

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**ANÁLISE QUALITATIVA DO TEOR DE CARBONO EM UM TARUGO DE AÇO
ATRAVÉS DE MICROGRAFIA UTILIZANDO SOFTWARE DE TRATAMENTO DE
IMAGENS**

AUTORES:

Íverson Caio Pontes Pacheco³; Raimundo Quindere Cruz Neto²; Theophilo Moura Maciel³;
José Hilton Ferreira da Silva⁴

INSTITUIÇÃO:

^{1,3}Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

^{1,4}Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

ANÁLISE QUALITATIVA DO TEOR DE CARBONO EM UM TARUGO DE AÇO ATRAVÉS DE MICROGRAFIA UTILIZANDO SOFTWARE DE TRATAMENTO DE IMAGENS

Abstract

Metallography is a very important tool on material's characterization, specially steel and cast iron. The method used in this article consists on the analysis of the carbon chemical composition present in a piece of steel. The purpose of this kind of analysis is diverse, since the determination of the correct heat treatment to determination of mechanical properties from standard tables. After following a rigorous methodology, it was possible to capture a image from the proof body and exported this image to ImageJ to determinate its carbon content. From this methodology the following items deserves to be highlighted: cut off, inlay, sanding, polishing and chemical attack. The results are qualitative. It was found a médium value for the carbon content which was 0,58%. This steel could be characterized as a ABNT 1055 steel, médium carbon steel.

Introdução

A metalografia, apesar de ser uma ferramenta excepcional para determinação do teor de carbono de aços e ferros fundidos, veio a ser utilizada relativamente tarde na história. De acordo com Cesar e Beatriz (USP, 2005), encarando a metalografia como o uso de aspectos visuais do metal, surge no Oriente por volta de 800 d. C., metalurgistas utilizavam materiais compósitos (aço de alto teor de carbono altamente segregado com uma combinação de aço e ferro) para a produção de aço por forjamento, produzindo uma macroestrutura visível a olho nu. Esta macroestrutura servia também para o controle da qualidade estética dos produtos forjados em aço Damasco.

Para determinação do teor de carbono de um aço carbono qualquer através da técnica da metalografia, é necessário seguir uma série de metodologia de preparação da amostra para a análise. Todo o processo é regulamentado por normas, no Brasil, a ABNT. Neste caso particular, se torna mais viável a observação da microestrutura através da micrografia. Micrografia é uma técnica de observação da microestrutura dos materiais em escala microscópica.

Da metodologia para preparação da amostra, pode-se citar: corte; embutimento; lixamento; polimento e ataque químico. Cada passo da preparação desempenha um grande papel para o acabamento da amostra e a qualidade da imagem a ser emitida pelo microscópio.

Diversos cuidados devem ser tomados na preparação da amostra e cada etapa dependerá do que se deseja analisar na micrografia do material. O corte, que é uma das mais importantes partes do processo, depende do que se deseja analisar. No caso de determinação do teor de carbono, é interessante cortar o material na sua secção transversal. O tamanho da amostra é variado, porém, aconselha-se utilizar uma amostra de área menor ou igual a 1 cm². Quanto menor a área da amostra, maior controle o metalógrafo terá maior controle aplicando as metodologias de preparação da amostra.

A determinação do teor de carbono se dá através da análise da área ocupada pelo microconstituente Perlita, que é uma mistura dos microconstituintes Ferrita e Cementita. A ferrita é um composto CCC, termo para chamar o ferro puro, também chamada de ferro alfa, é um microconstituente extremamente dúctil. A Cementita é um composto de estrutura ortorrômbica, é extremamente dura e quebradiça.

Com o valor da fração de área ocupada pelo microconstituente Perlita, é possível determinar a concentração de carbono na amostra através da aplicação da Regra da Alavanca Inversa, utilizando o diagrama de fases Fe-Fe₃C.

Metodologia

Corte

Na maioria das vezes, é necessário o corte da peça de modo a formar amostras para análise. Há diversas maneiras de fazer o corte, pode-se citar: Torno Mecânico, Plaina Limadora, poli corte, etc. Neste caso particular, foi utilizado o corte no Torno Mecânico, utilizando a ferramenta conhecida como Bedame, de espessura de 2 mm. Não é aconselhável utilizar o corte em tornos mecânicos ou plainas devido às deformações a frio que estas máquinas impõem às amostras, porém, esta era a opção mais rápida e fácil e não comprometeria o resultado da análise da composição química do material.

Inicialmente, foi efetuado o corte do material para fazer uma amostra a ser analisada. Deu-se um corte transversal no tarugo. Foi preservado o diâmetro de 25 milímetros por que a amostra poderia ser utilizada máquina de embutimento a quente. Como a intenção é apenas observar o tamanho de grão e a composição química do material, o corte transversal é a melhor opção.

Embutimento

Há duas maneiras para embutir uma amostra para análise metalográfica. São conhecidas como embutimento *à frio* e *à quente*. Como o nome já sugere, um feito a baixas temperaturas e outro a altas temperaturas. O embutimento a quente é frequentemente utilizado, chegando a temperatura da ordem de 180°C, utilizando o material Baquelite como matéria prima. O embutimento a frio é mais utilizado em casos que a temperatura do embutimento a quente possa modificar a microestrutura do material a ser analisado. O embutimento é utilizado para proteção e melhor manuseio da peça durante o lixamento.

Foi utilizado o embutimento a quente nesta amostra, tendo em vista que a temperatura alcançada neste processo não alteraria na microestrutura do aço, que tem seu ponto de fusão em torno de 1600°C. O embutimento a quente foi feito na máquina embutidora da marca Arotec, mostrada na figura abaixo.

Figura 1 – Embutidora Arotec PRE 30C.



Fonte - Denis Petermann et al (2012).

Foi utilizado o material baquelite como matéria prima para o embutimento. É necessário manter a pressão na máquina em torno de 100 kgf/cm² para manter a baquelita que está vulcanizando sempre presa a amostra e sem vazios. Com o embutimento, torna-se mais fácil o manuseio da amostra e diminui a incidência de erros na etapa de lixamento da amostra.

Lixamento

O lixamento é a etapa de preparação da amostra para análise junto ao microscópio que necessita de maior atenção e cuidado na execução. No caso de análises com auxílio de microscópio ótico, que funcionam com a luz refletida pela amostra, caso seja formado mais de um plano durante o lixamento, deixa a análise difícil devido à falta de foco em algumas áreas.

O lixamento se dá com o auxílio de lixas. Este processo pode ser feito com o auxílio de lixadeiras rotativas elétricas, onde o trabalho do metalógrafo é apenas segurar a amostra sob um prato rotatório com a lixa acoplada; ou em lixadeiras manuais onde a lixa é presa ao equipamento e o metalógrafo desliza a amostra na lixa. As lixas para ligas ferrosas são de SiC e são utilizadas das que tem maior granulometria para as que tem menor granulometria.

Foi utilizado a lixadeira manual, semelhante à da figura abaixo, onde a lixa é acoplada e o metalógrafo desliza a amostra sobre ela, retirando material.

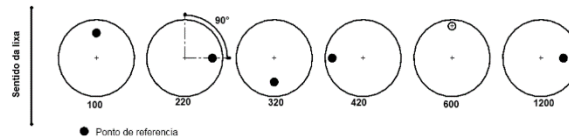
Figura 2 – Lixadeira Manual.



Fonte – Google Images.

A sequência das lixas utilizadas no lixamento da amostra foi: 120, 240, 320, 400, 600 e 1200. Não houve um padrão de tempo para troca da lixa, o lixamento foi contínuo e parava assim que não restassem riscos na direção da lixa anterior. Quando finalizado um lixamento, a amostra era lavada com água em abundância e quando iniciado o lixamento na próxima lixa, dava-se um giro de 90° na direção de lixamento. Este giro de 90° é necessário pois com ele é possível apagar os riscos (ou arranhões) causados pelo lixamento anterior na direção do lixamento.

Figura 3 – Instruções sobre o giro de 90°.



Fonte – LEMM (2010).

A figura 3 mostra como deve ser feito o giro de 90° de modo a permitir que o próximo lixamento elimine os riscos causados pelo lixamento anterior. Ainda no lixamento, deve-se ter cuidado na velocidade e força aplicada. Diversas combinações de velocidade de lixamento e força aplicada, podem causar encruamento da amostra e assim deixar alguns resultados da micrografia bastante imprecisos em termos técnicos.

Polimento

O polimento tem o objetivo de retirar os riscos do último lixamento, deixando a superfície espelhada. Os materiais polidores podem ser: pasta de diamante (granulometria varia de 1 μm à 3 μm) e alumina, Al_2O_3 , (granulometria varia com a numeração, do N° 4 ao N° 1). Foi-se utilizado uma Politriz da marca Arotec, modelo similar ao da figura abaixo.

Figura 4 – Politriz da Marca Arotec.



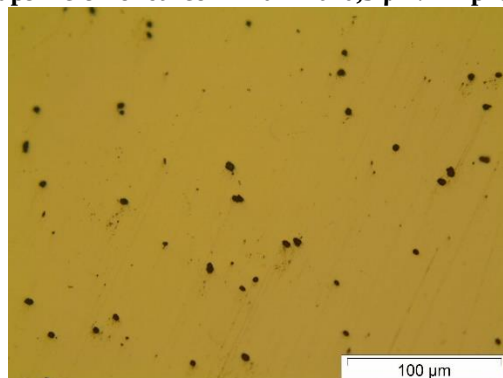
Fonte – Acervo Pessoal (2016).

O polimento com a pasta de diamante oferece qualidade superior ao com alumina, porém, o polimento com pasta de diamante tem um preço muito elevado. O material da pasta de diamante não é o diamante propriamente dito, mas um material com dureza similar à do diamante. Sua granulometria varia de 1 μm à 3 μm .

Foi utilizado o polimento com o material polidor alumina, de fórmula química Al_2O_3 . O polimento com alumina oferece qualidade satisfatória para deixar a superfície satisfatoriamente espelhada. Inicialmente foi utilizado a alumina de número 4, que tem granulometria de 1 μm . Não foi fotografado no microscópio esta etapa.

Após o polimento com a alumina de número 4, foi-se utilizado a alumina de número 3, que tem granulometria de 0,3 μm . O resultado é mostrado na figura abaixo.

Figura 5 – Superfície Polida com Alumina 0,3 μm . Ampliação de 200X.



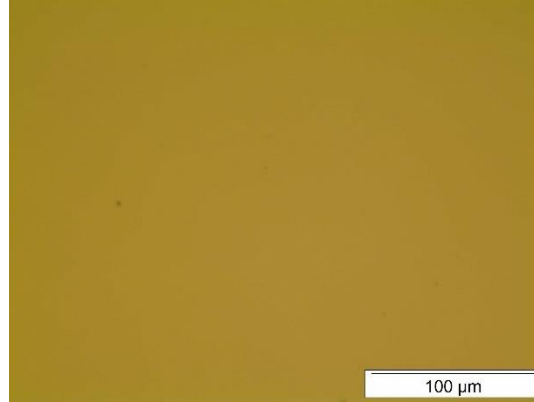
Fonte – Acervo Pessoal (2016).

Na figura 3, nota-se o aparecimento de “rabos de cometa”. Trata-se do descolamento de inclusões da superfície que está sendo polida. Os rabos de cometa geralmente aparecem devido a combinações de força excessiva com baixa rotação ou alta rotação e força excessiva.

Finalmente, foi-se utilizado a alumina de número 2, que tem granulometria de 0,05 μm . Com este polimento, finaliza-se o processo de polimento e pode-se ver a superfície da amostra bastante espelhada. O resultado via microscópio ótico é mostrado na figura abaixo.

A partir da figura 5, nota-se a qualidade do polimento e lixamento aplicado na preparação da amostra para ser analisada. Com a alumina N° 2, encerra-se o processo de polimento.

Figura 6 – Superfície Polida com Alumina 0,05 μm . Ampliação de 200X.



Fonte – Acervo Pessoal (2016).

Ataque Químico

O ataque químico tem o objetivo de revelar a microestrutura da amostra. O ataque químico se dá passando sobre a superfície do material, uma solução ácida, objetivando delimitar os contornos de grão e determinar os constituintes.

Dependendo do ácido empregado, pode-se revelar o que se deseja analisar. Neste caso particular, como se está interessado na determinação do teor de carbono do material, utilizou-se uma solução alcoólica de Nital, de fórmula química HNO_3 . A concentração foi de 5%. Este ácido faz com que a Ferrita e Cementita fiquem na cor branca e a Perlita escurecida, ou corroída.

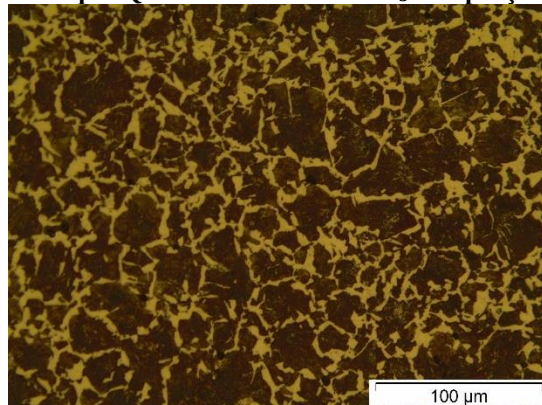
O Nital ataca contornos de grão. Embora seja de uso geral, não é o ideal para a perlita, por não atacar uniformemente este constituinte. O ataque excessivo da perlita ou o ataque à perlita de espaçamento muito fino resulta em áreas perlíticas pretas ou muito escuras e confusão das lamelas (Colpaert et al, 2008).

No ataque também deve-se ter cuidados especiais. Os principais cuidados que se deve ter são: porcentagem do ácido a ser utilizado e o tempo de ataque. O tempo de ataque varia conforme a porcentagem de carbono do material, quanto maior a porcentagem, menor o tempo que se deve deixar o material sob o ataque do ácido. Após o tempo necessário, que varia de acordo com a experiência do metalógrafo, o mesmo deve lavar a amostra com álcool etílico e secar com um soprador de ar quente ou secador de cabelo, de modo a eliminar as manchas de água ao levar a amostra ao microscópio.

Vemos abaixo o resultado no microscópio após o ataque químico. O ataque demorou aproximadamente 5 segundos.

A parte amarela representa o ferro alfa, ou perlita, e a parte mais escura representa a perlita, microconstituente que serve como base para a determinação do teor de carbono do material em análise.

Figura 7 – Ataque Químico com Nital HNO_3 . Ampliação de 200X.



Fonte – Acervo Pessoal (2016).

Resultados e Discussão

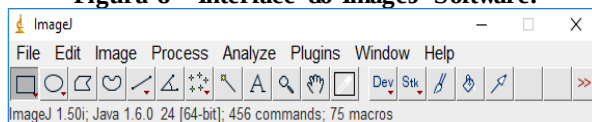
A determinação do teor de carbono, após seguidos todos os passos previamente explicados na seção 2 deste trabalho, pode ser dada com a ajuda de um software de tratamento de imagens. Quando não era utilizado software para determinação do teor de carbono, o mesmo era encontrado através da divisão da imagem em uma matriz de no mínimo vinte linhas e vinte colunas, dando um total de quatrocentos pontos de intersecção. Após desenhado esta matriz, era contado as intersecções que caíam dentro do campo perlítico e assim determinava o teor de carbono.

Hoje em dia, com o avanço da tecnologia, é bastante aceitável determinar o teor de carbono através de softwares. É um método rápido e tem uma boa precisão.

Neste caso particular, será utilizado o Software ImageJ. Este software basicamente transforma a imagem em uma foto de 8 bits e troca a cor da perlita por uma cor arbitrária. A partir daí o software calcula a porcentagem de área ocupada pela perlita dentro do campo da imagem.

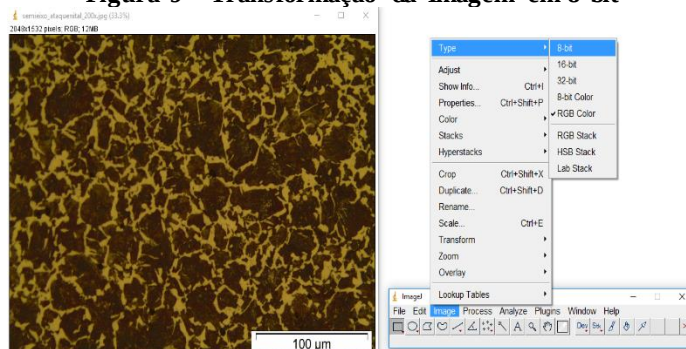
A figura abaixo mostra a interface do software ImageJ. Software de simples uso e com bastantes funções para o tratamento de imagens. O ImageJ é largamente utilizado na área médica, utilizado para análise de exames com imagens e diagnóstico de doenças através dos mesmos. É um software livre.

Figura 8 – Interface do ImageJ Software.



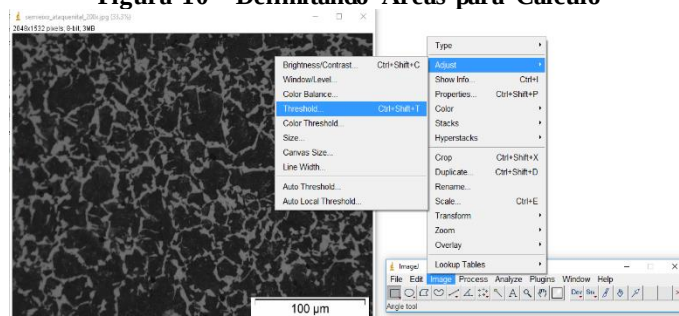
Fonte – Acervo Pessoal (2016).

Figura 9 – Transformação da Imagem em 8-bit



Fonte – Acervo Pessoal (2016).

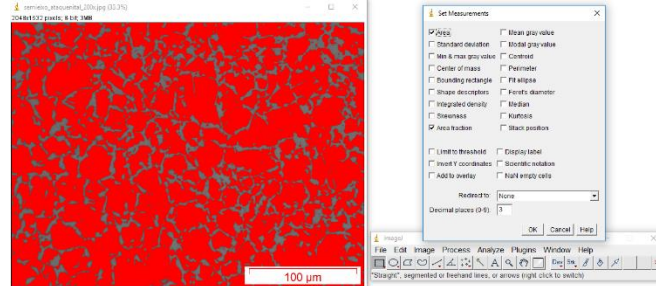
Figura 10 – Delimitando Áreas para Cálculo



Fonte – Acervo Pessoal (2016).

Definido a área que o software irá calcular, agora resta apenas a definir o que se deseja que o software calcule. Nesta etapa, definimos os parâmetros que queremos que o software nos forneça através da análise da imagem.

Figura 11 – Definindo Parâmetros.



Fonte – Acervo Pessoal (2016).

A última etapa é a de aquisição dos valores fornecidos pelo software. Para chegar nela, clicamos em *Analyze* e em seguida em *Measure*. O software irá fornecer a fração de área que a perlita ocupa da área total. Após ter este dado, basta apenas utilizar o diagrama de fases do Fe-Fe₃C, utilizando a regra da alavanca invertida e determinar a porcentagem de carbono presente na amostra através da área ocupada pela perlita.

Figura 12 – Valor da Área.

	Area	%Area
1	3137536	73.077

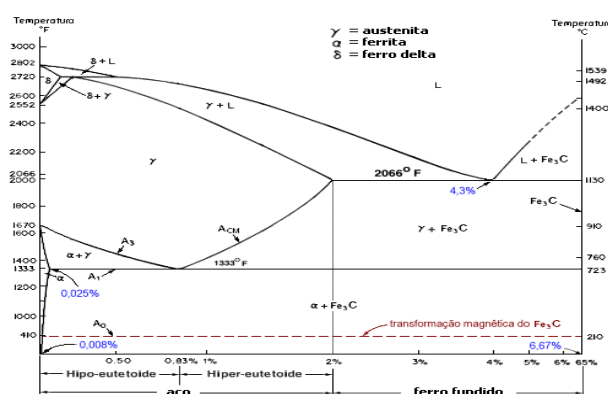
Fonte – Acervo Pessoal (2016).

Conclusões

A partir do valor de área encontrado na parte 3.0 deste trabalho, pode-se determinar a concentração de carbono e consequentemente o tipo do aço carbono em análise.

Observando o diagrama de fases Fe-C mostrado abaixo, podemos utilizá-lo para determinação do teor de carbono.

Figura 13 – Diagrama de Fases Fe-C Simplificado.



Fonte – CIMM (2012).

Então, a partir da figura 15, utilizamos a seguinte equação para cálculo do teor de carbono:

$$100x \frac{\text{Percentual de Carbono} - 0,025}{0,83 - 0,008} = 73,077\% \quad (4.1)$$

$$\text{Percentual de Carbono} - 0,025 = 0,60069 \quad (4.2)$$

$$\text{Percentual de Carbono} = 0,57569\% \quad (4.3)$$

Logo, pode-se concluir que 0,58% da concentração da amostra é do elemento Carbono. Então, de acordo com *Society of Automotive Engineers* (SAE), que é uma entidade que classifica os tipos de aços, conclui-se, a partir da figura 16, que o tarugo é de aço SAE 1055. Logo, o vendedor pode ser fornecido uma informação incoerente na venda do tarugo de aço. É importante falar que este é um método qualitativo de análise do teor de carbono. Normas internacionais regularizam e instruem melhores métodos na determinação do teor de carbono.

Figura 14 – Classificação SAE - AISI para Aços Carbono.

N° SAE	C	Mn	P (max)	S (max)	N° AISI
1006	0,08 max.	0,25-0,40	0,040	0,050	C1006
1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,050	C1010
1015	0,13-0,18	0,30-0,60	0,040	0,050	C1015
1016	0,13-0,18	0,60-0,90	0,040	0,050	C1016
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,050	C1020
1022	0,18-0,23	0,70-1,00	0,040	0,050	C1022
1025	0,22-0,28	0,30-0,60	0,040	0,050	C1025
1030	0,28-0,34	0,60-0,90	0,040	0,050	C1030
1040	0,37-0,44	0,60-0,90	0,040	0,050	C1040
1045	0,43-0,50	0,60-0,90	0,040	0,050	C1045
1050	0,48-0,55	0,60-0,90	0,040	0,050	C1050
1055	0,50-0,60	0,60-0,90	0,040	0,050	C1055
1060	0,55-0,65	0,60-0,90	0,040	0,050	C1060
1065	0,60-0,70	0,60-0,90	0,040	0,050	C1065
1070	0,65-0,75	0,60-0,90	0,040	0,050	C1070
1074	0,70-0,80	0,50-0,80	0,040	0,050	C1074

Fonte – Paulo J. Modenesi (2011).

Referências Bibliográficas

LUIZ DE BRITO BPTÍSTA, André; ROSESTOLATO SOARES, Ângelo; ASSIS DO NASCIMENTO; Ivaldo. **O ensaio metalográfico no controle da qualidade**. Internet, artigo científico informativo. Disponível em <http://www.spectru.com.br/ensaio_metal.pdf>.

ENCICLOPÉDIA LIVRE. Wikipédia. **Ferrita**. Internet, artigo informativo. Última vez modificado em 22 de abril de 2015, às 18h20min. Disponível em <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ferrite>>.

ENCICLOPÉDIA LIVRE. Wikipédia. **Cementita**. Internet, artigo informativo. Última vez modificado em 30 de novembro de 2013, às 12h21min. Disponível em <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Cementita>>.

ROHDE ALMIR, Regis. **Metalografia: Preparação de amostras**. Uma abordagem prática, versão 3.0. Internet, 2010. Disponível em <<http://www.urisan.tcche.br/~lemm/metalografia.pdf>>.

METAL MECÂNICA, CI. **Diagramas Fe-Fe₃C**. Internet, artigo de informação, 2012. Disponível em <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6434-diagramas-fe-fesub3subc#.V9i2dpgrK01>.