

## **Medição e monitoramento da uniformidade longitudinal da temperatura de austenitização em barras de aço mola.**

### **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo definir e dimensionar um equipamento para medição da temperatura de austenitização e sua homogeneidade no processo industrial de fabricação de Molas Helicoidais Automotivas. Este processo consiste em aquecer uma barra do aço até a temperatura de austenitização, para posteriormente ser enrolado em forma helicoidal e temperado.

Na metalurgia do aço o processo de aquecimento, denominada de austenitização, requer controles da homogeneidade da temperatura nas diversas zonas de aquecimento do forno, verificar a rampa de aquecimento através do forno além do monitoramento da homogeneidade da temperatura longitudinalmente a barra de aço.

A medição da uniformidade da temperatura longitudinalmente a barra, faltante neste processo, se mostra necessário para confirmar a homogeneidade da austenitização. Neste trabalho discutiremos um sistema e um método de medição capaz de indicar a uniformidade da temperatura ao longo da barra.

Palavras-chave: Aços mola, fornos industriais de austenitização, controle da uniformidade da austenitização.

## 1 - Introdução

A globalização da economia e a uniformização dos sistemas da qualidade adotados, impõe à indústria exigências superiores em termos de qualidade e normalização que no desdobramento traduz-se em conformidade, regularidade, estabilidade e confiabilidade dos produtos. Processos industriais controlados e confiáveis têm papel fundamental e determinante na garantia da qualidade e competitividade de modo a satisfazerem às práticas internacionais e conseqüentemente participar das redes globais de fornecedores. Para que se tenha um desempenho satisfatório dos processos produtivos, métodos de medição devem estar presentes para orientar o controle da característica do produto sendo transformada, testemunhando o grau de confiança que se pode depositar no produto final. A sistemática e os métodos de medição devem estar sob o domínio do contexto da gestão industrial e suas respostas devem apresentar resultados simples ao entendimento do usuário e ao mesmo tempo confiáveis na visão do cliente final.

A concepção de processos de fabricação controlados está baseada em duas fases distintas, sendo a especificação do produto e por conseqüência os requisitos do processo para atender aos requisitos do produto. A medição da característica do produto indica se o processo atende as suas especificações. A medição da característica do processo que influencia diretamente a especificação do produto possibilita a avaliação e o controle da mesma. Nem todas as características de produto são facilmente mensuráveis, principalmente no ambiente fabril, ou por dificuldades tecnológicas, econômicas, de tempo de resposta, ou ainda porque a medição da característica do produto requer condições especiais como cortes e preparações especiais, tratamentos específicos para que se possa medir a característica. Nestes casos uma relação é estabelecida para que se controle a respectiva característica do processo.

O processo de transformação metalúrgica de aços de utilização em molas consiste em aquecer (Austenitizar), enrolar em formato helicoidal, resfriar bruscamente (temperar) e aliviar tensões e completar a transformação da estrutura (revenir) para adquirir características de dureza e estrutura morfológica propícia para grandes deformações elásticas de torção e flexão.

Uma mola de formato helicoidal ou plana pode ser conformada no estado aquecido ou a frio. A conformação a quente acontece entre os processos de austenitização e têmpera. O processo de austenitização consiste em aquecer até a temperatura indicada a depender

do teor de Carbono(C) e das características mecânicas requeridas após a têmpera e o revenimento. O processo de têmpera e revenimento não serão tratados neste trabalho.

A estabilidade e a baixa dispersão das características mecânicas de uma mola têm relação estreita com a homogeneidade e pequena variação da temperatura de austenitização.

Um processo industrial de austenitização de molas pode ser efetuado, dentre outras formas, em forno a gás de passagem contínua, ou através de bobinas elétricas de indução. No forno a gás, a barra de aço é transportada transversalmente com saída longitudinal. A temperatura do interior do forno é monitorada com pirômetros do tipo K (CrNiCr) e o aquecimento controlado por CLP (Controlador Lógico Programável). A rampa de aquecimento ao longo do tempo de passagem da barra no interior do forno, se faz necessário para verificar e temperatura em todas as zonas de aquecimento. Medições de temperatura no interior do forno indicam o nível de aquecimento longitudinal e transversal do ambiente o qual será transferido a peça – barra de aço – não significando que a mesma estará aquecida suficiente e uniformemente. A uniformidade da temperatura ao longo e através da peça propicia a melhor homogeneidade da transformação da estrutura morfológica austenítica do aço em questão. Conforme as literaturas técnicas indicam, a não transformação austenítica uniforme pode provocar fragilização e conseqüente baixa resistência à fadiga. Um sistema de medição capaz de indicar a uniformidade da temperatura ao longo da peça também se faz necessário, o qual doravante será discutido que não necessariamente deverá estar incorporado ao sistema de controle de aquecimento do forno.

### **1.1 - Definição e Conceitos Fundamentais:**

Tratamento Térmico: Operação ou conjunto de operações realizadas no estado sólido que compreendem aquecimento, permanência em temperaturas específicas e resfriamento, realizados com a finalidade de conferir ao material determinadas características.

Austenita: Ferro gama, contendo ou não carbono e elemento de liga em solução sólida, com estrutura cúbica de face centrada.

Austenitização: Aquecimento do aço até uma determinada temperatura, acima da zona crítica (austenitização total) ou dentro da zona crítica (austenitização parcial), objetivando obter estrutura austenítica; a velocidade de resfriamento utilizada, assim

como a composição química do aço, vai determinar a microestrutura à temperatura ambiente, a qual, por sua vez, determina as características mecânicas finais do aço.

## 2 - Revisão bibliográfica

Se não temos uma métrica de qualificação e quantificação de nossos processos de fabricação não temos como afirmar que os produtos são confiáveis.

“Se você não pode medir algo, você não pode melhorar”. Foi assim que Robert Kaplan começou a sua palestra no Fórum Mundial de Lucratividade, realizado em São Paulo no dia 24 de março de 2009. O professor afirmou que antes de dar início a um programa de mudanças transformadoras, os líderes devem reafirmar as metas e o propósito fundamental da organização.

Nos processos de transformação de aços com maiores teores de Carbono (C), quando submetidos à tração, flexão e torção – condição de trabalho normal e ensaios destes tipos de aços quando utilizados como molas de lâminas ou molas helicoidais ou barras estabilizadoras automotivas – são altamente susceptíveis ao fenômeno de fragilização intergranular nas condições de como temperados e revenidos. Como o revenimento nem sempre é condição necessária para que haja a ocorrência da fratura intergranular, pode-se concluir que este fenômeno de fragilização pode ocorrer durante a austenitização ou tempera, conforme afirmou Hyde [Hyde, 1998]. A este fenômeno, dá-se a denominação de fragilização por têmpera (FT).

Em Marcomini et al [01], os autores descrevem as circunstâncias do surgimento da FMR – Fragilização da Martensita Revenida:

*Para o aço SAE 5160 H, existe uma concorrência de mecanismos de ativação da Fragilização da Martensita Revenida (FMR). Na amostra austenitizada em 1050°C e revenida em 350°C, o micromecanismo misto de fratura sugere a ocorrência da fragilização pela decomposição da austenita retida em filmes inter-ripas de cementita e transformação por solicitação mecânica, da austenita não decomposta termicamente (fratura intergranular), como também a ocorrência da precipitação de cementita e carbonetos de liga e, talvez, transformação do carboneto épsilon em cementita nas regiões intra-ripas (Fratura transgranular por “dimples”). Quando do revenimento a 420°C, ainda ocorre a fragilização, com micromecanismo de fratura intergranular e, neste caso com predominância do mecanismo de decomposição térmica da austenita retida, porém com indícios da diminuição das tensões internas da martensita, devido à precipitação de carbonetos (empobrecimento da matriz martensítica) e aos fenômenos termicamente ativados de recuperação estática: aumento da energia absorvida no impacto e presença de uma fração de deformação plástica na fratura.*

Na fragilização da martensita revenida manifestada para o corpo-de-prova austenitizado em 800°C e revenido em 350°C, ocorreram duas etapas: Decomposição térmica parcial dos filmes de austenita retida, levando a precipitação e crescimento de filmes frágeis de cementita inter-ripas, transformação da austenita remanescente em martensita não revenida por sollicitação mecânica/deformação, intensificando a fragilização nos mesmos sítios de precipitação dos filmes de cementita. Devido a mais baixa solubilização do carbono na austenitização, a precipitação de carbonetos intra-ripas não apresentou influência sobre o micromecanismo de fratura. Para os corpos-de-prova revenidos em 420°C, o que foi austenitizado em 800°C apresentou micromecanismo de fratura por “dimples” e maior energia absorvida no impacto, em relação ao que foi austenitizado em 1050°C. Isto sugere que a menor solubilização do carbono, quando da precipitação, leva a um maior amolecimento da matriz, facilitando, ainda a recuperação estática.

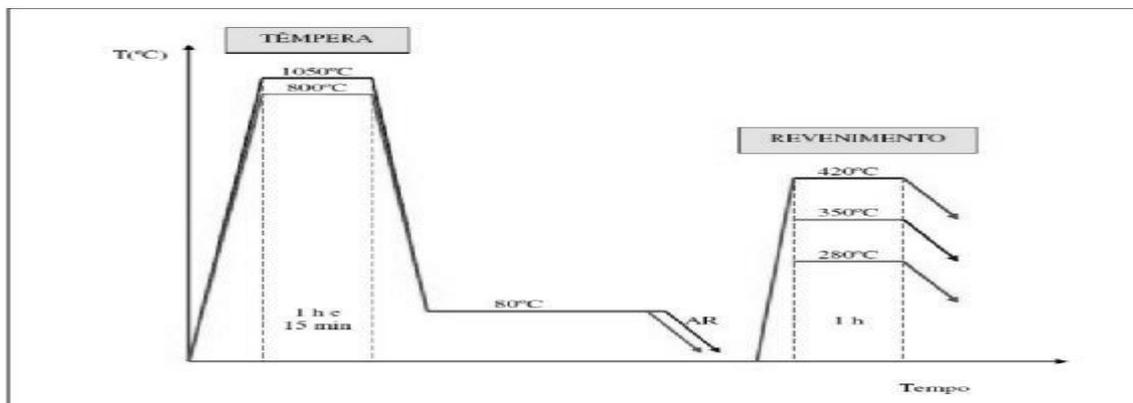


Figura 1 - Esquema dos tratamentos térmicos. Autor: Marcomini [1]

A temperatura é uma das grandezas físicas mais medidas, apenas suplantada pelo tempo. A temperatura possui um importante papel como indicador da condição de um produto ou elemento de um equipamento, seja na fabricação ou no controle da qualidade ou mesmo durante a vida útil. A correta monitoração da temperatura melhora a qualidade do produto e a produtividade da empresa. Os processos de fabricação podem prosseguir sem interrupções e sob condições otimizadas.

Os métodos para medição de temperatura podem ser divididos em medição com contato e medição sem contato.

Nos métodos de medição com contato, o termômetro é instalado de modo que seu elemento sensor entre em contato físico com o meio cuja temperatura se quer determinar. A troca de energia entre o termômetro e o meio dá-se principalmente através do fenômeno da condução térmica. Termômetro e meio devem estar em equilíbrio térmico no momento da leitura do valor da temperatura. Termômetros de contato são excelentes para a medição da temperatura de meios líquidos e gasosos, mas podem apresentar restrições na medição da temperatura de corpos sólidos. Existe um

grande número de aplicações industriais onde a medição com contato se faz necessária (termopares, Pt100, Ni100, NTC, bi-metálicos, etc., são sensores que medem a temperatura por contato, ou seja, precisam estar colocados no ponto onde se pretende medir a temperatura).

A tabela abaixo apresenta diferentes tecnologias para medições de temperatura e suas propriedades.

Tecnologia	Gama de Funcionamento	Linearidade	Auto Aquecimento	Precisão	Robustez	Tempo de Resposta
T. Líquido	-100 / 650 °C	Linear	-	-	-	60 s
T. Gás	-100 / 820 °C	Linear	-	-	-	
Bi-Metálicos	-50 / 800 °C	Linear	-	-	Grande	40 s
Termopar	-270 / 2750 °C	v(T) sobe	Não	0.5 / 2 %	Grande	50 E-5 s
Termoresistências	-270 / 270 °C	R(T) sobe	Sim	0.01 °C	Média	
Termistores	-100 / 300 °C	R(T) desce	Sim	0.01 °C	Baixa	
T. Semicondutores	-230 / 150 °C	Linear	Sim	0.05 °C	Baixa	
T. Quartzo	-80 / 250 °C	Linear	Não	0.01 °C	Média	
Pirometros	-50 / 4000 °C	Não linear	Não	0.1 / 10 °C	Muito Alta	14E-6 s

Tabela 1 – Tipos de termômetros e suas características

Nos métodos de medição sem contato, a transmissão de energia entre o termômetro e o meio dá-se por radiação. São indicados para a determinação da temperatura superficial e quando o meio em medição está visualmente acessível, seja através de uma janela, abertura ou fibra óptica. Um termômetro de radiação indica a temperatura de um objeto medindo a radiação eletromagnética que o objeto emite.

### 3 – Metodologia

Temperaturas da ordem de 800°C a 1200°C, mais comuns nos processos industriais de Tratamento Térmico, podem ser medidas de varias formas e sensores, também denominados pirômetros, dos tipos por contato ou sem contato dependendo do objeto ou ambiente aquecido. Para Aço aquecido e ainda em estado sólido podemos usar sensores de contato bi-metálicos ou resistivos, e também sensores óticos.

A especificação e o dimensionamento de um sistema de medição requerem a pesquisa de alguns requisitos de aplicação, os quais facilitam um dimensionamento mais adequado ao uso no processo em questão. Em se tratando de um sistema de medição de temperaturas em corpos sólidos sem contato, o questionário abaixo, sugerido por Romio(7) e Raytek(8), se apresenta como um roteiro facilitador para especificar um pirômetro:

1. Qual a faixa de temperatura do processo a ser medido?
2. Qual o tamanho do objeto/alvo?
3. A qual distancia do alvo o instrumento pode ser instalado?
4. O alvo preenche o campo de visão?
5. Qual o material do alvo?
6. A medição será em um alvo estático ou no processo em movimento (contínuo ou descontínuo)?
7. Qual a velocidade do processo?
8. Qual é a temperatura do ambiente?
9. O ambiente está contaminado (material particulado em suspensão, vapores)?
10. O instrumento estará conectado a uma unidade de controle existente?
11. Você precisa manter registros para auditorias e/ou programas de qualidade?

## 4 - Resultados e Discussões

**4.1 Qual a faixa de temperatura do processo a ser medido?** Este processo de austenitização de aço mola ocorre em temperaturas nominais que variam desde 700°C a 1100°C. No caso específico a temperatura alvo se encontra entre 900 e 950°C com tolerância de  $\pm 30^\circ\text{C}$ , porem a temperatura longitudinalmente a barra não deve variar mais que  $\pm 9^\circ\text{C}$ .

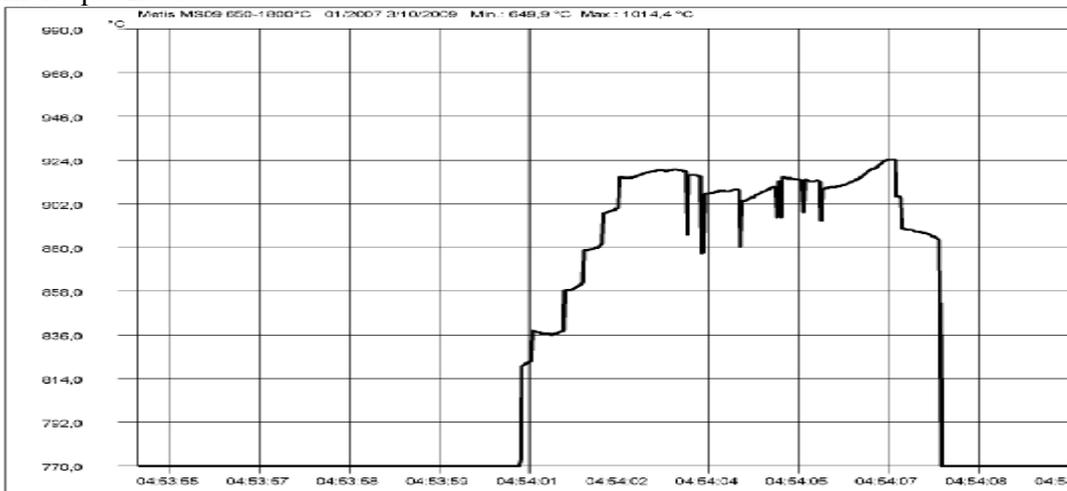


Figura 2 – Temperatura ao longo da barra antes do ajuste do processo – Fonte: Sehnem,F.

Em medições prévias no processo para localizar e quantificar as variações, conforme figura 2, podemos constatar a variação da temperatura ao longo da barra fora dos limites de especificação, além de não atender a largura da tolerância especificada. Valor de emissividade utilizado nesta medição 80%.

### 4.1.1 Pirômetro Óptico

Conforme RoMiotto (6), as descobertas de Josiah Wedgwood levaram ao desenvolvimento do pirômetro óptico. O termo "pirômetro" (do grego *pyros*, fogo) foi originalmente atribuído a todos os instrumentos destinados à medição de temperaturas acima da incandescência (aproximadamente 550 °C). Os primeiros pirômetros foram construídos por Henri-Louis Le Châtelier em 1892, quando já recebeu o nome de pirômetro ótico. A primeira patente desse pirômetro foi concedida em 1901 e os primeiros modelos comerciais foram introduzidos em 1931. Pirômetros são sensores de temperatura que utilizam como informação a radiação eletromagnética emitida pelo corpo a medir. Este aparelho permite a medida de temperatura sem contato. Os modelos utilizados atualmente não diferem em muito dos primeiros aparelhos construídos: olha-se através de um telescópio para um objeto incandescente, comparando o seu brilho com o de um filamento dentro do pirômetro. Ajusta-se a corrente no filamento até o seu brilho coincidir com o do objeto, sendo ambos observados através de um filtro vermelho, e então lê-se a temperatura. Este é um método prático para medir a temperatura de objetos muito quentes, objetos em locais inacessíveis como fornos ou câmaras de vácuo, ou objetos em atmosferas oxidantes ou redutoras onde não podem ser utilizados termopares. Pirômetros ópticos típicos cobrem um intervalo de 750°C até 3000°C, com uma precisão de cerca de 4°C no início do intervalo e 20°C na parte superior.

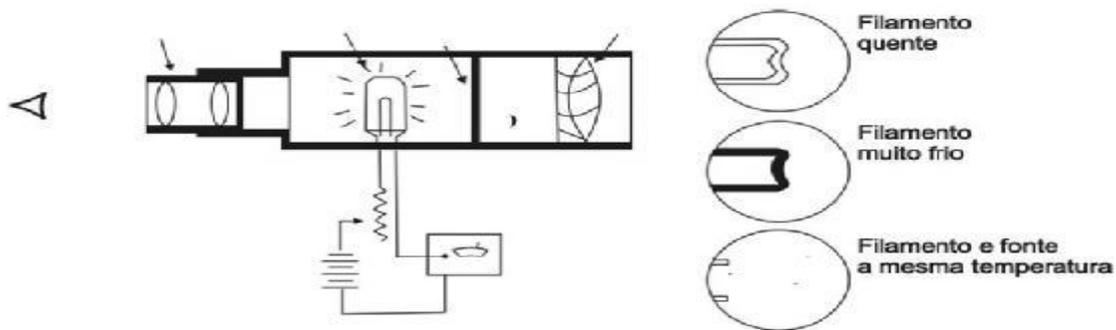


Figura 3 – Diagrama esquemático de um pirômetro óptico; Fonte - Ronei Miotto & Rodnei Miotto [7]

Além da pequena faixa de temperatura acessível, os pirômetros ópticos têm no elemento humano uma de suas mais sérias restrições: a subjetividade do operador. Para um mesmo corpo, poderemos ter diferentes medidas de temperatura, já que diferentes operadores certamente terão sensibilidade óptica diferente, o que os levaria a perceber de forma diferente quando o objeto incandescente tem brilho coincidente com filamento do pirômetro.

Para eliminar estes erros de reprodutividade os Termômetros atualmente oferecidos no mercado para uso industrial, medem radiação dentro de uma banda de comprimentos de onda relativamente estreita, de 0,2 a 20  $\mu\text{m}$ . A escolha do comprimento de onda depende, dentre outros fatores, da faixa de temperatura, do ambiente e do tipo da superfície a ser medida.

As partes essenciais do termômetro de radiação são:

- a) O detector, que converte a radiação incidente em um sinal de natureza elétrica;
- b) Um sistema óptico, que define o campo de visão do termômetro (FOV – field of view) e o ângulo de incidência do termômetro. A lente é usada para focalizar a imagem de uma área do alvo; as aberturas definem o tamanho de alvo que o

termômetro consegue “ver”; o filtro seleciona a banda de comprimento de onda à qual o termômetro é sensível;

c) Uma carcaça para abrigar todas essas peças;

d) Uma conexão elétrica que conduz o sinal de saída;

e) Um amplificador para a saída do detector (de mA ou mV para V);

f) Um indicador de temperatura analógico ou digital;

g) Um dispositivo para ajuste da emissividade.

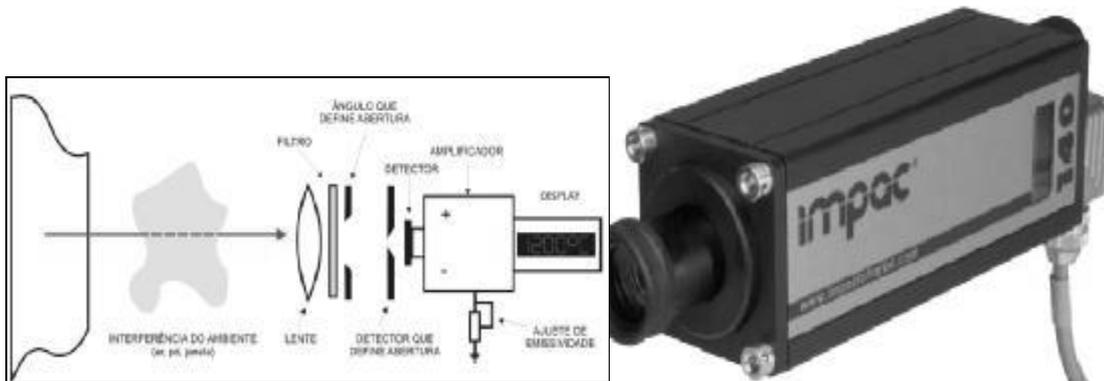


Figura 4 – Esquema de um termômetro de radiação de banda espectral mostrando os elementos básicos da sua construção e operação. ; Fonte - Infratemp - Help Temperatura [7]

Nos detectores térmicos, a radiação incidente é absorvida como calor e o aumento da temperatura produz o sinal de saída. O detector absorve todos os comprimentos de onda, mas sua resposta espectral é limitada pela transmissão do sistema óptico.

Os detectores térmicos incluem:

- Termopilha: feita de diversos termopares ligados em série, soldados em tiras e pintados de preto, para aumentar a absorção.
- Piroelétrico: consiste de uma tira de material que quando é aquecido pela radiação incidente produz uma carga entre as duas faces. A pulsação da radiação produz uma corrente alternada que é proporcional ao aumento da temperatura e, desta forma, à radiação incidente.

Com base nas afirmações acima, um equipamento de medição adequado é necessário para facilitar a identificação das regiões de aquecimento potenciais de melhoria e sua implementação. Numa pesquisa simples de benchmarking junto aos parceiros da tecnologia de fabricação de molas no âmbito da mesma Companhia, constatou-se o uso de um modelo de equipamento o qual será descrito no decorrer das respostas das perguntas sugeridas acima. Um segundo fornecedor deste tipo de equipamento está em comparação.

**4.2 Qual o tamanho do objeto/alvo?** O alvo é uma barra de aço com diâmetro 7,0mm podendo atingir até 20,0mm. Por se tratar de uma superfície não plana é necessário considerar um alvo reduzido ( $<1/3$  do diâmetro da barra) para que as incertezas sejam minimizadas. Maior diâmetro de alvo possível de ser medido =  $7 \times 1/3 = 2,33\text{mm}$ .

O sistema óptico de um termômetro de radiação compreende a lente, um diafragma para restringir a área da lente que é efetivamente usada e um delimitador de campo, localizado na frente do detector. O uso de lentes é preferível ao uso de aberturas quando se deseja melhorar o desempenho do termômetro de radiação com alvos pequenos.

Todos os termômetros coletam radiação de uma zona cônica bem definida, na frente do termômetro, referida como alvo. O tamanho mínimo ou máximo do alvo é definido pelas aberturas de definição e é conhecido como campo de visão. Idealmente o alvo deve ter limites definidos, de modo que qualquer radiação de fora do “cone” não cause interferência na leitura. Também é necessário que o alvo preencha completamente o campo de visão do instrumento, caso contrário, a temperatura indicada será uma média entre a temperatura do alvo e a temperatura dos arredores.

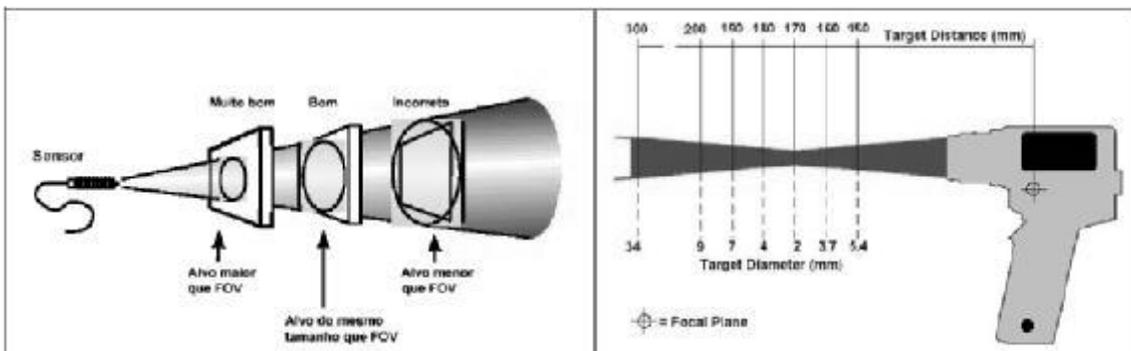


Figura 5: FOV x tamanho do alvo. Fonte: Raytek [8]

A Figura 5 mostra os tamanhos de alvos que são medidos a diferentes distâncias do sistema óptico. O ponto focal do instrumento do exemplo é 170 mm, distância na qual o alvo precisa ter pelo menos 2 mm para garantir que o campo de visão esteja completamente preenchido. No exemplo da figura 5 o instrumento pode ser usado a 200 mm do alvo e nesta posição o diâmetro mínimo do alvo é 9 mm.

O sistema de ajuste do foco permite o ajuste após a instalação, no local definitivo. Ajusta-se o foco até se obter uma imagem nítida do alvo. O mecanismo interno de focalização garante que o foco visual e o foco infravermelho sejam ajustados simultaneamente.

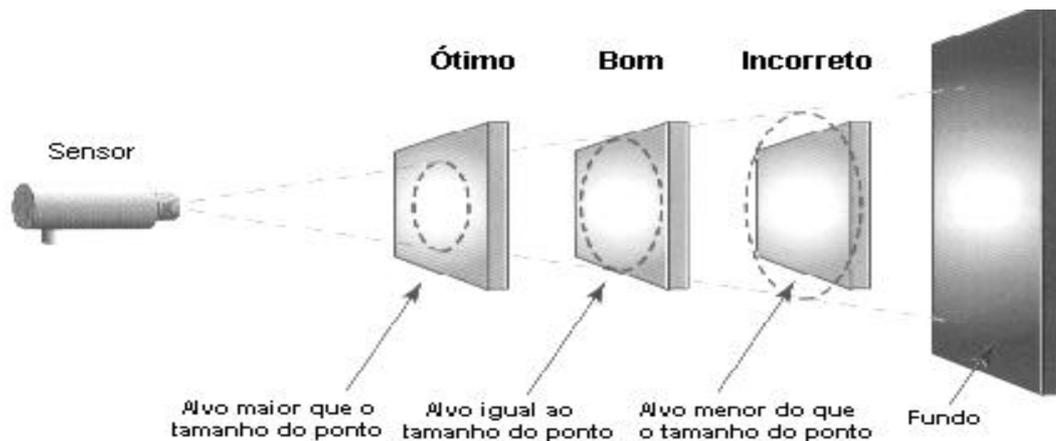


Figura 6 – Tamanhos de Alvo – Fonte Raytek(8)

**4.3 A qual distancia do alvo o instrumento pode ser instalado?** A medição poderá ser executada logo na saída do forno, portanto o instrumento pode ser instalado a uma distancia tal que não o afete termicamente. Estima-se que a menor distancia do alvo possa ser de 20 cm. Esta distancia necessita ser confirmada com a medição da temperatura ambiente no local.

**4.4 O alvo preenche o campo de visão?** O instrumento deverá ser dimensionado para o menor alvo possível, pois sabe-se que a superfície não é plana e com isto a reflexão da radiação não é total propiciando perdas e conseqüentemente maiores incertezas a serem consideradas. Para menores diâmetros de barras, maiores serão as incertezas.

**4.5 Qual o material do alvo?** Aço mola aquecido a cerca 930°C. Contem teor de carbono na ordem de 0,6%.

#### **4.5.1 Como determinar a Emissividade do objeto**

Emissividade é uma medida da capacidade de um objeto para absorver, transmitir e refletir a energia infravermelha. Ele pode ter um valor de 0,0 (espelho perfeito) a 1,0 (negro). Ao definir o valor da emissividade em seu sensor, se você definir um valor superior a emissividade real, a saída será baixa (desde que a temperatura alvo é acima da temperatura ambiente local). Por exemplo, se você definir a emissividade 0,95 e a meta atual é 0,9, a leitura do sensor será menor do que a temperatura real do alvo.

**4.5.2** Para otimizar as medições de temperaturas superficiais, considere as seguintes orientações:

4.5.2.1 Determine a emissividade do objeto para a faixa espectral do instrumento que será utilizado para medição;

4.5.2.2 Evite reflexões protegendo o objeto de fontes de alta temperatura ao seu redor;

4.5.2.3 Para objetos com temperaturas elevadas, use instrumentos c/ comprimento de onda curta, sempre que possível;

4.5.2.4 Para materiais semitransparentes, tais como, filme plástico e vidro, certifique-se de que o plano de fundo é uniforme e com temperatura menor do que a do objeto;

4.5.2.5 Segure o instrumento perpendicularmente à superfície, sempre que a emissividade for menor que 0,9. Em todos os casos, não exceda 30° no ângulo de incidência;

4.5.2.6 Para sensores com comprimento de onda de 1,0 $\mu$  a 1,6 $\mu$ , evite medições em ambientes com alta luminosidade.

**4.5.3** Para determinar a emissividade de um objeto, você pode usar qualquer um dos seguintes métodos:

4.5.3.1 Determinar a temperatura real do objeto usando um sensor como um dispositivo de temperatura de resistência (RTD), termopar, ou outro método adequado. Em seguida, use o seu sensor portátil para medir a temperatura do objeto e ajustar nas configurações da emissividade até que mostra a temperatura real. Esta é a emissividade correta para o material medido.

4.5.3.2 Para objetos com temperaturas relativamente baixas, até 260°C coloque um pedaço de fita, como máscara, sobre o objeto. Verifique se a fita é grande o suficiente para o diâmetro do alvo no local. Em seguida, medir a temperatura da fita usando um ajuste de emissividade de 0,95. Finalmente, uma medida de área adjacente sobre o objeto e ajustar a emissividade configuração até chegar à mesma temperatura. Esta é a emissividade correta para o material medido.

4.5.3.3 Se uma parte da superfície do objeto pode ser revestida, use uma tinta preta fosca. Em seguida, medir a área pintada utilizando um ajuste de emissividade 0,93. Finalmente, uma medida de área adjacente sobre o objeto e

ajustar a emissividade configuração até chegar à mesma temperatura. Esta é a emissividade correta para o material medido.

#### 4.5.4 Valores típicos de Emissividade

A tabela a seguir fornecem referências para a estimativa da emissividade e pode ser utilizada quando nenhuma das três etapas anteriores são práticas. Os valores de emissividade apresentados nas tabelas são apenas aproximados. Qualquer um destes parâmetros pode afetar a emissividade de um objeto: 1. Temperatura; 2. Ângulo de medição; 3. Geometria (plano, côncavo, convexo, etc); 4. Espessura; 5. Qualidade de superfície (polido, bruto, oxidada, jateada, encruada, espelhada); 6. Região espectral de medição (espectro é a intensidade da luz em diferentes comprimentos de onda); 7. Transmissividade (ou seja, fina película de plástico).

Material Emissividade*		Material Emissividade*		Material Emissividade*	
Alumínio, superfície rugosa	0,07	Cobre, oxidado a preto	0,88	Níquel, puro polido	0,05
Alumínio, fortemente oxidado	0,25	Fita isoladora, plástico preto	0,95	Quartzo	0,93
Placa de amianto	0,96	Ouro, polido	0,02	Aço, fortemente oxidado	0,88
Tecido de amianto	0,78	Gelo	0,97	Aço, laminado a frio	0,24
Carbono, purificado	0,8	Ferro, laminado a quente	0,77	Aço, superfície rugosa	0,96
Ferro fundido, fundição rugosa	0,81	Ferro, oxidado	0,74	Aço, vermelho enferrujado	0,69
Ferro fundido, polido	0,21	Chumbo, vermelho, em pó	0,93	Aço, placa, laminado	0,56
Carvão, em pó	0,96	Níquel, em ferro fundido	0,05	Água	0,98

Tabela 2 - Valores de emissividade para materiais mais habituais – Fonte: Fluke Ibérica

**4.6 A medição será em um alvo estático ou em processo em movimento (contínuo ou descontínuo)?** O alvo está em movimento sobre uma via de roldanas em forma de “V”. A via de roletes se movimenta continuamente na velocidade do processo e como as barras são de comprimento definido pelo tipo e tamanho da mola, o alvo tem passagem intermitente no tempo a depender da velocidade da via de roletes e do comprimento da barra.

**4.7 Qual a velocidade do processo?** O alvo flui sob o instrumento de medição a uma velocidade de cerca 7,0 metros por minuto podendo ser alterada até cerca 70,0 metros por minuto dependente do comprimento da barra e da quantidade de peças a ser

produzida. Em se tratando de avaliação da homogeneidade da temperatura de austenitização ao longo de toda a barra de aço, este instrumento deverá ser capaz de coletar grande quantidade de pontos de medição por unidade de tempo. Exemplo: uma barra de 2387mm a uma velocidade de 42,0 metros por minuto terá passado completamente sob o instrumento em cerca 3,4 segundos. Isto significa que se o instrumento for capaz de captar uma medição a cada 0,10segundo, terá acumulado aprox. 340 pontos de medição na mesma barra.

**4.8 Qual é a temperatura do ambiente?** O ambiente onde o instrumento estará instalado esta a temperatura ambiente, porém fortemente influenciado pela abertura de saída do forno e da temperatura do alvo. A temperatura do meio ambiente de instalação do pirômetro necessita ser medida para definir a distancia de instalação e eventualmente construir um isolamento térmico para o pirômetro.

**4.9 O ambiente está contaminado (material particulado em suspensão, vapores)?** O ambiente de medição não possui outras poluições senão os normais de um ambiente fabril os vapores e gases que emanam da saída do forno e do próprio aço quente.

**4.10 O instrumento estará conectado a uma unidade de controle existente?** O instrumento estará integrado em um circuito independente e conectado a um computador coletando os dados e curvas da medição.

**4.11 Você precisa manter registros para auditorias e/ou programas de qualidade?** Este instrumento servirá para medir e registrar dados da temperatura do alvo com objetivo de orientar o técnico de desenvolvimento de novas receitas para aquecimento de novos produtos e melhorias em receitas de produtos existentes. Estes dados devem ser armazenados como registro do desenvolvimento do processo. Alem deste objetivo o instrumento servirá como referencia de verificação da qualidade da medição dos demais instrumentos incorporados ao processo fabril de austenitização.

Resumo das características do pirômetro óptico selecionado.

<b>Fabricante</b>	A	B
<b>Modelo</b>	IP 140 MB13	3i Series 1M
<b>Range</b>	200 a 1300°C	200 a 3000°C

<b>Alvo no objeto</b>	Ø:0,5 a 1,0mm para distancia de 200 a 440mm	D:S = 180:1mm; 360:2mm
<b>Incerteza medição:</b> ( $\epsilon = 1$ , $t_{90} = 1$ s; $T_{amb.} = 23^{\circ}\text{C}$ )	$T > 400^{\circ}\text{C}$ : 0,3% valor medido + $1^{\circ}\text{C}$ ( $950 * 0,3\% + 1 = 3,85^{\circ}\text{C}$ )	$\pm 0,5\%$ valor medido $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ( $950 * 0,5\% + 1 = 5,75^{\circ}\text{C}$ )
<b>Emissividade</b>	10 ... 100% passos de 0,1%	from 0.1 to 1.0 by 0.01
<b>Ajuste velocidade <math>T_{90}</math></b>	1,5 ms ajustável até 10 s	Não informado
<b>Temperatura Ambiente</b>	0 ... 53°C na carcaça	0 ... 50°C na carcaça
<b>Resolução</b>	0,1°C; Analógico: < 0,03 %	1°C or 1°F
<b>Espectro</b>	2 ... 2,8 $\mu\text{m}$	1.0 $\mu\text{m}$
<b>Interface</b>	RS232 ou RS485 até 115 kBd	RS232, 9600 baud,
<b>Outras características</b>	Ver anexo 1	Ver anexo 2

Tabela 3 - Resumo de características de equipamento com base nas respostas do questionário acima.

Na tabela 3 o comparativo de equipamento de cada fornecedor atendendo as respostas do questionário. Numa análise rápida desta tabela pode se constatar que o equipamento do fornecedor A está melhor adequado ao uso no processo acima descrito. Características que se destacam:

- Range – campo de medição mais estreita concentrando melhor os dados na região real de uso;
- Alvo no objeto – Este processo requer uma capacidade de medição num alvo pequeno para reduzir a dispersão da reflexão. O alvo na forma convexa propicia incerteza de medição. O equipamento do fornecedor B requer uma maior aproximação do alvo e estará prejudicado devido ao maior aquecimento recebido do corpo quente e da abertura de saída do forno.
- Incerteza medição – Na escala da medição da temperatura neste processo, o equipamento do fornecedor A apresenta incertezas de fabricação na ordem de  $3,85^{\circ}\text{C}$  enquanto a do fornecedor B  $5,75^{\circ}\text{C}$ .

Com a avaliação destes três itens pode se confirmar a melhor adequação ao uso do equipamento do fornecedor A. Também se apresentam mais adequadas as características de ajuste da velocidade, a resolução e as possibilidades de interface para saída de dados.

Com auxílio de um exemplar do equipamento do tipo do fornecedor A obteve se a medição do processo de aquecimento ao longo da barra de aço mola. Ajustes no processo de aquecimento podem ser confirmados visualizando a figura 7, onde a dispersão de temperatura se apresenta na ordem de  $23^{\circ}\text{C}$  enquanto na medição anterior, ver figura 2, encontramos ca.  $90^{\circ}\text{C}$ . Outras atividades de melhoria do processo de

aquecimento podem ter continuidade para atingir o objetivo da especificação de 18°C conforme requerido na Norma CQI-9 da indústria automotiva.

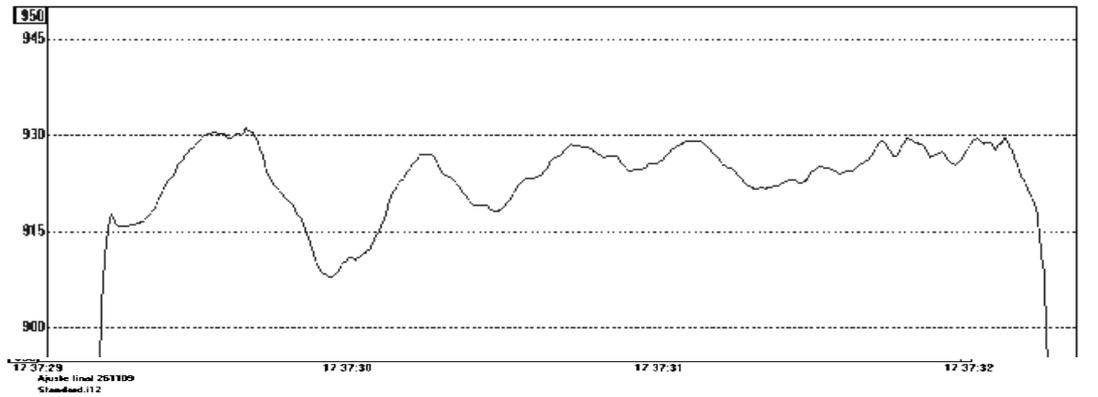


Figura 7 – Temperatura ao longo da barra após ajustes no processo. Emissividade 82 – Fonte: Sehnem, F.

## 5 Conclusão

Processos de fabricação para serem controlados, devem ser medidos e conhecidos os seus valores e amplitudes de variação. Materiais como o aço com características mais específicas de utilização, requer um melhor controle dos processos de obtenção destas características. A homogeneidade da austenitização está diretamente relacionada a uniformidade de transformação morfológica da estrutura do aço após têmpera, assim como os demais passos do processo envolvidos na fabricação de molas. Em qualquer processo de decisão é recomendável que se use um sistema de medição adequado para que o gestor/usuário possa identificar e quantificar o problema que deverá resolver. Se não podemos localizar e dimensionar o nosso problema, como vamos resolvê-lo da melhor forma?

A figura 2 demonstra o status atual de uma situação do processo que até então não se conhecia. Com a possibilidade de medir a variação da temperatura ao longo da barra de aço mola, a necessidade de se aplicar melhorias fica aflorada e facilita a identificação e localização do problema agora conhecido. A figura 7 demonstra o sucesso parcial conquistado inclusive onde ainda se encontram outras melhorias potenciais.

O sistema de medição descrito na tabela 3 fornecedor A é indicado ao uso na medição da temperatura de austenitização, mas são recomendáveis ainda outras atividades de qualificação para que sejam conhecidas as limitações de capacidade metrológica, como:

- Calibração com corpo negro – conhecer as diferenças de tendência e dispersão do próprio instrumento em relação aos padrões de referências do Sistema

Internacional de Medidas, além da avaliação da linearidade ao longo da escala de utilização.

- Fator de Emissividade – um estudo mais apurado da emissividade da situação de uso é necessário, seguindo métodos acima descritos, e com isto fixar parâmetros de utilização.
- Incerteza de Medição – a apuração da incerteza de medição total para dimensionamento do nível de confiança perante a tolerância do processo.

Diante dos dados apresentados podemos confirmar que o equipamento indicado irá contribuir para a melhoria da qualidade do processo e conseqüentemente a do produto. Este equipamento é capaz de indicar variações do processo com muito mais detalhes, e por isto poderá economizar alguns recursos financeiros e principalmente tempo no controle do processo, sem mencionar na economia que podemos ter ao evitar enviar ao cliente produtos duvidosos, ou mesmo sucatar produtos bons inconscientemente.

## 6 – Bibliografia

1. Marcomini, José Benedito, **Fragilização da Martensita Revenida no Aço SAE5160H** / Campinas, SP: [s.n.], 2008.
2. Castro, Danilo Borges Villarino de, **Influencia da temperatura de austenitização para tempera de revenimento na tenacidade e na vida em fadiga do aço SAE 5160 com diferentes teores de fósforo** – São Carlos, 2007.
3. Couto A.A., **Influencia da microestrutura no comportamento mecânico do aço SAE5160 sob carregamento monotônico e cíclico.** - 8º CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA, Cusco, 23 a 25 de Outubro 2007.
4. Petkovic, Slavoljub Garcia, **TERMÔMETRO DIGITAL PROGRAMÁVEL – UM NOVO PARADIGMA DE PADRÃO DE TEMPERATURA**, INMETRO – Duque de Caxias RJ.
5. Nascimento, D. C. M., **LEVANTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM MEIOS TÉRMICOS** – SBM, Recife, 2003.
6. Infratemp - Help Temperatura, **Termômetros Infravermelhos – teoria básica**, Julho/2006 (6).
7. Romioto, **Evolução do Conceito de Medição de Temperatura Sem Contato**, [www.pirometro.com.br](http://www.pirometro.com.br)
8. Raytek, Spectrum – Recursos para compreensão da tecnologia IR - **Mais que Especificações: Selecionando o Sensor Correto para a sua Aplicação**  
  
*Infrared Temperature Measurement*
9. Figliola, R.S. e Beasley,D.E., **Teoria e projeto para medições mecânicas**, 4ª.Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2007.