

# PIRÔMETROS

ISABELLE PEREIRA GOMES<sup>1</sup>

RAPHAEL RIBEIRO PEREIRA<sup>2</sup>

KATHLEEN VASCONCELLOS<sup>3</sup>

PROFESSOR ORIENTADOR: LEONARDO VIDAL

## RESUMO

Este artigo trata sobre a medição de temperatura pelo processo de pirometria, que é a medição de altas temperaturas, na faixa em que os efeitos de radiação térmica passam a se manifestar. Apresenta de forma geral os tipos de pirômetros existentes e suas aplicações.

*Palavras-chaves: pirometria, temperatura, pirômetro, radiação eletromagnética.*

## 1 INTRODUÇÃO

A forma mais comum de medida de temperatura baseia-se na chamada lei zero da termodinâmica, que estabelece que dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si. Assim, para saber se um corpo tem a temperatura desejada para a realização de um determinado processo, basta colocá-lo em equilíbrio térmico com um termômetro. A troca de calor entre o termômetro e o sistema estudado, leva o sistema a um estado final onde a temperatura dos dois corpos é idêntica. Todavia, nem sempre é conveniente ou mesmo possível utilizarmos termômetros para medir a temperatura de um corpo.

---

<sup>1</sup>Aluna do quarto ano do curso de graduação de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica da Faculdade de Engenharia de Resende (FER).

E-mail: *isabelle\_pereiragomes@yahoo.com*

<sup>2</sup>Aluno do quarto ano do curso de graduação de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica da Faculdade de Engenharia de Resende (FER).

E-mail: *raphaelpereira43@gmail.com*

<sup>3</sup>Aluna do quarto ano do curso de graduação de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica da Faculdade de Engenharia de Resende (FER).

E-mail: *kathleenvasconcellos@hotmail.com*

Para medições de temperatura sem contato, foi desenvolvido o pirômetro, que consiste num instrumento utilizado para medição de altas temperaturas. Existem vários tipos de pirômetros, com diferentes princípios de funcionamento.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Radiações Eletromagnéticas

O conceito moderno de que calor é energia térmica em trânsito. Desta forma, nosso senso comum sugere que um corpo aquecido deve emitir calor, pois “sentimos” que está “quente” mesmo sem tocá-lo.

A emissão de calor por um corpo aquecido ocorre via radiação eletromagnética. Esta radiação emitida em um largo espectro contínuo de frequências, principalmente na região do infravermelho (que é responsável pela sensação de calor), mas com intensidade variável, que atinge um máximo em um determinado comprimento de onda, como pode ser observado na figura 1.

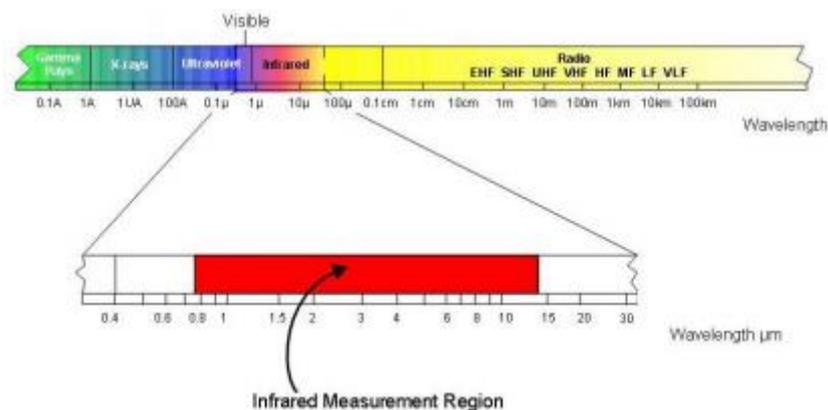


Figura 1. O espectro de ondas eletromagnéticas.

Fonte: *Evolução do Conceito de Medição de Temperatura Sem Contato*. Disponível em: <<http://www.romiotto.com.br/tecnologia/evolucao-do-conceito-de-medicao-de-temperatura-sem-contato-romiotto-instrumentos.pdf>>. Acesso em: 04 mai 2014.

É possível observar, por exemplo, que um metal a 600°C (por exemplo, em um forno elétrico) apresenta uma fraca coloração azulada, enquanto o mesmo material (em uma siderúrgica, por exemplo) apresenta uma coloração mais avermelhada a temperaturas bem mais altas. O sol, cuja temperatura na superfície é de cerca de 6000 °C é o exemplo mais familiar de emissão de radiação térmica, cujo espectro abrange

toda a região visível, incluindo o comprimento de ondas maiores (infravermelho) e menores (ultravioleta).

## 2.2 Definição de pirômetro

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. Todo corpo, com temperatura superior a 0K, emite radiação eletromagnética com uma intensidade que depende de sua temperatura. A intensidade também varia com o comprimento de onda, sendo que a principal parcela está entre os comprimentos de onda de 0,1 a 100 mm. Nessa faixa a radiação eletromagnética é chamada radiação térmica. Dentro desse espectro encontra-se a luz visível (de 0,3 a 0,72 mm) e o infravermelho (0,72 a 100 mm).

Os pirômetros são sensores que não necessitam de contato físico, diferente dos outros sensores, podendo ser divididos em duas classes distintas:

- i - os pirômetros óticos, que atuam dentro do espectro visível;
- ii - os pirômetros de radiação, que atuam numa faixa de comprimento de onda mais amplo (do visível ao infravermelho curto).

### 2.2.1 Pirômetro Ótico

Os pirômetros óticos medem temperatura por comparação: eles selecionam uma faixa específica da radiação visível (geralmente o vermelho) e compara com a radiação de uma fonte calibrada. A lente objetiva é focalizada de modo a formar uma imagem do objeto no plano do filamento da lâmpada; a ocular é focalizada sobre o filamento. Ambas as lentes estão simultaneamente em foco, com o filamento do pirômetro atravessando a imagem da fonte de radiação.

A energia radiante é medida por comparação fotométrica da claridade relativa de um objeto de temperatura desconhecida com uma fonte de brilho padrão, como um filamento de tungstênio.

A comparação da claridade é feita pelo observador e é dependente da extrema sensibilidade do olho humano e a diferença de claridade entre duas superfícies da mesma cor.

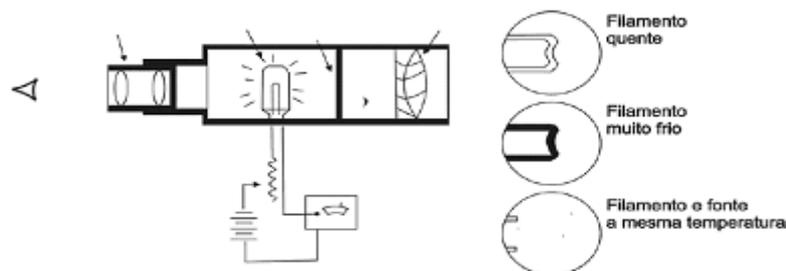


Figura 3. Diagrama esquemático de um pirômetro óptico.

Fonte: *Evolução do Conceito de Medição de Temperatura Sem Contato*. Disponível em: <http://www.romiotto.com.br/tecnologia/evolucao-do-conceito-de-medicao-de-temperatura-sem-contato-romiotto-instrumentos.pdf>. Acesso em: 04 mai 2014.

Nos pirômetros ópticos modernos, a comparação de claridade é feita por dois métodos:

- Variando-se a corrente através do filamento da fonte padrão até que sua claridade se iguale àquela do objeto medido;
- Variando-se opticamente a claridade observada da imagem do objeto, até que se iguale à do filamento da lâmpada padrão, enquanto se mantém constante a corrente através da lâmpada.

### 2.2.1.1 Tipos de Pirômetros Ópticos

#### 2.2.1.1.1 Pirômetro Óptico de Leeds e Northrup

A lente objetiva forma uma imagem da fonte quente no plano do filamento de uma lâmpada incandescente. O usuário observa a imagem e o filamento através de um dispositivo que contém um filamento de vidro vermelho e com a ajuda de um reostato ajusta-se a corrente no filamento da lâmpada até que a claridade se iguale a claridade da imagem da fonte. A corrente no filamento é então a temperatura correspondente e é obtida com a referência de uma curva de calibração.

### **2.2.1.1.2 Pirômetro Óptico Telescópico**

No Pirômetro Óptico Telescópico, faz-se a leitura direta da temperatura de um corpo negro. O princípio de operação é o mesmo que o Pirômetro de Leeds, porém, o sistema óptico é projetado para fornecer uma imagem melhorada da fonte, alta ampliação do filamento (25 vezes), eliminação de difração e efeitos de reflexão nas bordas do filamento e um campo de observação nítido.

### **2.2.1.1.3 Pirômetro Óptico de ajustamento de claridade**

Este pirômetro é baseado no princípio de ajustamento da claridade observada da imagem do objeto até que esta se iguale à intensidade do filamento da lâmpada padrão sendo que este último é mantido em um valor constante.

### **2.2.1.2 Aplicação**

Ao considerar-se uma aplicação devem-se levar em conta os seguintes dados: os limites normais de utilização estão entre 750 °C e 2850 °C; as medidas efetuadas com pirômetros ópticos são independentes da distância entre a fonte e o aparelho. De fato, muitos aparelhos possuem um conjunto de lentes que aproxima o objeto a ser medido; em uso industrial, consegue-se uma precisão de até  $\pm 2\%$ ; devido à medida de temperatura ser baseada na emissividade da luz (brilho), erros significativos podem ser introduzidos, principalmente devido à reflexão de luz ambiente pela fonte a ser medida; quando o meio onde se executa a medida possui partículas em suspensão, causando assim uma diminuição da intensidade da luz proveniente da fonte, ocorre uma diminuição da precisão da medição.

## **2.2.2 Pirômetro de Radiação**

Os grandes avanços tecnológicos propiciados pela Ciência dos Materiais permitiram o desenvolvimento de detectores de radiação infravermelho pequenos, duráveis e extremamente precisos. Com o intuito de ampliar a faixa de atuação dos pirômetros ópticos e com o objetivo primordial de eliminar a subjetividade advinda do operador, o desenvolvimento de medidores de temperatura baseado em radiação constituiu para um caminho natural no desenvolvimento das técnicas de medição de temperatura sem contato.

A Pirometria de Radiação relaciona a temperatura de um corpo negro com a sua radioatividade ou potência emissiva. A emissividade de uma substância é função de sua temperatura e direção do ângulo de observação da radiação emitida.

Na maior parte desses medidores de temperatura a radiação é coletada por um arranjo óptico fixo e dirigida a um detector do tipo termopilha (associação em série - ver figura abaixo) ou do tipo semiconductor nos mais modernos, onde gera um sinal elétrico no caso da termopilha ou altera o sinal elétrico no caso do semiconductor.

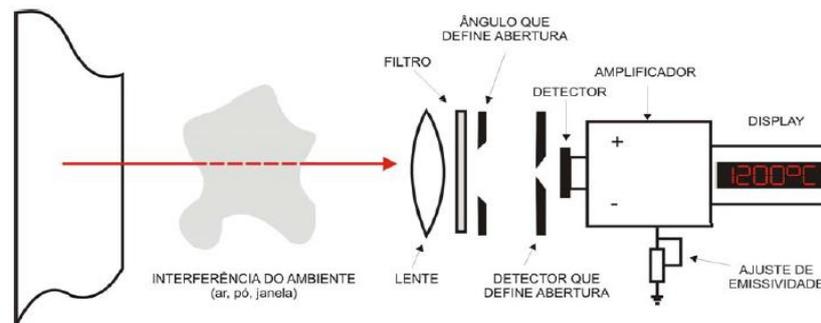


Figura 4. Diagrama esquemático de um pirômetro de radiação.

Fonte: *Evolução do Conceito de Medição de Temperatura Sem Contato*. Disponível em:

<http://www.romiotto.com.br/tecnologia/evolucao-do-conceito-de-medicao-de-temperatura-sem-contato-romiotto-instrumentos.pdf>. Acesso em: 04 mai 2014.

Como não possuem mecanismo de varredura próprio, o deslocamento do campo de visão instantâneo é realizado pela movimentação do instrumento como um todo. Os medidores de temperatura por radiação são em geral portáteis, mas podem ser empregados também no controle de processos a partir de montagens mecânicas fixas ou móveis. Graças à utilização de microprocessadores, os resultados das medições podem ser memorizados para o cálculo de temperaturas e seleção de valores. A apresentação dos resultados é normalmente feita através de mostradores analógicos e digitais, podendo ainda ser impressa em papel ou gravadas em mídia magnética, conforme o caso.

### 2.2.2.1 Tipos de Pirômetros de Radiação

#### 2.2.2.1.1 Pirômetros de faixa Larga

Procuram medir a maior quantidade possível de energia radiante emitida pelo corpo quente, sendo por isso chamado pirômetro de radiação total. São utilizados

geralmente para indicações e controle automático industrial, cobrindo todas as faixas de temperatura.

#### **2.2.2.1.2 Pirômetro de passagem de faixa única**

Funcionam numa faixa estreita, escolhida, do espectro de energia com centro num ponto desejável.

#### **2.2.2.1.3 Pirômetro de relação de duas cores**

Mede a energia recebida de duas faixas estreitas e divide uma pela outra. Se as duas faixas escolhidas de modo a haver muito pouca mudança da emissividade de uma para a outra (faixas próximas), o fator de emissividade praticamente se anula.

#### **2.2.2.2 Aplicação**

Os medidores de temperatura por radiação são usados industrialmente onde as temperaturas estão acima da faixa de operação prática dos termopares, a atmosfera for prejudicial a eles, causando medidas falsas e pequena durabilidade ao par, em locais onde eles não podem ser instalados, por causa de vibrações, choques mecânicos ou impossibilidade de montagem; no interior de fornalhas a vácuo ou pressão, onde os sensores de temperatura danificam o produto; o objeto cuja temperatura se vai medir está em movimento; em locais onde haja a presença de campos eletromagnéticos elevados; em sistemas cuja variação de temperatura é muito rápida (da ordem de milisegundos).

Ao considerar-se uma aplicação deve-se, ainda, levar em conta os seguintes dados: a temperatura do alvo e a temperatura normal de operação; o sinal de saída é independente da distância do alvo, desde que o campo de visão do sistema óptico esteja preenchido totalmente pelo mesmo; o material da fonte e sua emitância; ângulos de visada com aplicações em corpo não negro (deve-se restringir o ângulo para uma visada de 45°, ou menos, da perpendicular); as condições do ambiente, temperatura e poeira; velocidade do alvo.

A sua portabilidade, confiabilidade e precisão levaram os medidores de temperatura por radiação a serem utilizados nas mais variadas áreas desde a medicina, para a detecção de tumores, até a transmissão de energia, onde um termograma de uma torre de alta-tensão pode dizer onde se dão as perdas de energia.

### 2.2.3 Pirômetros Fotoelétricos

Os pirômetros fotoelétricos normalmente empregam sensores que atuam na faixa do infravermelho, abrangem uma faixa de temperatura maior do que os pirômetros de radiação total e óptico são mais rápidos, respondendo na casa dos milisegundos. Possuem basicamente a mesma estrutura de um pirômetro de radiação total, só que o sensoriamento da temperatura é feito por um fotodiodo, e, conseqüentemente o circuito de leitura/processamento do sinal é diferente dos processos anteriores.

Os fotodiodos são junções P-N (Si ou Ge), onde a radiação incidente atinge a região da junção; esses diodos são operados com tensão reversa. Nessas condições, os elétrons não possuem energia suficiente para cruzar a barreira de potencial. Entretanto, com a radiação incidente, a colisão dos fótons com os elétrons fará com que os elétrons ganhem energia e cruzem a junção. A energia transportada pelos fótons depende de seu comprimento de onda.



Figura 5 – Pirômetro Fotoelétrico

*Medidas de pressão e temperatura na manutenção Preditiva. Disponível em: <[http://wwwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo\\_10.pdf](http://wwwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_10.pdf)>. Acesso em: 04 mai 2014.*

#### 2.2.3.1 Aplicação

Tanto o pirômetro de radiação total como o óptico dificilmente se prestam para medições dinâmicas; além disso, no caso do pirômetro óptico, a acuidade visual do operador pesa no resultado final, o que não é interessante.

Sensores de infravermelho não só operam em altas temperaturas, mas também podem ser usados nos chamados processos industriais a frio (forjamento, extrusão, trefilação, etc..). Sua faixa de uso pode ser descrita de 0 a 3.600 °C.

Atualmente é o tipo de pirômetro mais utilizado, tem como vantagens a medição a distância, vasto range e rapidez, e como desvantagens custo elevado, necessita conhecer a emissividade do corpo e escala não linear.

## 2.3 Calibração

1º método: uma curva de calibração de corrente versus temperatura pode ser obtida igualando-se o brilho do filamento do Pirômetro com o brilho do forno de corpo negro, mantido a várias temperaturas padrão, como, por exemplo, o ponto de fusão de metais puros.

2º método: utiliza-se uma fonte de corpo negro a uma única temperatura, precisamente conhecida. A claridade aparente desta fonte é reduzida quantitativamente pela interposição de anteparos de vidros absorventes ou setores rotatórios entre a fonte e o pirômetro. Pode-se desta forma, obter vários pontos de calibração. Este método é muito aplicado a Pirômetros ópticos.

Os pirômetros de radiação, em especial, são calibrados em relação a um corpo negro, e um fator de correção deve ser empregado quando a medição é realizada em um corpo com emissividade diferente. Para isso deve-se conhecer a emissividade da superfície que está sendo medida, o que é um fator de incerteza, visto que a emissividade varia com o estado da superfície, temperatura, etc. Outro fator de incerteza na medição de corpos com emissividade inferior a 1 diz respeito à influência dos corpos vizinhos: a radiação emitida por um corpo vizinho pode vir a ser refletida na superfície de medição e atingir o sensor, falseando a medição.



Figura 5 – Pirômetros

Fonte: Medidas de pressão e temperatura na manutenção Preditiva. Disponível em: <[http://www.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo\\_10.pdf](http://www.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_10.pdf)>. Acesso em: 04 mai

2014.

## 2.4 Aplicação no processo de Laminação à Quente em Siderúrgicas

No processo de laminação à quente, os pirômetros tem um papel fundamental, eles são responsáveis pela leitura das placas que através desta faz o trackeamento do processo.

De forma resumida, esse processo inicia com o aquecimento dos blocos em fornos, que se dá à temperatura entre 1250 e 1320°C para toda gama de produtos. Alguns, entretanto, possuem uma temperatura diferenciada em função das propriedades mecânicas a serem atingidas na viga quando acabada, de esforços de laminação e da corrente do laminador. O forno possui pirômetros que controlam a temperatura do material na saída do forno, verificando se o material está na temperatura exata para o início de laminação, essas medições são realizadas na superfície do bloco através de raio laser. A temperatura e a velocidade do material, em cada zona de aquecimento, são pré-definidas por um sistema “*on-line*” de otimização, garantindo assim uma temperatura homogênea, ao longo de toda seção do bloco.

Após desenformamento, o bloco passa por um descarepador através de uma mesa de rolos e segue para o laminador desbastador. A temperatura na entrada do laminador é medida por um pirômetro de linha. A duração da laminação e a temperatura na saída deste laminador variam com o número de passes, ou número de vezes com que o material passa pelo laminador.

O bloco segue para as cadeiras de acabamento com pirômetros instalados na linha, ajudando no controle da quantidade de água usada para o resfriamento, em seguida passam por tesouras que ajustam as pontas do material e por fim a placa é enrolada em uma bobinadora.

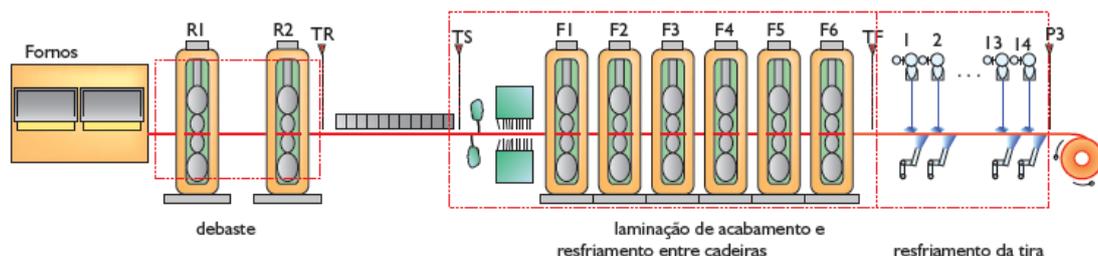
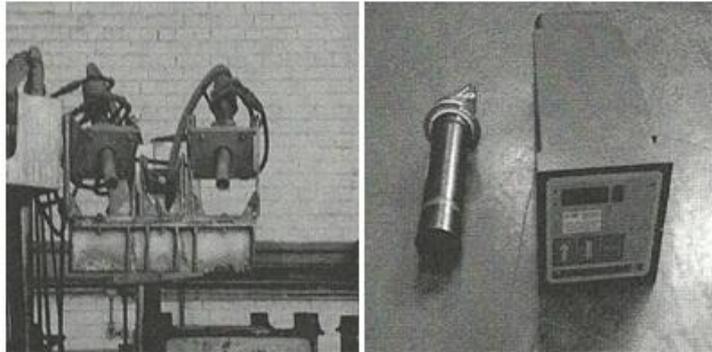


Figura 6 – Processo de Laminação à Quente

Fonte: Apostila de Treinamento de Instrumentação, LTQII, CSN, 2009.



*Figura 7 – Pirômetro no processo de Laminação à quente.*

*Fonte: Apostila de Treinamento de Instrumentação, LTQII, CSN, 2009.*

### **3. CONCLUSÃO**

Pirômetro é o equipamento utilizado para medir temperatura quando não há contato direto entre o instrumento de medição e objeto a ser medido, que tem como princípio as características que um objeto aquecido possui ao emitir radiação. Na indústria esse tipo de medidor é aplicado em processos de temperatura muito alta e em situações em que os locais para medição são de difícil acesso, como em processos de fabricação: metais e tratamento térmico, vidro, alimentos, cura e secagem de pinturas, em manutenção de fabricas e instalações: motores, bombas e mancais, entre outras, também é usado para medir temperaturas médias de grandes superfícies.

### **4. REFERÊNCIAS**

Medidas de pressão e temperatura na manutenção Preditiva. Disponível em:  
<[http://www.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo\\_10.pdf](http://www.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_10.pdf)>. Acesso em: 04 mai 2014.

Modelo matemático para previsão das propriedades mecânica na laminação a quente de perfis estruturais. Disponível em:  
<[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MAPO-7R5P8G/emanuele\\_garcia\\_reis.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MAPO-7R5P8G/emanuele_garcia_reis.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 04 mai 2014.

Evolução do Conceito de Medição de Temperatura Sem Contato. Disponível em: <<http://www.romiotto.com.br/tecnologia/evolucao-do-conceito-de-medicao-de-temperatura-sem-contato-romiotto-instrumentos.pdf>>. *Acesso em: 04 mai 2014.*

Apostila de Treinamento de Instrumentação, LTQII, CSN, 2009.