como no sistema de abastecimento doméstico de água, transporte de materiais, componentes industriais, até aplicações de maiores exigências como em gasodutos, transporte de petróleo, gás natural, perfuratrizes, entre outras.

Este trabalho tem como proposta caracterizar uma tubulação de aço utilizada em perfuratrizes de mineradoras, através das análises e ensaios que foram realizados na amostra durante a pesquisa, foi possível obtermos informações importantes na determinação de características e propriedades do material, relevantes para determinar de que aço é fabricado o tubo em questão.

Foram discutidos e demonstrados os métodos utilizados na caracterização da amostra, no primeiro capítulo foi realizada uma abordagem geral na forma de revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes no entendimento das práticas realizadas no trabalho para isso foi utilizado como embasamento teórico autores.

Os diversos tipos de materiais utilizados no processo de caracterização e os métodos usados na realização das práticas, esses métodos são um conjunto de práticas laboratoriais, como a análise química qualitativa do aço que possibilitou determinar de quais componentes químicos o mesmo é formado e suas quantidades; posteriormente foi realizado o ensaio de dureza Vickers da peça que determina a dureza superficial do aço estudado, para realização do ensaio a amostra foi previamente preparada superficialmente e só a partir daí pode ser colocada no Durômetro; com a amostra devidamente preparada o passo seguinte foi fazer a metalografia do aço que consiste na macrografia e micrografia da amostra, a primeira é uma análise visual a olho nu ou com um pequeno aumento de 50X da superfície da peça, a segunda é realizada em um microscópio óptico que nos gera imagens aumentadas da microestrutura do material.

O capítulo seguinte discute os resultados obtidos a partir das práticas descritas acima e de que maneira esses resultados foram utilizados para determinar o tipo de aço que é fabricado o tubo caracterizado.

### 1.1-OBJETIVO GERAL

Este trabalho de pesquisa objetiva caracterizar uma tubulação de aço sem costura, utilizado em perfuratrizes de sondagem, denominada tubo de circulação reversa RC.

### 1.2-OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar composição química do material através da análise química da amostra.

Determinar propriedades mecânicas da peça, como dureza, através do ensaio do material.

Caracterizar o material através de metalografia.

Determinar a partir das análises e ensaios realizados na peça qual o aço utilizado na fabricação deste tipo de tubo.



## 2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

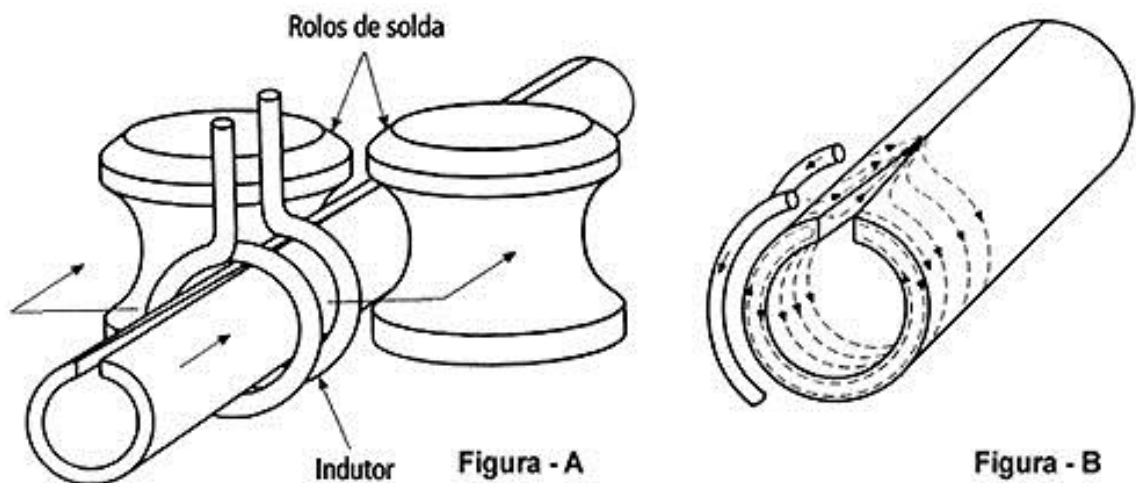
### 2.1-TIPOS DE TUBOS

#### 2.1.1-TUBOS DE AÇO COM COSTURA

Tubos de Aço com costura são usualmente utilizados em aplicações que não exigem grandes esforços, como na construção civil, indústria agrícola, equipamentos, entre outros. Sua fabricação se dá pela soldagem das pontas de uma chapa de metal, a chapa passa pelos rolos de solda e indutores que fazem a junção do material através da aplicação de calor, por isso a denominação errônea, tubos com costura, porém o nome se consolidou tal como “xerox”. Esta denominação veio de muito tempo atrás, quando o processo utilizado era de baixa frequência (50 ou 60 hz), o que dava ao material uma aparência de “material costurado”. Hoje o processo é realizado com solda longitudinal pelo processo E.R.W. (Solda por Resistência Elétrica) com alta Frequência<sup>[2]</sup>.

Este tipo de tubo tem menor custo em relação ao sem costura, pode ser encontrado com facilidade em vários tamanhos e espessuras e diâmetros, de fácil limpeza<sup>[2]</sup>.

Figura 1: Fabricação de Tubo com costura.



Fonte: Guiametal.

Este processo garante a homogeneidade da matéria-prima com a solda, o que confere excelentes características aos produtos. Os processos de fabricação

para obtenção do produto final variam de acordo com a norma em que o tubo vai ser fabricado.

### 2.1.2-TUBOS DE AÇO SEM COSTURA

Tubos de Aço sem costura são usados em aplicações de maiores exigência, como em situações de pressão e transporte de materiais, ferramentas de perfuração, oleodutos, gasodutos, entre outros, por isso a ausência de solda.

O processo para a fabricação de um tubo de aço sem costura produzido a quente, se dá a partir de um bloco aquecido a uma temperatura de moldagem, em uma primeira etapa de moldagem produz-se um bloco oco com parede grossa por meio de punção, bloco oco este que, em seguida, no mesmo calor, em uma segunda etapa de moldagem é estirado para formar um pré-tubo (bloom) por meio de laminagem e modificação do diâmetro e da espessura da parede, e em uma terceira etapa de moldagem daí se produz um tubo pronto por meio de laminagem de redução, o qual se caracteriza pelo fato de que a segunda e a terceira etapas de moldagem caracterizadas por laminagem são substituídas por uma etapa de moldagem sob a forma de um processo de forjamento radial mediante o emprego de uma ferramenta interna inserida no bloco oco e no mínimo dois mordentes de forjamento de uma máquina de forjamento que atuam sobre a superfície externa do bloco oco, sendo que o bloco oco é girado compassadamente na fase do curso em vazio dos mordentes de forjamento e é deslocado axialmente<sup>[2]</sup>.

Figura 2: Fabricação de tubo sem costura.

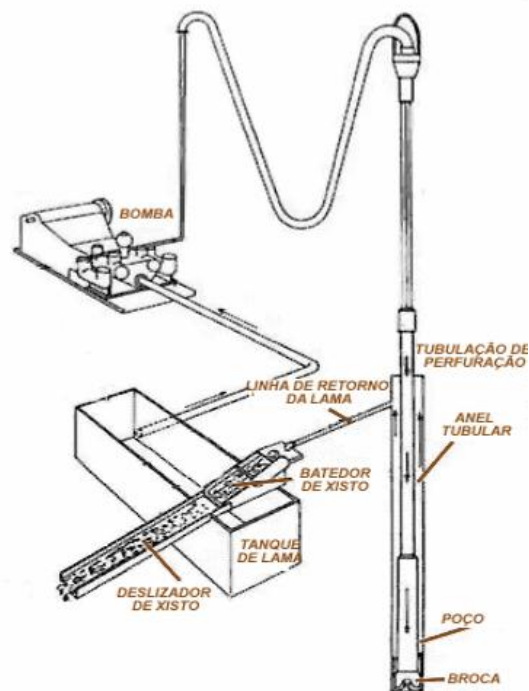


Fonte: Guiametal.

### 2.1.3-TUBOS DE CIRCULAÇÃO REVERSA RC

Este tipo de tubulação é utilizado em perfuratrizes de sondagem, segundo a Servitec Sondagem, “em hastes com tubos internos pelos quais a amostra sobe a superfície sobre pressão do ar”. Este procedimento tem a finalidade de evitar o acúmulo de sólidos no espaço anular formado pelas paredes do poço e a coluna de perfuração, o que pode ocasionar, a perda de circulação, a obstrução do anular ou a prisão de coluna durante a perfuração. O condutor de partículas é um fluido injetado no espaço anular paredes do poço/coluna de perfuração e após passar pela broca retorna pelo interior da coluna de perfuração levando consigo os particulados gerados na perfuração<sup>[5]</sup>.

Figura 3: Ilustração da localização da tubulação.



Fonte: Sansoni Jr., 2005.

### 2.2-ANÁLISE QUÍMICA

Análise química é uma técnica que fornece e identifica informações químicas e físicas do material estudado, e é composta por um conjunto de técnicas de

laboratório que identificam e quantificam espécies químicas. Esta análise pode ser realizada de três maneiras diferentes: quantitativa, qualitativa, imediata.

Análise química quantitativa consiste em determinar os componentes químicos contidos na amostra e quantificá-los. Já a análise química qualitativa é a técnica que através da instrumentação correta apenas determina a composição química. A análise imediata consiste em isolar as espécies que constituem o material.

A técnica utilizada neste trabalho de pesquisa para determinação da composição química foi por meio da análise de espectrometria por emissão de elétrons que revela a presença e a porção de cada elemento compostos na liga com os seus respectivos valores<sup>[6]</sup>.

### 2.3-CARBONO EQUIVALENTE

Os elementos de liga influenciam diretamente na dureza do material, por consequência o cálculo do carbono equivalente baseia-se então na correlação entre os valores de elementos de liga e de carbono em porcentagem peso que se possa adquirir através da análise de composição química do aço.

Para execução do cálculo existe uma vasta quantidade de fórmulas que podem ser ou não específicas a cada família/grupo de aços. Porém existem duas fórmulas mais utilizadas que podem ser consideradas “fórmulas gerais”, a primeira pertencente à American Welding Society (AWS), equação 1:

$$CE = \% C + \left( \frac{\% Mn + \% Si}{6} \right) + \left( \frac{\% Cr + \% Mo + \% V}{5} \right) + \left( \frac{\% Cu + \% Ni}{15} \right)$$

Eq. (1)

A segunda fórmula para execução deste cálculo é a equação 2, conhecida como fórmula de Dearden e O'Neill adotada pelo Instituto Internacional de Soldagem (International Institute of Welding – IIW).

$$CE = \% C + \frac{\% Mn}{3.6} + \frac{\% Cu}{20} + \frac{\% Ni}{9} + \frac{\% Cr}{5} + \frac{\% Mo}{4}$$

Eq. (2)

## 2.4-DUREZA VICKERS

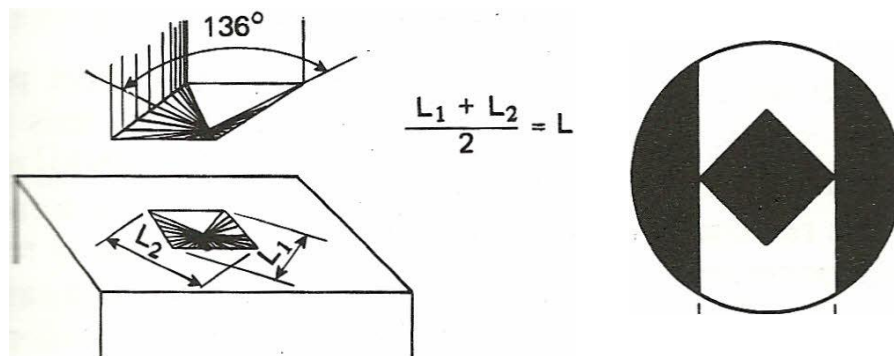
Dureza Vickers (HV) é um ensaio laboratorial de determinação de dureza dos materiais, e foi desenvolvido a partir do método Brinell em 1925. Esta técnica utiliza uma pirâmide de diamante com ângulo de  $136^\circ$  responsável por realizar a indentação ou impressão na peça com uma força  $F$ , a partir da medição das diagonais da impressão calcula-se a área  $A^{[8]}$ .

Souza no livro *Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos* trata mais claramente do assunto abordado acima.

Essa dureza foi introduzida em 1925 por Snith e Sandland, levando o nome Vickers, porque a Companhia Vickers-Armstrong Ltda, fabricou as máquinas mais conhecidas para operar com esse tipo de dureza. O penetrador é uma pirâmide de diamante de base quadrada, com um ângulo de  $136^\circ$  entre as faces opostas. Esse ângulo produz valores de impressões semelhantes à dureza Brinell, porque a relação ideal  $D/D$  da dureza Brinell sendo 0,375, para essa relação ideal, as tangentes à esfera partindo dos cantos da impressão fazem entre si um ângulo de  $136^\circ$ .

Como o penetrador é um diamante, ele é praticamente indeformável e como todas as impressões são semelhantes entre si, não importando o seu tamanho, a dureza Vickers (HV) é independente da carga, isto é, o número de dureza obtido é o mesmo qualquer que seja a carga usada para materiais homogêneos. Para esse tipo de dureza a carga varia de 1 até 100 ou 120 Kgf. A mudança da carga é necessária para se obter uma impressão regular, sem deformação e de tamanho compatível para medida de suas dimensões no visor da máquina; isso depende, naturalmente, da dureza do material que se está ensaiando, como no caso da dureza Brinell. A forma da impressão é um losango regular, ou seja, quadrada, e pela média  $l$  das suas diagonais, tem-se, conforme a expressão seguinte, a dureza Vickers.

Figura 4: Penetrador e impressão Vickers.



Fonte: Souza, 1982.

### 2.4.1-MICRODUREZA VICKERS

Para aplicações específicas, como em casos de superfícies tratadas, têmpera, ou ainda para a determinação de dureza de microconstituintes individuais de uma microestrutura, utiliza-se o ensaio de microdureza Vickers.

A microdureza Vickers dá-se pelo mesmo procedimento prático que o ensaio Vickers, só que utiliza cargas reduzidas ou pequenas em relação ao procedimento Vickers, não excedendo 1 kgf, podendo ser realizado com valores de carga tão pequenos como 10 gf.

### 2.4.2-ANOMALIAS ENCONTRADAS NAS IMPRESSÕES VICKERS

Existem alguns erros que podem ocorrer nas impressões Vickers, mais especificamente três, o primeiro erro é quando as impressões não apresentam seus lados retos e ocorre em metais recozidos e se dá pelo afundamento do metal em torno das faces do penetrador, que resulta em um valor errôneo de  $L$  maior que o real. O segundo erro é uma aderência do metal em torno do penetrador e ocorre em metais encruados e resulta em um valor de  $L$  menor que o real dando um valor de dureza maior que o verdadeiro. O terceiro erro é o abaulamento que está ligado a orientação dos grãos cristalinos em relação às diagonais da impressão, sendo necessárias correções que podem variar em até 10% a dureza do metal<sup>[8]</sup>.

Figura 5: Tipos de impressão Vickers.

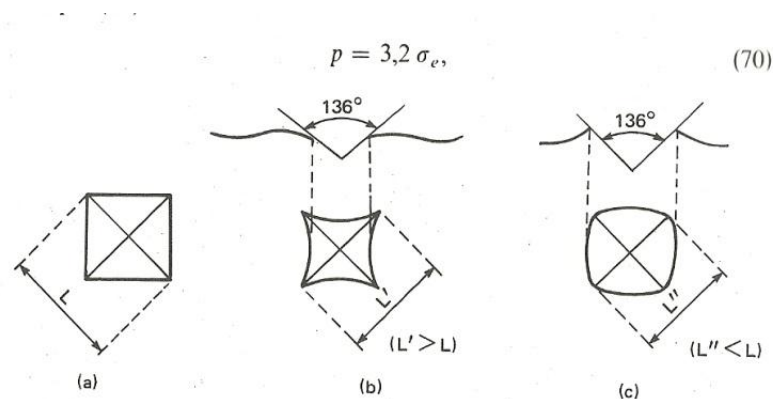


Figura 66. (a) Impressão perfeita de dureza Vickers; (b) impressão defeituosa; "afundamento"; (c) impressão defeituosa: "aderência" [1].

Fonte: Souza,1982.

## 2.5-METALOGRAFIA

O ensaio metalográfico consiste em correlacionar a estrutura do material com suas propriedades físicas, o processo de fabricação e o desempenho na aplicação desejada. Este ensaio divide-se em macrográfico e micrográfico, e para sua realização é necessário à preparação da amostra. O processo de caracterização metalográfico compreende três etapas distintas; lixamento, polimento e ataque. Do lixamento e polimento da peça a ser analisada resulta uma superfície lisa e “espelhada”<sup>[1][3]</sup>.

A superfície do metal polido corretamente reflete a luz de forma homogênea e não permite distinguir os microconstituintes de sua estrutura. A microestrutura é revelada somente por meio da aplicação de um ataque apropriado e eficaz.

Para que se possa de fato observar a microestrutura pós-ataque químico se faz necessário a ocorrência de certo grau de contraste entre as microconstituintes do metal, o que pode ser obtido através de algumas medidas: o polimento da superfície deve ser eficaz não contendo riscos, a amostra a ser atacada deve estar limpa isto é sem resíduos do material usado no polimento, o reagente deve ser selecionado, preparado e aplicado sob condições de ataque adequadas e controlada<sup>[1][3]</sup>.

Existem várias formas e métodos para realização do ataque químico, o determinante para a escolha de um, é em geral, a forma ou dimensão da amostra e podem ser escolhidos de acordo com a experiência e objetivo de seu usuário, entre os métodos de ataque pode-se citar: a imersão, gotejamento, lavagem e esfregamento.

### 2.5.1-ENSAIO MACROGRÁFICO

Neste ensaio a amostra é examinada a olho nu ou com ampliação de até 50X após ser lixada, polida e atacada devidamente. Esta análise visual possibilita a identificação de eventuais falhas contidas no material, homogeneidade aparente, impurezas, processo de fabricação, qualidade aparente de solda entre outras características.

## 2.5.2-ENSAIO MICROGRÁFICO

O ensaio micrográfico é realizado através de microscópio, por isso é uma análise mais completa e profunda do material ou amostra, e possibilita a determinação das fases e granulometria do material, se há ou não inclusões, quais as fases existentes, entre outras características.

## 2.6-PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

### 2.6.1-CORPO DE PROVA OU AMOSTRA

É a parte do material que será realizado o ensaio, podendo esta ser embutida ou não.

### 2.6.2-CORPO DE PROVA EMBUTIDO

O embutimento é realizado com resina podendo ser preparado a frio ou a quente, esta etapa do processo de caracterização é de grande importância para o ensaio metalográfico, pois facilita o manuseio das amostras pequenas e evita o abaulamento da amostra durante o polimento.

### 2.6.3-EMBUTIMENTO A QUENTE E A FRIO

No embutimento a quente a amostra é colocada em uma prensa de embutimento com uma resina, a baquelite é a resina mais usada pelo fato de ser barata e possuir uma dureza relativamente alta. Já no embutimento a frio a amostra é colocada em um molde e preenchido com resina sintética de rápida polimerização.

### 2.6.4-ATAQUE QUÍMICO

A superfície das amostras, quando atacada por agentes específicos, sofre uma série de transformações eletroquímicas baseadas no processo de oxi-redução, para o ataque químico são usadas soluções de ácidos, bases e sais, bem como sais



fundidos ou vapores. As condições de ataque, tais como condições químicas, temperatura e tempo, podem ser variadas para atingir as mais diversas finalidades de contraste, basicamente, o ataque consiste em fazer com que a solução de ataque reaja com determinado elemento da amostra.

As regiões onde ocorreram as reações ficarão mais baixas, do que as regiões onde o ataque não surtiu efeito, através do microscópio as regiões mais altas conseguirão difratar a luz e aparecerão claras na micrografia as regiões mais baixas, difratarão pouca luz, que serão representado por regiões mais escuras.

Após o ataque químico a amostra deve ser rigorosamente limpa, para remover os resíduos do processo através de lavagem em água destilada, álcool ou acetona, e posteriormente seca através de jato de ar quente<sup>[4]</sup>.

## 2.6.5-ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Após ser feita a micrografia, recorre-se a manuais de metalografia, a fim de achar a estrutura mais semelhante a da micrografia. Através de comparações chega-se a determinação dos microconstituintes com o uso do microscópio óptico<sup>[4]</sup>.

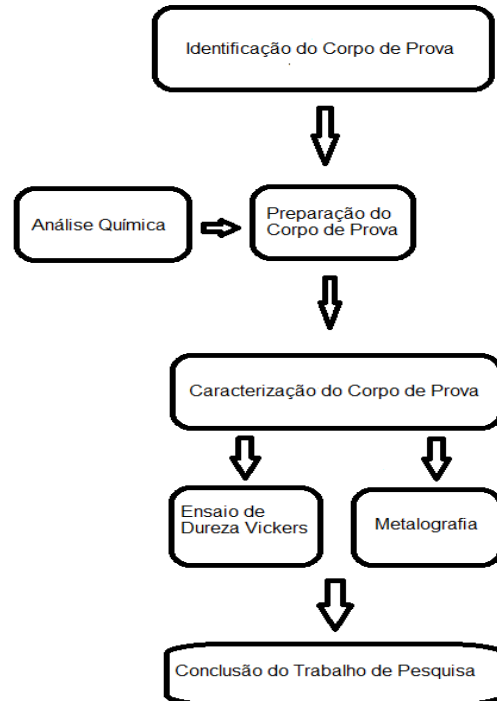
## 3-MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho são:

- Tubo de aço;
- Resina;
- Lixas de números 100, 160, 220, 320, 400, 600, 800, 1200;
- Lixadeira;
- Pano de polimento;
- Pasta de diamante, com granulometria de 1 a 3 $\mu$ m;
- Reagente químico Nital 2%, para o ataque da peça;
- Álcool;
- Secador;
- Politriz;
- Durômetro Digital MicrohardnessTester modelo MHV 2000;
- Microscópio ótico Olympus.

### 3.1-FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA

Figura 6: Fluxograma da Metodologia.



Fonte: Autora, 2013.

### 3.2-ANÁLISE QUÍMICA

A análise química da amostra foi realizada por Inspecometria de emissão Óptica, a composição química do aço estudado foi determinada via espectrômetro de emissão óptica e o tipo de análise realizada foi em concentração, a prática realizada permitiu a determinação dos componentes químicos que formam o aço e suas concentrações, a partir dos valores obtidos na análise foi possível calcular o carbono equivalente da amostra que é necessário na determinação de que aço se tratava. Com os valores do CE e dos componentes individuais, o passo seguinte foi a pesquisa no banco de dados mundial Keys to Metals e na literatura, e assim foi possível determinar o aço em questão.

### 3.3-CARBONO EQUIVALENTE

A obtenção dos valores de CE envolveram o uso das Equações 1 e 2 respectivamente, e o resultado do cálculo possibilitou a comparação do valor obtido no trabalho com o dos aços da literatura, no entanto o uso da equação 1, por envolver um maior número dos elementos de base da liga, foi a utilizada por ser um cálculo mais preciso.

### 3.4-DUREZA VICKERS

O método utilizado para obtenção da dureza do material foi o ensaio de microdureza Vickers, o procedimento foi realizado da seguinte maneira, foi retirada uma amostra do material, a superfície da amostra foi previamente preparada para retirada da oxidação que poderia alterar o resultado ou valor obtido da dureza.

Em seguida a amostra é colocada no durômetro Digital Microhardness Tester modelo MHV 2000, a força utilizada no ensaio foi de 0,49Kgf e o tempo de cada impressão de 15 segundos, observou-se a superfície através do microscópio da máquina e determinaram-se os pontos para serem feitas as impressões, após realizada o penetrador era removido e as diagonais da impressão piramidal na amostra eram medidas gerando assim no painel do aparelho a medida da dureza, foram realizadas 8 impressões na transversal com o espaço adotado de 2mm entre uma impressão e outra e 5 na horizontal com o espaço de 1mm.

### 3.5-PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

O primeiro passo na preparação da amostra foi retirar através do corte um pedaço do material, o corte foi realizado na policorte, com a preocupação de evitar encruamento superficial que alteraria o resultado do ensaio de dureza, o corte foi resfriado com água. O passo seguinte consiste em preparar a resina para o embutimento a frio da amostra, com a resina preparada colocou-se a amostra no molde e despejou-se a resina ao redor, depois de feito isso teve que esperar 24h para o endurecimento da resina.

O passo seguinte foi iniciar o lixamento da peça, esse lixamento foi realizado de forma correta e de acordo com o procedimento estudado na disciplina de Ensaio

e Caracterização de Materiais, que foi realizado de forma manual e a úmido, as granulometrias das lixas utilizadas progressivamente são: 100, 160, 220, 320, 400, 600,800, 1200.

Terminado o lixamento foi feito o polimento mecânico da amostra para realização do acabamento superficial da amostra, o procedimento consiste em cortar o pano de polimento colocar na politriz, umedece-lo com água colocar a pasta de diamante, com granulometria de 1 a 3 $\mu$ m, sobre o pano, ligar a politriz, o prato da politriz gira em velocidade média e a superfície da amostra é colocada em contato com o pano, ocorrendo assim o polimento da amostra.

O último passo da preparação da amostra foi o ataque químico, o método utilizado foi a imersão, esse procedimento foi realizado com Nital 2% e consiste em mergulhar a superfície da amostra no reagente químico por um tempo de 5s, retira-se a amostra e imediatamente lavou-se a superfície com água e álcool, em seguida secou-se a mesma com o auxílio de um secador portátil, evitando assim a formação de oxidação. Após a realização dos procedimentos descritos anteriormente a amostra estava pronta para ser utilizada na macro e micrografia que se seguiram.

### 3.6-METALOGRAFIA

#### 3.6.1-MACROGRAFIA E MICROGRAFIA

O procedimento macrográfico ocorreu de maneira simples, após a preparação da amostra, sua superfície foi observada e analisada a olho nu de maneira atenciosa para identificação de possíveis defeitos como trincas e/ou inclusões, e características superficiais da amostra.

Já a micrografia é um procedimento que requer mais atenção, a amostra foi colocada de maneira correta e cuidadosa no microscópio ótico utilizado então para o registro das micrografias foi da marca Olympus, pertencente ao Laboratório de Metalografia da Faculdade de Engenharia de Materiais, o operador visualiza a superfície da amostra buscando focar de maneira mais adequada, escolhe os pontos de onde serão capturadas as imagens, após captadas são arquivadas.

## 4-RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1-COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química obtida por meio da análise de espectrometria por emissão de elétrons revelou a presença e a quantidade de cada elemento na liga, a presença de manganês até 1,5 abaixa a temperatura de transição dúctil-frágil, aumentando a tenacidade, com os valores apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Composição química do aço.

Nº	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu
<b>Méd.</b>	0,429	0,234	1,565	0,016	0,0026	0,087	0,187	0,008	0,005	0,006

Fonte: Autora, 2013.

A partir destes dados e com o uso da ferramenta de buscas do site Keys to Metals aliado ao uso de handbooks e do livro Composição Química dos Aços, com a composição foi possível então propor que o aço do estudo em questão é um aço-manganês, classificado como aço estrutural e de baixa liga 1345H<sup>[9]</sup>. Pode-se observar esta conclusão através da comparação das tabelas 1 e 2.

Tabela 2: Composição química dos aços-manganês.

SAE-AISI	C	Mn	P máx.	S máx.	Si
<b>1320</b>	0,18-0,23	1,60-1,90	0,040	0,040	0,23-0,35
<b>1330</b>	0,28-0,33	1,60-1,90	0,035	0,040	0,15-0,35
<b>1335</b>	0,33-0,38	1,60-1,90	0,035	0,040	0,15-0,35
<b>1340</b>	0,38-0,43	1,60-1,90	0,035	0,040	0,15-0,35
<b>1345</b>	0,43-0,48	1,60-1,90	0,035	0,040	0,15-0,35

Fonte: Souza, 1989.

### 4.2-ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS

A dureza superficial do corpo de prova nos mostra que o aço utilizado na fabricação da tubulação estudada possui uma excelente dureza, esta propriedade mecânica confere ao aço resistência ao desgaste e a deformação, uma propriedade

esperada, pois tubos usados em perfuratrizes estão sujeitos ao desgaste por atrito, e também é tratado termicamente, tratamento esse que confere ao material tratado um aumento da dureza na superfície.

Os resultados individuais das impressões apresentaram variação nos valores, este fenômeno pode ser explicado pela microestrutura do material, o aço em questão é formado por perlita e ferrita, que possuem durezas diferentes.

É necessário comentar que ocorreram erros em algumas impressões, o erro em questão foi o abaulamento das diagonais das impressões, que segundo a literatura ocorre quando as diagonais coincidem com os grãos cristalinos da estrutura, e indica a variação de até 10% dos valores da dureza<sup>[8]</sup>. Os resultados obtidos no ensaio de microdureza estão apresentados na tabela seguinte:

Tabela 3: Tabela de Dureza Vickers.

HV	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
<b>2 mm</b>	268	300	279	276	320	297	288	342
<b>1 mm</b>	293	310	372	321	304	-----	-----	-----

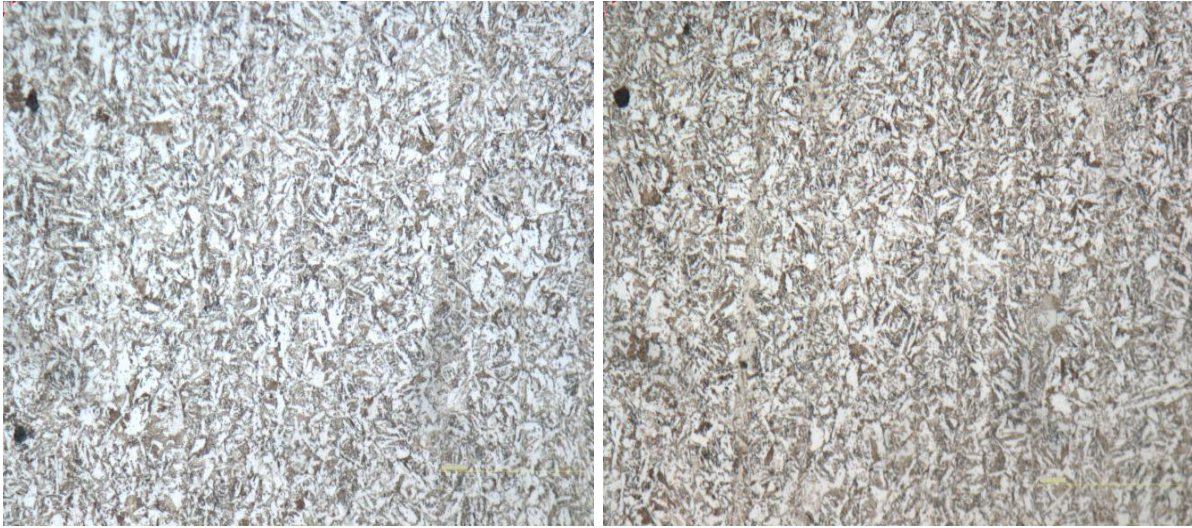
Fonte: Autora, 2013.

### 4.3-ANÁLISE METALOGRAFICA

#### 4.3.1-MACROGRAFIA

Os resultados da análise superficial da amostra revelaram uma superfície uniforme e com ausência de trincas internas na área estudada, essas características de homogeneidade é consequência do tratamento térmico realizado no material, a normalização é um tratamento utilizado na preparação do material para outros tratamentos, e confere características como refinamento dos grãos e homogeneidade ao material. É possível observar pontos pretos do lado esquerdo da imagem que foram identificados como inclusões no material, este tipo de defeito pode ser proveniente do processo de fabricação.

Figura 7: Imagens com o aumento de 50x.

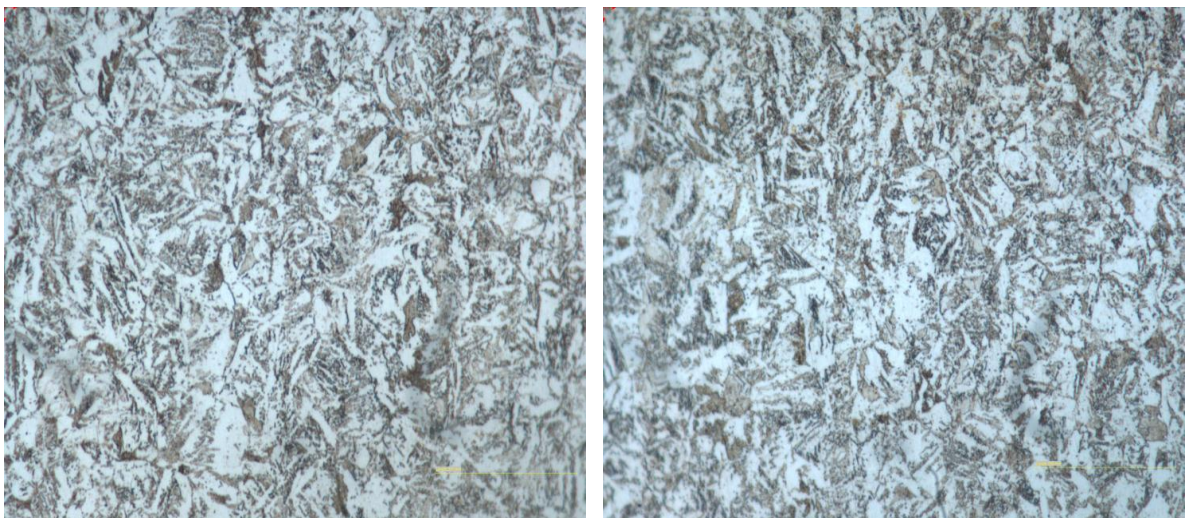


Fonte: Autora, 2013.

#### 4.3.2-MICROGRAFIA

Analisando as imagens micrográficas pode se perceber uma microestrutura com duas regiões, ferrita acicular (fase clara) e uma região escura com prováveis traços de perlita e/ou ainda bainita o que não pode ser descartado já que a análise desse material foi efetuada apenas por meio de microscopia ótica, esta estrutura é proveniente do tratamento térmico de Normalização<sup>[9]</sup>.

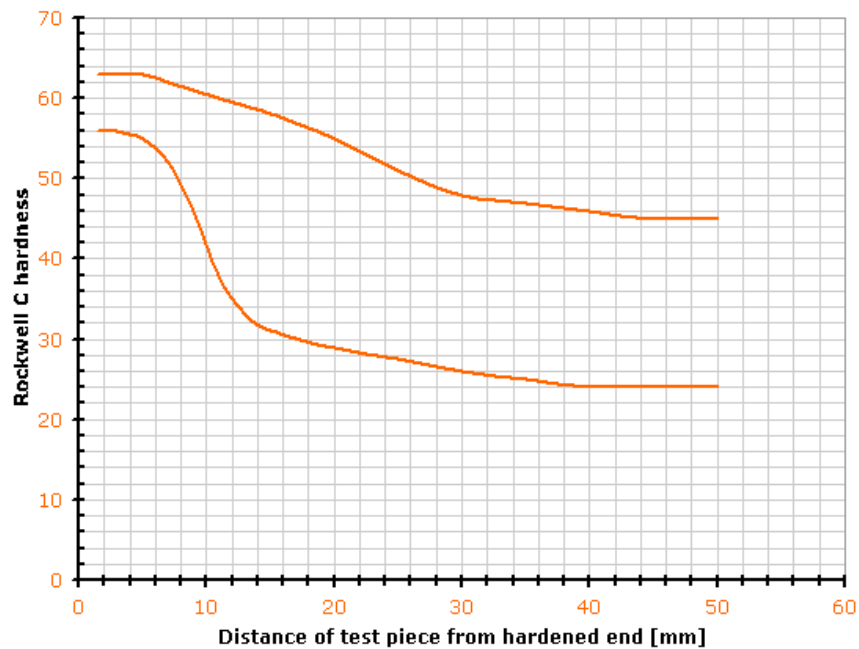
Figura 8: Micrografia da amostra, com aumento de 200x.



Fonte: Autora, 2013.

Foi normalizado a 870°C, austenização a 845°C, o resultado desse processo é uma redução do tamanho de grão e aumento da resistência e tenacidade, nucleação de ferrita no resfriamento e microestrutura de grão muito fino<sup>[7][8]</sup>. Aços assim produzidos vêm sendo amplamente utilizados em diversas aplicações, como tubulações. Segundo o banco de dados mundial Keys to metals a curva apresentada é do ensaio Jominy que serve para medir a temperabilidade de um aço, que é a capacidade de adquirir dureza, o declive da curva defini a penetração da tempera, o ensaio demonstrado abaixo é do aço da literatura e esta demonstrado na figura 8.

Figura 9: Ensaio Jominy.



Fonte: Keys to Metals



## **5-CONCLUSÃO**

Analisando os resultados da caracterização realizada na amostra, partindo do resultado da análise química, pode se concluir primeiro que o aço em questão é um aço manganês de baixa liga, o que está de acordo com a literatura se tratando de um aço utilizado na fabricação de tubulações.

Observando os resultados de microdureza concluiu-se que, o aço apresenta uma excelente dureza para sua aplicação, propriedade mecânica que coincide e é esperado da microestrutura do material. A análise da metalografia realizada revela um aço com uma superfície homogênea, com grãos refinados, características que geram um aço com aumento na resistência e tenacidade.

Todas as práticas realizadas, pesquisas e comparações de resultados com a literatura, indicam que o aço estudado é o 1345H, usado na fabricação de tubos sem costura utilizados em perfuratrizes de circulação reversa.

## **SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO**

Recomenda-se que para trabalhos futuros, realizem a simulação computacional dos esforços e desempenho deste tipo de tubo em trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1]COLPAERT; Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**, 3ª Edição, Editora EdgargBlücherLtda, São Paulo – 1974.
- [2]GUIAMETAL. **Diferença entre Tubos de Aço Com Costura e Sem Costura**, disponível em: <http://guiametal.com.br/artigo/diferencas-entre-tubo-de-aco-com-costura-e-sem-costura.html>. Acessado em: 20/01/2013.
- [3]Metals Handbook, 1981, 9 ed, v. 4, **Metallography and Microstructures**; American Society for Metals Park Ohio 44073.
- [4]ROHDE, Regis Almir. **Metalografia preparação de amostras**, Apostila digital, <http://www.urisan.tche.br/~lemm/metalografia.pdf>. Acessado em: 04/02/2013.
- [5]SANSONI JÚNIOR, Umberto. **Avaliação por Simulação Computacional da Circulação Reversa na Perfuração de Poços de Petróleo**. 2005. Disponível em [http://teses.ufrj.br/COPPE\\_M/UmbertoSansoniJunior.pdf](http://teses.ufrj.br/COPPE_M/UmbertoSansoniJunior.pdf). Acessado em: 18/03/2013.
- [6]SKOOG. **Fundamentos de Química Analítica**- 8ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- [7]SILVA, André Luiz V. Costa e. **Aços e Ligas especiais**- 3ª ed. Revista- São Paulo: Editora Blucher, 2010.
- [8]SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos- Fundamentos Teóricos e Práticos**, São Paulo, Edgard Blücher, 1982.
- [9]SOUZA, Sérgio Augusto de. **Composição Química dos Aços**- São Paulo: Edgard Blucher, 1989.