	<b>Nota Técnica</b>	Código	NT-013	Revisão	00
		Data	10/2015	Paginação	1 de 5
<b>Título</b>	<b>Efeitos Térmicos nas Operações de Fornos Resistivos Analógica</b>				
<b>Autoria</b>	Analogica Instrumentação e Controle	<b>Campo Aplicação</b>	Analogica, clientes e outras partes interessadas		

## 1 Aspectos Conceituais Relevantes.

Para melhor entender e bem avaliar os efeitos térmicos inerentes às operações e manipulação com objetos quentes, como fornos resistivos aquecidos, esta Nota Técnica começa com uma breve apresentação de alguns dos conceitos físico-químicos e biológicos chaves, que fundamentam importantes aspectos dessa temática, notadamente, as formas de transmissão do calor entre corpos com diferentes temperaturas e os efeitos da temperatura sobre o corpo humano. Embora esse tema possa parecer pouco relevante, a Analógica é frequentemente consultada sobre o assunto, principalmente quanto aos efeitos da radiação térmica nas atividades laborais em laboratórios e plantas pilotos.

Radiação térmica é a propagação ondulatória da energia emanada dos corpos com temperatura acima do zero absoluto, ou seja, de todos os corpos existentes nas condições reais. A correlação matemática entre o “*quantum*” da energia radiada e a frequência das ondas eletromagnéticas propagadas foi estabelecida pelo físico Max Planck, sendo universalmente conhecida como equação de Planck, dada por  $E = hv$ , onde  $h$  é *constante de Planck*<sup>1</sup> e  $v$  frequência oscilatória da emissão. Para atender a maioria das demandas na engenharia, o cálculo da energia radiada em função da temperatura do corpo emissor também pode ser realizado aplicando a equação de Stefan-Boltzmann<sup>2</sup>, dada por  $E = \sigma T^4$ , que é mais intuitiva e de fácil aplicação, com resultados são suficientemente exatos para nas temperaturas de interesse desta Nota Técnica. Vale ressaltar, que a correlação entre o valor da energia transferida por radiação é uma função exponencial de quarta ordem, ou seja, a energia radiada cresce exponencialmente com a temperatura.

O efeito das radiações térmicas e eletromagnéticas sobre o corpo humano é um tema bastante estudado, e, mesmo assim, continua sendo tradicional fonte de dúvida, polêmica e desconfiança. É natural que nos assuntos que envolvam saúde e meio ambiente, ciência e crença convivam e sejam vasto campo para controvérsias.

Diariamente o corpo humano é impactado por ondas, mecânicas e eletromagnéticas, numa ampla faixa do espectro de frequência. Porém, apenas uma faixa muito estreita desse espectro é percebida pelos sentidos (visão, tato e audição) dos seres vivos. Humanos, por exemplo, só percebem uma parte limitada das ondas sonoras (*som, infra e ultrassom*), uma parte das radiações no infravermelho (*radiações térmicas*) e a estreitíssima faixa do espectro do visível. Felizmente, nessas faixas, respeitados certos limites de intensidade e de tempo de exposição, o corpo humano possui um rol de propriedades naturais, físicas, químicas e biológicas, que lhe assegura um alto grau de tolerabilidade. Em certos casos, há um vital aproveitamento dessas radiações, como por exemplo a síntese de vitaminas pela pele exposta à radiação solar.

Noutra situação estão as radiações de alta energia, chamadas de radiações ionizantes, localizadas no espectro de frequências acima  $10^{15}$  Hz. Nessa faixa estão as radiações no ultravioleta, os raios-x e os raios gamas. Estas, dependendo da intensidade e da duração de exposição, podem causar danos reversíveis e irreversíveis aos tecidos biológicos, tais como queimaduras e potenciais alterações das estruturas do DNA com gravíssimas mutações genéticas. Outro efeito não tão crítico mas bem conhecido é o provocado pela incidência de radiofrequências sobre os tecidos biológicos, que gera aquecimento devido a absorção da energia das microondas na água contida nesses tecidos (*calor gerado pelo atrito rotacional dos dipolos da água*). Exemplo clássico são os fornos de microondas no uso doméstico e industrial.

Voltando ao tema chave dessa NT-013, ou seja, os perigos das radiações térmicas geradas pelos fornos aquecidos sobre o corpo humano, pode-se, a grosso modo, classificar os efeitos em duas classes: agudos e crônicos. Os agudos são os que têm repercussões imediatas, como as queimaduras, as bruscas reações orgânicas de intolerância, a fadiga muscular e emocional, etc. Comumente eles resultam da exposição do corpo humano a uma combinação excessiva de

<sup>1</sup> Constante de Planck:  $h = 6,62607 \times 10^{-34}$  J.s

<sup>2</sup> Constante de Stefan-Boltzmann:  $\sigma = 5,67040 \times 10^{-8}$  W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>

intensidade e tempo de exposição à radiação. Já os crônicos se manifestam após um longo período de exposição à radiações em níveis acima de um valor naturalmente tolerado pelo corpo humano. Mesmo sem danos imediatos, podem gerar consequências somente percebidas no longo prazo, tais como o enfraquecimento das defesas imunológicas que podem levar à sensibilização alérgica, endurecimento da pele e estado prolongado e anormais de fadiga.

É importante destacar que a manutenção da temperatura central do corpo humano em um estreito intervalo de temperatura de  $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$  é uma condição crítica para o funcionamento harmônico das funções orgânicas e biológicas. Para fazer isso, o corpo utiliza um conjunto de mecanismos homeostáticos que atuam para manter as reações bioquímicas e orgânicas dentro de padrão de normalidade, mesmo que a temperatura externa varie em amplas faixas. Diferentemente do que é permitido para a temperatura *interna*, a temperatura *da pele* pode variar muito, e muito rapidamente, por tempos prolongadas. Assim, os efeitos biológicos das radiações externas de calor não são críticos para o corpo humano, uma vez que este foi dotado com mecanismos eficientes de defesa, permitindo boa tolerabilidade às variações de calor. Todavia, é sabido desde tempos ancestrais, que as oscilações da temperatura ambiente são motivos para o abaixamento das defesas imunológicas. Contudo, também é sabido os indivíduos não reagem as oscilações térmicas de um mesmo modo, apresentam maior ou menor tolerância, e isso precisa ser levado em conta nos procedimentos e nos cuidados aplicados às operações e manipulações de objetos aquecidos, com impacto na temperatura ambiental.

A definição das condições térmicas mais adequadas para um ambiente de trabalho são influenciadas por diversos fatores, como os geográficos (locais naturalmente quentes ou frios); microambientes (velocidade e direção da circulação do ar, capacidade de dispersão do calor, altura do pé-direito, etc.), tipos e forma das vestes e até os costumes e fatores genéticos. No Brasil, a partir de estudos da Organização Mundial do Trabalho (OMT) e contribuições de outras entidades, o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) expediu a Norma Regulamentadora NR 15, "Atividades e Operações Insalubres", em cujo Anexo 3, "Limites de Tolerância para Exposição ao Calor", são definidas certas condições de temperatura, umidade e ciclo de trabalho que devem ser observados para trabalhos em ambientes impactados por condições anormais. Algumas dessas fontes de informação são indicadas nas Referências Bibliográficas.

## 2 Cuidados com os Efeitos da Condução, Convecção e Radiação Térmicas nas Operações dos Fornos Analógica.

A Analógica fabrica e comercializa diferentes linhas fornos resistivos que, respectivamente, são projetadas para operar até nas temperaturas até  $1200^{\circ}\text{C}$ ,  $1400^{\circ}\text{C}$  e  $1700^{\circ}\text{C}$ . A maior demanda está concentrada nos fornos convencionais que operam até  $1200^{\circ}\text{C}$ , que podem ser fabricados em diversos tamanhos e formatos (muflas, cadinhos, tubulares verticais e tubulares horizontais, etc.) Um tipo muito comum é o mufla, cuja abertura é feita por uma porta frontal que abre para a direita, utilizando um mecanismo pantográfico de guia do posicionamento.

Tanto os fornos da marca Analógica quanto os fabricados por terceiros são potencialmente perigosos em seus manuseios e manipulações quando aquecidos. Todos são emissores de radiação térmica, emanadores de calor por convecção e apresentam pontos quentes que são perigosos ao toque. Por tais razões, esses equipamentos devem ser operados por pessoal qualificado, treinado e consciente dos perigos vinculados à atividade.

É certo que as radiações térmicas geradas nas temperaturas cobertas por esses fornos não são ionizantes, ou seja, não acarretam danos nas ligações químicas dos tecidos celulares. Mesmo assim, principalmente nas temperaturas acima de  $1500^{\circ}\text{C}$ , os cuidados com a radiação devem ser tomados. Já os efeitos da convecção e contato são preeminentes a partir de temperaturas bem mais baixas. Em todos os casos o uso correto é fundamental para eliminar, ou fortemente minimizar, a ocorrência de acidentes de trabalho, impactos indesejáveis e evitáveis ao meio ambiente ou de influências negativas ou catastróficas a objetos posicionados no entorno. Nos tópicos seguintes são feitas breves conceituações das variáveis que merecem maior atenção e discutidas algumas boas práticas de operação. Obviamente, cada aplicação se reveste de características específicas, cabendo aos proprietários e usuários a definição das práticas adequadas.

## 2.1 Efeitos da Condução Térmica

Condução térmica é a denominação dada ao processo de transmissão calor que ocorre por meio das interações vibracionais entre as partículas da matéria. É condicionada pela condutividade térmica do material e expressa a quantidade de calor transferida num intervalo de tempo na direção normal à uma superfície com espessura (L), para uma diferença de temperatura ( $\Delta T$ ).

Na operação de fornos a condução térmica é uma variável importante e que impacta diversos aspectos. Influencia o valor da temperatura nas superfícies externas dos próprios fornos, potencializando a ocorrência de queimaduras ao toque. Influencia a quantidade de energia transferida no momento em que o objeto, seja a superfície do forno, uma amostra ou qualquer objeto no entorno é tocado. A condutividade térmica tem forte impacto no grau do dano (queimadura) causado. Assim, por exemplo, um toque acidental num objeto metálico quente causa um dano muito maior que o toque equivalente em objeto de madeira ou refratário isolante, já a condutividade térmica dos metais é expressivamente maior que a da madeira ou do refratário isolante.

*Nas operações com fornos da marca Analógica, e certamente também para fornos de terceiros, cuidados específicos devem ser tomados na instalação e na operação para minimizar ou eliminar as possibilidades de toques nas partes muito aquecidas. Os operadores devem ter e manter postura de atenção e de avaliação crítica quanto aos pontos de perigo, tomando as devidas providências para não tocar superfícies tipicamente quentes, tais como as portas, chaminés e exaustores, etc.*

*Nas operações, o uso de luvas de proteção é sempre recomendável. Esse uso passa a ser essencial nas manipulações que envolvam a manipulação de amostras em fornos em altas temperaturas, lembrando que as temperaturas que provocam queimaduras começam em faixas muito baixas, por exemplo, a partir de 100°C. (Ver Quadro 1 e 2).*

## 2.2 Efeitos da Convecção Térmica

Convecção térmica é o processo de transmissão do calor por meio do movimento das partículas aquecidas de um fluido (transporte via matéria). No caso da operação de fornos, o fluido em movimento quase sempre é o ar, cuja capacidade térmica específica é de aproximadamente 0,24 cal/g.°C à pressão atmosférica.

A intensidade do transporte de calor por meio da convecção depende da diferença da temperatura, da capacidade térmica do fluido e da existência de fontes internas impulsoras da movimentação do ar, tais como o vento natural, ventiladores, movimento de portas (inclusive a do forno) e o deslocamento de outros objetos (inclusive pessoas).

Os efeitos da convecção sobre os objetos posicionados no entorno dos fornos e sobre os operadores depende muito do valor da temperatura e das correntes convectivas naturais ou induzidas. Assim, quando maior a temperatura, maior será o efeito. Quanto maior a proximidade, maior o perigo, já que o ar aquecido tende-se a misturar ao ar ambiente, baixando a temperatura. *Em todos deve-se ter especial atenção para as correntes convectivas de alta temperatura que tendem a se formar nas aberturas para visualização e chaminés. Essas correntes podem ser induzidas e aumentar abruptamente quanto a porta do forno é aberta, causando impactos instantâneos e inesperados.*

É certo que nas operações com fornos em altas temperaturas, a convecção é um problema a ser cuidado, podendo provocar sensação térmica desconfortável ou insuportável, queimaduras e danos a objetos posicionados na circunvizinhança. O uso de barreiras térmicas, tais como placas defletoras, luvas, protetores faciais, capuzes e vestes especiais são exemplos variados de proteção, que podem ser apropriados para diferentes situações. O uso desses protetores é mandatório em certos casos, seguindo os procedimentos internos de cada empresa quanto ao uso de EPIs apropriados. (Ver Quadro 1 e 2).

## 2.3 Efeitos da Radiação Térmica Direta

A expressão “radiação térmica direta” é utilizada nesta Nota Técnica para denominar a transmissão de calor por radiação. Essa radiação ocorre por ondas eletromagnéticas que não dependem de meio físico (partículas) para propagação. Fornos estão sempre radiando energia, mas a intensidade dessas radiação somente são percebidas a partir de temperaturas acima de 500°C e se propaga em

ângulo sólido, perpendicular à superfície da fonte emissora. No caso dos fornos, a radiação passa a ser um problema quando o forno não possui porta, quando a porta é aberta ou através das bocas ou frestas existentes.

A intensidade da radiação é exponencialmente proporcional a temperatura ( $E = \sigma T^4$ ) e decai com o quadrado da distância. Dependendo do valor da temperatura e da proximidade, a energia térmica radiada pode provocar sensação térmica desconfortável aos operadores, causar desconforto visual, queimaduras cutâneas e provocar danos a objetos do entorno com visão direta ao forno. Para temperaturas até 1200°C a intensidade da radiação é baixa e tem muito pouco efeito no transporte de calor. Já a partir de 1400°C os efeitos já são consideráveis, exigindo proteção.

Similarmente ao que ocorre na convecção, o uso de barreiras à radiação são eficazes como itens de proteção. Podem ou devem ser utilizadas placas defletoras, luvas reflexivas, óculos com lentes de proteção e vestes. (Ver Quadro 1).

No **Quadro 1** são sumarizados alguns cuidados e proteções recomendáveis que devem ser observados/utilizados nas operações com fornos resistivos aquecidos, principalmente, para fornos do tipo mufla.

**Quadro 1 - Cuidados Recomendáveis nas Operações com Fornos Resistivos**

Tipo de Forno	Faixa de Temperatura (°C)	Riscos	Itens de Proteção e Cuidados Recomendados
Mufla	Até 500	Risco elevado de queima por contato. Baixo risco de queima por convecção e nenhum de queima por radiação.	Luvas isolantes. Ferramentas adequadas para manipulação.
	500°C a 800°C	Risco elevado de queima por contato. Risco médio de queima por convecção e baixo risco de queima por radiação.	Luvas isolantes. Ferramentas adequadas para manipulação.
	800°C a 1200°C	Riscos elevados de queima por contato e convecção. Baixo risco de queima por radiação.	Luvas isolantes de cano longo. Protetor facial para proteção da face contra agentes térmicos e radiação infravermelha. Abertura lenta de portas para diminuir convecção.
	1200°C a 1500°C	Risco moderado de queimas por radiação. Risco elevado de queimas e danos por contato e convecção.	Luvas isolantes de cano longo e cobertura reflexiva. Protetor facial para proteção da face contra agentes térmicos e radiação infravermelha. Ferramentas adequadas para manipulação.
	Acima de 1500°C	Riscos elevados de radiação, e de queimas por convecção e por contato.	Luvas isolantes de cano longo e cobertura reflexiva. Protetor facial para proteção da face contra agentes térmicos e radiação infravermelha. Óculos para proteção contra radiação infravermelha. Avental ou veste com isolamento térmica Ferramentas adequadas para manipulação.
Tubular	Até 800°C	Risco elevado de queima por contato. Médio risco de queimas e danos por convecção. Nenhum risco de radiação	Luvas isolantes. Ferramentas adequadas para manipulação.
	800°C a 1200°C	Baixo risco dos efeitos da radiação. Risco médio de queimas e danos por convecção. Risco elevado de queima por contato.	Luvas isolantes. Ferramentas adequadas para manipulação..
	Acima de 1200°C	Risco elevado de queima e danos por convecção e de por contato. Risco médio decorrente dos efeitos da radiação.	Luvas isolantes de cano longo. Protetor facial para proteção da face contra agentes térmicos e radiação infravermelha. Óculos para proteção contra radiação infravermelha. Ferramentas adequadas para manipulação.
Outros Fornos.	Com base nas informações aplicáveis para os fornos muflas e tubulares, observar os cuidados e utilizar os itens de proteção que sejam compatíveis e adequados às características específicas do forno.		


### 3 Operações com Fornos Aquecidos - Considerações Adicionais.

É importante salientar que quaisquer operações com fornos aquecidos são potencialmente perigosas, seja em atividades domésticas quanto comerciais e industriais. Como as radiações não são ionizantes, os riscos são, majoritariamente, vinculados a queimaduras por contato ou decorrente de convecção, já que efeitos de radiação só assumem alguma relevância a partir de 1200°C.

Na faixa entre 100°C e 500°C predomina um risco de queimaduras por contato, até por que, nessa faixa, as radiações não são visíveis. Os cuidados operacionais devem ser um hábito, e, principalmente em atividade comerciais e industriais que podem ser exercidas por diferentes pessoas, é importante que as operações atenda a procedimentos operacionais definidos e formalizados, e que os operadores sejam conscientizados dos perigo e precauções necessárias. É recomendável a escolha e uso de adequados equipamentos de proteção individual (EPIs), que nas atividades comerciais e industriais são legalmente obrigatórios.

A partir de 550°C as radiações térmicas atingem frequências perceptíveis ao olho humano e as pessoas passam a dispor de um importante atributo para perceber, avaliar e precaver os perigos nas operações de fornos e outros objetos quentes. Ou seja, acima de 550°C a temperatura tem cor. Embora a sensibilidade visual varie entre pessoas, as respostas do olho humano às radiações térmicas são sinteticamente mostradas no **Quadro 2**.

<b>Quadro 2 – Dados da Cor x Temperatura</b>		
<b>Cor x Temperatura (Olho Humano)</b>		
<b>Cor</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	
Laranja	520 a 650	520°C
Vermelho	650 a 1000	700°C
Amarelo	1000 a 1500	1000°C
Branco azulado	Acima de 1500	1500°C
		2500°C



Na medida em que a temperatura se eleva, os riscos também se elevam, principalmente os riscos de queimas por convecção. A partir de 1400°C o calor radiado também passa a ter um peso significativo.

Embora seja impossível adotar procedimentos lineares para todos casos, dadas as particularidades de cada a caso. Contudo, alguns cuidados são abrangentes, com seguintes destaques:

- Partes quentes dos fornos - acima de 60°C - devem ser identificadas e protegidas contra contatos.
- Os locais onde materiais aquecidos (amostras, ferramentas, componentes, etc. ) são depositados devem ser identificados, e, se possível, segregados para esse fim.
- Portas e outras aberturas devem ser, preferencialmente, mantidas bem fechadas.
- Os desgastes na isolamento térmica devem ser regularmente corrigidos.
- Usar equipamentos convencionais de proteção (óculos, luvas e protetores faciais. Situações específicas podem exigir o uso de aventais, perneiras, capuzes e vestes especiais.
- Anteparos com baixa emissividade são sempre recomendados.
- A duração das operações ao calor devem ser previamente planejadas e treinadas para minimizar erros e os tempos de exposição.

#### **4 Referencias Bibliográficas.**

- Norma Regulamentadora NR15, “Atividades e Operações Insalubres” - Anexo 3, “Limites de Tolerância para Exposição ao Calor”; Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).
- Norma Regulamentadora 6 - NR 6 - Equipamento de Proteção Individual – EPI
- Portaria SIT/DSST Nº 194 DE 07.12.2010 - D.O.U.: 08.12.2010.
- OHS Regulation, Part 7, “Noise, Vibration, Radiation and Temperature - Division 4, “Thermal Exposure”.
- Cunrui Huang et alii, “Genetic group versus ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbit”. *Environ Health Perspect*; DOI: 10.1289/ehp.1206025.
- Health and Safety Executive – Guidance – Temperature.
- Manual de segurança em laboratórios – Uniguacu. [www.uniguacu.edu.br/wp-content/.../manual\\_seguranca\\_laboratorios.pdf](http://www.uniguacu.edu.br/wp-content/.../manual_seguranca_laboratorios.pdf).
- Avoiding Accidents by Using Equipment Safely - <http://mdk12.msde.maryland.gov/instruction/curriculum/science/safety/handling.html>