ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MOLAS UTILIZADAS EM IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF SPRINGS USED IN AGRICULTURAL IMPLEMENTS

Fabricio dos Santos Buzato[I]
Marcio Oliveira de Melo[II]
Alessandro Fraga Farah[III]
Omar Maluf[IV]

RESUMO

Molas são itens indispensáveis para diversos equipamentos que sofrem cargas constantes, impedindo seu desgaste e aumentando sua vida útil. As análises efetuadas nessa pesquisa visaram estudar o efeito dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento em molas para escarificadores, observando sua resistência a compressão, microestrutura, composição química e dureza. Cada ensaio feito seguiu um padrão predefinido que foi utilizado em todas as amostras, para que não houvesse distorção nos resultados. Com a análise de composição química se descobriu que as molas eram de aço SAE 9254 e SAE 5160. Observando os resultados, observou-se que molas com uma dureza elevada tendem a ter uma menor deformação.

Palavras-chave: Molas. Tratamentos Térmicos. Compressão. Aço.

ABSTRACT

Springs are indispensable items for various equipment that suffer constant loads, preventing their wear and increasing their useful life. The analyzes carried out in this research aimed to study the effect of quenching and tempering heat treatments on scarifiers, observing their resistance to compression, microstructure, chemical composition, and hardness. Each test performed followed a predefined pattern that was used in all samples, so that there was no distortion in the results. With the chemical composition analysis, it was discovered that the springs were made of SAE 9254 and SAE 5160 steel. Observing the results, it was observed that springs with a high hardness tend to have less deformation.

Keywords: Springs. Heat treatments. Compression. Steel.

[I] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: fabriciobuzato@gmail.com

[II] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: Marcio.oliveira058@hotmail.com

[III] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: alfarah.fatec@gmail.com

[IV] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: omar.maluf@fatec.sp.gov.br

Data de submissão do artigo: 15/09/2020.
Data de aprovação do artigo: 05/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.129

1 INTRODUÇÃO

Todos os materiais têm alguma elasticidade dentro de um intervalo mínimo de solicitação de força. Esta elasticidade depende da forma e do material que é solicitado. Quando a solicitação não atinge a deformação plástica o material se recupera elasticamente, voltando à sua forma original. As molas podem ter o formato de alavancas, mas as que mais comumente se encontram na engenharia são as helicoidais (ARCANJO, 2008). Estas são utilizadas em amortecedores de carros, em veículos ferroviários, nos suportes de máquinas e numa infinidade de outras aplicações.

No setor agroindustrial diversos equipamentos e implementos tem solicitações que necessitam de molas para uma melhor resposta e durabilidade dos mesmos, uma vez que essas molas atuam como amortecedores de vibrações e impactos que estão sujeitos quando estão em trabalho no campo.

Essa pesquisa visa avaliar a resistência mecânica de molas utilizadas nos implementos agrícolas, especificamente nos escarificadores, por meio de ensaios de compressão e ensaios de dureza.

O objetivo geral desta pesquisa foi o de estudar a relação da resistência mecânica da mola em função da sua dureza e microestrutura. Isso porque ainda que as molas tenham uma deformação inicial, a ideia é de estudar a melhor relação entre as propriedades, o suficiente para que, as molas não percam elasticidade em serviço.

Para que esse objetivo fosse alcançado, procurou-se encontrar uma relação entre a resistência a compressão que associado à sua dureza e a microestrutura obtivesse a menor deformação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os materiais elásticos têm uma ampla faixa de aplicações práticas, fazendo parte de diferentes equipamentos. Geralmente todos os materiais apresentam algum tipo de flexibilidade ou região elástica, quando submetidos a uma força seja ela de compressão ou de tração. Um produto típico com essas características é a mola, que apresenta uma flexibilidade elástica alta, apresentando grandes deformações quando solicitada em compressão ou tração.

Molas são elementos mecânicos que exercem forças ou torques por meio da absorção e liberação de energia, durante o seu funcionamento. Algum mecanismo fornece ou disponibiliza energia que é então absorvida pela mola, armazenada e posteriormente liberada, ou seja, a função primordial de uma mola é armazenar energia elástica e, quando necessário, liberá-la novamente (CARVALHO, 2015).

2.1 Molas Industriais

Existem diferentes tipos e formatos de molas, como a helicoidal que possui um formato espiral, mola semielípticas composta por chapas finas sobrepostas e Mola em Fita Espiral que nada mais é que uma chapa fina enrolada como fita.

As molas helicoidais, são fabricadas enrolando uma barra em formato de espira, esse tipo de mola possui histerese desprezível, ou seja, após ela receber uma força externa ela se comprime e volta ao estado inicial retendo essa força, tendo seu amortecimento feito especialmente pelo componente amortecedor (FREITAS, 2006). Ela é fabricada de maneira a fazer com que se acumule forças durante a compressão, fazendo com que essa força acumulada faça o movimento de empurrar a mola.

2.2 Processos de fabricação

"As molas são obtidas a partir de tiras ou fios de aço-carbono ou aço-liga no estado recozido; estes materiais, depois de conformados na forma de molas, são temperados em óleo e revenidos." (CHIAVERINI, 2005, p. 275).

Os aços mola que são utilizados para fabricação de molas possuem grande poder de absorver a energia nele aplicada sem sofrer deformação permanente, voltando a sua forma original uma vez que a carga aplicada seja aliviada. Para isto a mola apresenta as características mecânicas de alto limite de elasticidade, para suportar grandes cargas sem apresentar deformação permanente; possuindo baixo módulo de elasticidade, para proporcionar deformação elástica (PLENTZ, 2009).

2.3 Tratamentos térmicos

"Operações de aquecimento e resfriamento controlados, que visam afetar as características de aços e ligas especiais, são denominados tratamentos térmicos." (SILVA; MEI, 2014, p. 83). Os principais tratamentos térmicos são, recozimento, normalização, têmpera e revenimento. O tratamento de têmpera se consiste em resfriar o aço após austenitização, a uma velocidade rápida o suficiente para evitar transformações perlíticas e bainíticas em uma mola, assim se obtém uma estrutura metaestável martensítica (SILVA; MEI, 2014). A martensita é uma solução sólida supersaturada de carbono, esse carbono permanece intersticial, com uma estrutura monofásica TCC (tetragonal de corpo centrado).

Após a têmpera deve se fazer o tratamento térmico de revenimento. O objetivo deste tratamento é corrigir a tenacidade e reduzir a dureza excessiva pós têmpera, conseguindo um assim aumento da tenacidade. O revenimento consiste no aquecimento uniforme do aço até uma temperatura que esteja abaixo da temperatura de austenização, mantendo o aço nesta temperatura por um tempo suficiente para equalização de temperatura e se obtenha as propriedades desejadas (SILVA; MEI, 2014).

2.4 Aplicação

As molas estudadas nesse projeto serão usadas em máquinas rurais mais precisamente em escarificadores. Essas molas irão amortecer os impactos advindos do contato do arado com a terra, absorvendo a energia mecânica e prevenindo que os componentes do arado se rompam.

2.5 Materiais e Equipamentos

Os materiais e equipamentos utilizados para executar os ensaios foram:

- Molas de aço ligado, temperadas e revenidas, fornecidas pela Inroda.
- Máquina de testes Universal Time Group Inc., modelo WDW 1003.
- Cortadora Metalográfica Pantec, modelo Pancut 80.
- Embutidora Arotec, modelo Pre 40 MI.
- Politriz Lixadeira Metalográfica Teclago, modelo PL 02 EDT.
- Durômetro Pantec, modelo Pan 300JW.
- Microscópio Zeiss, modelo Axio Vert. A1.
- Espectrômetro Spectro, modelo SpectroMAXx.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na pesquisa laboratorial foram feitos ensaios de compressão, caracterização metalográfica, análise química e ensaio de dureza. Todos os procedimentos foram realizados nos laboratórios de Análises Metalográficas e Ensaios Mecânicos da FATEC de Sertãozinho.

3.1 Ensaio de compressão

Segundo Garcia, Spim e Santos (2008, p.46) “ensaio de compressão é a aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo de prova. A deformação linear obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo versus a carga de compressão consiste na resposta desse tipo de ensaio”.

O ensaio de compressão foi realizado em uma Máquina Universal de ensaios, que permite realizar diversos tipos de ensaios mecânicos. Para se executar o ensaio a mola é presa em um dispositivo preso as duas garras cunhas e depois passa por 5 baterias de ensaio com 5 ciclos cada. Antes do ensaio a mola precisa ser medida no seu comprimento, para que no final do ensaio se possa ver o quanto ela sofreu deformação. A cada ciclo a mola precisa sofrer uma compressão pré-determinada, a força utilizada para essa compressão precisa ser anotada para futuras comparações e no final de cada bateria a mola precisa ser retirada do equipamento para ser medida.

3.2 Caracterização Metalográfica

Segundo Colpaert (2008), a metalografia microscópica (ou micrografia dos metais) estuda os produtos metalúrgicos, com o auxílio do microscópio, visando à

determinação de seus constituintes e de sua textura, pondo assim em evidência os diversos grãos de que é formado. A análise metalográfica foi feita seguindo o procedimento, onde primeiro se corta uma amostra do material e a embute em resina ou baquelite, depois se executa o lixamento dessa amostra, esse lixamento precisa ser feito em etapas com o uso lixa d'água que precisam ser trocadas até 6 vezes (dá mais grossa a mais fina), após lixamento se faz o polimento da amostra com o uso de alumina em pano rotativo. Após o processo de preparação de amostra, se faz um ataque com ácido na superfície da peça para que se possa observar a microestrutura da amostra. Essa observação de microestrutura é feita através da microscopia óptica com o uso de um microscópio composto, esse que tem uma série de lentes para ampliação da imagem em uma alta resolução.

Uma pequena amostra da mola foi embutida em resina, após isso se fez um lixamento da sua superfície por meio de lixa d'agua onde se usou lixas com granulações de 120, 320, 600 e 1000, depois se fez um polimento dessa superfície em um pano para polimento metalográfico com alumina de 1 micron(μm). Após toda essa preparação a superfície da amostra foi atacada com um composto ácido (Nital 2%), e depois observada por meio de microscópio ótico.

3.3 Análise da composição química

A composição química foi feita em um espectrômetro de massa, onde se prende a amostra por duas extremidades e dá uma descarga elétrica na peça, causando uma ionização e por espectrometria de massa se obtém a composição química.

3.4 Ensaios de dureza

Para se obter essas medidas precisa-se fazer um ensaio de dureza ou micro dureza em um corpo de prova, esse ensaio "consiste na impressão de uma pequena marca feita na superfície da peça pela aplicação de pressão com uma ponta de penetração. A medida da dureza do material ou da dureza superficial é dada como função das características da marca de impressão e da carga aplicada em cada tipo de ensaio de dureza realizado" (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2008, p.65).

O ensaio de dureza foi executado em um durômetro de bancada analógico, onde as amostras das molas foram lixadas de ambos os lados para ambas as superfícies ficarem planas. Uma amostra de cada vez era presa entre uma mesa plana e um penetrador com ponta de diamante, depois se aplicava uma força pelo penetrador e após aguardar o ponteiro do mostrador parar se obtinha o valor de dureza em Rockwell C. Eram feitos 5 medidas em cada amostra, depois se fazia uma média dessas durezas e esse era o resultado final.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o estudo foram analisadas 10 amostras de molas, os resultados obtidos nas análises e ensaios das amostras são relatados a seguir.

4.1 Ensaio de Compressão

Os resultados de compressão das molas são mostrados a seguir.

A Tabela 1 mostra os resultados das medidas de deformação das molas após cada bateria de ensaio de compressão, onde cada mola sofreu 25 deformações, divididas em cinco baterias. Após cada bateria a mola era retirada e medida.

Tabela 1 - Medidas de deformação das molas analisadas

	Medidas (mm)						
Mola	**L0**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**Deformação (mm)**
1	327	320	318	316	315	315	12
2	327	322	319	318	317	317	10
3	326	323	323	322	322	322	4
4	324	321	319	318	318	318	6
5	326	321	321	321	321	321	5
6	324	323	322	321	321	321	3
7	326	324	324	324	324	324	2
8	324	323	322	322	322	322	2
9	326	325	325	325	325	325	1
10	324	323	323	323	323	323	1

Fonte: os autores (2020)

As medidas L0 a L5, foram medidas na própria mola sendo L0 a medida inicial (sem ensaio de compressão), e as demais medidas após cada bateria de ensaio, sendo L5 a última medida efetuada após a última bateria. A deformação é a diferença entre o comprimento inicial da mola e o final.

As maiores deformações ocorreram para as Molas 1 e 2, e as menores deformações para as Molas 9 e 10. As demais molas ficaram com medidas intermediárias.

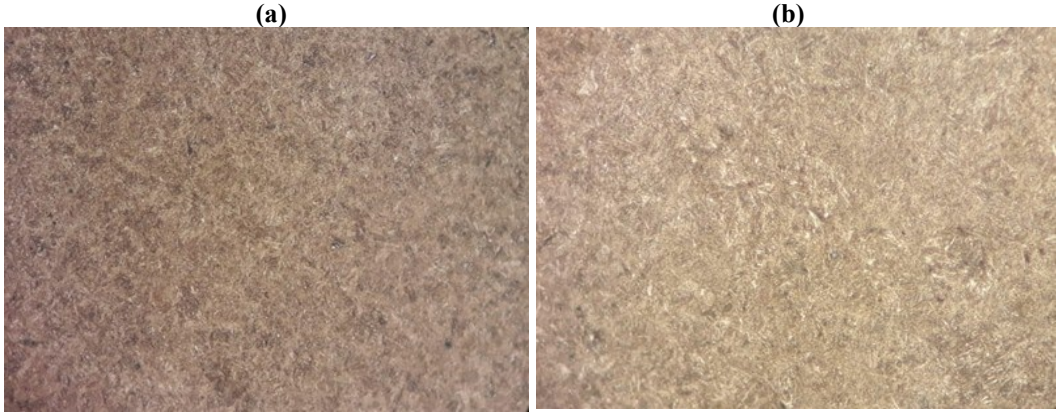
4.2 Caracterização metalográfica

Os resultados das análises metalográficas são mostrados nas Figuras 1 e 2 a seguir.

As Figuras 1 (a) e (b) mostram as fotomicrografias das Mola 1 e Mola 2, respectivamente.

Figura 1- (a) Microestrutura da Mola 1; (b) Microestrutura da Mola 2. Ataque Químico: Nital 2%. Aumento: 400x

(a) **(b)**



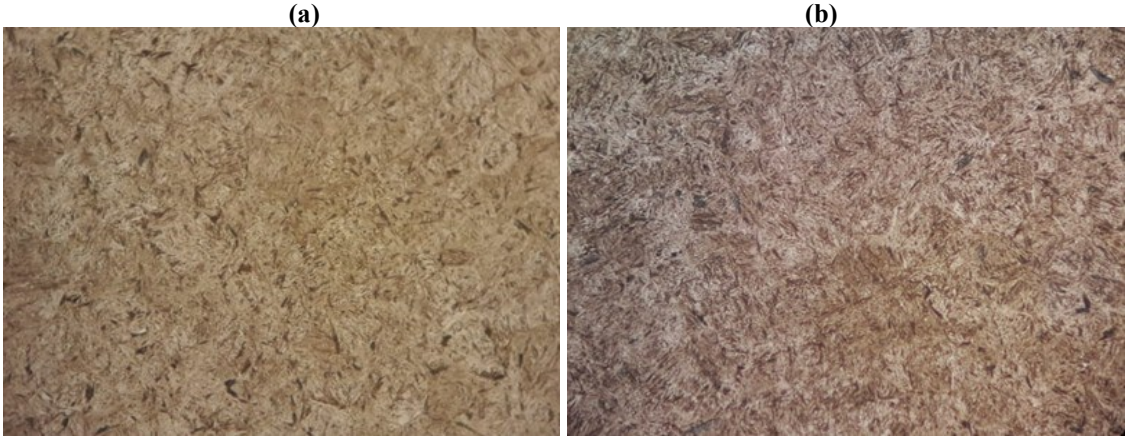
Fonte: os autores (2020) – obtidas durante a pesquisa

Nota-se nas Figuras acima uma microestrutura martensítica, com áreas de perlita (escuras) e austenita retida (claras). As duas microestruturas não possuem diferenças significativas em termos microestruturais, ambas típicas de tratamento térmico de têmpera e revenimento.

As Figuras 2 (a) e (b) mostram as fotomicrografias das Mola 9 e Mola 10, respectivamente.

Figura 2: (a) Microestrutura da Mola 9; (b) Microestrutura da Mola 10.
Ataque Químico: Nital 2%. Aumento: 400x

(a) **(b)**



Fonte: os autores (2020) – obtidas durante a pesquisa

Nota-se nas Figuras acima uma microestrutura martensítica, com áreas de bainita (escuras) e austenita retida (claras). Nota-se uma menor quantidade de austenita retida quando se compara com as Figuras 1 (a) e (b). Essas duas microestruturas também não possuem diferenças significativas em termos microestruturais, ambas típicas de tratamento térmico de têmpera e revenimento.

As demais microestruturas das Molas 3, 4, 5, 6, 7 e 8, não foram apresentadas por possuírem microestruturas bastante parecidas com as das Molas 1, 2, 9 e 10.

4.3 Análise da Composição Química

A Tabela 2r mostra a composição química encontrada nas amostras analisadas.

Tabela 2 - Composição química das amostras das molas em estudo

Elemento (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
Mola 1	0,52	1,42	0,66	0,01	0,01	0,59	0,03	0,01	Bal.
Mola 2	0,55	0,27	0,88	0,01	0,01	0,75	0,03	0,01	Bal.
Mola 3	0,65	1,51	0,71	0,01	0,01	0,62	0,03	0,01	Bal.
Mola 4	0,63	0,27	0,79	0,01	0,01	0,78	0,02	0,01	Bal.
Mola 5	0,50	1,41	0,70	0,01	0,01	0,64	0,03	0,01	Bal.
Mola 6	0,57	1,40	0,70	0,01	0,01	0,63	0,03	0,01	Bal.
Mola 7	0,65	1,42	0,68	0,01	0,01	0,63	0,03	0,01	Bal.
Mola 8	0,67	0,28	0,80	0,01	0,01	0,74	0,03	0,01	Bal.
Mola 9	0,61	0,28	0,75	0,01	0,01	0,73	0,02	0,01	Bal.
Mola 10	0,54	1,40	0,66	0,01	0,01	0,70	0,08	0,01	Bal.

Fonte: os autores (2020)

As molas 1, 3, 5, 6, 7 e 10, foram classificadas como sendo de aço SAE 9254, e as molas 2, 4, 8 e 9, foram classificadas como sendo de aço SAE 5160.

Ambos os aços são especificados para fabricação de molas.

4.4 Ensaios de Dureza

As durezas encontradas nas amostras analisadas são apresentadas na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Média de dureza das molas

Mola	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dureza (HRc)	48	50	52	52	54	54	55	56	57	57

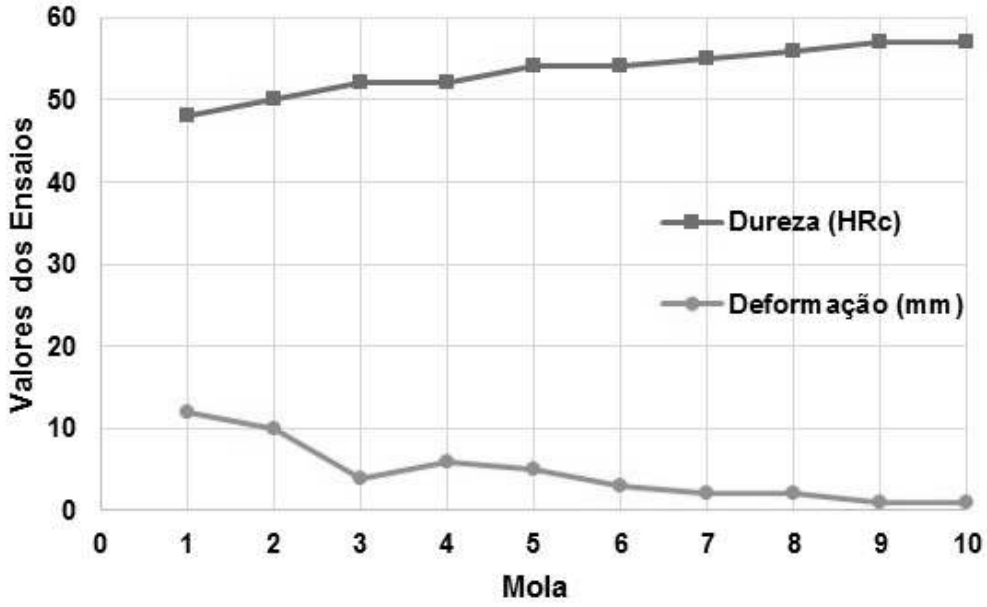
Fonte: os autores (2020)

As durezas médias encontradas apresentaram um desvio padrão entre 0,2 e 0,6 HRc. Para cada amostra foram efetuadas 05 medições de dureza.

4.5 Relação entre os resultados obtidos

O gráfico 1 mostra a relação entre os ensaios de dureza e deformação das molas em estudo.

Gráfico 1 - Relação entre os ensaios de dureza e deformação



Fonte: os autores (2020)

Nota-se no gráfico 1 que o aumento da dureza da mola resultou numa menor deformação dela. Ou seja, molas com dureza a partir de 55HRc estabilizaram a deformação.

5 CONCLUSÃO

Os resultados das análises químicas mostraram que as molas são feitas de dois tipos de aços, ambos recomendados para a fabricação delas.

As microestruturas obtidas mostraram que o tratamento térmico de têmpera e revenimento são eficazes para produzirem a elasticidade que as molas precisam.

Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram que o aumento da dureza da mola e consequentemente da sua resistência mecânica, diminuíram a deformação. As molas com dureza inferior a 52HRc tiveram altos valores de deformação. Para as molas com dureza entre 52 e 54HRc, as deformações não se estabilizaram e não se mantiveram constantes. Entretanto para as molas com dureza a partir de 55HRc, as deformações se estabilizaram.

REFERÊNCIAS

ARCANJO, Edgar Pais. **Caracterização do comportamento à fadiga de molas.** Lisboa, 2008. 107p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

CARVALHO, Luana Martins de., **Prospecção de novos materiais para molas de suspensão automotiva.** Londrina, 2015. 80p. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**, 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

COLPAERT, Hulbertus. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**, 4ª edição, Editora Blucher, São Paulo, 2008, ISBN 978-85-212-0449-7.

FREITAS, Luís M. **Estudo da Dinâmica Vertical de uma Suspensão Veicular do tipo MacPherson.** São Carlos, 2006. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GARCIA, A. SPIM, J. A. SANTOS C. A**. Ensaios dos Materiais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

PLENTZ, Rafael S. **Otimização do Processo de Resfriamento do Aço Mola SAE 9254 Durante a Laminação**. Dissertação (Dissertação em Engenharia) – UFRGS. Porto Alegre, p. 2. 2009.

SILVA, André Luiz V. da Costa. MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**, 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2014.