

AVALIAÇÃO DO TEOR DE CARBONO PARA AÇOS COMUNS UTILIZANDO ANÁLISES DE IMAGENS¹

*Raquel Guilherme de Carvalho²
Jorge Magner Lourenço³
Celina Leal Mendes da Silva³*

Resumo

Os aços constituem uma família de materiais extremamente versátil, possuindo percentuais que variam entre 0,008% a 2,0%C. A maioria deles apresenta uma microestrutura composta pelas fases α e Fe_3C , que se desenvolve dependendo do teor de carbono e do tratamento térmico aplicado. O objetivo deste trabalho se concentra na caracterização do teor de carbono de dois aços utilizando análise de imagens como ferramenta. As amostras foram recozidas a temperatura de 850°C utilizando um forno resistivo com atmosfera controlada. Elas foram preparadas metalograficamente e analisadas via microscopia óptica. As imagens obtidas foram inseridas no software Imagem-Pro Plus para quantificação da perlita para em seguida serem correlacionados com a regra da alavanca. Os percentuais dos constituintes encontrados nas imagens, também serviram para determinar a dureza Brinell destes aços. A partir dos resultados obtidos através dos procedimentos citados anteriormente, se conseguiu comprovar que os resultados encontrados via análise de imagens foram compatíveis com os encontrados pela regra da alavanca, para caracterização do teor de carbono.

Palavras-chave: Aços; Análise de imagens; Caracterização do teor de carbono.

EVALUATION OF CONTENT FOR CARBON STEEL JOINT USING IMAGE ANALYSIS

Abstract

The steel constitute a family of extremely versatile materials having carbon percentage ranging from 0,008 to 2,0%. The most of them present microstructure compounded of phases α and Fe_3C , evidently this effect depends on the carbon content and thermal treatment applied. This paper concentrates in carbon content characterization of two steel using images analysis as methodology. The samples have been annealed at 850°C using a resistive furnace with special atmosphere. They have been prepared and analyzed using optic microscopy. The images were inserted in a computer software to quantify the perlite and after to do the correlation with principle of the lever. The percentages found by images were also useful to determine the Brinell hardness of these steels. From the results obtained through the procedures cited previously was possible to prove that results found by images analysis have been compatible with that one found by principle of the lever for carbon content characterization.

Key words: Steel; Image analyzes; Content carbon characterization.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Aluna de Graduação em Tecnologia em Materiais – CEFET- RN²*

³ *Professores do Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN³*

1 INTRODUÇÃO

Os aços são ligas de ferro-carbono que contém entre 0,008% e 2,0% de carbono fazendo parte de uma família de materiais extremamente versátil, sendo esta versatilidade evidenciada pelos muitos tipos de aços que são manufaturados.⁽¹⁾ Pra se ter uma idéia os valores de carbono encontrado nos aços é tão importante que basta alterar este valor para que se consiga mudar substancialmente as propriedades mecânicas dos mesmos, assim diferentes tipos de aços são designados de acordo com a concentração de carbono. Geralmente, utiliza-se um conjunto de quatro algarismos, no qual os dois últimos correspondem ao percentual de carbono. Desta forma, um aço 1050 será um aço carbono com 0,5% de carbono em peso. Essa designação é aceita como padrão pelo AISI e pelo SAE.^(1,2)

Tendo um aço com 0,08% de carbono em peso, este apresentará uma estrutura predominantemente ferrítica. Se o teor de carbono for aumentado para 0,8%, tem-se uma grande quantidade de cementita, passando a se ter uma alta dureza/resistência ao desgaste em detrimento da ductilidade. De acordo com Callister,⁽²⁾ diversas microestruturas podem ser produzidas nos aços que se desenvolvem tanto pelo o teor de carbono quanto pelo tratamento térmico aplicado ao material.

Neste contexto o objetivo deste trabalho é identificar o teor de carbono, em função da quantidade de ferrita e perlita, de dois diferentes tipos de aços utilizando análise de imagens através do soft Image - Pro Plus. Os percentuais de perlita encontrados foram aplicados no cálculo da regra da alavanca permitindo encontrar a quantidade relativa de carbono, e ainda os valores de ferrita e perlita serviram para estimar dureza Brinell teórica destes aços.

1.1 Aços Recozidos

Os constituintes obtidos nos aços são a ferrita, a cementita e a perlita, sendo estas microestruturas formadas, principalmente, pelo teor de carbono presente nos aços. O tratamento térmico conhecido como recozimento indica que o material foi aquecido acima da zona crítica e resfriado lentamente. Esta reação que se processa lentamente é um processo onde ocorre a migração dos átomos de carbono, formando assim as novas fases. Esta transformação é denominada de reação eutetoide, pois a transformação dos aços ocorre abaixo da temperatura eutetoide, onde um sólido (austenita) se transforma em dois outros sólidos (ferrita e cementita).⁽²⁾ Através do diagrama ferro-carbono, ilustrado na Figura 1, é fácil entender o que ocorre na microestrutura dos aços carbono. A temperatura eutetoide corresponde a 727°C, e é abaixo desta faixa, nas condições de equilíbrio, onde toda a austenita se transforma em ferrita e cementita. Analisando este diagrama de fases, durante um resfriamento lento, a estrutura CFC da austenita se torna instável e para que o material permaneça neste estado é necessário que haja uma transformação na estrutura. Quando o resfriamento cruza a temperatura eutetoide (727°C), a austenita se decompõem para formar a ferrita, uma estrutura agora CCC. A ferrita se dá a partir de pontos de maior energia, neste caso nos contornos de grão. À medida que a ferrita cresce o carbono em excesso vai sendo expulso para as regiões adjacentes, dando origem à cementita. Esta passagem de uma estrutura CFC para outra CCC é induzida pela transformação alotrópica do ferro puro, na qual também é consequência de uma variação na energia livre.

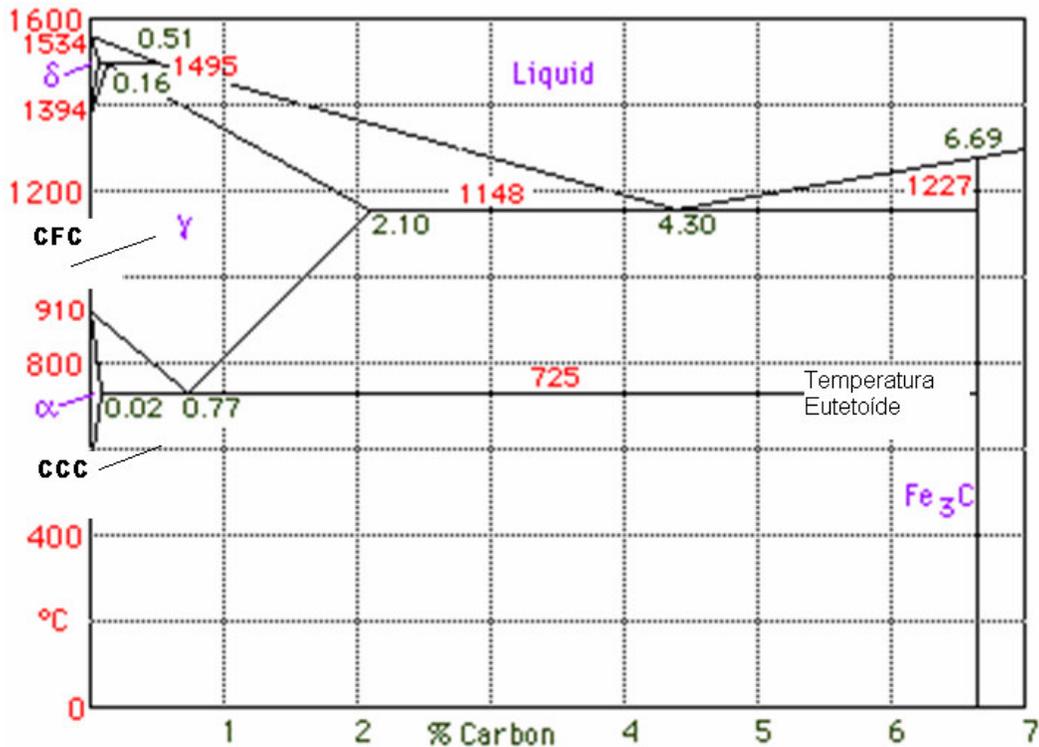


Figura 1 – Diagrama ferro – carbono.⁽¹⁾

Como pode ser observado na Figura 2, existe a formação quase simultânea de vários núcleos de ferrita, a estrutura resultante passará a ser composta de regiões alternadas de ferrita e de cementita. Como consequência, ao final da transformação, quase toda a estrutura do aço será formada por lamelas de ferrita e cementita. A estrutura formada nesta reação é dada o nome de perlita.

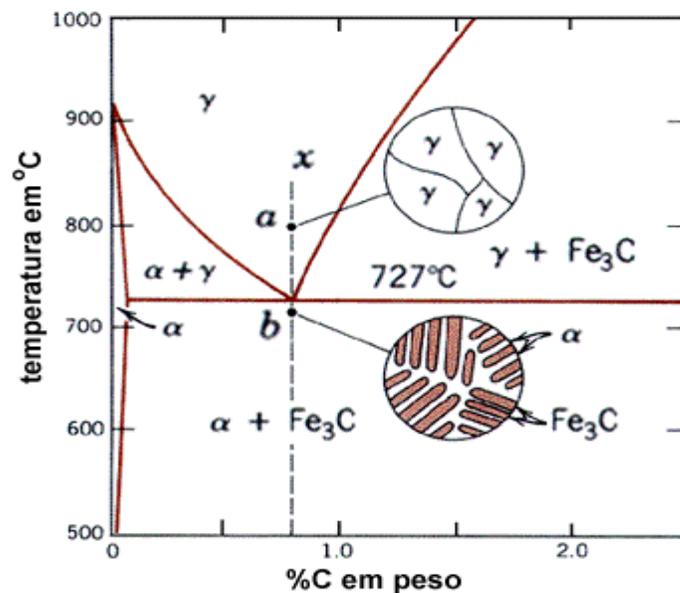


Figura 2 - Transformação eutetóide - Uma solução sólida se transforma em duas soluções sólidas distintas daquela que a originou: $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ [sólido (austenita) \rightarrow sólido (ferrita-gama) + sólido (cementita)].⁽²⁾

Segundo Callister⁽²⁾ a perlita existe como grãos, às vezes denominados "colônias"; dentro de cada colônia as camadas estão orientadas na mesma direção, que varia de uma colônia para outra. As espessas camadas claras são da fase ferrita, e a fase cementita aparecem como lamelas finas em sua maioria aparecendo escuras. A quantidade dos constituintes dos aços é verificada pelo emprego do cálculo da regra da alavanca apresentado na equação (a) e (b), a partir da região $\alpha + \beta$ do diagrama de fases ferro-carbono.

$$W_{ferrita} = \frac{(0,77 - X)}{(0,77 - 0,022)} \quad (a)$$

$$W_{perlita} = \frac{(X - 0,022)}{(0,77 - 0,022)} \quad (b)$$

Onde, X é o teor de carbono.

1.2. Dureza Brinell dos Aços Recozidos

Como foi dito anteriormente a variação de algumas propriedades mecânicas dos aços está diretamente correlacionada ao teor de carbono na sua composição. A dureza é uma delas que quando elevado o teor de carbono se tem o aumento da dureza do material, por este motivo é uns dos parâmetros utilizados para classificar os tipos de aços comuns, de extra doce, doce, meio doce, meio duro, duro e extra duro.⁽³⁾

A maioria dos métodos aplicados para verificar os valores de dureza dos materiais utiliza penetradores com formato padronizado e que são pressionados na superfície do material sob condições específicas de pré-carga e carga. A marca formada ou sua profundidade são medidas nas quais são correlacionadas com um valor numérico. Esta correlação é baseada na tensão de que o penetrador necessita para vencer a resistência da superfície do material.⁽⁴⁾

Em alguns casos é possível fazer uma estimativa da dureza Brinell dos aços carbono em função das propriedades dos microconstituintes. Para determinar a dureza aproximada, os percentuais dos microconstituintes encontrados nos aços são aplicados na equação (c). Na Tabela 1 é mostrado os valores que corresponde a dureza Brinell dos constituintes dos aços, e que serão aplicados de acordo com a equação (c).

$$HB_{aço} = W_{ferrita} \times HB_{ferrita} + W_{perlita} \times HB_{perlita} \quad (c)$$

Tabela 1 - Valores da dureza Brinell para alguns constituintes dos aços carbono⁽⁴⁾

Microconstituintes	Dureza Brinell - HB
Ferrita	80
Perlita grosseira	240
Perlita fina	380
Martensita	595

A Tabela 2 mostra a dureza Brinell de alguns aços recozidos, estes valores serão comparados com os obtidos após o cálculo feitos neste estudo.

Tabela 2- Propriedades mecânicas dos aços carbono após o tratamento de recozimento.⁽⁷⁾

RECOZIMENTO						
Tipo de Aço	Resist. à Tração (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Redução de área (%)	Dureza (HB)	Impacto (J)
1015	386,1	284,4	37	69,7	111	115
1020	394,7	294,8	36,6	66	111	123,4
1030	463,7	341,3	31,2	57,9	126	69,4
1040	518,8	353,4	30,2	57,2	149	44,3
1050	636	365,4	23,7	39,9	187	16,9
1060	625,7	372,3	22,5	38,2	179	11,3
1080	615,4	586,1	12	17	293	6,8

Portanto, é possível identificar o teor de carbono para diferentes tipos de aços, dispondo apenas da técnica de caracterização por microscopia óptica aliada a qualquer software simples de análises de imagens.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise de imagem pode ser definida como um processo de quantificação de imagens. A metalografia quantitativa, aplicada à ciência dos materiais é aplicada para a classificação e quantificação das microestruturas. Esta técnica é importante para o estudo e caracterização de metais, bem como para a otimização do processo de fabricação dos mesmos. Neste trabalho, a metalografia irá fornecer meios de quantificar a microestrutura, cujo objetivo é determinar as frações de ferrita e perlita para determinar o percentual de carbono e fornecer uma estimativa da dureza Brinell para os aços em estudo.

Inicialmente as amostras dos aços recozidos foram submetidas ao procedimento de caracterização. Elas foram cortadas utilizando disco diamantado e embutidas com uma resina termo fixa. Logo após as amostras foram então lixadas e polidas em suspensão de Al_2O_3 . Após o polimento foram realizados ataques químico com Nital 2% para revelar suas microestruturas. As imagens foram obtidas através do microscópio óptico mostrado na Figura 3. Em seguida as micrografias capturadas no microscópio óptico foram tratadas no software Image - Pro Plus sendo usadas na análise de imagens para quantificação das fases presentes. Posteriormente, todas as imagens foram transformadas em tons de cinza para isolamento das fases.

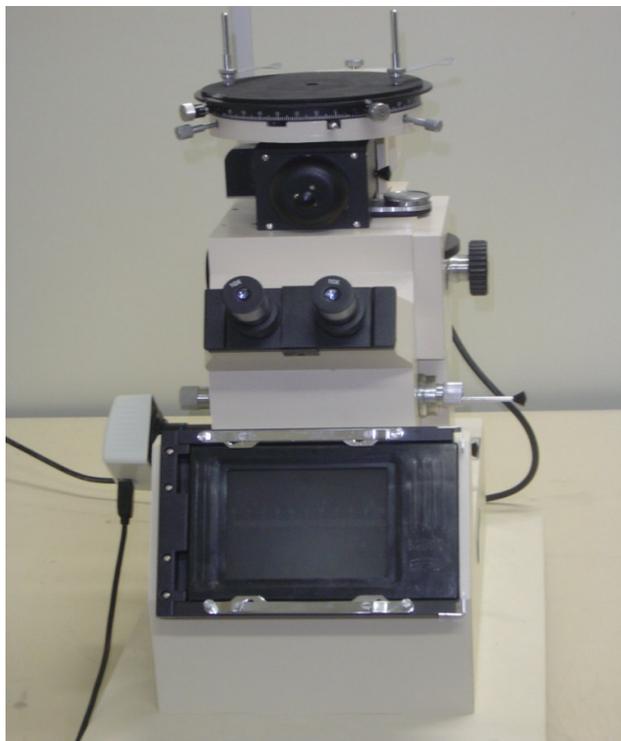


Figura 3 - Microscópio óptico utilizado neste trabalho.

A variação dos níveis de cinza é uma ferramenta útil em metalurgia, consistindo em selecionar o valor de intensidade que pode ser usado na discriminação entre os constituintes de interesse e aqueles irrelevantes para a análise feita. Durante a análise, primeiramente foram separadas as partículas em função de um nível de cinza pré-determinado, logo em seguida foi feito o contraste das imagens coletadas por meio de sistemas de filtros para detecção de fases, realizando-se a contagem em percentual. Os percentuais das fases presentes nas amostras de aços foram aplicados na regra da alavanca, apresentada na equação:

$$X = W_{perlita} \times (0,77 - 0,022) + 0,022 \quad (d)$$

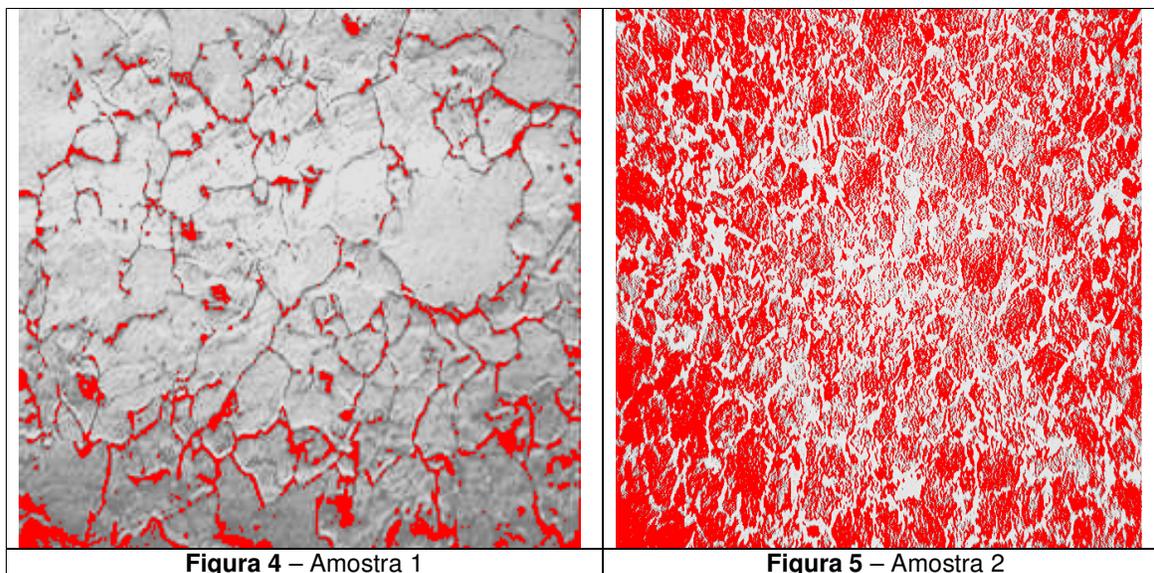
O cálculo feito para estimar os valores da dureza Brinell nos aços em estudo é o mesmo apresentado na equação (c). Depois os valores foram comparados aos apresentados na Tabela 2.

3 DISCUSSÃO

As imagens da microestrutura das amostras capturadas após o procedimento padrão de caracterização são apresentadas nas micrografias das Figuras 4 e 5. Os contornos de grão da ferrita foram bem destacados pelo ataque, sendo uma característica típica do ataque com nital. Foi observada uma microestrutura típica dos aços recozidos que é formada por ferrita e perlita. A perlita presente na micrografia da Figura 4 se encontra próximo aos contornos dos grãos; assim como a perlita da micrografia da Figura 5 se encontra envolvida pela ferrita. De fato, como explicado por Colpaert,⁽³⁾ os aços com baixo teor de carbono, a perlita se localiza, em geral, nos contornos dos grãos da ferrita; e para aqueles com carbono um pouco abaixo de 0,8%, os grãos de perlita são envolvidos por uma rede de ferrita. Após o

tratamento das imagens no soft Image-Pro Plus, a perlita observada nas amostras tem aparência escura, não sendo possível a distinção entre as lamelas de ferrita e cementita, pelo fato do aumento conseguido pela microscopia óptica ter sido insuficiente.

Apesar do software trabalhar com o sistema binário de cores ou tons de cinza (branco e preto), no momento da mensuração das fases é possível a escolha de uma cor diferente do sistema usado, apenas para um melhor contraste. No caso em estudo, é observada a cor vermelha para quantificação da ferrita e perlita, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5.



A presença maior de perlita na amostra 2 apresenta uma microestrutura típica dos aços com teores de carbono de 0,4 a 0,8. Na Tabela 3 são apresentados os resultados estatísticos fornecidos pelo Image - Pro Plus em 4 imagens capturadas no microscópio óptico para as duas amostras de aço recozido a 850°C.

Tabela 3 – Resultados das fases presentes nas amostras após aplicação da metalografia quantitativa

Amostra 1 - recozido a 850°C		Amostra 2 - recozido a 850°C	
Ferrita %	Perlita %	Ferrita %	Perlita %
92,34	7,66	48,53	51,47
89,51	10,50	46,57	53,42
91,11	9,00	48,06	51,93
81,64	18,40	44,77	55,22

A média do percentual de perlita da amostra 1 foi empregada na regra da alavanca, sendo o mesmo procedimento realizado na amostra 2. Os resultados obtidos estão indicados na tabela 4, com os valores médios de perlita de cada amostra, assim com o teor de carbono estimado. Os valores de teor carbono de 0,10% e 042% encontrados após quantificação da ferrita e perlita por análise de imagem correspondem, respectivamente, aos aços 1010 e 1045. Observem que o teor de carbono está sendo representado pela letra X da equação (d).

Tabela 4 - valores em % de perlita e carbono presente nas amostras 1 e 2

AMOSTRAS DE AÇOS RECOZIDOS	% MÉDIA DE PERLITA	TEOR DE CARBONO (%)
AMOSTRA 1	0,11	0,10
AMOSTRA 2	0,53	0,42

Para uma melhor confiabilidade nos resultados foi realizado o cálculo de dureza Brinell utilizando as frações de ferrita de perlita obtidas por análise de imagens. Em seguida, os valores obtidos foram comparados aos valores da dureza Brinell destes dois aços, o AISI 1010 e 1045. A Tabela 5 ilustra os valores da dureza.

Tabela 5 – Dureza Brinell após o cálculo com a aplicação dos percentuais de ferrita e perlita

Amostras	Dureza Brinell após o cálculo	Dureza Brinell padrão
1 – (AISI 1010)	98	Abaixo de 111
2 – (AISI 1045)	163	149 a 185

4 CONCLUSÃO

Podem ser apontadas as seguintes conclusões:

1. As amostras escolhidas para realização deste trabalho foram os aços AISI 1020 e 1045. Desta forma, o teor de carbono (0,10%) calculado pela técnica utilizada neste trabalho não correspondeu ao valor especificado para o primeiro aço, no caso 0,20% de carbono;
2. Isto pode se atribuído ao AISI 1020 encontrado no comércio, que pode ter um teor de carbono um pouco abaixo do que foi especificado, já que o controle do percentual de carbono obedece a uma faixa de valores e não a um valor fixo;
3. A técnica utilizada já foi validada em diversos trabalhos científicos, não sendo objeto de questionamentos;
4. O uso de análise de imagens aliado com a regra da alavanca são ferramentas úteis para caracterização de trabalhos científicos desta natureza.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado utilizando recursos do projeto PPP da FAPERN/CNPq).

REFERÊNCIAS

- 1 Van Vlack , L. - Princípios de Ciência dos Materiais, 3a ed. 2004.
- 2 W. D. Callister Jr., Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução. LTC Editora, Rio de Janeiro (2002).
- 3 Colpaert, H., Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns, Instituto de Pesquisas Tecnológicas- São Paulo
- 4 Garcia, A.; Spim, J. A.; Santos, C. A.; Ensaios dos Materiais, LCT ed. 2000.
- 5 R. A. Higgins, *Propriedades e Estrutura dos Materiais em Engenharia*. DIFEL, São Paulo (1992).
- 6 PADILHA, A.F., *Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades*, São Paulo, Hemus Editora Ltda, 1997.
- 7 www.spetru.com.br/ Propriedades mecânicas de aços e tratamentos térmicos, Link disponível 12/01/2009.