

# **AVALIAÇÃO DE AGENTES AMBIENTAIS QUÍMICOS E FÍSICOS**

## **DECLARAÇÃO**

Os textos apresentados a seguir, não tem nenhum caráter mandatório, nem tampouco é uma recomendação ou indicação da NR 31. Trata-se tão somente de uma coletânea de normas e informações bibliográficas destinada a auxiliar aqueles que desejam realizar avaliações quantitativas de agentes ambientes químicos e físicos dentro de metodologias tecnicamente embasadas.

## ÍNDICE GERAL

<b>AGENTES QUÍMICOS.....</b>	<b>4</b>
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 AGENTES AMBIENTAIS.....	5
3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E LIMITES DE EXPOSIÇÃO PARA AGENTES QUÍMICOS .....	5
3.1 Unidades de Medida.....	5
3.2 Limites de Exposição.....	6
3.2.1 Limite de Tolerância.....	6
3.2.2 Valor Teto.....	6
3.2.3 Valor Máximo .....	7
3.2.4 Limite de Curta Exposição .....	7
3.2.5 TLV - Threshold Limit Value .....	7
3.2.6 TLV - TWA - Threshold Limit Value - Time Weighted Average .....	7
3.2.7 Limite de Tolerância para Material Particulado .....	10
3.2.7.1 Materiais Particulados – Critério ACGIH .....	10
3.2.7.2 Poeiras Minerais – Critério NR 15 – Anexo 12 .....	14
3.3 Coleta e Análise das Amostras .....	15
3.3.1 Coleta .....	15
3.3.2 Análise.....	19
3.4 Avaliações Subjetivas .....	20
4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	21
5 BIBLIOGRAFIA CITADA E REFERÊNCIAS.....	24
<b>AGROTÓXICOS .....</b>	<b>26</b>
1 Resumo.....	27
2 Introdução.....	28
3 Monitoramento Ambiental e Biológico.....	29
3.1 Monitoramento Ambiental .....	29
3.1.1 Análise e Interpretação dos Resultados .....	34
Determinação da Exposição Real .....	34
Determinação da Dose Tolerável.....	37
Exposição dermal: .....	40
Exposição inalatória: .....	41
Exposição oral:.....	42
Comparação da Dose Real Estimada com a Dose Tolerável.....	42

3.2	<i>Monitoramento Biológico</i>	43
4	<i>Descrição de Monitoramento Ambiental Realizado</i>	46
	<b>AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DERMAL E INALATÓRIA DE TRABALHADORES EM ATIVIDADE DE BANHO DE OVELHAS COM SOLUÇÃO DE DIAZINON</b>	<b>47</b>
	<b>INFLUÊNCIA DOS PERÍODOS E VOLUMES DE APLICAÇÃO NA SEGURANÇA DOS TRATORISTAS EM APLICAÇÕES DE HERBICIDA NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR</b>	<b>51</b>
5	<i>Conclusão</i>	54
6	<i>Bibliografia Citada e Referências</i>	54
	<b>RUÍDO</b>	<b>56</b>
1	<i>UNIDADES DE MEDIDA</i>	57
2	<i>MEDIÇÃO DO RUÍDO</i>	68
	<b>AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE PROTETORES DE OUVIDO</b>	<b>74</b>
	<b>USO DE DUPLA PROTEÇÃO</b>	<b>86</b>
3	<i>DOSIMETRIA DE RUÍDO</i>	87
4	<i>BIBLIOGRAFIA CITADA</i>	88
	<b>CALOR E FRIO</b>	<b>90</b>
1	<i>FISIOLOGIA DA TERMOREGULAÇÃO HUMANA</i>	91
1.1	<i>Transformação de Energia – Metabolismo</i>	91
1.2	<i>Sistema Nervoso Central</i>	93
1.3	<i>Atividade Circulatória e Muscular</i>	94
1.4	<i>Mecanismo da Transpiração</i>	94
1.5	<i>Aclimatização ao Calor</i>	95
2	<i>INDICADORES AMBIENTAIS E FISIOLÓGICOS</i>	95
3	<i>PROPRIEDADES TÉRMICAS DA ROUPA</i>	96
4	<i>ÍNDICE EMPÍRICO – IBUTG</i>	97
5	<i>TEMPERATURA EFETIVA</i>	101
6	<i>FRIO</i>	106
7	<i>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</i>	107

# **AGENTES QUÍMICOS**

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola e industrial expõe os trabalhadores a agentes ambientais originados de fontes naturais ou artificiais em níveis que geralmente ultrapassam os limites de exposição previstos nas normas técnicas e legais.

De acordo com a legislação brasileira, as empresas devem identificar, quantificar e controlar estes agentes dentro de níveis considerados salubres.

Este trabalho resume os principais conceitos de higiene ocupacional, a forma de quantificação dos agentes mais comuns ao ambiente de produção agrícola e industrial e o método de registro e validação das informações.

## 2 AGENTES AMBIENTAIS

Agentes ambientais são os classificados como químico, físico e biológico.

Como agente químico podem ser relacionados os gases, vapores, fumos, névoas, poeiras e líquidos capazes de agredir a saúde de uma pessoa. Como agente físico podem ser listados o ruído, vibração, calor e radiações. Como agente biológico são listados os vírus, fungos e bactérias.

## 3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E LIMITES DE EXPOSIÇÃO PARA AGENTES QUÍMICOS

O reconhecimento e avaliação dos agentes ambientais devem ser feitas através de métodos científicos e objetivos cujos resultados possam ser comparados com valores preestabelecidos. Entretanto, vários agentes ainda não possuem tais métodos sendo ainda avaliados pelo sentimento do avaliador

### 3.1 Unidades de Medida

Em higiene ocupacional, concentrações de agentes químicos são expressas em termos volumétricos e massa.

As unidades adotadas são:

- ✓ Parte Por Milhão (PPM) = partes do contaminante por milhão de partes de ar;
- ✓ Porcentagem (%) = Volume de contaminante em relação ao volume total de ar;
- ✓ Miligrama por Metro Cúbico (Mg/M<sup>3</sup>) = Massa de contaminante, em miligrama, por metro cúbico de ar.

Dependendo do meio adotado para amostragem e análise, da forma como são expressos os resultados e da unidade de medida adotada como padrão para comparação com os limites de exposição, eventualmente, é necessário fazer a conversão para a unidade de referência.

Para conversão, é necessário lembrar que os valores padrão, normalmente, são expressos para condições de temperatura de 25°C e pressão atmosférica de 760 mmHg.

Assim, para conversão de PPM para %, ou vice-versa, como a relação é de volume para volume, não é necessário nenhum ajuste prévio, ou seja:

- PPM para % =  $PPM \times 100 / 1.000.000 = \%$
- % para PPM =  $\% \times 1.000.000 / 100 = PPM$

Já, para conversão de PPM ou % para  $Mg/m^3$ , ou vice versa, como a relação é de massa por volume, é necessário ajustar o volume, em função do peso molecular do contaminante. Para tanto, é necessário lembrar que 1 (um) grama-mol de qualquer gás perfeito ocupa um volume de 22,4 litros, a uma temperatura de 0 (zero) °C e pressão atmosférica de 760 mmHg. Para a condição padrão de temperatura de 25°C e pressão atmosférica de 760 mmHg, o valor do Mol é de 24,45 litros, que equivale aos seguintes ajustes:

- ✓ Conversão da temperatura de °C (Celsius) para °K (Kelvin) =  $^{\circ}C + 273$
- ✓ Correção do volume de 1 (um) grama-mol de gás a 0 (zero) °C ou 273 °K para 25°C ou 298°K, que será =  $((25 + 273) \times 22,4) / 273 = 24,45 = Mol$

Assim, para conversão dos valores de concentração nas diferentes unidades que normalmente são utilizadas em higiene ocupacional, o procedimento é o seguinte:

- ✓  $PPM = (Mg/m^3 \times Mol) / Pm$
- ✓  $PPM = (\% \times 1.000.000) / 100$
- ✓  $Mg/m^3 = PPM \times (Pm / Mol)$
- ✓  $Mg/m^3 = (\% \times 1.000.000) / 100 \times (Pm / Mol)$
- ✓  $\% = (PPM \times 100) / 1.000.000$
- ✓  $\% = ((Mg/m^3 \times Mol) / Pm) \times 100 / 1.000.000$

Onde:

PPM = Parte Por Milhão (volume/volume)

$Mg/m^3$  = Miligrama por Metro Cúbico (massa/volume)

Pm = Peso Molecular da Substância

Mol = Volume ocupado por 1 (um) grama-mol de um gás, a 760 mmHg e 25 °C

### 3.2 Limites de Exposição

É um valor genérico, podendo englobar todos os limites, dentre eles o limite de curta exposição, limite de tolerância, valor teto etc, não tendo portanto um valor absoluto e englobando os seguintes valores:

#### 3.2.1 Limite de Tolerância

É o valor limite da concentração do agente dentro do qual a maioria dos trabalhadores poderia permanecer exposta 8 horas diárias e 48 horas semanais durante toda a vida laboral, sem apresentar nenhum sintoma de doenças.

Para o cálculo da concentração dos agentes químicos, a legislação brasileira admite a possibilidade de amostragem contínua e/ou instantânea. Para o caso da contínua os valores serão ponderados, em função do tempo de amostragem. Para o caso da amostragem instantânea, a exigência é de no mínimo 10 amostragens com intervalo de 20 minutos entre cada uma e o resultado expresso como a média aritmética das 10 amostragens. Nenhum dos resultados pode ultrapassar o “valor máximo”.

#### 3.2.2 Valor Teto

É o valor estabelecido na legislação brasileira que não pode ser ultrapassado em nenhum momento da jornada de trabalho. Este valor é igual ao “limite de tolerância”.

### 3.2.3 Valor Máximo

É o valor estabelecido na legislação brasileira e que não pode ser ultrapassado em nenhum momento da jornada de trabalho. Este valor é calculado como segue:

$$\text{valor máximo} = \text{LT} \times \text{FD}$$

onde:

LT = limite de tolerância do agente químico

FD = fator de desvio, segundo o quadro abaixo

LT (ppm ou mg/m <sup>3</sup> )	FD
0 a 1	3
1 a 10	2
10 a 100	1,5
100 a 1000	1,25
Acima de 1000	1,1

A tabela de fator de desvio (FD) acima apresenta valores altos para limites de tolerância baixos e baixos para limites altos. Apesar de parecer paradoxal, a inversão nos valores tem as seguintes justificativas:

- ✓ Diferenças muito pequenas em valores muito baixos são de difícil controle, uma vez que as concentrações apresentam grande variabilidade num mesmo ambiente no decorrer da jornada;
- ✓ Um índice crescente elevaria exageradamente os valores de tolerância altos.

### 3.2.4 Limite de Curta Exposição

É o valor estabelecido na legislação americana que indica o limite a que um trabalhador pode ficar exposto durante 15 minutos a intervalos superiores a 60 minutos e não podendo ultrapassar 4 exposições numa jornada diária.

Em inglês este valor é conhecido como “STEL” (short term exposure limit).

### 3.2.5 TLV - Threshold Limit Value

É o termo americano que tem o mesmo significado que o nosso “limite de tolerância” com a exceção de que o TLV é para 8 horas/dia, 40 horas/semana e o “LT” brasileiro é para 8 horas diárias e 48 horas semanais.

### 3.2.6 TLV - TWA - Threshold Limit Value - Time Weighted Average

É o termo americano que expressa o limite de tolerância ponderado no tempo, que é a média ponderada de todas as exposições durante a jornada, calculada em função do tempo de exposição a cada nível.

$$\text{TLV - TWA} = \frac{C_1 \times t_1 + C_2 \times t_2 + \dots + C_n \times t_n}{t_t} = \text{PPM ou MG/M}^3$$

onde:

C1, C2..Cn = concentração em cada exposição (ppm ou mg/m<sup>3</sup>)  
t1, t2.... tn = tempo de duração da exposição ao dado nível (min ou hora)  
tt = tempo de duração da jornada (min ou hora)

Deve ser lembrado que nenhuma concentração “C” pode ultrapassar o valor “STEL”, assim como não pode ser ultrapassado o número de 4 exposições ao valor “STEL” durante a jornada.

Os valores de TLV – TWA, constantes nas tabelas da NIOSH<sup>1</sup>, OSHA<sup>2</sup> e ACGIH<sup>3</sup>, são referentes às condições de 8 horas diárias e 40 semanais. Por esta razão, quando transpostos para o Brasil devem ser corrigidos para as condições da jornada real. Do mesmo modo, os valores de Limite de Tolerância constantes da NR 15 – Anexo 11 são dados para 8 horas diárias e 48 semanais. Sempre que a jornada diária ou semanal do trabalhador for diferente deste padrão o TLV – TWA e o Limite de Tolerância devem ser corrigidos.

Uma fórmula simples para correção destes valores que é muito utilizada é a descrita no método de Brief e Scala e que é apresentada a seguir.

$$FC \text{ diário} = \frac{Hpd}{Hd} \times \frac{24 - Hd}{24 - Hpd}$$

$$FC \text{ semanal} = \frac{Hps}{Hs} \times \frac{168 - Hs}{168 - Hps}$$

Onde:

FC = fator de correção diário ou semanal

Hpd = duração da jornada diária padrão, em horas, para a qual foi estabelecido o limite de tolerância – USA e Brasil = 8 horas

Hd = duração da jornada de trabalho diário real, em horas

24 = Número total de horas do dia

Hps = duração da jornada semanal padrão, em horas, para a qual foi estabelecido o limite de tolerância – USA = 40 horas; Brasil = 48 horas

Hs = duração da jornada de trabalho semanal real, em horas

168 = número total de horas da semana

#### NOTAS:

1 Como jornada de trabalho deve ser entendido que é o número de horas de permanência no local de risco. Não são consideradas para o cálculo da jornada as horas destinadas à refeição e/ou descanso fora do local do risco considerado.

2 A ACGIH admite a aplicação do fator de correção diário e/ou semanal para jornadas que superem 8 horas diárias e 40 horas semanais. Para o Brasil, não há previsão na Lei sobre estes limites. Por ser mais conservador, recomenda-se

<sup>1</sup> National Institute for Occupational Safety and Health (USA)

<sup>2</sup> Occupational Safety and Health Administration (USA)

<sup>3</sup> American Conference of Governmental Industrial Hygienists (USA)

aplicar o fator de correção somente quando a duração da jornada é superior ao padrão.

**Exemplo 1:**

Um trabalhador brasileiro trabalha 8 horas diárias e 48 horas semanais exposto a um agente cujo TLV - TWA é estabelecido somente pela ACGIH com um valor de 20ppm.

Qual o valor para o Brasil?

$$\text{FC diário} = \frac{8}{8} \times \frac{24-8}{24-8} = 1$$

$$\text{FC semanal} = \frac{40}{48} \times \frac{168-48}{168-40} = 0,781$$

Portanto, o valor do TLV – TWA deve ser  $0,781 \times 20 = 15,6$  ppm. Note-se que sempre é utilizado o menor FC, no caso, 0,781.

Se, por outro lado, o número de horas semanais continuar 48, mas a diária for 8,8, que é o caso das horas não trabalhadas aos sábados serem compensadas nos 5 dias da semana (8h48min/dia) o fator de correção seria o seguinte:

$$\text{FC diário} = \frac{8}{8,8} \times \frac{24-8,8}{24-8} = 0,864$$

$$\text{FC semanal} = \frac{40}{48} \times \frac{168-48}{168-40} = 0,781$$

Portanto, o valor TLV - TWA neste caso será o mesmo do exemplo anterior, ou  $0,781 \times 20 = 15,6$  ppm. Utiliza-se o valor mais restritivo que é o fator de correção menor, no caso o semanal.

**Exemplo 2:**

Um trabalhador brasileiro, numa atividade de turno, trabalha 8 horas diárias e 56 horas semanais exposto a um agente cujo Limite de Tolerância dado pela Lei brasileira é de 20ppm.

Qual o valor corrigido para esta situação?

$$\text{FC diário} = \frac{8}{8} \times \frac{24-8}{24-8} = 1$$

$$\text{FC semanal} = \frac{48}{56} \times \frac{168-56}{168-48} = 0,80$$

Portanto, o valor do Limite de Tolerância será  $0,80 \times 20 = 16,0$  ppm.

Para qualquer avaliação de agente químico em que for utilizado o Fator de Correção “FC”, é indispensável que a correção seja destacada no relatório, tanto no capítulo referente à metodologia aplicada na avaliação quanto na tabela de resultados da área em questão.

A seguir são apresentadas 2 tabelas que ilustram uma situação de avaliação com jornada normal e outra com jornada aumentada, em que foi aplicado o fator de correção.

**Tabela 1 – Jornada “Normal”**

<b>GASES E VAPORES</b>			
<b>Atividade/Operação</b>	<b>Agente Amostrado</b>	<b>Concentração Encontrada (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Limite de Tolerância - NR 15(mg/m<sup>3</sup>)</b>
Operação de Destilaria A, B e C	Etanol	24,81	1.480
	Ciclohexano	3,42	820
Operação de Destilaria D e H	Etanol	13,65	1.480
	Ciclohexano	16,60	820
Limpeza de Condensadores	Etanol	48,07	1.480
	Ciclohexano	10,81	820
Pré-fermentação - Campo e Painel	Dióxido de Carbono	3.600	7.020
Fermentação – Campo	Dióxido de Carbono	14.397	7.020

**Tabela 2 – Jornada “Aumentada”**

<b>POEIRA MINERAL RESPIRÁVEL</b>			
<b>Atividade/Operação</b>	<b>Concentração Encontrada (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentagem de Sílica</b>	<b>Limite de Tolerância – NR 15 (mg/m<sup>3</sup>)</b>
Engate de Cabos - Barracão Externo	0,27	13,0	0,42
Engate de Cabos - Barracão Interno	<0,03	<4,0	1,00
Operação de Ponte Rolante – Barracão Externo	0,15	2,0	1,60
Operação de Hidráulico de Descarga – Barracões Externo e Interno	0,13	8,0	0,64
(<) Menor que = Valor abaixo do limite de detecção do método analítico. O valor de Limite de Tolerância foi corrigido para jornada de trabalho de 08 horas diárias e 56 horas semanal.			

### 3.2.7 Limite de Tolerância para Material Particulado

#### 3.2.7.1 Materiais Particulados – Critério ACGIH

Material particulado deve ser entendido como substâncias no estado sólido ou líquido - poeiras e aerossóis.

No passado os materiais particulados insolúveis ou pouco solúveis que não eram classificados como tóxicos recebiam a denominação de “*partículas incômodas*”. Apesar destas substâncias não causarem fibroses ou efeitos sistêmicos, elas não são biologicamente inertes. Em altas concentrações, estas partículas têm sido associadas a efeito eventualmente fatal, denominado “*proteinose alveolar*”. Em baixas concentrações, elas podem inibir a remoção de partículas tóxicas do pulmão por decréscimo da mobilidade dos macrófagos. Em função disso, atualmente estas substâncias são denominadas de “*Particulado Não-Classificado de Outra Forma*”, ou PNOC (que em inglês significa *Particulate Not-Otherwise Classified*), para enfatizar que são potencialmente tóxicas e evitar que sejam consideradas não-prejudiciais em qualquer concentração.

Nas tabelas de limites de tolerância da ACGIH, publicadas anualmente, os materiais particulados apresentam limites de tolerância individuais especificados para a condição em que são considerados prejudiciais, cuja classificação é a seguinte:

- ✓ **E** – particulado que não contenha asbesto e com menos de 1% de sílica livre cristalizada;
- ✓ **I** – particulado ***inalável***;
- ✓ **T** – particulado ***torácico***;
- ✓ **R** – particulado ***respirável***.

O significado destas denominações é o seguinte:

- ✓ **E** – massa de particulado total existente no ar amostrado e que não contenha asbesto e que tenha menos de 1% de sílica livre cristalizada;
- ✓ **I** – massa de particulado ***inalável*** ou massa de particulado existente no ar amostrado que oferece risco quando depositada em qualquer lugar do trato respiratório;
- ✓ **T** – massa de particulado ***torácico*** ou massa de particulado existente no ar amostrado que oferece risco quando depositada na região de troca de gases;
- ✓ **R** – massa de particulado ***respirável*** ou massa de particulado existente no ar amostrado que oferece risco quando depositada em qualquer lugar no interior das vias aéreas dos pulmões e da região de troca de gases.

Quando, nas tabelas de limites de tolerância da ACGIH não aparece o complemento ao lado do valor TWA para substâncias que se apresentam na forma “particulada”, deve ser entendido que refere-se a “particulado total” (**E**).

A ACGIH classifica os três grupos de particulados, de acordo com a eficiência de coleta do amostrador. Nos gráficos 1, 2 e 3 são relacionados os valores de eficiência de coleta, em função do diâmetro aerodinâmico.

Gráfico 1 – Particulado Inalável

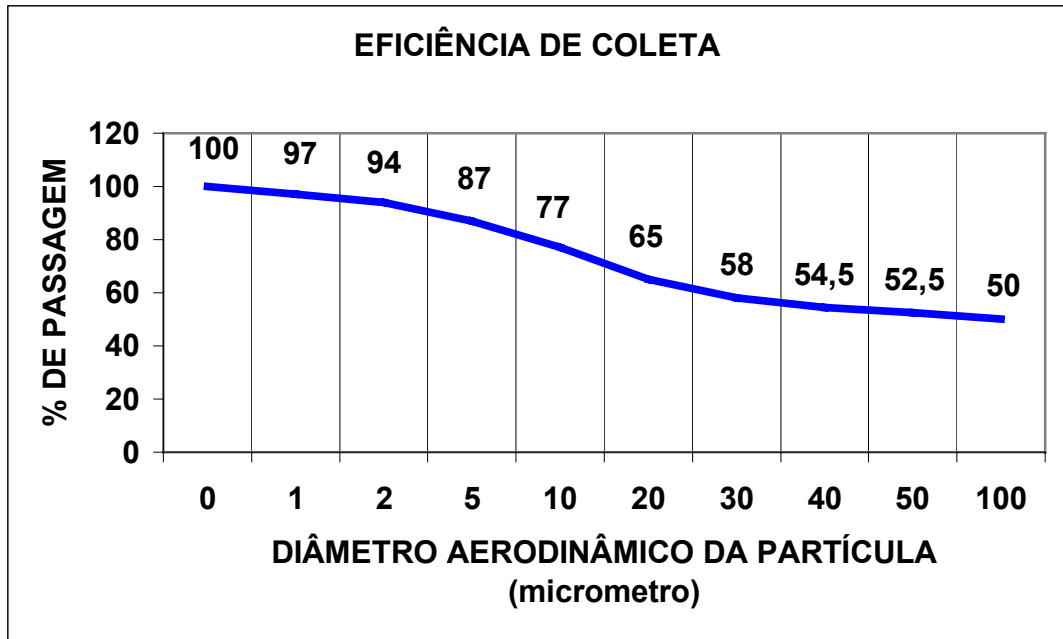


Gráfico 2 – Particulado Torácico

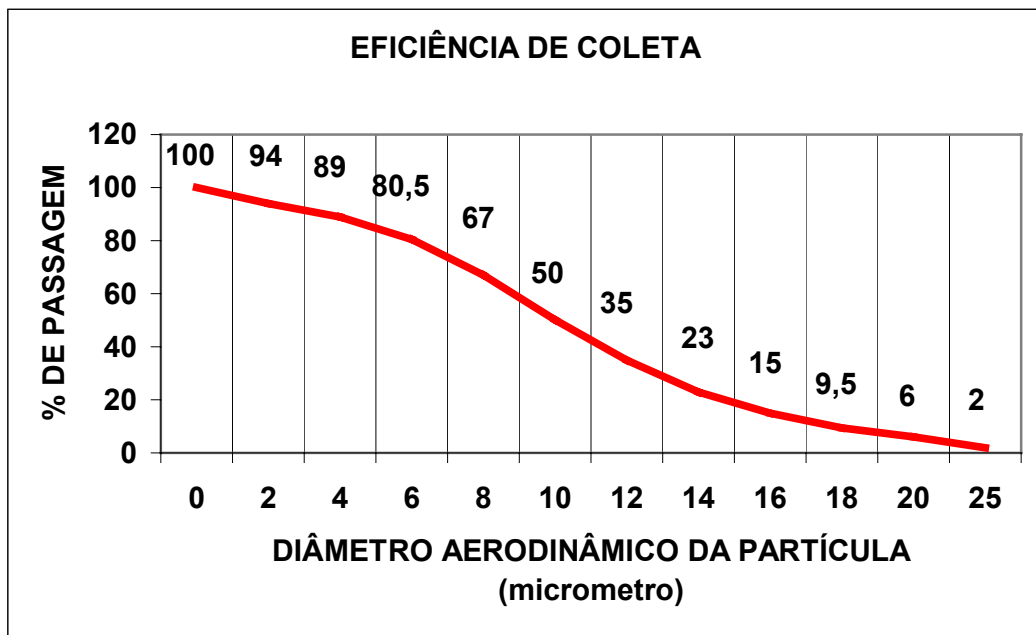
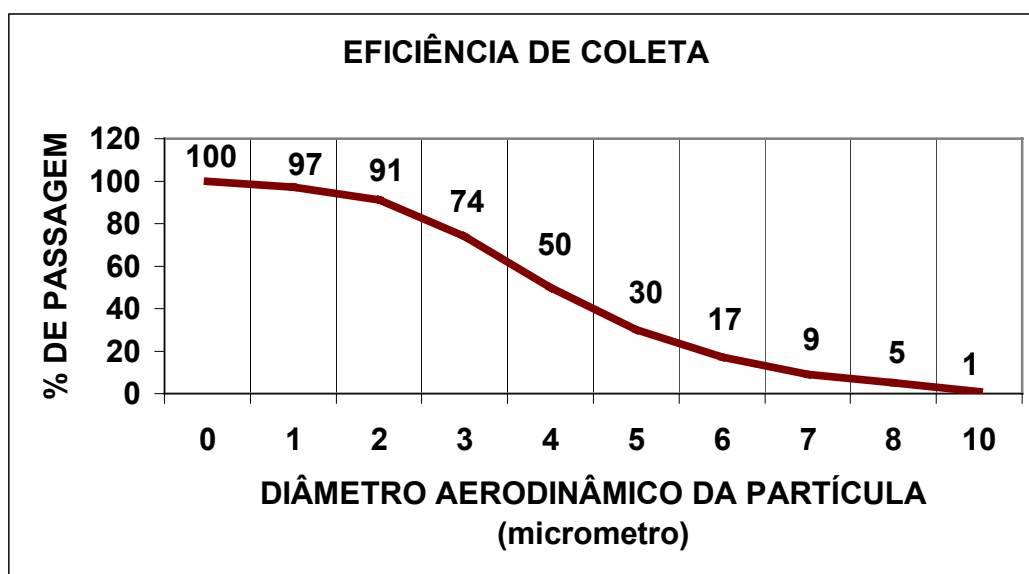


Gráfico 3 – Particulado Respirável



Apesar de todo esse detalhamento, os métodos de coleta e análise de particulados que recomendam a coleta através de amostradores atendem o padrão do gráfico 3 – particulado respirável. Os ciclones separadores de partículas que estão disponíveis no mercado são construídos em nylon ou liga de alumínio e são recomendados para operarem nas seguintes vazões:

- ✓ Ciclone de nylon de 10mm = 1,7 litros/min
- ✓ Ciclone HD (liga de alumínio) = 2,2 litros/min.

Portanto, para efeito de comparação com os limites de tolerância (TLV – TWA) da ACGIH, a avaliação de particulados deve ser feita da seguinte forma:

- ✓ Coleta direta em membrana montada em cassete de 37mm – resultados comparáveis com TLV – TWA dados nas tabelas sem referência ou com referência “*inalável*” (I) e “*torácica*” (T);
- ✓ Coleta em membrana montada em cassete de 37mm precedido de ciclone separador de nylon, operando com vazão de 1,7 litros/min, ou ciclone HD, operando com vazão de 2,2 litros/min – resultados comparáveis com TLV – TWA dados nas tabelas com referência “*respirável*” (R).

O Óxido de Cálcio, por exemplo, aparece na tabela de TLV – TWA da edição 2.001 da ACGIH com valor de 2 mg/m<sup>3</sup>, sem nenhuma referência adicional. Isso significa que o valor refere-se a particulado total, ou seja: a coleta da amostra para análise deve ser feita diretamente na membrana montada no cassete, sem o ciclone separador.

Na mesma edição, os Particulados Não Especificados de Outra Forma (PNOC) têm os TLV – TWA dados com referência E.I e E.R (E = não contém asbesto; I = inalável; R = respirável). Isso significa que podem ser coletados sem ou com ciclone. Para coleta sem ciclone, os valores de análise devem ser comparados com o TLV - TWA “E.I” de 10 mg/m<sup>3</sup> e, para coleta com ciclone, a comparação dos valores de análise deve ser feita com o TLV – TWA “R” de 3 mg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.7.2 Poeiras Minerais – Critério NR 15 – Anexo 12

No Brasil não existe uma diferenciação entre os materiais particulados, para efeito de definição dos limites de tolerância.

A Portaria MTb 3.214/78 - NR15 - Anexo 12, define os limites de tolerância para poeiras contendo sílica livre cristalizada, que devem ser calculados em função da porcentagem de quartzo contida no ar amostrado. Portanto, o limite para tais poeiras, segundo esta norma, é o seguinte:

Limite de tolerância para poeira total (LTT)

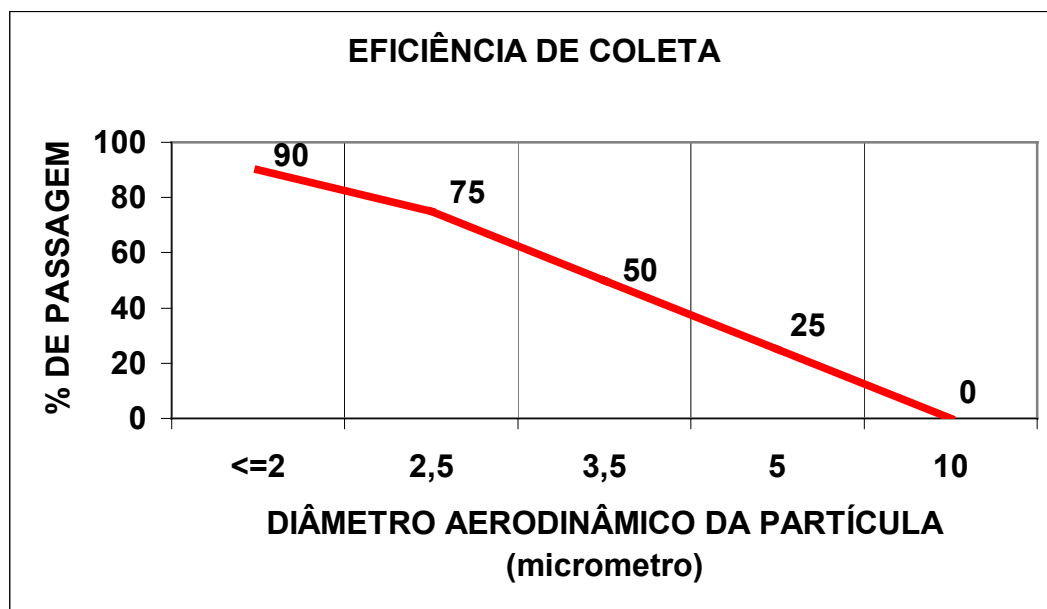
$$LTT = \frac{24}{\% \text{ de quartzo} + 3} = mg / m^3$$

Limite de tolerância para poeira respirável (LTR)

$$LTR = \frac{8}{\% \text{ de quartzo} + 2} = mg / m^3$$

O Anexo 12 da NR 15 classifica como poeira respirável a massa de particulado que passa por um ciclone com a curva mostrada no gráfico 4.

**Gráfico 4 – Poeira Respirável**



**Exemplo:**

Em um ambiente de trabalho é feita uma amostragem com uma bomba calibrada com uma vazão corrigida de 1,7 litros por minuto, operando 294 minutos,

encontrando-se na análise da amostra 1,5mg de poeira respirável e 0,45 mg de quartzo. Qual o limite de tolerância para a poeira em questão?

- ✓ Volume de ar amostrado =  $1,7 \times 294 = 500$  litros
- ✓ Massa de poeira respirável = 1, 5mg
- ✓ Massa de quartzo = 0,45 mg
- ✓ Concentração de poeira respirável =  $(1000 \times 1,5) / 500 = 3 \text{ mg/m}^3$
- ✓ Porcentagem de quartzo =  $(0,45 \times 100) / 1,5 = 30\%$
- ✓ Limite de Tolerância =  $8 / (30 + 2) = 0,25 \text{ mg/m}^3$

Portanto, foi ultrapassado o limite de tolerância para a condição avaliada, que é de  $0,25 \text{ mg/m}^3$ .

**NOTA:** Conforme definido no item 3.2.6, acima, para o padrão brasileiro, quando a jornada de trabalho ultrapassar as 8 horas diária ou 48 horas semanal, deve ser feita correção no limite de tolerância, de acordo com a regra do Fator de Correção "FC".

### 3.3 Coleta e Análise das Amostras

#### 3.3.1 Coleta

A coleta de amostras de um agente químico é feita em função do estado do agente e dos meios posteriores de análise. Assim, devem ser considerados os seguintes fatores:

- O ponto ou o trabalhador onde a amostra é coletada deve ser representativo da exposição do grupo de trabalhadores daquela função/atividade;
- O amostrador deve ser colocado na região representativa da via de absorção – dentro de uma esfera imaginária com 30cm de raio, com centro no nariz e/ou boca da pessoa, para agentes absorvidos pelas vias respiratória/digestiva; junto a pele, nos pontos esperados de contato, para agentes absorvidos por esta via;
- Cada amostra deve ser identificada antes ou logo após a amostragem com um código, preferencialmente alfanumérico, de forma que possa ser rastreada no laboratório e nos cálculos finais de concentração, após análise;
- Para cada amostra deve ser criada uma folha de campo com os dados do local e função avaliadas, datas e dados de calibragem, amostragem e aferição de equipamentos de coleta, tempo e vazão de amostragem, pressão atmosférica e temperatura no local da amostragem, número do equipamento de amostragem e da amostra e demais dados que forem relevantes para futuras análises. Após a análise, a folha de campo deve ser complementada com os dados do certificado e cálculos dos resultados. A seguir é apresentado um modelo de folha de campo.

CONTROLE DE AMOSTRAGEM						
EMPRESA : (nome)			LOCAL : (cidade)			
DATAS : CALIBRAGEM: 16/10/02 AMOSTRAGEM: 16/10/02 AFERIÇÃO: 17/10/02						
BOMBA	MARCA/MODELO : ALPHA 1		CÓDIGO:	A	CARGA: TOTAL	
LOCAL MONITORADO :	TRATOR VALMET 128 CABINE ABERTA - REBOQUE DE TRANSBORDO					
AGENTE AMOSTRADO :	POEIRA MINERAL RESPIRÁVEL					
CÓDIGO AMOSTRA:	DA 4689	MONITORAMENTO:		PESSOAL		
TEMPO DE AMOSTRAGEM (minuto) :	239	VAZÃO DE AMOSTRAGEM(lpm) :			1,788	
CONDIÇÕES LOCAL-	DO	TEMP.(°C)	33	PRESSÃO (mmHg)	680	
VOLUME AMOSTRADO (lts):	427,332					
DADOS DO CONTAMINANTE E CONCENTRAÇÕES ENCONTRADAS						
NÚMERO DO CERTIFICADO	POEIRA RESPIRÁVEL		SÍLICA		LIMITE DE TOLERÂNCIA (MG/M <sup>3</sup> )	
	MASSA (MG)	CONCENTR. (MG/M <sup>3</sup> )	MASSA (MG)	PORCENTAGEM		
193191196	0,36	0,84	0,0157	4,36	1,25	
CALIBRAGEM E AFERIÇÃO						
CALIBRAGEM			AFERIÇÃO			
TEMPO 1	13,80		TEMPO 1	13,82		
TEMPO 2	13,85		TEMPO 2	13,88		
TEMPO 3	13,88		TEMPO 3	13,88		
TEMPO 4	13,82		TEMPO 4	13,85		
TEMPO 5	13,88		TEMPO 5	13,90		
TOTAL(seg)	69,23		TOTAL(seg)	69,33		
MÉDIA(seg)	13,85		MÉDIA(seg)	13,87		
V.TUBO(cc)	400		V.TUBO(cc)	400		
VAZÃO(lpm)	1,732		VAZÃO(lpm)	1,730		
TEMP.(°C)	24					
PR.(mmHg)	682	VAZÃO MÉDIA(lpm):		1,731		
VARIÇÃO ENTRE CALIBRAGEM E AFERIÇÃO (%)			0,11			

**NOTA:** Os campos referentes aos resultados de análise, concentração e limite de tolerância, que aparecem preenchidos acima, na verdade são completados após o envio do certificado da análise pelo laboratório.

Os critérios de vazão e tempo de amostragem são dados nos métodos analíticos, em função do agente, concentração esperada, tipo do amostrador e forma de

análise. Do mesmo modo, é dada nos métodos a forma de acondicionamento e transporte da amostra – posição, uso de tampões, refrigeração etc., que devem ser observados.

As formas e meios de coleta estão associados à forma e características físico-químicas do agente e o método de análise. Estes meios são basicamente os seguintes:

- ✓ **Tubo Colorimétrico** – Tubo de vidro com recheio de uma mistura que contém um reagente que muda de cor em contato com um agente específico. O resultado da amostragem é indicado instantaneamente pelo tamanho da área colorida sob uma escala equivalente de concentração em PPM, % ou  $\text{Mg/m}^3$ . O fluxo de ar é forçado a passar pelo interior do tubo, através de uma bomba de aspiração manual ou elétrica que desloca um fluxo de ar com volume e tempo de aspiração conhecidos. Este meio é usado para amostragem de gases e vapores em geral;
- ✓ **Tubo Colorimétrico por Difusão**– Mesmas características acima, com a diferença que o tubo é preso por um suporte à lapela do trabalhador e o fluxo de ar é forçado a passar pelo interior do tubo pela própria ação da atmosfera, movimento da pessoa e da capilaridade do material. O resultado é obtido pela leitura da faixa com coloração alterada. Este meio é usado para amostragem de gases e vapores em geral;
- ✓ **Dosímetro Passivo** – Recipiente com uma determinada quantidade de material adsorvente (geralmente carvão ativo) que é fixado na lapela da pessoa e retirado posteriormente e enviado para análise do conteúdo. O resultado é obtido com base na massa de contaminante encontrada na análise, coeficiente de adsorção e desorção, umidade relativa e tempo de amostragem. Este meio é usado para amostragem de vapores orgânicos em geral;
- ✓ **Tubo de Carvão Ativo** – Tubo de vidro recheado com carvão ativado e que é colocado na lapela do trabalhador, na extremidade de um tubo flexível ligado a uma bomba de aspiração que força o ar a passar pelo interior, onde está o carvão, ficando o contaminante retido pelo processo denominado adsorção. O resultado é obtido com base na massa de contaminante encontrada na análise do carvão e do volume de ar aspirado pela bomba e que passou pelo amostrador. Este meio é usado para amostragem de vapores orgânicos em geral;
- ✓ **Tubo de Sílica Gel** – Tubo de vidro recheado com sílica gel e que é colocado na lapela do trabalhador, na extremidade de um tubo flexível ligado a uma bomba de aspiração que força o ar a passar pelo interior, onde está a sílica gel, ficando o contaminante retido. O resultado é obtido com base na massa de contaminante encontrada na análise da sílica gel e do volume de ar aspirado pela bomba e que passou pelo amostrador. Este meio é usado para amostragem de fumos e gases ácidos em geral;
- ✓ **Membrana** – Membrana de éster de celulose, teflon ou PVC, com diâmetro em torno de 37mm e porosidade de  $0,5\mu\text{m}$  a  $8\mu\text{m}$  que é montada em um recipiente denominado cassete, com 2 ou 3 seções, e que é colocado na lapela do trabalhador, na extremidade de um tubo flexível ligado a uma bomba de aspiração que força o ar a passar pelo interior, onde está a membrana que retém o contaminante. O resultado é obtido com base na massa de contaminante encontrada na análise da membrana e do volume de ar aspirado pela bomba e que passou pelo amostrador. Este meio é utilizado para amostragem de contaminantes particulados em geral;
- ✓ **Impinger e Solução** – Frasco de vidro ou material similar, onde é colocada uma solução com propriedades conhecidas, montado na extremidade de um tubo flexível ligado a uma bomba de aspiração que força o ar a passar pelo interior, onde está a solução que retém

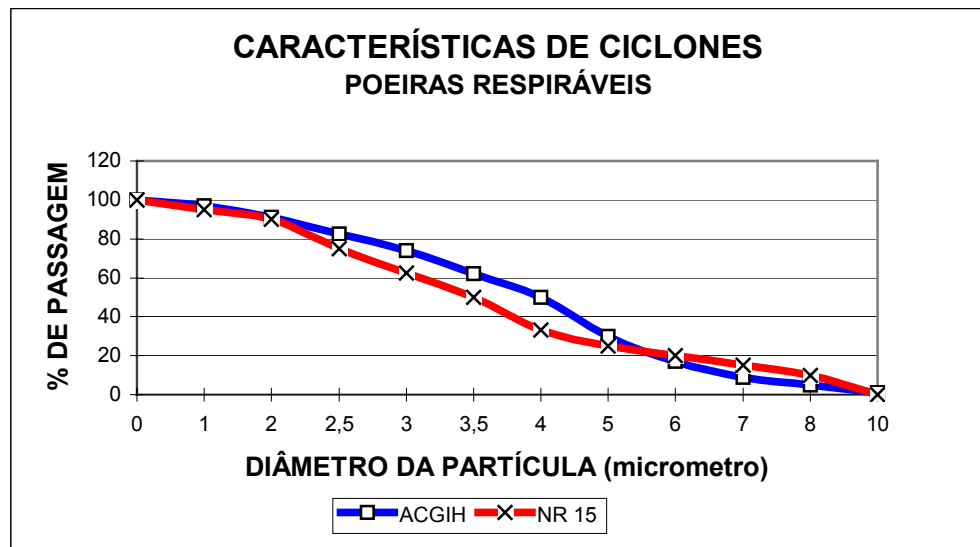
ou reage com o contaminante. O resultado é obtido com base na massa de contaminante que reagiu, e que é encontrada na análise da solução, e do volume de ar aspirado pela bomba e que passou pelo amostrador. Este meio é utilizado principalmente para amostragem de gases que são de difícil retenção em outros meios de coleta;

- ✓ **Bolsas ou “Bags”**- Bolsas ou sacos de borracha ou plástico onde é insuflada uma quantidade conhecida de ar contendo o contaminante. A insuflação pode ser feita com bomba de aspiração e recalque convencional ou bombas manuais com volume/vazão conhecidas. O resultado é obtido com base na massa de contaminante encontrada na análise da mistura e do volume de ar retirado da bolsa. Este meio é utilizado principalmente para amostragem de gases que são de difícil retenção em outros meios de coleta;
- ✓ **Almofadas ou “Pads”**- Almofadas ou pads são amostradores construídos com retalhos de tecido, almofadas de algodão ou papel absorventes que são colocados sobre a pele para coleta de contaminantes que são absorvidos pela pele. O resultado é obtido com base na massa de contaminante encontrada na análise, do tempo de exposição do amostrador, da área do amostrador usada para análise e da extrapolação para a área da pele da parte do corpo avaliada e/ou do corpo todo.

**NOTA:** Para coleta de alguns contaminantes, são necessárias medidas preliminares e/ou complementares para assegurar a qualidade dos resultados e dos meios de amostragem. Dentre estes cuidados, destacam-se:

- ✓ **Qualquer Tipo de Amostrador** – Colocação de etiqueta adesiva ou marcação direta no amostrador com tinta resistente à umidade contendo um número ou símbolo de referencia que permita identificar posteriormente a origem da amostra, para cálculo da concentração;
- ✓ **Dosímetro Passivo** – Colocação de tampa e guarda dentro de embalagem hermética, logo após o término da amostragem, até o momento da análise;
- ✓ **Tubos de Carvão** – Colocação de tampas nas extremidades, logo após a amostragem, e guarda sob refrigeração até o momento da análise;
- ✓ **Impinger e Solução** – Colocação de um “Trap” ou decantador na linha, entre o impinger e a bomba de aspiração, para evitar o arraste do contaminante ou da solução retentora para dentro da bomba (as soluções de coleta costumam ser ácidas). Uma medida adicional que pode ser tomada é a colocação de um indicador colorimétrico na solução que modifica a cor na proporção da saturação;
- ✓ **Almofadas ou “Pads”**- Colocação em frascos ou sacos impermeáveis, com ou sem solução, dependendo da indicação do método, e conservação sob refrigeração;
- ✓ **Membranas** – Pesagem e anotação da massa, com identificação do amostrador, antes da montagem do cassete. Para contaminantes que são considerados “tóxicos” para qualquer parte do sistema respiratório, o amostrador deve ser exposto diretamente, como é o caso de chumbo, pesticidas, fumos de solda etc. Para contaminantes que causam danos à saúde somente quando atingem a região da traquéia, brônquios e pulmões, deve ser colocado antes do amostrador um ciclone separador para retenção das partículas maiores. O ciclone recomendado pela NR 15, Anexo 12 da Portaria 3.214/78 e pela ACGIH deve ter as características indicadas no gráfico 5 e já detalhadas nos gráficos 3 e 4.

Gráfico 5 – Características de Ciclones



### 3.3.2 Análise

A análise de amostras de contaminante variará do mais simples ao mais complexo, em função do método adotado, que, em geral é definido pelo tipo de amostrador e características do contaminante. Todos os métodos são baseados em uma curva de calibração do instrumento de medição que é obtida da seguinte forma:

- ✓ “Zera”-se o instrumento de medição com o meio que normalmente é utilizado para medir o contaminante, assegurando-se que esteja totalmente isento do contaminante que se vai analisar;
- ✓ Adiciona-se a este meio valores conhecidos de um padrão “puro” do contaminante e faz-se as leituras correspondentes a cada valor, determinando-se a “curva-padrão” do instrumento;
- ✓ Nas análises posteriores, prepara-se as amostras segundo o método, zera-se o instrumento e faz-se as leituras. Os resultados das leituras são comparados com a curva de calibração representando cada leitura a massa ou volume de contaminante contido na amostra.

Dentre o tipos de análise praticados atualmente, destacam-se os seguintes:

- ✓ **Volume** – Partindo-se de uma solução com volume conhecido e fazendo-se a leitura do volume final, após a amostragem, determina-se o volume do contaminante, pela diferença entre o volume inicial e o final;
- ✓ **Titulação** – Partindo-se de uma solução com pH conhecido e fazendo-se a leitura após a amostragem determina-se a massa ou volume do contaminante, pela alteração no valor do pH e comparação com a curva de calibração do medidor;
- ✓ **Gravimetria** – Pesa-se o amostrador antes e depois da amostragem e compara-se os valores de massa, sendo a diferença entre as pesagens a massa de contaminante;
- ✓ **Precipitação** – Provoca-se a separação de fases em uma solução e determina-se o volume do contaminante contido na solução;

- ✓ **Extração** – Extrai-se de um meio sólido ou líquido, através da adição de um solvente, e determina-se o volume ou a massa do contaminante extraído;
- ✓ **Espectrofotometria de Infravermelho, Ultravioleta e/ou Luz Visível** – Prepara-se a amostra e faz-se a leitura da absorção ou dispersão de uma onda com comprimento nas faixas do infravermelho, ultravioleta ou luz visível, que é aplicada na amostra. O resultado da absorção ou dispersão é proporcional a quantidade de contaminante contido na amostra. O resultado da leitura é comparado com a curva de calibração;
- ✓ **Difração de Rx** - Prepara-se a amostra e faz-se a leitura da difração do Raio X que incide no material da amostra. O resultado da difração é proporcional a quantidade de contaminante contido na amostra. O resultado da leitura é comparado com a curva de calibração;
- ✓ **Espectrofotometria de Absorção Atômica** - Prepara-se a amostra e faz-se a leitura da característica do espectro de radiação do material contido na amostra. O resultado é obtido pela característica do espectro, que identifica a substância em si, e pela variação do espectro, que determina a quantidade. A massa ou volume contido na amostra é determinado pela comparação do espectro obtido na análise com o da curva de calibração;
- ✓ **Cromatografia Gasosa** – Prepara-se a amostra e faz-se a leitura do tempo de retenção da substância que é injetada em uma coluna interna do instrumento. O tempo de retenção na coluna, entre a injeção e a saída de cada elemento, determina o tipo de substância encontrada na amostra. O resultado da leitura é comparado com a curva de calibração determinando a massa da substância.

### 3.4 Avaliações Subjetivas

Alguns agentes químicos podem ser avaliados de forma objetiva, subjetiva ou ambas. A Soda Cáustica, por exemplo, pode ser avaliada como particulado respirável, caso de escamas, como vapores, quando diluída, e como agressivo à pele, nas duas formas.

A legislação brasileira não possui limites de tolerância para exposição a muitos ácidos, cáusticos em geral, agrotóxicos, etc., tornando a avaliação objetiva difícil. Entretanto, no anexo 13 da NR15 (portaria MTb 3214/78), são englobados genericamente os ácidos e álcalis cáusticos como geradores de insalubridade.

Do mesmo modo existem os denominados “agrotóxicos” que são composições múltiplas e que não tem limite de tolerância definido na legislação brasileira. Além dessa dificuldade, existe o fato destes produtos serem absorvidos pela pele o que dificulta ainda mais uma avaliação e comparação com valores limites de exposição.

Finalmente, existem ainda os lubrificantes, como óleos e graxas, que também são geradores de insalubridade sem que se tenha limites de tolerância definido.

Este quadro leva à seguinte proposta, para orientar a avaliação das atividades numa empresa:

- a) Substâncias com limite de tolerância definido na Lei brasileira - adota-se o valor estabelecido.

- b) Substâncias sem valor definido no Brasil, mas com definição em norma americana, ACGIH, por exemplo: adota-se este valor.
- c) Substâncias sem valor limite definido no Brasil e em norma americana, mas com valor definido em outro país - adota-se o mais exigente que for encontrado.
- d) Substâncias sem valor limite definido e que podem ser inaladas e que são reconhecidas como nocivas - considera-se como excedido o limite sempre que houver possibilidade de contato com a via respiratória do trabalhador.
- e) Substância sem valor limite definido e que pode ser absorvido pela pele, como graxas, óleos, agrotóxicos, ácidos, etc. - considera-se como excedido o limite sempre que houver possibilidade de contato com a pele do trabalhador.

Para as hipóteses “d” e “e”, é válida a associação da condição de trabalho e da exposição constatada com os valores chamados “Nível de Efeito Não Observável” (NOEL). Sempre que estes níveis forem ultrapassados, deve-se considerar excedido o limite de tolerância para exposição. Nos Anexos 2 e 3 deste documento são descritos os métodos para avaliação subjetiva e/ou objetiva da exposição a hidrocarbonetos e agrotóxicos.

#### 4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A primeira coisa que se deve ter em conta em avaliações ambientais é que existem erros em todas as etapas do processo que se acumulam podendo invalidar os resultados encontrados.

É possível, por exemplo, surgir um erro na escolha do local, horário e do grupo a ser avaliado, no método escolhido, na calibragem e aferição dos equipamentos de amostragem e análise etc.

Como regra recomendável, adota-se um nível de erro acumulado (Ec) máximo de 25%, sendo:

$$EC = \sqrt{(E1)^2 + (E2)^2 + \dots + (En)^2}$$

Onde:

Ec = erro acumulado (%)

E1, E2...En = erro em cada etapa (%)

Os limites individuais de erro devem ser procurados nos métodos específicos e/ou na experiência prática. Assim, além de respeitar o limite máximo de erro acumulado, é necessário também respeitar os limites individuais, ou seja: hipoteticamente, se ocorrer um erro entre a calibragem e aferição das bombas de amostragem igual a 25% e zero nas demais etapas, o limite de erro acumulado será respeitado, porém, o individual, que seria em torno de 5%, não.

Outra consideração a ser feita é sobre a representatividade dos resultados. Como afirmar que os valores encontrados em uma única ou algumas avaliações são verdadeiros?

Admitindo-se que foi respeitado o limite máximo de erro acumulado na avaliação, os resultados encontrados podem ser comparados estatisticamente para confirmação da sua representatividade.

Para amostras com valores que variam pouco, o meio mais utilizado é a média aritmética e o desvio padrão.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Onde:

$\bar{X}$  = média aritmética

X = valores individuais de cada resultado ou amostra

n = número de resultados

$$S = \sqrt{\sum \frac{(X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Onde:

S = desvio padrão aritmético

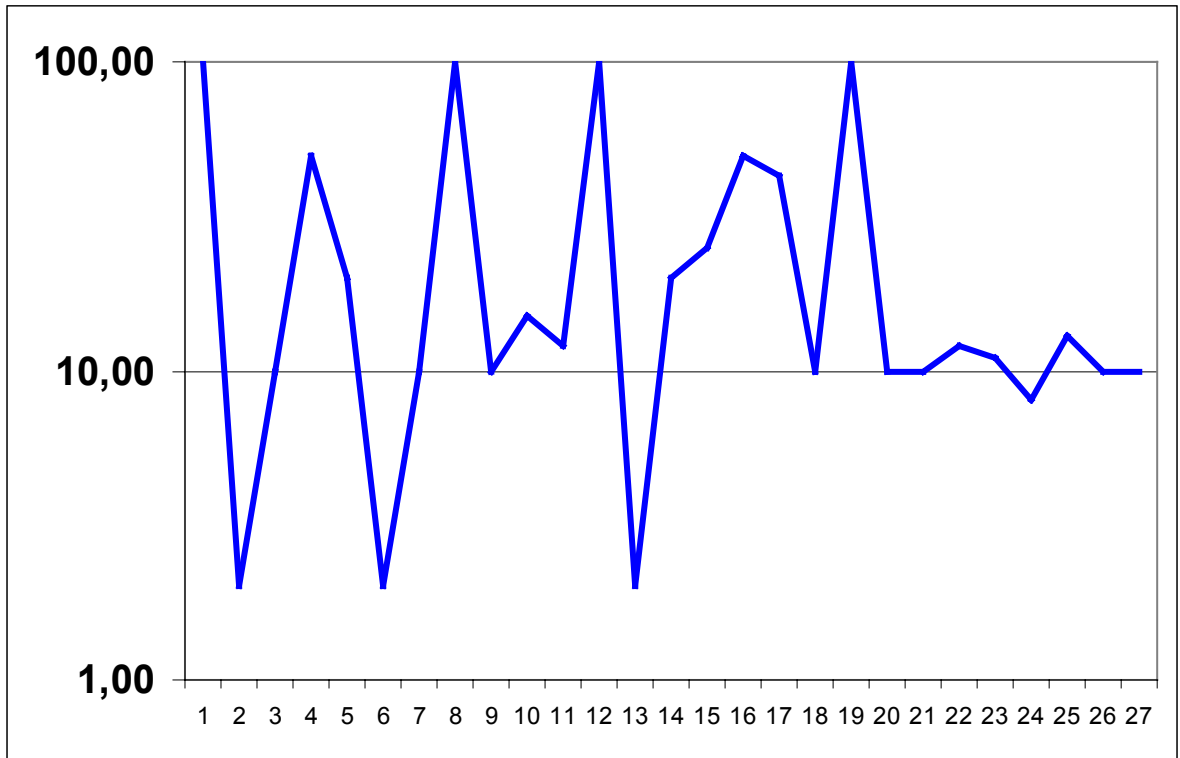
X = valores individuais de cada resultado ou amostra

$\bar{X}$  = média aritmética

n = número de resultados

Para agentes químicos, entretanto, a média e o desvio padrão aritmético são pouco aplicáveis, em função da alta variabilidade dos resultados. É comum os valores apresentarem variação dentro de uma jornada, entre turnos e entre dias diferentes, conforme pode ser visto no gráfico 6, a seguir, onde está representado o resultado de uma série de avaliações com valores totalmente discrepantes.

**Gráfico 6 – Distribuição de Resultados de Amostras**



O gráfico mostra que, apesar da concentração média em torno de “10”, os valores variaram entre 3 e 100.

Para estes casos, a prática recomenda que se utilize a média logarítmica e o desvio padrão logarítmico, uma vez que a distribuição dos resultados está mais para log normal do que para normal.

$$MLn = \frac{LnX_1 + LnX_2 + \dots + LnX_n}{n}$$

$$SLn = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (LnX_i - MLn)^2}$$

onde:

MLn = média logarítmica

Ln = logaritmo neperiano

SLn = desvio padrão logarítmico

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>,... X<sub>n</sub> = valor de cada resultado ou amostra

Para confirmação de que os valores encontrados são os verdadeiramente representativos da condição real, pode-se adotar como critério o limite de confiança superior de 95%, conforme previsto pela OSHA e NIOSH, o que significa afirmar que existe 95% de certeza que os maiores valores não diferem mais do que 20% da média.

A certeza de que o valor verdadeiro está dentro do limite estabelecido é atingida na medida que se aumenta o número de resultados, ou seja: quanto maior o número de avaliações, maior será a certeza de que se conhece o valor real representativo da exposição do trabalhador.

Por ser muito apropriada para esclarecimento de uma metodologia de avaliação e interpretação de resultados, sugere-se a adoção da Instrução Normativa 001, que acompanha o Anexo 13 A, da NR 15, da Portaria 3214/78, que estabeleceu critérios para avaliação da concentração de Benzeno em ambientes de trabalho.

Referida Instrução pode servir de roteiro para avaliação de qualquer agente ambiental, bem como avaliar a qualidade e confiabilidade dos resultados, através da análise estatística que é apresentada no final.

## 5 BIBLIOGRAFIA CITADA E REFERÊNCIAS

1. Ministério do Trabalho, Portaria MTb 3.214 de 8 de junho de 1978 - Norma Regulamentadora Nº 15, Manuais de Legislação de Segurança e Medicina do Trabalho (2002), Atlas, São Paulo – SP, ou site do MTE ([www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br))
2. National Institute for Occupational, Safety and Health (NIOSH):
  - Manual of Analytical Methods, USA.
  - The Industrial Environment – its Evaluation & Control, U. S. Department of Health, Education, And Welfare, Public Health Service, 1973.
  - Statistical Methods For The Determination Of Non Compliance With Occupational Health Standard, U. S. Department of Health, Education, And Welfare, Public Health Service , 1975/
3. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), U. S. Department of Labor, Analytical Methods, Analytical Laboratory Quality Control Division, USA.
4. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices (2002), Technical Affairs Office, 1330 Kemper Meadow Drive, Cincinnati, OH – versão em Português em tradução autorizada para a Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO)
5. Brief, Scala, R. S.; Scala, R. A.: “Occupational Exposure Limits for Novel Work Schedules”. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 36:467 (1975).
6. Manual SKC, 1995 – Produtos e Serviços para avaliação ambiental.
7. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 5418/95, Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas, São Paulo – SP
8. Dácio de Miranda Jordão, Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo – Atmosferas Explosivas, 1998, Rio de Janeiro – RJ
9. NFPA – The National Electrical Code (1998), National Fire Protection Association, Norma 70, Quincy, Massachusetts, USA

- 10 IEC – International Electrotechnical Commission, Normas 79-0 a 79 18
- 11 API – American Petroleum Institute, Norma RP 500 – Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installation at Petroleum Facilities (1991)

# **AGROTÓXICOS**

## 1 Resumo

Num trabalho de revisão bibliográfica feito em 1994 por Ness (NESS, 1994), foram catalogadas 175 publicações em língua inglesa sobre avaliação da exposição dermal e inalatória de pesticidas. Desde o primeiro trabalho, publicado em 1954 por Batchelor e Walker (BATCHELOR and WALKER, 1954), até os mais recentes, percebe-se que ainda não está bem estabelecida a metodologia de avaliação que interprete com maior precisão a real exposição dos trabalhadores envolvidos no manuseio destas substâncias.

Atualmente existem 7 métodos de amostragem e análise de pesticidas publicados pelo Niosh (NIOSH), sendo que o primeiro deles, de 1984, tratava apenas da avaliação de 2,4-D no ar. Em 1994 foi publicado o método para organofosforados e, em 1998, saíram os outros 5. Dos 7 métodos, 5 tratam da avaliação inalatória e 2 da dermal.

Apesar de algumas críticas sobre a imprecisão do método de coleta de amostras no ar, em função dos amostradores utilizados nem sempre serem os mais adequados para a forma em que as substâncias se apresentam (névoa, poeira, gás ou vapor), parece haver consenso de que a forma de avaliação da exposição inalatória reproduz com razoável precisão a exposição real dos trabalhadores. Além disso, os limites de tolerância para exposição humana, publicados na principal referência internacional, que é a ACGIH (ACGIH, 2002), relacionam inúmeras substâncias com valores que podem ser comparados com aqueles encontrados nas avaliações de campo.

Para a avaliação dermal, entretanto, as críticas e incertezas são infindáveis, dentre as quais podem ser destacadas as seguintes:

- O método de coleta de amostras, através de pads, pode subestimar ou superestimar a exposição real, uma vez que a extrapolação de valores encontrados em uma pequena área da pele não representa, necessariamente, o que ocorre de fato na área total;
- O material utilizado nem sempre tem boa eficiência de coleta, principalmente para poeiras, além de poder conter resíduos que influenciam os resultados das análises;
- A composição do material e o método de extração do contaminante podem deixar resíduos nos amostradores, reduzindo o valor encontrado na análise e, conseqüentemente, da exposição real;
- Existem poucos resultados de pesquisas confiáveis sobre a absorção das substâncias através da pele, fato que leva alguns pesquisadores a recomendar que o cálculo da exposição real seja feito considerando-se todo o valor encontrado sobre a pele, enquanto que outros propõem uma taxa fixa de apenas 10%;
- Não há limites de tolerância para exposição através da pele publicados pelos principais órgãos reguladores internacionais, obrigando a conversão dos valores encontrados em massa por área ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) ou massa por massa no tempo ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$ ) para concentração em massa por volume ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) para que possam ser comparados com aqueles publicados para exposição inalatória;
- Amostragens utilizando substâncias “mais estáveis” no lugar do princípio ativo, para assegurar maior certeza, podem superestimar a exposição, uma vez que, se o princípio ativo do agrotóxico é tão volátil ou sofre degradação severa rápida, pode também ter o mesmo comportamento quando depositado na pele e não ser totalmente absorvido;
- Métodos alternativos de coleta através de esfregaço e lavagem da pele com solventes ou detergentes sofrem as mesmas críticas, principalmente por não

representarem bem a exposição total real, não serem um bom meio de extração, provocarem lesões na pele, além de poderem alterar a substância que está sendo avaliada, devido a ação dos solventes e/ou detergente;

- Uso de roupas cobrindo todo o corpo como amostradores, apesar de ter melhor representatividade, resulta em grande dificuldade de manuseio, conservação e transporte das amostras, além de maior dificuldade e alto consumo de solventes para extração das substâncias para análise.

Este trabalho resume as principais metodologias e critérios encontrados nas principais publicações técnicas sobre o assunto, correlacionando as vantagens e desvantagens de cada um.

## 2 Introdução

Em contrapartida às vantagens agroeconômicas, as empresas que empregam pessoas no manuseio e aplicação de agrotóxicos convivem atualmente com um conjunto de problemas que poderia ser assim resumido:

- ✓ As empresas fabricantes e/ou distribuidoras dos agrotóxicos eximem-se de maiores responsabilidades inscrevendo nas embalagens, rótulos e bulas dos produtos recomendações do tipo “*ao manusear use máscara, luvas, botas, capa e chapéu impermeáveis*”;
- ✓ Os profissionais responsáveis pela emissão da receita agrônômica, temendo por responsabilizações futuras em acidentes com as pessoas envolvidas no manuseio dos produtos, ratificam as recomendações do fabricante;
- ✓ Os responsáveis pelo manuseio e aplicação dos produtos, para serem coerentes com a recomendação do fabricante e da receita agrônômica, impõe aos trabalhadores o uso dos “*equipamentos de proteção impermeáveis*”, resultando em resistência ao uso, devido, em primeiro lugar, ao desconforto decorrente da associação de trabalho pesado com clima quente e, em segundo, da desconfiança que está havendo excesso de zelo, uma vez que não são feitas avaliações sistemáticas e não se conhece a real exposição destes trabalhadores;
- ✓ Os fabricantes de EPI desenvolvem e certificam equipamentos alternativos aos “*impermeáveis*”, como os hidrorrepelentes, e convencem as empresas que é melhor o uso efetivo destes equipamentos do que a insistência no outro tipo que acabará não sendo utilizado pelos trabalhadores;
- ✓ Mesmo sem nenhum teste comparativo de campo sobre a eficácia dos equipamentos alternativos, as empresas passam a adota-los e conseguem melhor adesão ao uso;
- ✓ Quando um trabalhador move uma ação trabalhista contra o empregador, reivindicando adicional de insalubridade, devido a exposição aos agrotóxicos, o Perito Oficial compara os EPI fornecidos pela empresa com os especificados na embalagem, rótulo, bula e receita agrônômica e acaba concluindo em seu Laudo que a proteção oferecida não era eficaz, reconhecendo a insalubridade;
- ✓ Por ocasião do monitoramento biológico, nos exames admissionais, periódicos e demissionais, os exames complementares previstos na NR 7, da Portaria Mtb, nº 3.214/78, indicam apenas se houve ou não exposição recente, uma vez que o indicador utilizado é a Acetilcolinesterase eritrocitária e/ou plasmática;
- ✓ Quando um trabalhador procura espontaneamente, ou é encaminhado pelo empregador para exames específicos de dosagem sanguínea ou urinária, é comum aparecerem valores de concentração dos princípios ativos dos agrotóxicos mais utilizados;
- ✓ Como tanto a literatura médica quanto as normas e padrões governamentais são pouco ou nada específicos sobre limites máximos permissíveis no organismo humano, volta todo o jogo de tentativas de isenção de responsabilizações: o

fabricante diz que recomendou, o Agrônomo recebeu, o Perito constatou que o EPI utilizado não condiz com o recomendado e o monitoramento biológico dos trabalhadores indica presença de substâncias que são componentes dos agrotóxicos utilizados pela empresa.

Embora muitos testes realizados com pessoas comprovadamente não expostas ocupacionalmente aos agrotóxicos tenham revelado a presença dos princípios ativos em valores similares aos encontrados em trabalhadores que aplicam estes produtos, provavelmente devido ao consumo de alimentos que contém resíduos das substâncias aplicadas, a situação não melhora para as empresas, pelas seguintes razões:

- ✓ As empresas não fazem monitoramento ambiental sistemático, de modo a conhecer e demonstrar a exposição real dos trabalhadores, através de um número significativo de resultados quantitativos de exposição dermal e inalatória;
- ✓ Não são feitos testes de comprovação da eficácia dos EPI utilizados;
- ✓ O monitoramento biológico admissional não pesquisa os princípios ativos das substâncias que serão manuseadas pelos trabalhadores, de modo a poder comparar no futuro eventual presença destes princípios e correlacionar com a exposição ocupacional.

Apesar de todas as críticas e dificuldades relacionadas acima, parece inevitável que a empresa que emprega pessoas para manuseio e aplicação de agrotóxicos desenvolva esforços no sentido de conhecer e controlar a situação de cada trabalhador, desde a admissão, durante todo o período laboral e até a demissão, através do monitoramento ambiental e de exames clínicos e complementares.

### **3 Monitoramento Ambiental e Biológico**

#### **3.1 Monitoramento Ambiental**

Os amostradores do tipo “PADS” são aceitos como representativos da exposição dermal, entretanto nem sempre as extrapolações de uma concentração de uma pequena área de um pad para o total da área representada é verdadeira. As exposições podem ser maiores ou menores que as expressas nos pads.

“PADS” são, na verdade, almofadas confeccionadas em tecido natural, algodão e/ou gaze cirúrgica, alfa celulose etc., com área aproximada de 33 cm<sup>2</sup>, e que, quando colocados junto ao corpo da pessoa absorvem o produto aplicado e podem ser analisados posteriormente determinando-se as concentrações ou quantidades de ingrediente ativo em cada área e/ou no corpo todo.

Roupa inteira sob roupas de trabalho tem sido testada e recomendada pela ONU. Apesar de reproduzir mais fielmente a exposição real, esse método tem como desvantagens: dificuldade de troca da roupa no campo; risco de contaminação da amostra na hora da troca; alto consumo de solvente de extração; longo tempo para extração. Uma alternativa à análise de toda a roupa é recortar e analisar pedaços do tecido das áreas representadas (pernas, braços, peito, costas etc).

Traçadores fluorescentes misturados aos pesticidas, ou diluídos em solução sem o produto, têm sido utilizados, porém, permitem apenas avaliar qualitativamente exposições. É útil para avaliar a penetração em roupas e EPI. Não servem para avaliação quantitativa.

Cátion  $\text{Cu}^{+2}$  tem sido utilizado como traçador diluído na calda, em lugar do agrotóxico, conforme descrito por Machado Neto et al (MACHADO NETO e MATUO, 1989). Este método permite avaliar quantitativamente a exposição dermal, uma vez que a massa contida nos pads é analisada através de espectrofotometria de absorção atômica. A opção pelo uso deste elemento, em lugar da substância real que está sendo aplicada, deve-se ao fato de ser mais estável e permitir boa extração.

Na avaliação, nenhum método deve expor desnecessariamente o trabalhador ao risco. Se for necessário certo tipo de roupa ou respirador, estes não podem ser substituídos por amostradores para avaliação da exposição.

Coletores tipo pad têm sido confeccionados com celulose, gaze cirúrgica, pedaços de tecido etc. Todos são aceitos pelos métodos.

A remoção dos pesticidas da pele, através de esfregaços ou lavagem com solventes, após a exposição, tem sido empregada como meio de coleta de amostra da exposição. Para o caso das mãos, onde é mais difícil o uso de amostradores, o método de remoção mais aceito é o de lavagem dupla em solução a 95% de Etanol. A lavagem é preferível ao esfregaço porque remove melhor sob unhas, dobras, entre dedos etc. M. Boeniger et al (M. BOENIGER et ALL, 1999), entretanto, em um "paper" de atualização, referencia um estudo "in vitro", feito com pele de porco, em que foram aplicados Glifosato, Alaclor, Metil Paration e Trifluralina, com três níveis de concentração deixados por 90 minutos, sendo a remoção feita com 4 diferentes solventes, entre eles: 1-propanol e polietileno glicol, sabão líquido e água,. Após a remoção, o estudo mostrou que a recuperação não é igual para todos os contaminantes, variando entre  $45\% \pm 13\%$  a  $57\% \pm 16\%$ . Em vista disso, concluem que a recuperação não é total e recomendam que o solvente seja escolhido com base nas propriedades químicas do contaminante.

Para as mãos e pés tem sido dada preferência para o uso de luvas e meias de tecido leve sob as luvas de proteção e do calçado, de onde é extraído posteriormente o resíduo da exposição. Apesar deste método ser prático apresenta as seguintes desvantagens: pode indicar exposição muito superior à real, uma vez que a absorção na luva e meia de amostragem poderá ser maior do que a que seria conseguida pela pele; o material das luvas e meias pode ter interferentes que influiriam na análise. Apesar das desvantagens, este método é aceito. Para evitar os interferentes do material das luvas e meias de amostragem, deve ser feita uma pré-extração, antes da amostragem.

Pads de papel podem saturar rápido e são frágeis demais para uso no campo. Pads devem ser suficientemente resistentes para suportar as condições de trabalho e ter porosidade que permita absorver e reter líquidos e névoas.

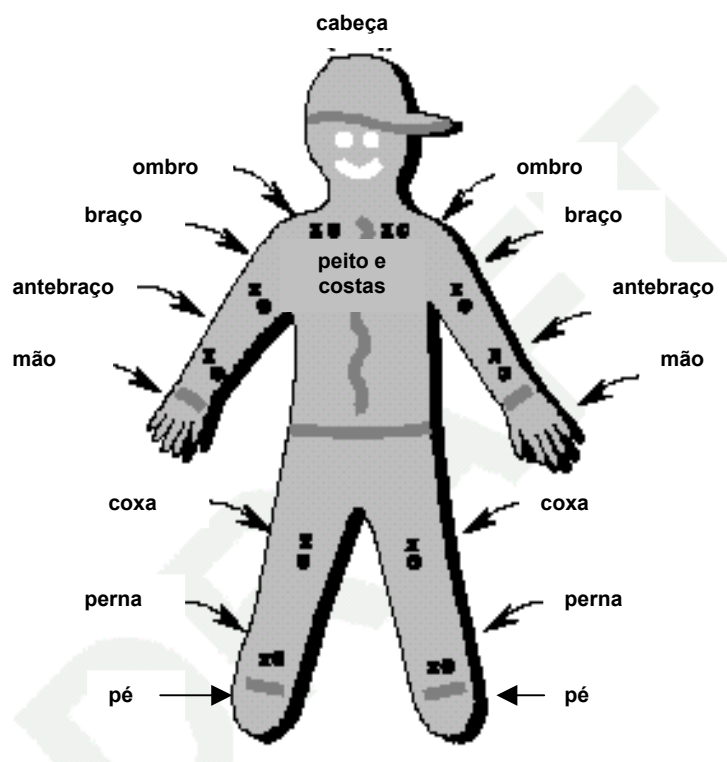
Para pós é preferível gaze cirúrgica em vez de tecidos.

Pads de papel de filtro envolvido em várias camadas de gaze cirúrgica têm apresentado vantagens porque, enquanto o papel absorve, a gaze retém e conduz os líquidos. Esta alternativa tem sido recomendada como ideal.

Pads de tecido podem ser pouco permeáveis aos líquidos. Além disso, podem conter resíduos como corantes, alvejantes, gomas etc., que interferem na extração e na análise. Para evitar a interferência, antes da amostragem é recomendada pré-extração similar a pós-amostragem. O número de pads que deve ser utilizado para representar a exposição dermal é de, no mínimo 10, distribuídos nos seguintes pontos: perna esquerda e direita, na parte frontal, logo abaixo dos joelhos (2); frente

da coxa direita e esquerda (2); parte posterior do antebraço esquerdo e direito (lado da palma da mão e axila) (2); sobre o ombro direito e esquerdo (2); atrás do pescoço, logo acima do “colarinho” (1); na parte superior do peito, próximo do pescoço (1). Outros pontos serão escolhidos pelo avaliador, em função do detalhamento desejado (cabeça, mãos, pés etc.).

A Figura 1, a seguir, ilustra os pontos que devem ser utilizados como referência para amostragem. As marcações “X” e “O” indicam que, para comparação com a contaminação potencial e a real, é necessária a colocação de pads nos lados externo e interno da região.



**Figura 1 – Localização dos Amostradores (pads)**

Em operações especiais, como transporte de sacos ou outras atividades, podem ser colocados pads em pontos específicos para avaliar esta condição.

Como a avaliação é feita para determinar a exposição real, os pads devem ser colocados sob as roupas e EPI. Quando forem colocados pads externa e internamente às roupas, para avaliação diferencial da penetração, por exemplo, deve ser evitado que o pad interno fique sob o externo, para prevenir erro na coleta.

Os pads só devem ser colocados sobre roupas quando o uso do pesticida dispensa qualquer tipo de proteção ou quando se deseja comparar a exposição externa com a interna.

Para reduzir o trabalho do laboratório, pads de áreas próximas podem ser combinados na extração, exceção dos casos em que o cálculo deve ser feito com combinações específicas, por exemplo: pads sobre e sob a roupa, parte anterior e posterior do corpo etc. não devem ser extraídos juntos porque serão utilizados para cálculo junto com áreas adjacentes.

O trabalhador deve ser orientado para não tocar nos amostradores, para evitar falsa exposição.

O tempo de amostragem da exposição dermal não deve ser tão curto que não represente a exposição real nem tão longo que permita a saturação do amostrador ou evaporação, absorção ou conversão química do produto.

Serat et al (SERAT, 1982) encontraram perdas de amostras de Paration e Dicofol coletadas em tecido de algodão, após exposição de 4 a 6 horas a condição ambiente. Durhan e Wolf (DURHAN, 1962) avaliaram as perdas em pads

confeccionados com alfa-celulose e reportaram não haver perda, tanto de Paration quanto de DDT. Nenhum dos pesquisadores determinou o tempo ideal de coleta, porém, a EPA (EPA, 1996) admite como suficiente um tempo de amostragem de 30 minutos a 2 horas.

Para o caso das mãos e pés, onde pode ocorrer super exposição, é recomendado substituir a luva e meia de amostragem ou lavar as mãos e pés em solução removedora dos resíduos nas paradas intermediárias da jornada.

Para toda amostragem, é importante a identificação de cada amostra com um número, letra ou outro código. É importante também que seja anotada em uma planilha a que parte do corpo refere-se e quanto tempo ficou exposto cada amostrador, para que possa ser feito o cálculo da concentração ou massa por unidade de área, tempo etc., após as análises de laboratório. Além destes dados, é necessário anotar data, local, tipo e estágio da cultura, nome do produto aplicado, nome e concentração do ingrediente ativo na mistura, tipo de aplicação, temperatura média, velocidade média do vento, umidade relativa do ar etc. Se se desejar calcular a exposição em função do tempo real de trabalho, devem ser registrados os tempos de operação do pulverizador ou trator. Uma forma simplificada é medir o tempo de descarga de um pulverizador, em minutos, e multiplicar pelo número de pulverizadores descarregado por pessoa. Com isso obtem-se o tempo total real de pulverização que equivale ao tempo real diário de exposição.

Após a amostragem, os pads devem ser removidos do ponto de coleta, eliminados os prendedores, adesivos etc., e colocados dentro de um frasco de boca larga contendo o solvente recomendado para extração. Após a rotulagem do frasco, este deve ser acondicionado em uma caixa térmica com gelo ou refrigerador, até o momento da preparação para análise. Se for utilizada solução para remoção de resíduos de pesticida, em lugar de pads, a solução utilizada deve ser colocada em frasco rotulado e conservado em caixa térmica ou refrigerador.

Para cada pessoa monitorada devem ser preparados 1 (um) branco de campo e 1 (um) amostrador "fortificado". O branco de campo deve ser igual aos amostradores utilizados no monitoramento e deve ser manipulado nas mesmas condições dos demais com a diferença que não pode ser exposto aos produtos. Se for possível encontrar um trabalhador da equipe que não tenha exposição aos pesticidas que estão sendo aplicados, o branco de campo poderia ser afixado nesta pessoa. O objetivo aqui é identificar possíveis contaminações.

Além do branco de campo, deve ser preparado mais um amostrador pré-pulverizado com o produto que vai ser aplicado, numa diluição igual a que será utilizada e numa quantidade próxima da concentração esperada para a exposição. Da mesma forma que o branco de campo, o amostrador "fortificado" deve ser submetido às mesmas condições que os demais, com a ressalva que não deve ser exposto aos pesticidas que estão sendo aplicados no campo. O objetivo aqui é avaliar desvios na extração e degradação no acondicionamento das amostras. Como alternativa, não havendo uma pessoa livre de exposição que possa usar os amostradores "testemunhas", poderia ser utilizada uma outra equipe trabalhando em condições similares nas proximidades, porém sem utilizar pesticidas, ou colocar os amostradores em ponto fixo numa direção que a possível deriva da aplicação não atingisse os amostradores.

A exposição respiratória, embora sendo a de menor importância em relação à dermal, deve ser avaliada apropriadamente. No passado já foi utilizado impinger com Etileno Glicol. Atualmente este método não é mais recomendado, em função da dificuldade em evitar-se derramamentos e arraste da solução para dentro da bomba,

alem de perdas por conversão química de alguns pesticidas. Atualmente, são aceitos pad, na forma de um respirador modificado, ou a coleta de amostras através de bombas de aspiração e tubos de fibra de vidro com adsorvente específico. A vazão da bomba é em geral ajustada para 0,2 a 1 litro por minuto e a coleta variará de 200 a 480 litros de ar, com um tempo de amostragem correspondente – ver métodos analíticos NIOSH 5001, 5600, 5601, 5602 e 5603 (NIOSH).

Segundo a EPA (EPA, 1996), citando Spector (SPECTOR, 1956), para o caso de avaliação da exposição respiratória, através de respiradores modificados e sem o uso de bomba de aspiração com vazão controlada, onde não se conhece o volume de ar que passou pelo amostrador, devem ser usados os valores da Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Padrão de Taxas Respiratórias

Tipo de Trabalho	Taxa de Respiração (litros/minuto)	
	Homem	Mulher
Em Repouso	7,4	4,5
Trabalho Leve	29	16
Trabalho Pesado	60	24

Para preparação de calda, enchimento de tanques e cilindros de pulverizadores e operação de trator, poderiam ser usados os valores de 30 litros/min, para homens, e 16 litros/min, para mulheres.  
Para aplicação com pulverizadores costais, os valores poderiam ser: 52 litros/min, para homens, e 25 litros/min, para mulheres.

### 3.1.1 Análise e Interpretação dos Resultados

#### Determinação da Exposição Real

Tão logo quanto possível, as amostras devem ser preparadas e analisadas, conforme método específico para o ingrediente ativo em questão.

Se um amostrador apresentar resultado individual abaixo do limite de detecção do método analítico o valor a ser considerado para cálculo será igual a metade do limite inferior de detecção do método.

O cálculo da exposição dermal deve ser feito da seguinte forma:

1. Quantidade de ingrediente ativo, em micrograma ( $\mu\text{g}$ ), encontrada em cada “pad”, dividida pela área do “pad”, em centímetro quadrado ( $\text{cm}^2$ ) - este valor corresponde à exposição em micrograma por centímetro quadrado ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) para cada pad;
2. Resultado de cada operação do passo 1 dividido pelo tempo de duração da amostragem, em minutos, multiplicado por 60 - este valor corresponde à exposição em micrograma por centímetro quadrado por hora ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{h}$ ) para cada pad;
3. Resultado de cada operação do passo 2 multiplicado pela área da superfície do corpo representada pelo respectivo “pad” (ver Tabela 2) - este valor corresponde à exposição em micrograma por hora ( $\mu\text{g}/\text{h}$ ) para cada área do corpo;
4. Soma de todos os resultados do passo 3 - este valor corresponde à exposição total em micrograma de ingrediente ativo por hora ( $\mu\text{g}/\text{h}$ ).

A área da pele das partes do corpo é expressa por pesquisadores com valores que às vezes são conflitantes. Apesar das diferenças, é aceita a tabela de Berkow (BERKOW, 1931), que foi desenvolvida por este pesquisador para expressar a importância de cada parte do corpo para as vítimas de queimaduras. A seguir é apresentada a Tabela 2 com a distribuição das partes do corpo com a respectiva superfície em centímetro quadrado, segundo Berkow. Os valores para coxas e braços foram ajustados pela tabela de Popendorf e Leffingwell (POPENDORF, 1982).

**Tabela 2 - Área da Superfície por Região do Corpo e Localização dos Amostradores**

Região do Corpo	Área da Superfície da Região (cm <sup>2</sup> )	Localização dos Amostradores Representativos da Região
Cabeça	1.300 <sup>(1)</sup>	Cabeça <sup>(2)</sup>
Face	650	Face ou Peito
Parte de Trás do Pescoço	110	Pescoço ou Costas
Parte da Frente do Pescoço <sup>(3)</sup>	150	Peito
Peito e Abdome (barriga)	3.550	Peito
Costas	3.550	Costas
Braços	2.910	Ombros, Antebraços e Braços
Antebraços	1.210	Antebraços
Mãos	820	Mãos <sup>(4)</sup>
Coxas	3.820	Coxas
Pernas	2.380	Canela
Pés	1.310	Pés <sup>(5)</sup>
Total	21.110	-

(1) Neste valor está incluída a área da superfície da face de 650 cm<sup>2</sup>.  
(2) A exposição da cabeça pode ser estimada pela média dos ombros, costas e peito ou por amostrador na própria cabeça.  
(3) Inclui o "V" do peito.  
(4) Não é usual a colocação de "pads" nas mãos (normalmente são usadas luvas ou a lavagem pós-aplicação).  
(5) Não é usual a colocação de "pads" nos pés (podem ser usadas meias ou a lavagem pós-aplicação).

Se a exposição dermal real for comparada com valores de tolerância expressos em miligrama por quilo de peso por dia (mg/kg/dia), a "exposição dermal total", acima descrita como micrograma de ingrediente ativo por hora (µg/h), deve ser convertida para miligrama por dia (mg/dia). Para tanto o valor "µg/h" deve ser dividido por 1.000 (mil) e multiplicado pelo número de horas da jornada diária efetiva de exposição ao produto.

Na Tabela 3, a seguir, é exemplificada a composição da exposição calculada a partir dos valores encontrados em cada pad em uma situação hipotética. Para o exemplo, o tempo de amostragem considerado é de 120 minutos.

Tabela 3 – Cálculo da Exposição Dermal

Parte do Corpo	(1) Nº de pads (Área = 33cm <sup>2</sup> por pad)	(2) Valor Total Encontrado (µg)	(3) Área Representada (cm <sup>2</sup> )	(4) Total da Área (µg)
Cabeça	1	20	650	394
Face	1	70	650	1.379
Pescoço - atrás	1	20	110	67
Pescoço - frente	1	30	150	136
Peito e Abdome	1	25	3.550	2.689
Costas	1	15	3.550	1.614
Braços	2	60	2.910	2.645
Antebraços	2	80	1.210	1.467
Mãos	(luvas)2	400	820	(*) 400
Coxas	2	50	3.820	2.894
Pernas	2	150	2.380	5.409
Pés	(meias)2	70	1.310	(*) 70
Total	-	990	21.110	19.164

$$coluna\ 4 = \frac{coluna\ 2}{coluna\ 1 \times 33} \times coluna\ 3$$

(\*) Os valores para as mãos e pés foram simplesmente somados, sem extrapolação para a área representada, uma vez que foram obtidos da extração da amostra que cobria toda a região.

**Para transformação em miligrama por hora, o valor total de 19.164µg deve ser multiplicado por 60 minutos, dividido por 120 (duração da amostragem em minutos) e dividido por 1.000 (transformação de micrograma para miligrama)**

$$= \frac{(19.164 \times 60) / 120}{1.000} = 9,6\text{mg} / h$$

Para exposição respiratória, a concentração normalmente é expressa em miligrama de ingrediente ativo por metro cúbico de ar (mg/m<sup>3</sup>). Se os valores de tolerância com os quais a exposição real será comparada forem expressos em miligrama de ingrediente ativo por metro cúbico de ar (mg/m<sup>3</sup>), a comparação poderá ser feita diretamente. Se, entretanto, os limites de tolerância forem expressos em miligrama de ingrediente ativo por quilo de peso por dia (mg/kg/dia), a concentração real encontrada em miligrama por metro cúbico (mg/m<sup>3</sup>) deve ser corrigida para aquele valor. Para tanto, a expressão é a seguinte:

$$mg / kg / dia = \left( mg / m^3 \times \frac{TR \times 60 \times H}{1000} \right) / M$$

onde:

mg/kg/dia = miligrama de ingrediente ativo por quilo de peso da pessoa por dia

mg/m<sup>3</sup> = miligrama de ingrediente ativo encontrada por metro cúbico de ar

TR = taxa respiratória (litros por minuto)

60 = quantidade de minutos da hora

H = número de horas de exposição diária

1000 = denominador para transformação de litros de ar para metro cúbico

M = massa corpórea da pessoa, em kg

### Exemplo:

Em uma avaliação é encontrada uma concentração de 10mg/m<sup>3</sup> de um princípio ativo, a jornada diária de trabalho (H) é de 6 horas, o trabalho é considerado leve, com taxa respiratória (TR) de 30 litros por minuto e a pessoa pesa 70kg. Determine a exposição em miligrama por quilo por dia (mg/kg/dia).

$$mg / kg / dia = \left( mg / m^3 \times \frac{TR \times 60 \times H}{1000} \right) / M = \left( 10 \times \frac{30 \times 60 \times 6}{1000} \right) / 70 = 1,54 mg / kg / dia$$

portanto:

A exposição é de 1,54 miligrama de ingrediente ativo por quilo de peso por dia.

A validação de resultados deve ser feita após pelo menos 5 replicações de amostragens. Tanto para avaliação dermal quanto para respiratória, os resultados devem expressar a exposição da jornada. Para análises específicas de avaliação do grau de risco de uma determinada operação ou teste de eficiência de protetores, a avaliação poderá ser feita por partes do corpo, local, atividade, horário etc.

Valores obtidos em amostragens de condições similares podem ser utilizados apenas para comparação, em função das diferenças climáticas que interferem no resultado da exposição. Cada situação deve ser avaliada separadamente.

### Determinação da Dose Tolerável

Diferentemente do critério clássico da higiene ocupacional, em que a dose tolerável é estabelecida para cada substância, através de um indicador de massa por volume (mg/m<sup>3</sup> = miligrama do contaminante por metro cúbico de ar), ou volume por volume (ppm = parte de contaminante por milhão de partes de ar), para os agrotóxicos o indicador mais usual é massa por massa por dia (mg/kg/dia = miligrama de contaminante por quilo de peso da pessoa por dia). Outra variante é mg/dia.

A primeira indicação de um órgão de referência mundial sobre a determinação da dose tóxica para agrotóxicos foi publicada no protocolo da Organização Mundial de Saúde, em 1975 (WHO, 1975), que, na verdade era uma adaptação dos estudos de

Durhan e Wolfe, de 1962 (DURHAN and WOLFE, 1962). Este protocolo tratava, na verdade, de recomendações para avaliação da exposição e absorção de inseticidas organofosforados.

O protocolo de 1975 da Organização Mundial de Saúde foi revisado em 1982 (WHO, 1982) e manteve basicamente as mesmas regras, ampliando a metodologia de monitoramento da exposição dermal para uma série de substâncias. Neste “novo” protocolo, no item 5.4, está estabelecido que: uma vez que a rota de absorção respiratória não é significativa na maioria dos padrões sobre aplicação de pesticidas, a quantificação da exposição respiratória não é necessária. Isto é baseado no fato que a exposição respiratória normalmente não excede 1% da exposição dermal, exceto para os casos de fumigantes gasosos aplicados em locais confinados.

Apesar desta afirmação, o protocolo estabelece que, se a avaliação respiratória for realizada, os valores de concentração devem ser convertidos para miligrama por hora ou por dia.

Para cálculo da porcentagem da dose tóxica o protocolo de 1982 estabelece a seguinte fórmula:

$$\%dose\ tóxica = \frac{ED + (ER \times 10)}{DL_{50}(\text{rato}) \times 70} \times 100$$

onde:

% dose tóxica = porcentagem da dose tóxica por hora ou dia (dependendo da unidade escolhida abaixo)

ED = Exposição dermal, em miligrama por hora ou dia (mg/h ou mg/dia)

ER = Exposição respiratória, em miligrama por hora ou dia (mg/h ou mg/dia)

10 = constante

DL<sub>50</sub> (rato) = dose letal dermal da substância para ratos, em miligrama por quilo de peso (mg/kg)

70 = peso padrão de um adulto masculino

Como o protocolo de 1982 admite a possibilidade de a exposição respiratória não ser avaliada e sendo esta via considerada como igual a 10% da exposição dermal, quando é feita apenas a avaliação da exposição dermal, a fórmula acima fica modificada para o seguinte:

$$\%dose\ tóxica = \frac{ED + (10\%ED)}{DL_{50}(rato) \times 70} \times 100$$

onde:

% dose tóxica = percentagem da dose tóxica por hora ou dia (dependendo da unidade escolhida abaixo)

ED = Exposição dermal, em miligrama por hora ou dia (mg/h ou mg/dia)

10% = constante = 10% da exposição dermal, equivalente à exposição respiratória

DL<sub>50</sub> (rato) = dose letal dermal da substância para ratos, em miligrama por quilo de peso (mg/kg)

70 = peso padrão de um adulto masculino

Supondo-se uma avaliação de um herbicida com DL<sub>50</sub> (rato) de 4.000mg/kg, onde foi encontrada uma exposição dermal de 1.000mg/dia (1 grama) e a exposição respiratória não foi avaliada, o resultado, segundo o protocolo seria:

$$\%dose\ tóxica = \frac{1000 + (10\%1000)}{4000 \times 70} \times 100 = 0,39\%$$

Isto significaria que a exposição deste trabalhador é menor que 0,5% da dose tóxica.

Apesar de parecer uma condição saudável, é necessário lembrar que a comparação está sendo feita com a dose letal, ou seja: 100% da dose tóxica significa a possibilidade de morte de 50% da espécie exposta. É preciso considerar que uma exposição menor que a dose letal estará provocando efeitos crônicos que poderão ser até fatais.

Este mesmo herbicida usado como exemplo possui um dos componentes que, em testes com ratos, apresentou efeitos adversos, tais como: redução do crescimento, sobrevivência da prole, decréscimo de fertilidade e fetotoxicidade, com dose de 10mg/kg/dia. No exemplo em questão, o valor encontrado na avaliação de 1.000mg/dia equivaleria a 14,28mg/kg/dia (1.000mg/70kg), portanto, quase 50% superior ao limite "saudável".

Para fins de saúde ocupacional, portanto, o indicador de referência para comparação com os valores de avaliações ocupacionais não pode ser a dose tóxica e sim um valor máximo, abaixo do qual não são esperados efeitos adversos para a saúde.

Este indicador deve levar em conta os seguintes aspectos:

- Substâncias em que o princípio ativo ou soluções que o contenham apresentem significativas evidências de efeito tóxico acumulativo, teratogênico, mutagênico, carcinogênico, sensibilizante ou irritante primário:

Para estas substâncias a dose tolerável é 0 (zero), ou seja: o trabalhador deve ser protegido de forma que não haja nenhuma exposição ao produto puro ou diluído;

- Demais Substâncias

O cálculo da dose tolerável é baseado na quantidade de ingrediente ativo da substância que, após repetido contato com animais de estudo, não produz efeitos adversos observáveis. Este valor é expresso em miligramas do ingrediente ativo por quilo de peso por dia (mg/kg/dia) e é denominado, em inglês, de “NOEL”, “NAEL” ou “NOAEL”, o que significa, respectivamente: “No-Observed Effect Level”; “No-Adverse Effect Level”; “No-Observed Adverse Effect Level”. Em tradução livre, estes termos significam: “Nível de exposição onde não são observados efeitos adversos à saúde”. Por ser o mais comum, o termo normalmente utilizado é o “**NOEL**”.

Os valores de NOEL são obtidos segundo um protocolo internacional, onde determinadas espécies animais são submetidas ao contato repetido com os componentes do produto e os efeitos adversos são monitorados nos principais órgãos do corpo do animal. A determinação experimental prévia dos valores limites de exposição para cada componente de um agrotóxico é obrigatória, para obtenção da licença de comercialização. Os valores de NOEL normalmente são publicados pelos fabricantes nas fichas de informação de segurança dos produtos.

Como os valores de NOEL correspondem à quantidade da substância realmente absorvida pelo organismo, em miligrama por quilo de peso por dia (mg/kg/dia), o avaliador deve tomar alguns cuidados na manipulação e interpretação dos dados de monitoramento ambiental e comparação com os valores de tolerância. Normalmente, os valores encontrados em avaliação inalatória são considerados como 100% absorvidos, enquanto que os da avaliação dermal devem sofrer correção para os valores reais de absorção. A seguir são descritos alguns critérios que detalham estes procedimentos.

Lundehn (LUNDEHN, 1992), determinou a dose tolerável para exposição dermal, inalatória e total dentro de critérios que podem ser considerados válidos, até que um protocolo formal seja publicado. Estes critérios são os seguintes:

### **Exposição dermal:**

$$D^{\text{tol}} = \frac{NOEL_D \times 70}{25} = \text{mg} / \text{dia}$$

onde:

$D^{\text{tol}}$  = Dose tolerável dermal, em miligrama do ingrediente ativo por dia

$NOEL_D$  = Dose dermal máxima na qual não foram observados efeitos adversos nos animais estudados, em miligramas de ingrediente ativo por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

70 = Peso médio de um adulto masculino, em quilos

25 = Fator de segurança

NOTA: Alguns pesquisadores utilizam fator de segurança 10; 100 etc.

Como é sabido que a pele é uma poderosa barreira à penetração da maioria das substâncias e que, portanto, apenas parte do contaminante depositado na pele será absorvido, Lundeohn (LUNDEHN, 1992) propõe que a dose tolerável dermal seja ajustada, em função do fator de absorção do ingrediente ativo pela pele, conforme fórmula a seguir:

$$D^{\text{tol}} = \frac{NOEL_D \times 70}{AF \times 25} = mg / dia$$

onde:

$D^{\text{tol}}$  = Dose tolerável dermal, em miligrama do ingrediente ativo por dia

$NOEL_D$  = Dose dermal máxima na qual não foram observados efeitos adversos nos animais estudados, em miligramas de ingrediente ativo por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

70 = Peso médio de um adulto masculino, em quilos

AF = Fator de absorção da substância pela pele, em porcentagem

25 = Fator de segurança

**NOTAS:** 1 - Se não há NOEL dermal definido para a substância, devem ser usados para cálculo valores relativos a efeitos subcrônicos encontrados em estudos;

2 - Se o fator de absorção também não foi definido em estudos, deve ser usado o valor de 10%

### Exposição inalatória:

$$I^{\text{tol}} = \frac{NOEL_I \times 70 \times 270}{25} = mg / dia$$

onde:

$I^{\text{tol}}$  = Dose tolerável inalatória, em miligrama do ingrediente ativo por dia

$NOEL_I$  = Dose inalatória máxima na qual não foram observados efeitos adversos nos animais estudados, em miligramas de ingrediente ativo por litro de ar (mg/l)

70 = Peso médio de um adulto masculino, em quilos

270 = Volume de ar respirado por quilo de peso de um adulto por dia, em litros

25 = Fator de segurança

**NOTAS:** 1 O valor 270 é utilizado para converter o NOEL inalatório determinado em estudos subcrônicos, que geralmente é expresso em miligrama por litro de ar (mg/l), para a dose diária em miligrama por quilo de peso (mg/kg). Este número é o resultado da multiplicação do volume respiratório dos ratos utilizados em estudos, que é de 45 litros por quilo de peso por

hora (l/kg/h) por 6 horas, que é a duração da exposição diária adotada em tais estudos (45 x 6 = 270);

- 2 Se o NOEL inalatório não foi definido em estudos, porém existe NOEL oral obtido em estudos de efeitos subcrônicos, este último valor deve ser utilizado para cálculo;

Se, na avaliação inalatória, os valores encontrados forem “muito baixos” ou não-detectáveis (abaixo do nível de detecção do método, por exemplo), a exposição inalatória deve ser considerada como exposição **oral**.

### **Exposição oral:**

$$O^{\text{tol}} = \frac{NOEL_o \times 70}{25} = mg / dia$$

onde:

$O^{\text{tol}}$  = Dose tolerável oral, em miligrama do ingrediente ativo por dia

$NOEL_o$  = Dose oral máxima na qual não foram observados efeitos adversos nos animais estudados, em miligramas de ingrediente ativo por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

70 = Peso médio de um adulto masculino, em quilos

25 = Fator de segurança

### **Comparação da Dose Real Estimada com a Dose Tolerável**

Após o cálculo da dose real, à qual o trabalhador está exposto e que foi encontrada no monitoramento da exposição dermal e inalatória, e da dose tolerável e a transformação em unidades de medida similares, deve ser determinado o grau de exposição para as diferentes rotas e para o total. Para tanto, Lundejn (LUNDEHN, 1992) propõe a seguinte fórmula:

$$E = \frac{D}{D^{tol}} + \frac{I}{I^{tol}}$$

onde:

E = Grau de exposição (adimensional)

D = Exposição dermal real em miligrama por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

$D^{tol}$  = Dose tolerável dermal em miligrama por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

I = Exposição real inalatória em miligrama por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

$I^{tol}$  = Dose tolerável inalatória em miligrama por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

Para efeito de comparação, o grau de exposição deve ser calculado separadamente para a rota dermal, inalatória e/ou oral.

Sempre que o grau for igual ou superior a 1 (um) estará excedido o limite de exposição para aquela rota. Para avaliação de eficiência ou ainda para a escolha do melhor tipo de proteção, o grau de exposição pode ser determinado para cada atividade - preparação, aplicação, lavagem de equipamento, reentrada etc.

### 3.2 Monitoramento Biológico

A avaliação biológica associada a ambiental nem sempre expressa correlação efetiva. A excreção varia. Tecidos gordurosos podem reter produto. A excreção pode remontar em exposições prolongadas e sucessivas.

A vigilância da saúde dos trabalhadores expostos aos agrotóxicos deve incluir o exame clínico admissional, periódico anual e demissional, acompanhado de exames complementares de dosagens de indicadores no sangue e urina, de acordo com o tipo de produto com o qual o trabalhador tem contato.

Como, em geral, todos os trabalhadores envolvidos na preparação e aplicação são obrigados a utilizar respiradores com filtros mecânicos e/ou químicos, os exames complementares devem incluir testes de capacidade respiratória.

A periodicidade dos exames complementares deve ser estabelecida pelo Médico responsável do PCMSO da empresa, sendo que os prazos máximos não poderão ser maiores que aqueles estabelecidos na NR 7 da Portaria Mtb 3.214/78 (MINISTÉRIO DO TRABALHO), ou seja:

- **Exame médico** – na admissão, a cada ano, após afastamento superior a 30 dias, mudança de função e na demissão;
- **Dosagem de indicadores biológicos** – a cada 6 meses.

Para cada pessoa examinada deve ser criado um **“Prontuário Clínico”** individual, onde são feitas todas as anotações de resultados de exames clínicos e complementares, além de conter cópias de certificados de análises de laboratórios clínicos, testes de capacidade respiratória e outros que sejam realizados.

Conforme previsto na legislação vigente, para cada exame, o Médico coordenador do PCMSO da empresa deverá emitir um “Atestado de Saúde Ocupacional” – ASO, indicando a aptidão para a função. Uma cópia do ASO deve ser entregue ao trabalhador que deve assinar outra cópia que deverá ficar arquivada no prontuário clínico.

O tempo de arquivo do prontuário clínico deve ser “indefinido”, uma vez que poderão surgir reclamações cíveis a qualquer tempo.

Relativamente aos indicadores biológicos de exposição, tanto a NR 7, da Portaria Mtb 3.214/78 (MINISTÉRIO DO TRABALHO), quanto a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 2002), estabelecem valores apenas para os produtos dos grupos dos **organoclorados, organofosforados e carbamatos**. No grupo dos organoclorados são avaliados os princípios ativos e/ou seus metabólitos e, nos demais, o nível de colinesterase.

Além daqueles que poderão ser indicados pelo Médico coordenador do PCMSO da empresa, os trabalhadores expostos aos produtos dos grupos **organofosforados e carbamatos** deverão ser submetidos pelo menos aos exames complementares discriminados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Exames Complementares**

MATERIAL BIOLÓGICO	ANÁLISE	VALOR DE REFERÊNCIA	
		NR 7 – BRASIL	ACGIH (USA)
Sangue (*)	Acetil Colinesterase Eritrocitária	30% de depressão da atividade inicial	30% de depressão da atividade enzimática basal individual
	Colinesterase Plasmática	50% de depressão da atividade inicial	
	Colinesterase Eritrocitária e Plasmática (sangue total)	25% de depressão da atividade inicial	

(\*) Na admissão, a coleta deve ser feita antes da exposição, e, nos exames periódicos, após um tempo mínimo de exposição de 4 semanas e de não mais de 4 dias de afastamento da exposição.

Larini (LARINI, 1999) atribui os seguintes significados para redução ou depressão do valor da atividade enzimática:

- Até 20% – intoxicação assintomática;
- 20% a 40% - intoxicação leve com sinais e sintomas;
- 40% a 50% – intoxicação moderada;
- 50% a 70% - intoxicação severa.

Os percentuais acima são de difícil interpretação, uma vez que o “valor padrão” pode variar entre a população e em uma mesma pessoa, em diferentes situações. Como tentativa, Larine et al (LARINE, 1994) sugerem que o “valor padrão” para cada pessoa seja estabelecido em exame realizado antes de qualquer exposição aos produtos. Para os **organofosforados**, se não for possível assegurar que não houve exposição anterior, o trabalhador deve ficar durante 30 dias sem exposição e, então, devem ser colhidas duas amostras, com intervalo máximo de duas semanas entre cada coleta e determinado o valor de cada uma. Se a diferença entre cada amostra for maior que 20%, faz-se outra coleta, determina-se a média aritmética das três amostras, sendo considerado este como o “valor padrão”.

Para os **carbamatos**, o afastamento do trabalhador da exposição por um período de 24 horas, é suficiente para “zerar” os efeitos na redução da acetilcolinesterase.

Larine et al (LARINE, 1994) estabelecem como valores de referência para a atividade de acetilcolinesterase plasmática a média de  $3,18 \pm 0,63$ , para o sexo masculino, e  $2,59 \pm 0,60$ , para o sexo feminino, quando empregado o método de "pH stat". Quando usado o método eletrométrico de Michel, os valores são de  $1,01 \pm 0,21$  pH/h, para homens, e  $0,87 \pm 0,24$  pH/h, para mulheres.

Com relação à coleta e conservação da amostra, Larine et al (LARINE, 1994) afirmam que, quando utilizado método eletrométrico, a análise deve ser realizada imediatamente após a coleta do sangue, não sendo recomendável seu armazenamento. Quando utilizados métodos colorimétricos, a estocagem da amostra pode ser feita a  $4^{\circ}\text{C}$ , por um período máximo de 4 horas.

Como controle de qualidade das análises, devem ser utilizados os seguintes procedimentos:

- Solicitar do laboratório de análise comprovação de participação em programas de proficiência externos;
- Enviar parte das amostras do mesmo material para laboratórios diferentes;
- Incluir entre as amostras material coletado de pessoas comprovadamente não expostas aos produtos e amostras contaminadas propositalmente e/ou amostras com valores conhecidos.

#### **4 Descrição de Monitoramento Ambiental Realizado**

A seguir são resumidos 2 trabalhos, onde foram avaliadas as exposições de trabalhadores em condições reais de campo, utilizando-se os principais métodos descritos nos itens anteriores.

## **AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DERMAL E INALATÓRIA DE TRABALHADORES EM ATIVIDADE DE BANHO DE OVELHAS COM SOLUÇÃO DE DIAZINON**

Este trabalho foi realizado em 1.997, pelo Departamento de Agricultura da entidade de estudo e pesquisa New South Wales (NSW), Austrália, e publicado em documento interno da própria instituição.

A avaliação foi feita com um grupo de pessoas trabalhando no controle de parasitas em ovelhas, através de pulverização com solução a 100ppm de Buzacott 60R®, inseticida fosforado contendo o princípio ativo Diazinon.

Foi avaliada a exposição dermal e inalatória durante um período de 8 dias.

### **Avaliação dermal**

Todos os trabalhadores utilizaram macacões, botas e chapéu. Durante a preparação de solução, lavagem do tanque de imersão e manuseio das ovelhas após o banho, os trabalhadores utilizaram luvas de PVC.

Como o estudo, na verdade, destinava-se a avaliar um novo sistema de pulverizadores, foi adicionado corante azul brilhante na solução de inseticida, com a finalidade de avaliar a penetração na lã das ovelhas. A coloração permitiu avaliar qualitativamente a penetração da solução através da roupa dos trabalhadores

O macacão foi usado como monitorador da exposição dermal externa, ou total, e a penetração da solução foi monitorada através de pads colocados sob o macacão, para coleta representativa da exposição não controlada pela roupa.

O macacão utilizado foi confeccionado em algodão 100%, pré-lavado 2 vezes. Sob o tecido foram afixados pads confeccionados com papel absorvente de 15 cm (filtro Whatman Nº 1). Os pads foram afixados com tiras elásticas de velcro costuradas no lado interno do tecido do macacão. No lado que tinha contato com a pele, os pads tinham uma folha de alumínio, para evitar a absorção de suor. Os pads foram colocados diretamente sob 12 pontos marcados no macacão: pernas (direita e esquerda), coxas (direita e esquerda), antebraços (direito e esquerdo), braços (direito e esquerdo), ombros (direito e esquerdo), peito e costas. Após a amostragem os pads foram recolhidos e o tecido do macacão, na área sobre os pads, foi recortado e encaminhado para análise.

Além do macacão e dos pads, os trabalhadores utilizaram luvas de algodão que eram trocadas sempre que apresentavam-se molhadas. Nas atividades em que era exigido o uso de luvas de PVC, as luvas de algodão foram usadas sob aquelas. Todas as luvas de algodão foram analisadas e os resultados foram somados.

Para avaliação da exposição da cabeça, os trabalhadores utilizaram um pad preso sob o chapéu.

Para avaliação da exposição dos pés, foram utilizadas meias brancas de algodão/nylon (60/40) sob as botas.

A exposição dermal das camadas externa e interna foi estimada pela extrapolação da massa encontrada na área de cada amostra para o total da área representada pelo amostrador. A exposição potencial total foi estimada pela soma da massa de cada área. Os valores de exposição foram expressos em  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{hora}$ .

A penetração do Diazinon através da pele foi assumida como sendo de 4% da exposição potencial, ou seja: 4% da massa calculada que chegou à pele foi absorvida pelo organismo.

### **Avaliação inalatória**

Foi usado o Método NIOSH 5.600/94, com adaptações ao padrão Australiano AS 3640-1989. A coleta de amostra do ar foi feita através de uma bomba calibrada com vazão de 2 litros por minuto, com duração de 4 horas por amostra. O amostrador utilizado foi um tubo com fibra de vidro com adsorvente "Supelco Orbo 42". A concentração encontrada, em miligrama por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), foi convertida para miligrama por hora ( $\text{mg}/\text{hora}$ ), pela multiplicação da taxa respiratória padrão para trabalho leve de 29 litros por minuto.

### **Análise e cálculo da exposição**

Todas as amostras foram armazenadas sob refrigeração até o momento da análise. A desorção das amostras foi feita com uma mistura de Tolueno/Acetona (90/10). A análise foi feita através de cromatografia gasosa, com detetor fotométrico de chama, com coluna HP Ultra-1.

O trabalho não detalha os valores encontrados em cada amostra nem o cálculo de extrapolação para cada área do corpo, porém, apresenta uma tabela com a distribuição dos resultados de cada amostra, conforme reprodução a seguir na Tabela 5.

**Tabela 5 - Dose Dermal e Inalatória Absorvida**

DIA	FUNÇÃO	EXPOSIÇÃO INALATÓRIA (mg/m <sup>3</sup> )	DOSE INALATÓRIA ABSORVIDA (mg/h) (1)	DOSE DERMAL ABSORVIDA (mg/h) (2)	DOSE TOTAL ABSORVIDA (mg/h)
1	Operador	0,013	0,023	0,113	0,136
2		0,024	0,042	0,253	0,295
3		0,003	0,005	0,028	0,034
4		0,008	0,014	0,045	0,059
5		0,009	0,016	0,026	0,042
6		0,003	0,005	0,003	0,008
7		0,008	0,014	0,009	0,023
8		0,004	0,007	0,036	0,043
<b>Média Geométrica</b>		<b>0,008</b>	<b>0,013</b>	<b>0,031</b>	<b>0,048</b>
<b>Faixa</b>		<b>0,003 a 0,024</b>	<b>0,005 a 0,042</b>	<b>0,003 a 0,253</b>	<b>0,008 a 0,295</b>
1	Ajudante	0,004	0,007	0,018	0,025
2		0,010	0,018	0,066	0,084
3		0,002	0,004	0,040	0,044
4		0,007	0,012	0,106	0,118
5		0,005	0,009	0,024	0,033
6		0,002	0,003	0,051	0,054
7		0,007	0,013	0,012	0,025
8		0,007	0,011	0,039	0,050
<b>Média Geométrica</b>		<b>0,005</b>	<b>0,008</b>	<b>0,036</b>	<b>0,047</b>
<b>Faixa</b>		<b>0,002 a 0,010</b>	<b>0,003 a 0,018</b>	<b>0,012 a 0,106</b>	<b>0,025 a 0,118</b>
<b>Média Geom. Total</b>		<b>0,006</b>	<b>0,010</b>	<b>0,034</b>	<b>0,048</b>
<b>Faixa</b>		<b>0,002 a 0,024</b>	<b>0,003 a 0,042</b>	<b>0,003 a 0,253</b>	<b>0,008 a 0,295</b>
(1) Conversão de mg/m <sup>3</sup> para mg/h = taxa respiratória de 29 litros por minuto. Assumido como absorção de 100% da exposição potencial inalatória;					
(2) Valor de absorção equivalente a 4% da exposição potencial dermal.					

A conclusão dos autores do trabalho foi a seguinte:

- O método de avaliação dermal, através de macacão externo e pads internos, luvas e meias de algodão, associado com a avaliação inalatória, através de bomba de aspiração e coleta em tubo adsorvente mostrou-se eficaz para interpretação da real exposição dos trabalhadores;
- Tanto as doses parciais quanto as médias geométrica inalatórias permaneceram abaixo do limite de tolerância de 0,1mg/m<sup>3</sup>;
- A dose inalatória total foi equivalente a 22,7% da média da dose dermal absorvida.

Apesar do trabalho não apresentar os valores de exposição dermal potencial, aplicando-se a regra de três aos valores da coluna “dose dermal absorvida”, que é equivalente a 4% do total da exposição, chega-se aos valores da exposição total ou potencial. Comparando-se a exposição dermal total com a inalatória, verifica-se o seguinte:

- Para o Operador, a exposição inalatória variou entre 0,7% e 6,7% em relação a dermal, com média de 1,7%;

- Para o Ajudante, a variação ficou entre 0,2% e 4,3%, com média de 0,9%;
- Para a média total, a exposição inalatória correspondeu a 1,2% da dermal.

Embora o valor de 1,2% pareça estar coerente com a estimativa de vários pesquisadores e até mesmo da Organização Mundial de Saúde, que afirmam que a exposição inalatória raramente excede 1% da exposição dermal, é preciso lembrar que os valores calculados a partir dos dados da Tabela 5, para obtenção da exposição dermal total, são referentes às quantidades de produto que chegaram até a pele dos trabalhadores, após atravessar o macacão, chapéu, luvas e botas de proteção. Como o trabalho não detalha qual foi a exposição dermal total sobre o macacão, chapéu, luvas e botas, é impossível comprovar a correlação verdadeira. Este dado seria importante, uma vez que a correlação feita a partir dos valores de exposição dermal junto a pele, após as roupas e EPI, terá pouco significado, pois depende da qualidade destes materiais. Para uma mesma correlação de exposição inalatória de 1% da dermal o valor que chegará na pele será sempre dependente de quanto as roupas e EPI barraram.

Como conclusão, da análise deste trabalho, fica evidente que a avaliação inalatória deve sempre ser realizada em conjunto com a dermal, pois a simples extrapolação considerando a inalatória igual a 1% da dermal, pode redundar em um grande erro, para mais ou para menos.

## **INFLUÊNCIA DOS PERÍODOS E VOLUMES DE APLICAÇÃO NA SEGURANÇA DOS TRATORISTAS EM APLICAÇÕES DE HERBICIDA NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Este trabalho foi realizado em 2.002 por José Cristóvão Momesso, para obtenção do grau de mestre em agronomia e foi publicado como dissertação na Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal – SP.

O trabalho consistiu na avaliação da exposição de tratoristas aplicando herbicida em cana-de-açúcar com pulverizador de barra montado em tratores com e sem cabine.

O objetivo do trabalho foi basicamente o seguinte:

- Avaliar a eficiência de um tipo de cabine acoplada ao trator;
- Avaliar a eficiência dos EPI comumente recomendados e utilizados nesta atividade.

Para comparação da eficiência da cabine e dos EPI foram analisadas 13 condições de trabalho com o trator com e sem cabine e externa e internamente aos EPI.

A avaliação foi feita na forma “surrogate”, que consiste na utilização de substâncias diferentes das dos produtos que se quer monitorar, porém, mantendo-se todas as demais condições de dosagem, equipamento de aplicação, condições da cultura, clima etc. A utilização deste método é justificada pela maior estabilidade das substâncias substitutas e maior facilidade de extração e análise das amostras.

No estudo em questão, os herbicidas foram substituídos pelo cátion  $\text{Cu}^{+2}$  que foi adicionado às caldas, em concentrações representativas daquelas utilizadas nas aplicações dos produtos. Os equipamentos, taxas de aplicação, e todas as demais condições seguiram as mesmas regras adotadas para as aplicações reais. Após a amostragem e análise, as quantidades do traçador ( $\text{Cu}^{+2}$ ) encontrada foi utilizada para extrapolação para os principais princípios ativos utilizados, de acordo com suas dosagens.

Para coleta das amostras representativas da exposição do corpo foram utilizados macacões de tecido de algodão com capuz. Para as mãos foram utilizadas luvas de algodão e para a face absorventes higiênicos (Carefree) afixados sobre respiradores semifaciais descartáveis. Para os pés foram usados os mesmos absorventes afixados sobre a parte mediana do peito do pé.

As exposições dérmicas da face e dos pés foram estimadas pela extrapolação das áreas dos absorventes ( $70\text{cm}^2$ ) para a respectiva área representada pelos amostradores. Para o restante do corpo a exposição foi avaliada através de pedaços recortados dos macacões imediatamente após as amostragens. Foram colhidas 14 amostras das seguintes regiões: cabeça+pescoço (capuz+face); mãos (luvas direita+esquerda); braços (direito+esquerdo); tórax – frente; tórax – costas; coxas+pernas - frente (direita+esquerda); coxas+pernas - atrás (direita+esquerda); pés.

Para representar a situação com proteção, o macacão utilizado para coleta das amostras foi colocado sob o macacão de proteção. Os macacões de proteção eram similares aos usados como amostradores, com a diferença que foram

confeccionados em tecido de algodão 100% com tratamento hidrorrepelente feito com Teflon.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o laboratório, onde foram analisadas através de espectrofotometria de absorção atômica. Os valores do traçador encontrados nas amostras foram os considerados para o cálculo da exposição de cada área.

A exposição dermal com e sem proteção foi estimada pela extrapolação da massa encontrada na área de cada amostra para o total da área representada pelo amostrador. A exposição potencial total foi estimada pela soma da massa de cada área.

A chamada exposição dermal não controlada foi calculada a partir dos valores encontrados nos macacões amostradores usados sob os macacões de proteção, cuja eficiência foi estimada em 90% a 95%. Assim, a exposição dérmica potencial ficou sendo:

$$EDP = \frac{EDNC \times 100}{10}$$

onde:

EDP = Exposição dérmica potencial = quantidade estimada de princípio ativo que teria chegado no corpo, sobre o macacão, luvas e botas (para eficiência do macacão, luvas e botas de 90%)

EDNC = Exposição dérmica não controlada = quantidade de princípio ativo que chegou até a pele atravessando o macacão, luvas, botas etc

A exposição inalatória foi estimada como sendo de 10% da exposição dermal.

Como não foram avaliados princípios ativos propriamente ditos, a conclusão do autor do trabalho é que a metodologia é apropriada para o cálculo da exposição em aplicações de qualquer tipo de produto, naquelas condições e com aqueles equipamentos, através da extrapolação dos valores do traçador encontrados nas amostras.

Para tanto, o autor propõe o seguinte método para cálculo:

$$MS = \frac{NOEL \times 70}{QAE \times 10}$$

onde:

MS = margem de segurança (adimensional)

NOEL = Dose máxima na qual não foram observados efeitos adversos nos animais estudados, em miligramas de ingrediente ativo por quilo de peso por dia (mg/kg/dia)

70 = Peso médio de um adulto masculino, em quilos

QAE = quantidade absorvível da exposição, em miligrama por dia (mg/dia)

10 = Fator de segurança

Como critério para classificação, deve ser respeitado o seguinte:

- ✓  $MS \geq 1$  = Condição segura;
- ✓  $MS < 1$  = Condição insegura

O valor QAE é obtido da seguinte forma:

$$QAE = ED \times FA + ER = mg / dia$$

onde:

QAE = quantidade absorvível da exposição, em miligrama por dia (mg/dia)

ED = soma de todas as exposições dérmicas, em miligrama por dia (mg/dia)

FA = fator de absorção da substância através da pele (em porcentagem)

ER = exposição respiratória, em miligrama por dia (mg/dia)

Quando o fator de absorção FA não está disponível, o autor recomenda usar o valor padrão de 10% da exposição dermal ED. Da mesma forma, quando a exposição respiratória ER não for avaliada, este valor deve ser substituído por 1% da exposição dermal avaliada ED. Neste caso, a fórmula seria modificada para:

$$QAE = (ED \times 0,1) + (ED \times 0,01) = mg / dia$$

ou simplificando:

$$QAE = ED \times 0,11 = mg / dia$$

## 5 Conclusão

Em que pese todas as críticas e restrições feitas nos itens anteriores sobre as deficiências da metodologia e da falta de uma padronização mais definida de avaliação da exposição aos agrotóxicos, parece sensato concluir que é melhor uma avaliação sujeita a críticas do que nenhuma avaliação.

Como recomendação, parece que a avaliação da exposição dermal, através de macacão ou pads sob as roupas de proteção e EPI e o uso de bombas de aspiração para coleta de amostras da exposição inalatória é a mais indicada.

Quanto ao cálculo da exposição dermal, o critério mais consensado parece ser o da extrapolação dos valores encontrados em cada amostra para a área representada pela amostra, corrigidos pelo fator de absorção e pelo fator de segurança. Para a exposição inalatória, o valor de concentração é o encontrado convertido para massa por massa por tempo (mg/kg/h) ou massa por tempo (mg/h ou dia).

Para a exposição inalatória, o valor a ser considerado como 100% absorvido deve ser aquele obtido através de coleta feita dentro do respirador usado pelo trabalhador. Quando a amostra for coletada na região respiratória, fora do respirador, o valor a ser considerado como realmente absorvido deve ser a diferença entre a exposição total, sem proteção, e a retenção do respirador. Um indicador para os cálculos é o grau de proteção, ou nível de eficiência do respirador e seu filtro.

Para comparação com os valores toleráveis, o NOEL é o indicador mais apropriado.

## 6 Bibliografia Citada e Referências

ACGIH, 2002 - TLVs e BEIs, Limites de Exposição (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos e Índices Biológicos de Exposição (BEIs) - American Conference of Governmental Industrial Hygienists - Tradução autorizada para o português feita pela Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais - ABHO).

Batchelor, G. S, and Walker, K. C., 'Health Hazards Involved in Use of Parathion in Fruit Orchards of North Central Washington', *AMA Arch. Ind. Hyg. Occ. Med.*, vol. 10, pp. 522-29, 1954.

Durhan, W. F and H. R. Wolfe, Measurement of the Exposure of Workers to Pesticides. *Bulletin of the World Health Organization* 26:75-91, 1962.

EPA - Environmental Protection Agency - USA, 'Occupational and Residential Exposure Test Guidelines', EPA 712-C-96-261 e 263, 1996.

Larini, L. et al 'Indicadores Biológicos de Exposição aos Praguicidas', *Revista de Ciências Farmacêuticas – Universidade Estadual Paulista – UNESP*, 15 : 41-54, 1.994.

Larini, L., *Toxicologia dos Praguicidas*, Manole Ltda, São Paulo, 1999.

Lundehn, J. R. et al 'Uniform Principles for Safeguarding the Health of Applicators of Plant Protection Products (Uniform Principles for Operator Protection)'. Berlin: p. 60-112, 1992.

M. Boeniger, NIOSH, Cincinnati, OH; P. Williams, J. Campbell, M. Smith, M. Eiteman, University of Georgia, Athens, GA, 'Comparison of Wiping Solvents For Sampling Pesticides On Skin', Skin Exposure in the Workplace: Session II, Paper 334, American Industrial Hygiene Association, 1999.

Machado Neto, J. G.; Matuo, T. Avaliação de um Amostrador para Estudo da Exposição Dérmica Potencial de Aplicadores de Defensivos Agrícolas, Ciênc. Agron., Jaboticabal, v.4, n. 2, p. 21-22, 1989.

Momesso, José Cristóvão. Tese de mestrado em agronomia – dissertação, 2.002, Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal – SP.

Ministério do Trabalho, Portaria MTb 3.214 de 8 de junho de 1978 - Norma Regulamentadora Nº 7, Manuais de Legislação de Segurança e Medicina do Trabalho (2002), Atlas, São Paulo – SP, ou site do MTE ([www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br)).

Ness, S. A., *Surface and Dermal Monitoring for Toxic Exposures*, Van Nostrand Reinold, New York, 1994.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods, USA.

Popendorf, W. J. and J. T. Leffingwell, Regulating Organophosphate Pesticide residues for Farmworker Protection. *Residue Reviews* 82:125-201, 1982.

Serat, W. F. et al, Loss of Pesticides from Patches Used in the Field as Pesticide Collectors. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 11:227-234, 1982.

Spector, W. S., Handbook of Biological Data. W. B. Saunders Co., Philadelphia, PA, 1956.

WHO. World Health Organization. Field Surveys of Exposure to Pesticides – Standard Protocol. Geneva. WBC/82.1, WHO, 1982.

WHO. World Health Organization. Survey of Exposure to Organophosphorus Pesticides in Agriculture. Standard Protocol, Geneva, VBC/75.9, WHO, 1975.

# **RUÍDO**

## 1 UNIDADES DE MEDIDA

### SOM E PRESSÃO SONORA

O som pode ser definido como uma variação de pressão que o ouvido humano consegue captar. O limiar de audibilidade humana está na faixa de  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  a  $20.000.000 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  ou 0,00002 a  $200 \text{ N/m}^2$ .

Em função da dificuldade de trabalhar com números desta ordem, a pressão sonora é transformada em Nível de Pressão Sonora (NPS), que é expressa em decibel (dB). O NPS em dB é uma relação logarítmica que compara o quadrado da pressão real “p” existente no ambiente com o quadrado de uma pressão de referência “p<sub>0</sub>”, da seguinte forma:

$$\text{NPS} = 10 \log (p^2/p_0^2) \text{ ou } 10 \log (p/p_0)^2 = \text{dB}$$

onde:

NPS = nível de pressão sonora = dB

p = pressão sonora em  $\text{N/m}^2$  (Newton por metro quadrado)

p<sub>0</sub> = pressão de referência de audibilidade humana =  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  ou  $0,00002 \text{ N/m}^2$

Como pressão de referência, adota-se o valor de  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  ou  $0,00002 \text{ N/m}^2$ , que o limite inferior da audibilidade humana. Isso significa que o NPS é um nível de pressão em relação a um nível de referência, ou acima do nível de referência.

Pode-se também expressar o NPS das seguintes formas:

$$\text{NPS} = 20 \log (p/p_0) = \text{dB}$$

$$\text{NPS} = (20 \log p) + 94 = \text{dB}$$

Exemplo:

Um medidor indica em um ambiente um NPS de 100 dB, referência  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ . Qual é a pressão sonora ambiente?

$$\text{NPS} = 10 \log (p / p_0)^2 = \text{dB}$$

$$p = p_0 \sqrt{\text{anti log}(dB/10)} = 0,00002 \times \sqrt{\text{anti log}(100/10)} = 0,00002 \times 100.000 = 2$$

Portanto, a pressão no ponto dado é de  $2 \text{ N/m}^2$ .

A título de comparação, a seguir é apresentada a tabela 1 com os valores de pressão sonora, em  $\text{N/m}^2$ , e o equivalente em nível de pressão sonora, em dB.

<b>Tabela 1 – Comparação de Valores de Pressão e Nível de Pressão Sonora</b>	
<b>Pressão Sonora (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nível de Pressão Sonora (Decibel - dB)</b>
0,00002 (limiar inferior da audibilidade humana)	1
0,000035	5
0,000063	10
0,00011	15
0,0002	20
0,002	60
0,2	80
0,35	85
0,63	90
2	100
20	120
200 (limiar superior da audibilidade humana)	140

## **ENERGIA ACÚSTICA OU ENERGIA SONORA**

Energia acústica ou sonora define a quantidade de energia acústica que é produzida por unidade de tempo por uma fonte. A energia acústica é referenciada como Energia Sonora, em Watt, ou Nível de Energia Sonora, que neste caso refere-se ao nível de energia sonora acima do nível de referência arbitrário de  $10^{-12}$  Watt.

O Nível de Energia Sonora é expresso como:

$$NES = 10 \log (P/P_0) = \text{dB (referência } 10^{-12} \text{ Watt)}$$

Onde:

NES = Nível de Energia Sonora (Referência  $10^{-12}$  Watt)

P = Energia Sonora da fonte, em Watt

P<sub>0</sub> = Energia de Referência =  $10^{-12}$  Watt

Exemplo:

Calcule o Nível de Energia Sonora (NES), em dB (referência  $10^{-12}$  Watt), de uma fonte com energia sonora de 10 Watts.

$$NES = 10 \log (P/P_0) = 10 \log (10/10^{-12}) = 10 \log (10^{13}) = 10 \times 13 = 130 \text{ dB}$$

Portanto, o Nível de Energia Sonora (NES) da fonte, no exemplo dado, é de 130 dB (Referência  $10^{-12}$  Watt).

Se, no exemplo anterior, o Nível de Energia Sonora (NES) fosse expresso em dB (Referência  $10^{-12}$  Watt), a transformação em Watts seria a seguinte:

$$\text{Energia Sonora, em Watts} = 10^{-12} \times \text{antilog} (NES/10) = 10^{-12} \times 10^{13} = 10 \text{ Watts.}$$

Esta característica da energia sonora ou acústica leva a uma diferenciação no conceito de “Pressão Sonora” e “Energia Sonora”. Enquanto a Pressão Sonora (Referência  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>) dobra a cada 6 dB, a Energia Sonora ou Acústica dobra a cada 3 dB.

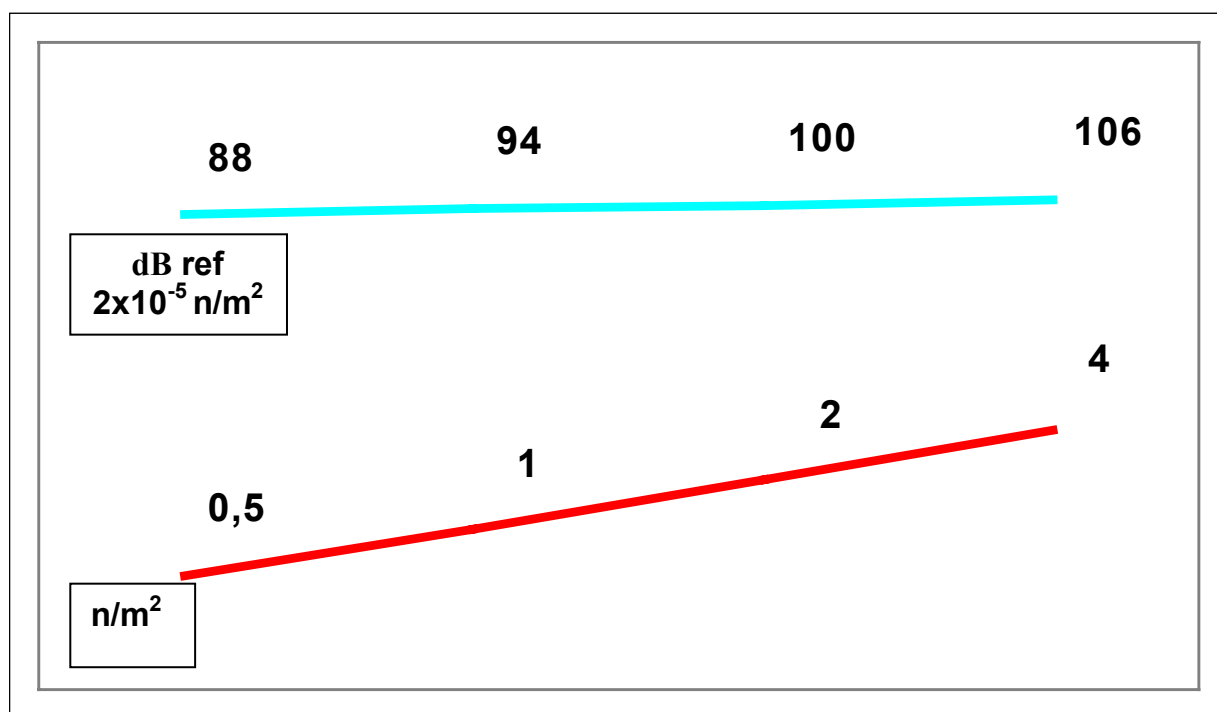
Abaixo é apresentada uma correlação entre as unidades.

- $1 \text{ Watt} = 120 \text{ dB Referência } 10^{-12} \text{ Watt} = 20 \text{ N/m}^2 = 120 \text{ dB Referência } 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$
- $1 \text{ N/m}^2 = 93,98 \text{ dB Referência } 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 0,0025 \text{ Watt} = 93,98 \text{ dB Referência } 10^{-12} \text{ Watt}$

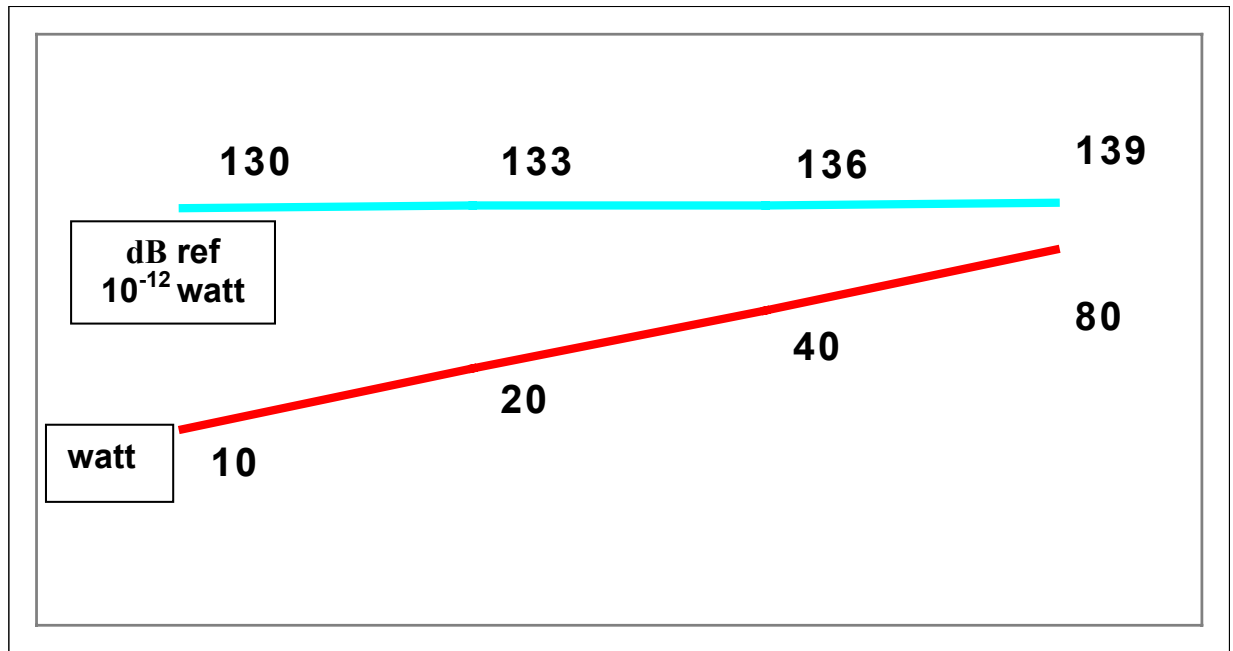
A seguir são apresentados 2 gráficos com a correlação entre pressão e energia sonora.

No gráfico 1 é mostrado que a pressão sonora dobra a cada 6 dB adicionado ao nível de pressão sonora (referência  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ), já, no gráfico 2, é mostrado que a energia sonora dobra a cada 3 dB adicionado (referência  $10^{-12} \text{ Watt}$ ).

**Gráfico 1 – Relação entre Pressão e Nível de Pressão Sonora – Referência  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$**



**Gráfico 2 – Relação entre Energia e Nível de Energia Sonora – Referência 10<sup>-12</sup> Watt**



### VALOR RMS

Como os níveis de pressão sonora variam muito em curtos intervalos de tempo, os valores geralmente são expressos em RMS (Root Mean Square) ou Raiz Quadrada Média, ou ainda PRMS (Pressão RMS)

$$\text{RMS} = ((P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2)/n)^{1/2}$$

onde:

P1, P2,...Pn = valores instantâneos reais de pressão

N = número de leituras num determinado tempo

### VALOR PICO OU IMPACTO

Quando o que se deseja identificar é o valor real da pressão sonora num determinado instante, a leitura deve ser expressa em Valor Pico ou de Impacto, não sendo apropriado o RMS.

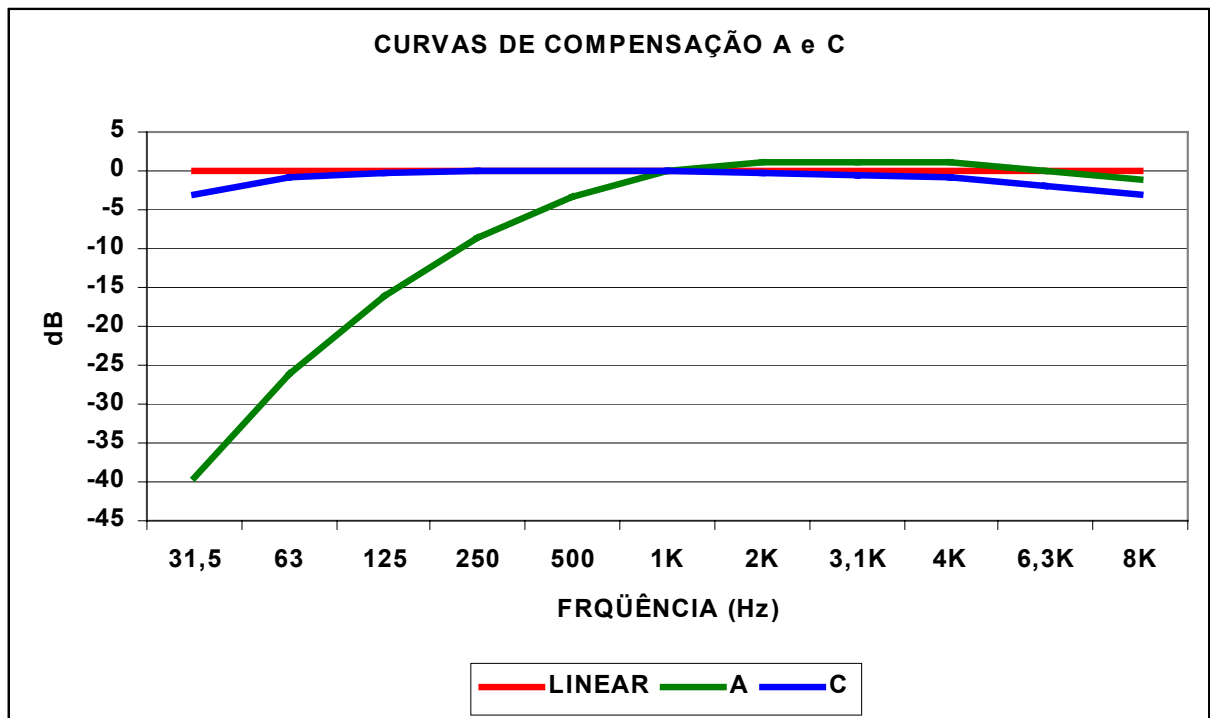
### CURVAS DE COMPENSAÇÃO dB(A), dB(B), dB(C), dB(D)

As curvas de compensação são padronizadas pela ISO e IEC para indicar a resposta dos medidores em relação à pressão existente no ambiente e aquilo que seria recebido pelo ouvido humano.

O limiar da audibilidade humana situa-se entre 20Hz e 20 kHz.

A seguir é apresentado no gráfico 3 comparativo das curvas de compensação A e C com a Linear.

Gráfico 3 – Comparativo das Curvas de Compensação A, C e Linear



As curvas de compensação do gráfico acima são recomendações das normas IEC 123 e 179. Estas curvas indicam que, por exemplo, o NPS na frequência de 50 Hz é abafado em 30 dB na curva A em relação à resposta plana ou linear.

Na tabela 2, a seguir, são apresentados os valores que devem ser adicionados ou subtraídos da curva Linear, para se obter as curvas A e C.

<b>Tabela 2 – Correção de Valores de dB Linear para dB(A) e dB(C)</b>		
Frequência Central de Banda de Oitava em Hertz (Hz)	Correção de dB, em relação à resposta plana ou Linear, para transformação em dB(A) ou dB(C)	
	dB(A)	dB(C)
31,5	-39,4	-3,0
63	-26,2	-0,8
125	-16,1	-0,2
250	-8,6	0
500	-3,2	0
1 000	0	0
2 000	1,2	-0,2
3.150	1,2	-0,5
4 000	1,0	-0,8
6.300	-0,1	-2,0
8 000	-1,1	-3,0

Para obtenção das respostas nas diferentes curvas (A e C), os medidores homologados possuem filtros que são selecionados no momento da medição e que transformam o resultado do nível plano ou linear existente no ambiente no nível desejado. Em função disso, toda medição deve sempre ser expressa em dB(A), dB(C) ... etc, para que se possa interpretar seu valor.

Como já foi dito anteriormente, no Brasil, e na maioria dos países, adota-se a curva “A” para avaliação da exposição humana, uma vez que é a que mais se aproxima da resposta do ouvido humano.

## ESPECTRO SONORO

O espectro sonoro pode ser representado por um grande número de tons puros entre dois limites de frequência, podendo estes limites ser 1 Hz ou centenas de Hz. O limiar da audibilidade humana está entre 20 Hz e 20 kHz. As faixas em que são divididas as frequências são chamadas de bandas. As bandas mais utilizadas em avaliação de ruído são as de oitava e terças de oitava.

Banda de oitava é o intervalo de frequência em que a frequência superior ( $f_2$ ) da banda é igual ao dobro da frequência inferior da banda ( $f_1$ ).

$$f_2 = 2 \times f_1$$

Onde

$f_1$  = frequência inferior da banda em Hz

$f_2$  = frequência superior da banda em Hz

Terça de oitava é o intervalo onde a frequência superior da banda ( $f_2$ ) é igual à raiz cúbica de 2 multiplicada pela frequência inferior da banda ( $f_1$ ).

$$\sqrt[3]{2} \times f_1 = f_2$$

A frequência central ( $f_m$ ) de qualquer uma das bandas será sempre a raiz quadrada do produto da frequência superior e da inferior (média geométrica).

$$\sqrt{f_2 \times f_1} = f_m$$

Os filtros de oitava, utilizados para medição, tem frequências de corte estabelecidas, em função da frequência central e obedecem padronização ISO e IEC.

Na tabela 3, a seguir, estão listadas as bandas de oitava com a frequência central e os limites inferior e superior de cada faixa.

<b>Tabela 3 – Bandas de Oitava e Terça de Oitava</b>					
Banda de Oitava (Hz)			Banda de Terça de Oitava (Hz)		
Limite Inferior	Centro	Limite Superior	Limite Inferior	Centro	Limite Superior
11	16	22	14,1	16	17,8
			17,8	20	22,4
			22,4	25	28,2
22	31,5	44	28,2	31,5	35,5
			35,5	40	44,7
			44,7	50	56,2
44	63	88	56,2	63	70,8
			70,8	80	89,1
			89,1	100	112
88	125	177	112	125	141
			141	160	178
			178	200	224
177	250	355	224	250	282
			282	315	355
			355	400	447
355	500	710	447	500	562
			562	630	708
			708	800	891
710	1.000	1.420	891	1.000	1.122
			1.122	1.250	1.413
			1.413	1.600	1.778
1.420	2.000	2.840	1.778	2.000	2.239
			2.239	2.500	2.818
			2.818	3.150	3.548
2.840	4.000	5.680	3.548	4.000	4.467
			4.467	5.000	5.623
			5.623	6.300	7.079
5.680	8.000	11.360	7.079	8.000	8.913
			8.913	10.000	11.220
			11.220	12.500	14.130
11.360	16.000	22.720	14.130	16.000	17.780
			17.780	20.000	22.390

Se o ruído for medido em uma determinada banda e se deseja convertê-lo em outra, o procedimento é o seguinte:

$$L_p (A) = L_p (B) - 10 \log \Delta f (B) / \Delta f (A)$$

Onde:

$L_p (A)$  = Nível de Pressão Sonora que se deseja encontrar numa dada banda de frequência

$L_p (B)$  = Nível de Pressão Sonora na banda em que foi medido

$\Delta f (B)$  = Faixa de Frequência na Banda em que o ruído foi medido (nível superior menos o inferior da banda)

$\Delta f (A)$  = Faixa de Frequência para a Banda que se deseja transformar o nível de pressão sonora (nível superior menos o inferior da banda).

Exemplo:

Converter um nível de ruído de 100 dB, na frequência central de 2.000 Hz, medido em banda de oitava, para o nível equivalente em terça de oitava.

$$100 - 10 \log (2.840 - 1.420 / 2.239 - 1.778)$$

$$100 - 10 \log (1.420 / 461)$$

$$100 - 10 \log = 3,080$$

$$100 - 10 \times 0,488 = 4.88$$

$$100 - 4,88 = 95,1 \text{ dB}$$

Os valores das faixas de oitava e terça de oitava, adotados acima, são os constantes na tabela acima.

Se a conversão fosse de terça para oitava, o processo seria inverso, ou seja:

$$95,1 - 10 \log (461/1.420) = 100$$

Se um determinado nível de pressão sonora foi medido separadamente por faixa de frequência e se deseja saber o nível total, o procedimento é o seguinte:

Como o que se soma são os valores de pressão e não de dB, a operação deve ser primeiro de transformar dB em  $N/m^2$  para cada valor, depois somar estes valores e, finalmente, transformar em dB, ou seja:

Se:

$$NPS = 10 \log (p / p_0)^2 = \text{dB}$$

então:

$$p = P_0 \sqrt{\text{anti log}(dB1 / 10) + (\text{anti log}(dB2 / 10)) + (\text{anti log}(dB..n / 10))} = N / m^2$$

$$10 \log (p/p_0)^2 = \text{dB}$$

Outra forma mais simplificada de somar os níveis de pressão sonora dados em dB é a seguinte:

$$NPS = 10 \log (\text{antilog} (NPS1 / 10) + \text{antilog} (NPS2 / 10) + \dots \text{antilog} (NPSn / 10)) = \text{dB}$$

Onde:

NPS 1, 2, n = Nível de Pressão Sonora em cada faixa de frequência medida

Exemplo:

Num ambiente é medido o nível de pressão sonora em 8 faixas de frequência encontrando-se os seguintes valores:

63 Hz = 71 dB(A)  
125 Hz = 76 dB(A)  
250 Hz = 80 dB(A)  
500 Hz = 97 dB(A)  
1.000 Hz = 101 dB(A)  
2.000 Hz = 103 dB(A)  
4.000 Hz = 104 dB(A)  
8.000 Hz = 95 dB(A)

Assim:

$10 \log (\text{antilog}(71/10) + \text{antilog}(76/10) + \text{antilog}(80/10) + \text{antilog}(97/10) + \text{antilog}(101/10) + \text{antilog}(103/10) + \text{antilog}(104/10) + \text{antilog}(95/10)) = 108,2 \text{ dB(A)}$ .

Uma outra forma adotada para encontrar o nível final, para o mesmo exemplo, é a seguinte:

- Selecione os dois NPS de maior valor, no exemplo 104 dB e 103 dB;
- Subtraia o menor do maior valor. A diferença, portanto, entre os dois NPS será 1 (um);
- Procure na tabela 4 o valor que deve ser adicionado ao NPS de maior valor. No caso 2,5, o que resultará em 106,5 dB;
- Encontre agora a diferença entre 106,5 e o NPS de maior valor logo abaixo dos já calculados que é, no caso, 101. O resultado será 5,5;
- Procure na tabela 4 abaixo o valor que deve ser adicionado ao maior valor. No caso, é 1,1, o que resultará em 107,6 dB. Encontre agora a diferença entre 107,6 e o NPS de maior valor ainda não calculado e assim sucessivamente.

<b>Tabela 4 – Adição de NPS</b>	
Diferença Entre os NPS em dB	Valor a ser Adicionado ao NPS de Maior Nível
0,0	3,0
0,2	2,9
0,4	2,8
0,6	2,7
0,8	2,6
1,0	2,5
1,5	2,3
2,0	2,1
2,5	2,0
3,0	1,8
3,5	1,6
4,0	1,5
4,5	1,3
5,0	1,2
5,5	1,1
6,0	1,0
6,5	0,9
7,0	0,8
8,0	0,7
10	0,4
13	0,2
15	0,1

### **ADIÇÃO DE NPS**

Da mesma forma que para níveis de pressão sonora medidos em faixas diferentes, é necessário primeiramente transformá-los em pressão sonora, em  $N/m^2$ , para depois somá-los e transformá-los novamente em dB, sempre que se deseja somar níveis de pressão sonora medidos em todo o espectro sonoro o processo é o mesmo.

Assim, se num ambiente quisermos determinar qual o NPS total que resultará da instalação de vários equipamentos com NPS conhecido, poderemos adotar a mesma regra do exemplo do item anterior, ou seja:

$$10 \log (\text{antilog} (NPS_1 / 10) + \text{antilog} (NPS_2 / 10) + \text{antilog} (NPS_n / 10)) = \text{NPS total}$$

Exemplo:

NPS da máquina 1 = 88 dB(A)

NPS da máquina 2 = 90 dB(A)

$$10 \log (\text{antilog} (88 / 10) + \text{antilog} (90 / 10)) = \text{NPS total} = 92,1 \text{ dB(A)}$$

Portanto, a soma do NPS das duas máquinas será 92,1 dB(A)

## 2 MEDIÇÃO DO RUÍDO

A avaliação é realizada através de medidor de pressão sonora dotado de microfone, seletores e filtros de compensação, pelo menos, para as curvas “A” e “C”. Além disso, o medidor deve ter recurso para respostas lenta e rápida.

Para efeito da legislação brasileira é suficiente a medição do ruído contínuo em dB(A) e o de impacto em dB(linear) ou dB(C).

As medições, para finalidades de avaliação da exposição humana, devem ser feitas nas condições normais de processo e o microfone do medidor deve ficar a uma altura equivalente ao ouvido do trabalhador, em seu posto de trabalho.

Quando os níveis variam no tempo ou quando os postos de um mesmo trabalhador apresentam níveis diferentes, deve-se adotar os valores de cada ponto e calcular a chamada dose, que é uma ponderação entre o tempo de exposição e o tempo permitido para exposição àqueles níveis.

Para medição de valores que variam na jornada, o instrumento recomendado é o chamado dosímetro de ruído. O princípio operacional do dosímetro de ruído é baseado na integração dos valores instantâneos ponderados pelo tempo de duração de cada nível em relação ao tempo total.

### LIMITE DE EXPOSIÇÃO AO RUÍDO CONTÍNUO

Para os critérios da NR 15, Anexos 1 e 2, da Portaria MTb N° 3 214, o tempo de exposição de um trabalhador ao ruído, sem proteção, está relacionado ao nível, em dB(A), conforme abaixo:

#### Limite de Exposição em Minutos (T)

$$T = \frac{480}{2^{(L-85)/5}} = \text{minuto}$$

Onde:

- T = Tempo permitido de exposição em minutos a um dado nível L
- 480 = Duração da jornada padrão em minutos
- 85 = Nível de ruído em dB(A) para 480 minutos, ou 8 horas diárias – (NR 15)
- 5 = Fator de dobra do risco para cada 5 dB adicionado ao ruído - (NR15)
- L = Nível de ruído em dB(A) medido no local, ou Leq

#### Comentários sobre a equação anterior

Se o risco ***dobra*** a cada 5 dB, significa que, para cada 5 dB adicionado ao limite de tolerância o tempo de exposição deve ser dividido por **2**.

Como o dobro é sempre considerado a partir da última posição, ao invés de multiplicar o 2 pelo número de vezes que o risco dobrou, utiliza-se o expoente representado pela diferença entre o valor medido e o limite para 8hs (85dB) dividido por 5, que é o fator de dobra.

Assim, por exemplo:

- 90 dB é igual a 85+5 e o número de dobras é igual a 90-85=5 que dividido por 5 é igual a 1 ou 1 dobra, o que significa T/2 ou 480/2=240 minutos. Se o risco dobrou 1 vez o tempo é dividido por 2;
- 100 dB é igual a 85+15 e o número de dobras é igual a 100-85=15 que dividido por 5 é igual a 3 ou 3 dobras, o que significa T/2 elevado a 3ª potência (T/2³) ou 480 dividido por 8 que é igual a 60 minutos. Portanto, se o risco dobrou 3 vezes o tempo é dividido por 2³, ou 8.

**Agora, ao contrário, se se sabe o tempo e se deseja saber qual o nível ao qual o trabalhador pode ficar exposto sem proteção, o cálculo deve ser feito ao contrário. Aproveitando o último exemplo acima, de 60 minutos de exposição, qual seria o limite em dB?**

### Limite de Exposição em dB(A) (LE)

$$LE = \frac{\text{Log}(480/t)}{\text{Log } 2} \times 5 + 85 = \text{dB(A)}$$

onde:

LE = nível máximo de ruído, em dB(A), permitido para exposição no dado tempo "t"

480 = tempo em minutos de uma jornada diária padrão para o limite de 85 dB(A) – NR 15

t = tempo de exposição real diário, em minutos, a um dado nível de ruído "L"

5 = fator de dobra do risco – NR 15

85 = nível máximo de ruído, em dB(A), permitido para exposição de 8 horas diárias – NR 15

2 = constante utilizada para dobrar o risco a cada 5 dB adicionado ao nível de ruído

Calculando o exemplo:

$$\log \text{ de } 480/60 = 480/60 = 8 \text{ e } \log \text{ de } 8 = 0,903089987$$

$$\text{Log de } 2 = 0,301029995$$

$$0,903089987/0,301029995 = 3$$

$$3 \times 5 = 15 + 85 = 100$$

portanto, neste exemplo, o nível máximo de exposição é de 100dB(A) durante 60 minutos ao dia.

Porque log de 2 e log do tempo padrão de 480 minutos dividido pelo tempo máximo de exposição diário?

É que para se achar o expoente ao qual foi elevada uma base conhecida, no caso o 2, deve-se encontrar o log do produto e dividi-lo pelo log da base, correspondente, no exemplo a:

- $480/60 = 8 =$  produto de 2 elevado a um determinado expoente
- expoente = log do produto (8) dividido pelo log da base (2) = 3

**Como o expoente, no caso o 3, foi gerado pelo nível (100dB) menos o limite para 8 horas (85dB) dividido por 5, que é o fator de dobra, é só multiplicar o quociente gerado pela divisão dos dois logs por 5 e acrescentar os 85.**

Exemplo 2:

Um trabalhador fica exposto à um nível de ruído L de 95 dB(A). Qual o tempo máximo TE, em minutos, que este trabalhador pode permanecer exposto ao nível L durante uma jornada?

$$T = \frac{480}{2^{(L-85)/5}} = \text{minuto}$$

ou

$$T = \frac{480}{2^{(95-85)/5}} = 120 \text{ minutos ou 2 horas}$$

Portanto, o tempo máximo de permanência do trabalhador naquele nível seria de 120 minutos ou 2 horas por dia.

Para o mesmo exemplo, se a informação disponível fosse o tempo de exposição, 120 minutos no caso, e se quisesse determinar a que nível o trabalhador poderia ficar exposto durante aquele tempo, o procedimento seria inverso, ou seja:

$$LE = \left[ \frac{\log(480/T)}{\log 2} \right] \times 5 + 85 = \text{dB(A)}$$

$$LE = \left[ \frac{\log(480/120)}{\log 2} \right] \times 5 + 85 = 95 \text{ dB(A)}$$

Portanto, 95 dB(A)

**NOTA:** Novos estudos realizados pelo NIOSH e ACGIH, propõe que o fator de dobra do risco seja 3 dB e não 5, como definido nos critérios da NR 15 e OSHA. Esta recomendação decorre da constatação feita por estes órgãos de que a exposição de uma pessoa durante 40 anos, 8 horas por dia, a um nível de 85 dB(A), com taxa de dobra de 3 dB, teria um risco excedente de adquirir uma perda auditiva induzida pela ruído de 8%. Ao contrário, a recomendação de 1972, que admitia 90 dB(A), para 8 horas, e uma taxa de dobra de 5 dB, nos mesmos 40 anos, levaria à um risco excedente de 25%.

Embora não vigorando como norma oficial, se se desejar fazer os cálculos por este critério, é necessário apenas substituir o valor 5 pelo valor 3, para cálculo dos limites "T" e "LE" descritos acima.

### Limite de Exposição a Níveis Diferentes - DOSE (D)

Quando um trabalhador fica exposto a diferentes níveis de pressão sonora ao longo da jornada, o nível final ou equivalente deve ser calculado da seguinte forma:

$$D = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \frac{C3}{T3} + \frac{Cn}{Tn} \quad X \ 100 = \%$$

Onde:

D = Dose em porcentagem

Cn = Tempo total em minutos que o trabalhador permanece exposto a um dado nível "L"

Tn = Tempo total em minutos que o trabalhador poderia permanecer exposto ao dado nível

100 = Valor equivalente a 100% da dose a que o trabalhador poderia ficar exposto e que não pode ser ultrapassado

Segundo o estabelecido na NR 15, da Portaria MTb 3 21478, e pela ACGIH, sempre que a dose D exceder a unidade (um) ou 100%, estará excedido o limite de exposição.

**Como já se sabe que, no Brasil, para 8 h/dia o limite é 85dB(A) e que a cada 5 dB(A) o risco dobra, agora o 2 será usado para multiplicar a dose, ao contrário da regra anterior, que dividia o tempo.**

Assim, a melhor forma é utilizar a mesma fórmula com os seguintes ajustes:

$$D = 100 \times 2^{\frac{(L-85)}{5}} = \%$$

Para o exemplo de uma exposição de 8 horas diária a um nível de 100dB(A), o cálculo da dose seria:

$$D = 100 \times 2^{\frac{(100-85)}{5}} = 800\%$$

Ao contrário, se desejar saber qual é o valor em dB(A) que equivale uma determinada dose, em porcentagem, a regra é o inverso:

$$\frac{\log(D/100)}{\log 2} \times 5 + 85 = \text{dB(A)}$$

No exemplo acima:

$$\frac{\log (800/100)}{\log 2} = \frac{0,903089987}{0,301029995} = 3 \times 5 = 15 + 85 = 100\text{dB}$$

Note-se que aqui não se utilizou a constante 16,61, nem o log D x 5,117/0,06 e obteve-se o mesmo resultado.

O limite de exposição para níveis diferentes também pode ser determinado, primeiramente encontrando-se o nível equivalente (Leq), em dB e, posteriormente, o limite em tempo de exposição (T).

$$Leq = 10 \log \left[ \left( \left( \text{anti log} \left( \frac{NPS1}{10} \right) \right)^{\frac{t1}{tt}} \right) + \left( \left( \text{anti log} \left( \frac{NPS2}{10} \right) \right)^{\frac{t2}{tt}} \right) + \dots + \left( \left( \text{anti log} \left( \frac{NPSn}{10} \right) \right)^{\frac{tn}{tt}} \right) \right]$$

= dB(A) ou (C)

Onde:

- Leq. = Nível equivalente em dB(A) ou (C)
- NPS 1, 2 n = Nível de ruído em dB(A) ou (C) em cada ponto
- T1, 2, n = Tempo de exposição ao NPS dado, em minutos
- tt = Tempo total da jornada ou do período avaliado, em minutos

Após o cálculo do Leq, conforme acima, calcula-se a dose, ou seja:

$$D = 100 \times 2^{\frac{(Leq - 85)}{5}} = \%$$

Se, por outro lado, se desejar encontrar o valor equivalente Leq, em dB(A), partindo-se da dose, o processo é o inverso, ou seja:

$$Leq = \frac{\log (D/100)}{\log 2} \times 5 + 85 = \text{dB(A)}$$

Exemplos:

Supondo-se um trabalhador exposto durante a jornada de 8 horas aos níveis e tempos abaixo, determinar a dose D e o nível de ruído equivalente Leq.

- 87 dB(A) – durante 2 horas (120 min)
- 88 dB(A) – durante 3 horas (180 min)
- 83 dB(A) – durante 1 hora (60 min)
- 85 dB(A) – durante 1 hora (60 min)
- 86 dB(A) – durante 1 hora (60 min)

$$D = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \frac{C3}{T3} + \frac{Cn}{Tn} \quad X 100 = \%$$

Calculando-se os tempos de exposição para cada nível, teríamos:

$$D = \frac{120}{360} + \frac{180}{300} + \frac{60}{630} + \frac{60}{480} + \frac{60}{420} = 1,296 X 100 = 129,6\%$$

Transformando os valores acima em nível Leq (dB(A)):

$$Leq = 10 \log \left[ \left( \left( \text{anti log} \frac{(NPS1)}{10} \right) \times \frac{t1}{t} \right) + \left( \left( \text{anti log} \frac{(NPS2)}{10} \right) \times \frac{t2}{t} \right) + \dots + \left( \left( \text{anti log} \frac{(NPSn)}{10} \right) \times \frac{tn}{t} \right) \right]$$

=dB(A)

ou

$$Leq = 10 \log \left[ \left( \left( \text{anti log} \frac{87}{10} \right) \times \frac{120}{480} \right) + \left( \left( \text{anti log} \frac{88}{10} \right) \times \frac{180}{480} \right) + \left( \left( \text{anti log} \frac{83}{10} \right) \times \frac{60}{480} \right) + \left( \left( \text{anti log} \frac{85}{10} \right) \times \frac{60}{480} \right) + \left( \left( \text{anti log} \frac{86}{10} \right) \times \frac{60}{480} \right) \right] = 86,8 \text{dB(A)}$$

Após o cálculo do Leq, conforme acima, calcula-se a dose, ou seja:

$$D = 100 \times 2^{(Leq-85)/5} = \%$$

ou

$$D = 100 \times 2^{(86,8-85)/5} = 128,34\%$$

#### NOTAS:

1 Os resultados do exemplo acima apresentam discrepância de 1,26% na dose, e 0,1 dB, quando calculados pelas duas rotas. Dependendo dos valores considerados, principalmente os iguais ou menores que 80 dB, a discrepância pode ser ligeiramente maior. Para estes casos, recomenda-se adotar o maior valor encontrado.

2 O critério para os cálculos acima aplica-se para limite de tolerância de 85 dB(A), para 8 horas diária e fator de dobra do risco igual a 5 dB.

**Se for adotado o fator de dobra de 3 dB (exchange rate), a constante 5 deve ser substituída pela constante 3.**

## LIMITE DE EXPOSIÇÃO AO RUÍDO DE IMPACTO

Ruído de impacto é todo aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 segundo em intervalos superiores a 1 segundo.

A legislação brasileira fixa como limite de tolerância 130 dB (linear) ou 120 dB (C) para exposição de 8 horas diárias sem proteção. Acima de 140 dB (linear) ou 130 dB (C) a lei considera risco grave e iminente e o trabalhador não pode ficar exposto. Não há referência sobre o número de impactos/dia.

A American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), que no passado definia um limite do número de impactos/dia, em função do nível, atualmente estabelece que o limite de tolerância para exposição de um trabalhador, sem proteção, ao ruído de impacto é de 140 dB(C).

## AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE PROTETORES DE OUVIDO

Para efeito de avaliação da eficiência de protetores de ouvidos, a medição dos níveis e os cálculos posteriores devem levar em conta o critério escolhido.

Esse assunto é detalhado em publicações americanas especializadas e que são adotadas no Brasil. Estas normas são as seguintes:

**NIOSH** - 76-120 – 1976 - List of Personal Hearing Protectors and Attenuation Data - Methods 1, 2 and 3;

**NIOSH** – The NIOSH Compendium of Hearing Protection Device, 1994;

**NIOSH** – Occupational Noise Exposure – Revised Criteria, 1998;

**OSHA** - 1.910.95 - Appendices B - Methods for Estimating the Adequacy of Hearing Protector Attenuation;

**ANSI** – S3.19 – 1974 – Measurement of the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors and Physical Attenuation of Ear Muffs;

**ANSI** – S12.6 – 1984 – Measurement of the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors;

**ANSI** – S12.6 – 1997 – Methods for Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors.

A seguir são discutidos os métodos referenciados nestas normas para avaliação da atenuação dos protetores de ouvido.

### **Método nº 1 – NIOSH (“método longo”)**

O Método nº 1 do NIOSH, também conhecido como “método longo”, é o que apresenta o maior nível de acerto no cálculo da atenuação do protetor de ouvidos, uma vez que os valores de atenuação de cada faixa são deduzidos do nível de ruído real de cada faixa existente no ambiente. Para tanto, é necessário que o ruído ambiente seja medido em todas as faixas do espectro de banda de oitava, de 125Hz a 8.000Hz.

O Método nº 1 é calculado da seguinte forma:

$$R = 10 \log \left( \sum_{f=125}^{8.000} 10^{0,1(L_{Af} - APV_{f98})} \right) = dB(A)$$

onde:

- R = Atenuação do protetor de ouvidos, em dB(A)
- $L_{Af}$  = Valores reais em dB(A) medidos no ambiente nas faixas de frequência de 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 Hz
- $APV_{f98}$  = Valores de atenuação média do protetor menos 2 desvios padrão em cada faixa de frequência  $f$ , para assegurar uma eficiência de 98% de confiança.

#### **Nota:**

Os valores de atenuação do protetor por banda e os respectivos desvios padrão são dados pelo fabricante, a partir de 3 testes realizados com 10 pessoas, perfazendo 30 testes. Os testes são realizados com uma pessoa por vez em uma cabine, onde é aplicado no ambiente um nível de pressão sonora conhecido em cada banda de frequência. São feitos 3 testes sem e 3 com o protetor que está sendo avaliado. A Norma ANSI S12.6/1997 – Método “A” estabelece que o avaliador ajusta o protetor, já, o Método “B” especifica que o usuário é quem ajusta, a partir da leitura da bula, sem que o avaliador interfira ou toque no protetor. A atenuação média e o desvio padrão equivalem, na verdade, à diferença entre os valores da 1ª “audiometria”, sem o protetor, e da 2ª, com o protetor.

A tabela 5, a seguir, ilustra o procedimento de cálculo do Método nº1

**TABELA 5 - MÉTODO NIOSH Nº 1 OU “MÉTODO LONGO”**

Frequência em Banda de Oitava (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	3.150	4.000	6.300	8.000	Total
A) Nível de Ruído em dB(A)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)		(1)		(1)	(2)
B) Atenuação do Protetor	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	-
C) Atenuação Média	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)		(4)		(4)	
D) Desvio Padrão	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	-
E) 2 vezes o Desvio Padrão	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)		(7)		(7)	-
F) Nível de Ruído em dB(A) que atinge o ouvido do usuário	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)		(8)		(8)	(9)

- (1) Valores em dB(A) existentes no ambiente real, medidos em cada faixa do espectro;  
 (2) Soma logarítmica dos valores das faixas da linha A;  
 (3) Valores de atenuação do protetor, em cada faixa, dados pelo fabricante e obtidos em teste, segundo as normas ANSI;  
 (4) Média aritmética das atenuações das faixas de 3.150Hz e 4.000Hz e 6.300Hz e 8.000Hz, respectivamente;  
 (5) Valores de desvio padrão da atenuação do protetor, em cada faixa, dados pelo fabricante e obtidos em teste, segundo as normas ANSI;  
 (6) Desvio padrão multiplicado por 2, para assegurar a atenuação esperada com 98% de confiança;  
 (7) Soma dos desvios padrão das faixas de 3.150Hz e 4.000Hz e 6.300Hz e 8.000Hz, respectivamente;  
 (8) Nível líquido, em dB(A) , que atinge o ouvido do usuário, após o protetor (linha A – C + linha E);  
 (9) Soma logarítmica dos valores das faixas da linha F.

### **Método Nº 2 – NIOSH ou NRR (Noise Reduction Rate)**

O Método 2, também conhecido como NRR Rc, foi estabelecido pelo NIOSH em 1.975 e deu origem ao Método similar, denominado NRR, criado pela “Environmental Protection Agency” – EPA – que é a Agência reguladora Americana para as questões ambientais.

O valor NRR, também chamado de “single number”, ou número único, é obrigatório por lei, nos Estados Unidos, a ser impresso nas embalagens, rótulos e “bulas” dos protetores comercializados. No Brasil, este número é utilizado nos Certificados de Aprovação (CA) e acompanha as embalagens e “bulas”. Na publicação “The NIOSH Compendium of Hearing Protection Device, 1994”, o NRR (Noise Reduction Rate), ou Taxa de Redução de Ruído é descrito em detalhes.

Embora o nome NRR seja uma criação da EPA, para efeitos práticos, NRR e NRR Rc passam a ter o mesmo significado, sendo expresso da seguinte forma:

$$NRR = 107,9dB(C) - 10 \log \left( \sum_{f=125}^{8.000} 10^{0,1(L_{Af} - APV_{f98})} \right) - 3dB$$

sendo:

NRR	= Taxa de Redução de Ruído, em dB(A)
107,9dB(C)	= Soma logarítmica dos valores em dB(C), deduzidos de um espectro de ruído “rosa” arbitrário de 100dB, nas faixas de 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1.000Hz, 2.000 Hz, 3.000Hz, 4.000Hz, 6.000Hz e 8.000Hz
$L_{Af}$	= Valores em dB(A) deduzidos de um espectro de ruído “rosa” arbitrário de 100dB, nas faixas de freqüência de 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 Hz
$APV_{f98}$	= Valores de atenuação média do protetor menos 2 desvios padrão em cada faixa de freqüência $f$ , para assegurar uma eficiência de 98% de confiança.
3 dB	= fator de segurança introduzido para corrigir erros de uso no campo

O cálculo do NRR é feito a partir da soma logarítmica do resultado da subtração dos valores de atenuação dos protetores obtidos nos testes, deduzidos 2 desvios padrão. O valor utilizado como referência é o de um ruído “rosa” arbitrário de 100 dB Linear por faixa, resultando sempre em 108,4 dB, 107,9 dB(C) e 106,9 dB(A), conforme ilustrado na tabela 6. Dos valores de cada faixa em dB(A) são deduzidos os valores de atenuação e somados 2 desvios padrão. Do valor final em dB(C) é deduzido o valor final em dB(A) que chega no ouvido. Deste valor são deduzidos 3 dB resultando no NRR Rc. Para uso prático no campo, o ruído deve ser medido em dB(C) e, deste valor, deduzido o NRR, para se chegar ao nível de exposição do trabalhador, em dB(A). Na tabela 6 a seguir, são detalhados os procedimentos de cálculo.

<b>Tabela 6 – Cálculo do NRR de Protetores de Ouvido</b>											
Frequência de Banda de Oitava		125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1.000 (Hz)	2.000 (Hz)	3.150 (Hz)	4.000 (Hz)	6.300 (Hz)	8.000 (Hz)	Total
A	Nível de Ruído “rosa” arbitrário em dB	100	100	100	100	100		100		100	108,4
B	Correção para dB(C)	-0,2	0	0	0	-0,2		-0,8		-3,0	-
C	Nível de Ruído em dB(C)	99,8	100	100	100	99,8		99,2		97	107,9
D	Correção para dB(A)	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2		1,0		-1,1	-
E	Nível de Ruído em dB(A)	83,9	91,4	96,8	100	101,2		101		98,9	106,9
F	Atenuação do Protetor de Ouvidos (dB)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	-
G	Atenuação do Protetor de Ouvidos (dB)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	-	(2)	-	(2)	-
H	Desvio Padrão da Atenuação do Protetor (dB)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	-
I	2 desvios padrão	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	-	(5)	-	(5)	
J	Nível de Ruído em dB(A) que Atinge o Ouvido do Usuário	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	-	(6)	-	(6)	(7)

(1) Valor de atenuação do protetor em cada faixa – dado pelo fabricante, a partir de testes, segundo ANSI – S3.19 - 1974, ANSI – S12.6 – 1984, ou ANSI – S 12.6 B – 1997  
(2) Média aritmética da atenuação a 3.000Hz e 4.000 e 6.000Hz e 8.000Hz, respectivamente.  
(3) Desvio Padrão de cada faixa – dados pelo fabricante, segundo o mesmo critério acima (1)  
(4) Duas vezes o desvio padrão de cada faixa  
(5) Soma dos desvios padrão em 3.000Hz e 4.000Hz e 6.000Hz e 8.000Hz, respectivamente.  
(6) Valor de atenuação por faixa = Linha E – Linha G + Linha I  
(7) Soma logarítmica dos valores das faixas da linha J

1. Linha A = Nível de ruído “rosa” arbitrário de 100 dB por faixa  
2. Linhas B, C, D e E = ver tabela 2 – curvas ISO  
**NRR = Total da linha C 107,9 dB(C) – total da linha J – 3 = NRR**  
▪ 3 = fator de segurança introduzido para corrigir erros de uso no campo.

### **Método SNR (Single Number Rating)**

O Método SNR foi estabelecido pela International Standardization Organization (ISO), na Norma 4869 – 2, de 1.992, e é muito similar ao Método nº 2 NRR, com as seguintes diferenças:

- O valor final adotado como referência é de 100 dB(C) deduzido de um espectro “rosa” arbitrário de 91,5 dB(C) por faixa;

- É adotado apenas 1 desvio padrão da atenuação do protetor.

Conseqüentemente, o SNR, calculado desta forma, resultará em um nível de confiança de 84% e não mais de 98% como nos 2 métodos descritos anteriormente.

A equação do SNR é a seguinte:

$$SNR_x = 100dB(C) - 10 \log \left( \sum_{f=125}^{8.000} 10^{0,1(L_{Af} - APV_{fx})} \right)$$

sendo:

- SNR<sub>x</sub> = Single Number Rating (Número Único de Taxa de Redução de Ruído), para o nível de proteção estimado, conforme tabela 8 abaixo
- 100dB(C) = Soma logarítmica dos valores em dB(C) deduzidos de um espectro de 91,5 dB(C), nas faixas de 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1.000Hz, 2.000 Hz, 4.000Hz e 8.000Hz
- L<sub>Afx</sub> = Valor líquido que atinge o ouvido do usuário do protetor, em dB(A), em cada faixa de freqüência, deduzido de um espectro de 91,5 dB(C) por faixa, conforme acima, para um dado nível <sub>x</sub> estimado de proteção (ver tabela 7 abaixo)
- APV<sub>fx</sub> = Valores de atenuação média menos o número <sub>x</sub> de desvios padrão em cada faixa de freqüência *f* (ver tabela 7 abaixo)

<b>Tabela 7 – Nível de Proteção</b>	
<b>Nível de Proteção (%)</b>	<b>“x”</b>
75	0,67
80	0,84
84	1,00
85	1,04
90	1,28
95	1,64
98	2,00

Na tabela 8, a seguir, é ilustrado o método de cálculo do SNR

**Tabela 8 - Método SNR (Single Number Rating)**

Frequência em Banda de Oitava (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
A) Nível de Ruído “rosa” em dB(C)	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	100
B) Correção para dB(A)	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
C) Nível de Ruído em dB(A) Linha “A” – linha “B”	75,4	82,9	88,3	91,5	92,7	92,5	90,4	98,5
D) Atenuação Média do protetor de ouvido (dado de teste)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
E) 1 vez o Desvio Padrão (nível de proteção 84%)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	
F) Nível de Ruído em dB(A) que atinge o ouvido do usuário (linha C – linha D + linha E)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(4)

(1) Valor de atenuação do protetor em cada faixa – dado pelo fabricante, a partir de testes, segundo ANSI – S 12.6 B – 1997  
(2) Desvio Padrão de cada faixa – dados pelo fabricante, segundo o mesmo critério acima (1)  
(3) Valores que atingem o ouvido do usuário, após o protetor, em dB(A)  
(4) Soma logarítmica dos valores das faixas da linha H

Linha B = ver tabela 2 – curvas ISO

**SNR = 100 dB(C) – total da linha F = dB.**

Os valores de 100 dB(C) e 98,5 dB(A), correspondem, respectivamente, à soma logarítmica dos valores parciais das colunas em cada faixa de frequência.

**Método NRRsf (Noise Reduction Rate subject fit)**

O Método NRRsf, na verdade, se diferencia dos demais apenas no teste de atenuação do protetor. Diferentemente do Método A, da Norma ANSI S12.6-1.997, o Método B desta Norma especifica que, ao invés do executante dos testes orientar os voluntários, estes colocam e ajustam os protetores nos ouvidos, seguindo a orientação da bula, sem que o condutor dos testes interfira e/ou toque nos protetores. A idéia aqui é reproduzir o mais fielmente as condições de campo, em que os protetores nem sempre são tão bem colocados e ajustados quanto no laboratório.

A fórmula de cálculo do NRRsf é, na verdade, derivada do SNR, ou seja:

$$\text{NRRsf} = \text{SNR}_{84\%} - 5 = \text{dB}$$

onde:

NRRsf = Noise Reduction Rate subject fit, ou Taxa de Redução de Ruído, com o protetor ajustado pelo próprio usuário

$\text{SNR}_{84\%}$  = Single Number Rating, ou número único de atenuação, com confiança de que 84% dos usuários terão a proteção esperada

5 = constante de “penalização” do SNR

Para cálculo da atenuação no campo a fórmula é a seguinte:

- dB(A) existente no ambiente – NRRsf = dB(A) no ouvido protegido
- dB(C) existente no ambiente – (NRRsf + 5) = dB(A) no ouvido protegido

Finalmente, existe um método que já está sendo deixado de ser utilizado no Brasil, porém, deve ser descrito. É o método da Occupational Safety and Health Administration - OSHA. (USA), descrito na Norma 1910.95 - Apêndice B - Methods for Estimating the Adequacy of Hearing Protector Attenuation.

O método da OSHA resume-se no seguinte:

- Se o ruído foi medido em dB(A), subtraia 7 do NRR do protetor e o restante subtraia do nível em dB(A) obtendo-se assim o nível em dB(A) no ouvido do trabalhador, após o protetor;
- Se o ruído foi medido em dB(C), subtraia diretamente o NRR do protetor obtendo-se assim o nível em dB(A) no ouvido do trabalhador, após o protetor.

Deve ser lembrado que, no Brasil, tanto para as questões de higiene ocupacional, tanto quanto para a previdência social, são aceitos os métodos “longo”, NRR e NRRsf.

Como se verá a seguir, além dos diferentes critérios para teste de atenuação dos protetores, existem recomendações de “penalizações” que devem ser aplicadas aos valores de atenuação.

De 1.974 até 1.997, enquanto vigorou a Norma ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6-1984, os valores de atenuação dos protetores de ouvido eram estimados utilizando-se grupos de 10 pessoas treinadas, colocadas individualmente em laboratórios em condições controladas, onde um analista especializado colocava e ajustava os protetores que seriam avaliados nas pessoas e aplicava níveis de ruído conhecidos, nas faixas de frequência de 125 a 8.000 Hz. Outra opção de teste era a colocação de um microfone no interior de uma cabeça artificial padronizada, em cujos “ouvidos” eram instalados os protetores em análise fazendo-se a leitura dos níveis no interior da cabeça, após os protetores.

Quando usando pessoas, cada corrida de teste é repetida 3 vezes para cada uma, somando-se assim 30 testes por protetor. A atenuação do protetor é obtida pela comparação dos 3 testes iniciais feitos com cada pessoa sem o protetor e dos 3 com protetor. Os resultados são tabulados e encontrada a média e o desvio padrão da

atenuação para cada faixa de frequência e a atenuação total. O valor de atenuação é chamado de NRR (**Noise Reduction Rate**, ou Taxa de Redução de Ruído).

Para o caso de cabeça artificial o valor final é o mesmo NRR, com exceção de que os valores intermediários variam menos.

A seguir pode ser vista a reprodução de um laudo de ensaio feito por um fabricante usando o critério da Norma **ANSI S3.19-1974**.

## CERTIFICAÇÃO DE APROVAÇÃO

**Nº do CA:** 10067      **Nº do Processo:** 46000.012591/25-63  
**Data de Emissão:** 8/10/1999      **Validade:** 08/10/2004  
**Tipo do Equipamento:** PROTETOR AUDITIVO  
**Natureza:** Nacional  
**Descrição do Equipamento:** PROTETOR AUDITIVO CIRCUM-AURICULAR, FORMADO POR UMA HASTE CONSTITUÍDA DE DUAS SEMI-HASTES PRETAS ENCAIXADAS, QUE PERMITEM AJUSTE DE TAMANHO, DOTADAS DE PINOS NAS EXTREMIDADES PARA O ENCAIXE DAS CONCHAS NA COR VINHO. ESTAS SÃO CONSTITUÍDAS DE PLÁSTICO RÍGIDO E POSSUEM UMA ALMOFADA EXTERNA RECOBRINDO AS BORDAS. ELAS SÃO PREENCHIDAS COM UMA ESPUMA DE CERCA DE 60 cm DE ÁREA E 13 mm DE ESPESSURA. REF.: EARMUFF.

### DADOS COMPLEMENTARES

**Norma:** ANSI.S.3.19/1974  
**Fabricante:** FUJIWARA EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL LTDA  
**Aprovado:** PROTEÇÃO DA AUDIÇÃO DO USUÁRIO CONTRA NÍVEIS DE RUÍDO SUPERIORES À 85 dB.  
**Observação:** Não Informado.

### LAUDO/ATENUAÇÃO

**Tipo do Laudo:** Laboratório  
**Laboratório:** FUNDACENTRO / SP  
**Número Laudo:** 372/99-A      **Data do Laudo:** Não Informado  
**Responsável:** Não Informado      **Registro Profissional:** Não Informado

Frequência(Hz):	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRR/RC
Atenuacao(dB):	6	16	30	41	44	39	39	39	41	21
Desvio Padrão:	2.3	1.1	1.7	1.8	2.1	1.8	2.8	3	2.3	-

Encontrado o NRR do protetor em questão e aprovado o respectivo CA, o fabricante coloca a tabela e o valor final na embalagem ou na “bula”, sendo este o número considerado para cálculo da atenuação dada pelo protetor.

A próxima etapa é a interpretação dos valores de ruído do ambiente.

Conforme detalhado anteriormente, existem 6 métodos para avaliação da atenuação dos protetores de ouvido, porém, os testes de atenuação real são feitos unicamente em laboratório obedecendo-se os critérios de uma determinada norma. No Brasil, a Norma de referência é a ANSI S12.6/1997.

Qualquer que seja o método usado, a exposição real do trabalhador é sempre o valor em dB(A) que atinge o ouvido, após a dedução do valor da atenuação do protetor (nível de ruído do ambiente menos a atenuação do protetor).

Em 1.997, a Norma ANSI de 1.974, revisada em 1.984, foi novamente revisada, passando a ser denominada S12.6/1997 – Methods for Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors.

Embora mantendo o Método “A”, em que as pessoas experientes e com supervisão e orientação colocam e ajustam os protetores, a principal modificação introduzida foi o Método “B”, que especifica que os testes de atenuação sejam feitos com pessoas não habituadas e os protetores sejam colocados e ajustados em seus ouvidos por elas mesmas, a partir de instruções da “bula” e algumas informações verbais, sem a interferência do analista. Esta prática busca simular as condições reais de campo, onde as pessoas fazem elas próprias a colocação e ajuste, sem ajuda de especialista, fato que resulta em atenuação muito menor do que em condições controladas de laboratórios. Todas as demais regras de avaliação da norma anterior permaneceram, ou seja: número de testes por faixa de frequência, sem e com protetor, cálculo das médias e desvio padrão das atenuações e da atenuação final.

A mudança na expressão da taxa de atenuação (NRR) foi que agora passou a denominar-se “**NRRsf**” - **Noise Reduction Rate subject fit**, significando a taxa de redução de ruído dada pelo protetor ajustado pelo usuário.

A seguir é reproduzida uma cópia de laudo de ensaio de protetor feito dentro do critério do Anexo B.

## CERTIFICAÇÃO DE APROVAÇÃO

**Nº do CA:** 5330      **Nº do Processo:** 46000.009284/92-90  
**Data de Emissão:** 13/8/2001      **Validade:** 13/08/2006  
**Tipo do Equipamento:** PROTETOR AUDITIVO  
**Natureza:** Importado  
**Descrição do Equipamento:** PROTETOR AUDITIVO PRÉ-MOLDADO DE ESPUMA DE PVC, TIPO INSERÇÃO, COM PEQUENO PINO NO INTERIOR, QUE SERVE PARA FACILITAR A INTRODUÇÃO NO CANAL AUDITIVO, TAMANHO ÚNICO. REF.: PROTETOR AUDITIVO REUTILIZÁVEL 3M 1200 (SEM CORDÃO); PROTETOR AUDITIVO REUTILIZÁVEL 3M 1210 (COM CORDÃO).

### DADOS COMPLEMENTARES

**Norma:** **ANSI S12.6 - 1997 MÉTODO B - MÉTODO DO OUVIDO REAL - COLOCAÇÃO PELO OUVINTE**  
**Fabricante:** 3M DO BRASIL LTDA  
**Aprovado:** PROTEÇÃO AUDITIVA DO USUÁRIO CONTRA RUIDOS SUPERIORES À 85 dB, CONFORME TABELA DE ATENUAÇÃO A SEGUIR.  
**Observação:** Não Informado.

### LAUDO/ATENUAÇÃO

**Tipo do Laudo:** Laboratório  
**Laboratório:** LARI - UFSC/SC  
**Número Laudo:** 005/2001      **Data do Laudo:** Não Informado  
**Responsável:** Não Informado      **Registro Profissional:** Não Informado

<b>Frequência(Hz):</b>	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	<b>NRR/sf</b>
<b>Atenuacao(dB):</b>	18.27	18.16	17.74	19.2	27.31	33.94	36.57	39.01	36.18	11
<b>Desvio Padrão:</b>	9.3	9.6	10	7.4	7.4	7.3	9.2	9.2	8.9	-

Em junho de 1.998, o National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH publicou a revisão do documento “Criteria for a Recommended Standard – Occupational Noise Exposure “.

Esta publicação propõe, no seu item 1.5 que, **enquanto os fabricantes de protetores não se adequarem ao Método “B” da ANSI S12.6/1997, os valores NRR informados devem sofrer a seguinte redução:**

- ✓ 25%, para protetor tipo concha;
- ✓ 50%, para plugs moldáveis;
- ✓ 70%, para os demais tipos.

Isso significa, por exemplo, que um protetor com um NRR de 21 dB teria este valor reduzido para os seguintes:

- ✓  $21 - 25\% = 21 - 5,25 = 15,7$  dB, se fosse do tipo concha;
- ✓  $21 - 50\% = 21 - 10,5 = 10,5$  dB, se fosse do tipo plug moldável, e;
- ✓  $21 - 70\% = 21 - 14,7 = 6,3$  dB, se fosse de qualquer outro tipo.

No mesmo documento, no item 6, o NIOSH recomenda mais o seguinte:

- Ruído medido em  $dB(C) = dB(C) - (NRR \times f) =$  nível em  $dB(A)$  no ouvido, após o protetor;
- Ruído medido em  $dB(A) = dB(A) - ((NRR \times f) - 7) =$  nível em  $dB(A)$  no ouvido, após o protetor.

Sendo “f”:

- ✓ 0,75 para protetor tipo concha;
- ✓ 0,50 para protetor tipo plug moldável;
- ✓ 0,30 para os demais tipos.

## USO DE DUPLA PROTEÇÃO

Na introdução do Capítulo 6 da publicação “Criteria for a Recommended Standard – Occupational Noise Exposure”, do NIOSH, são feitas duas referências a trabalhos de pesquisadores (Nixon e Berger) que afirmam que, sempre que a exposição diária de um trabalhador a um nível de ruído exceder 100  $dB(A)$ , deve ser utilizada dupla proteção, constituída de plug e concha.

Apesar desta recomendação, o NIOSH também reconhece duas questões:

- 1ª) a atenuação adicional obtida com o uso dos dois protetores simultâneos fica limitada a, no máximo 10 dB;
- 2ª) numa exposição diária superior a 105  $dB(A)$  a dupla proteção será inócua.

Além da aparente baixa eficácia da proteção adicional, que é basicamente decorrência da condução do ruído pela via óssea que acaba vencendo parte da barreira oferecida pelos protetores, um dos problemas mais significativos é o grande desconforto sentido pelo usuário, devido a pressão e a sensação de perda de contato com o ambiente.

Não existem normas para cálculo da atenuação de 2 protetores usados simultaneamente. Assim, quando for necessário complementar a proteção que não foi alcançada por um único protetor, a recomendação é a seguinte:

- Obter do fabricante o teste de laboratório com o NRR ou NRRsf com a dupla proteção, ou;
- Acrescentar 5 dB na atenuação do melhor protetor.

Exemplo:

Protetor 1 = Atenuação de 20 dB

Protetor 2 = Atenuação de 12 dB

Atenuação Total = Protetor 1 + 5 dB = 20 + 5 = 25 dB

### 3 DOSIMETRIA DE RUÍDO

No Brasil, a referência para dosimetria de ruído é a Norma da Fundacentro de 2.001 “Avaliação da exposição ocupacional ao ruído – NHO 01”, onde estão estabelecidos os critérios básicos.

Embora existindo padrões internacionais, a NHO 01 pode ser uma boa referência.

Além das especificações dos instrumentos e definições básicas sobre ruído, esta norma estabelece basicamente o seguinte:

- ✓ Situação do medidor – integridade eletromecânica, carga suficiente das baterias e calibração, segundo o método estabelecido pelo fabricante;
- ✓ Ajustes para medição – o dosímetro deve ser ajustado para operar na curva de compensação “A” ou “C”, com resposta lenta, taxa de dobra do risco de 3<sup>4</sup> dB e critério de 85 dB(A) para 8 horas. O nível chamado “threshold”, ou “cut of”, que é o valor abaixo do qual o dosímetro não registra os dados, deve ser ajustado em 80 dB(A);
- ✓ Posição do medidor – colocado na pessoa com função representativa do grupo de trabalhadores que será avaliado, com o microfone do medidor posicionado a 150mm ± 50mm do ouvido. O direcionamento do microfone deve ser voltado para o principal campo acústico. Em geral o microfone é colocado na lapela voltado para cima e para frente, livre de obstáculos, como partes de roupas e/ou EPI;
- ✓ Período de amostragem – se a atividade apresenta diferentes ciclos que não se repetem ao longo da jornada, a dosimetria deve cobrir todo o tempo de duração da jornada. Se os ciclos são bastante repetitivos, o tempo de dosimetria pode ser reduzido e a dose final calculada, conforme ilustrado no capítulo 4 deste trabalho. Sempre que houver dúvidas, a dosimetria deve cobrir toda a jornada;
- ✓ Registros – toda anormalidade ocorrida durante a amostragem deve ser registrada – parada do processo; descarga de vapor anormal; quebra de equipamentos; saída para outros ambientes (restaurante, administração etc). Além destes, deve ser criado um banco de dados onde serão armazenados os relatórios produzidos pelo medidor.

#### NOTA:

**Salvo indicação especial, a dosimetria deve ser feita sempre na curva de atenuação “A” e resposta lenta.**

**Para casos especiais, onde é esperada uma diferença entre a curva “A” e “C” muito significativa, como é o caso dos compressores, bombas de vácuo, tratores e similares, é recomendável uma “varrida” nas “piores condições” nas duas curvas “A” e “C”. Esta recomendação é válida para o caso de ser necessário calcular a atenuação de protetores com melhor desempenho naquele tipo de espectro.**

---

<sup>4</sup> A NR 15 – Anexo 1 considera como fator de dobra do risco o valor de 5 dB.

Com relação à periodicidade, o NIOSH, na publicação “Criteria for a Recommended Standard – Occupational Noise Exposure”, 1998, no item 1.3.2, recomenda que em atividades com nível de ruído igual ou superior a 85 dB(A) as medições sejam repetidas a cada 2 anos, ou até 3 meses após modificações de instalações e processos.

#### 4 BIBLIOGRAFIA CITADA

1. Ministério do Trabalho, Portaria MTb 3.214 de 8 de junho de 1978- Norma Regulamentadora Nº 15, Manuais de Legislação de Segurança e Medicina do Trabalho (2001), Atlas, São Paulo – SP, ou site do MTE ([www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br)).
2. National Institute for Occupational, Safety and Health (NIOSH):
  - List of Personal Hearing Protectors and Attenuation Data, HEW Publication N<sup>o</sup> 76-120, 1975, pages 21-37;
  - Hearing Protector Compendium, 1994;
  - Criteria for Recommended Standard Occupational Noise Exposure, U. S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio, 1998.
3. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), U. S. Department of Labor, 1910.95 – Appendices B – “Methods for Estimating the Adequacy of Hearing Protector Attenuation.
4. American National Standard Institute (ANSI):
  - Norma S3.19- 1974 – Measurement of Real-Ear Protection of Hearing Protectors and Physical Attenuation of Ear Muffs;
  - Norma S12.6-1984 – Measurement of the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors;
  - Norma S12.6-1997 - Methods for Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors.
5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices (2001), Technical Affairs Office, 1330 Kemper Meadow Drive, Cincinnati, OH – versão em Português em tradução autorizada para a Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO)
6. Dácio Miranda Jordão, Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo – Atmosferas Explosivas, 1998, Rio de Janeiro – RJ
7. NFPA – The National Electrical Code (1998), National Fire Protection Association, Norma 70, Quincy, Massachusetts, USA
8. IEC – International Electrotechnical Commission, Normas 79-0 a 79 18
9. API – American Petroleum Institute, Norma RP 500 – Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installation at Petroleum Facilities (1991).
10. Fundacentro – Norma para avaliação da exposição ocupacional ao ruído – NHO 01, 2.001.
11. Gerges, Samir Nagi Yousri, Ruído: fundamentos e controle. 2. ed. 2.000, Florianópolis, 696p.

12 Ministério da Previdência e Assistência Social – Leis, Decretos, Instruções e Regulamentos

## **CALOR E FRIO**

# 1 FISILOGIA DA TERMOREGULAÇÃO HUMANA

## 1.1 Transformação de Energia – Metabolismo

A temperatura do corpo humano está diretamente relacionada ao conteúdo dado pelo calor específico dos tecidos, que é aproximadamente de 0,83 kcal/kg, ou 0,962 watts/kg (Burton, 1935; Cooper et al, 1971).

Os tecidos do corpo produzem calor na proporção de sua taxa metabólica. A quase totalidade da energia produzida pelo metabolismo é convertida em calor. Os principais substratos para o metabolismo humano são a Glicose, Proteína e Gordura, extraídos dos alimentos pelo organismo. Os principais subprodutos do metabolismo aeróbico são o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Nitrogênio e Água. A combustão de Glicose e Proteína produz 4,1 kcal/kg (4,75 watts/kg) enquanto que a Gordura produz 9,3 kcal/kg (10,78 watts/kg).

Por ser um processo enzimático de combustão oxidativa controlada, além dos substratos, o metabolismo depende do comburente que é o Oxigênio e que é conduzido para os tecidos através da respiração. Nesta reação, 1 (um) litro de Oxigênio (O<sub>2</sub>) produz aproximadamente 4,8 kcal (5,6 watts), considerando-se uma dieta média contendo os substratos principais – Glicose, Proteína e Gordura. Uma pessoa com peso em torno de 70kg, em condição de repouso, inala aproximadamente 0,3 litros de O<sub>2</sub>/min, resultando em uma produção de calor de aproximadamente 86 kcal/h (100 watts/h). Em condições de trabalho intenso, como remoção manual de terra com uma pá, por exemplo, esta mesma pessoa pode inalar 2,3 litros de O<sub>2</sub>/min, que resultaria em aproximadamente 660 kcal/h (765 watts).

No nível do mar, o ar inalado possui aproximadamente 21% de O<sub>2</sub>, e, quando exalado, ainda contém aproximadamente 16% de O<sub>2</sub>, portanto, com um aproveitamento de 5%. Isso significa que, para atingir uma VO<sub>2</sub> max de 2,3 litros/min, a pessoa terá que inalar aproximadamente 46 litros de ar/min. Uma pessoa bem condicionada fisicamente pode atingir níveis de ventilação da ordem de 150 litros de ar por minuto, o que daria uma VO<sub>2</sub> max de 7,5 litros/min.

A relação O<sub>2</sub> inalado e O<sub>2</sub> expelido pela respiração é utilizada para determinar a taxa de metabolismo real, uma vez que a diferença entre a quantidade inalada e a expelida, multiplicada por 4,8 indicará a quantidade de calor produzida no organismo por unidade de tempo (Kcal/LO<sub>2</sub>). É a chamada calorimetria. Outra forma aproximada de medir o metabolismo é a quantificação do CO<sub>2</sub> expelido, que também é proporcional à queima de substratos.

Embora o consumo de O<sub>2</sub> seja uma metodologia bastante precisa para quantificar o metabolismo real, em função da dificuldade de execução nas condições reais de campo, em seu lugar são utilizadas tabelas com valores aproximados do metabolismo por tipo de trabalho e/ou postura do corpo.

A tabela 1 a seguir discrimina os valores aproximados de inalação de O<sub>2</sub>, taxa metabólica, capacidade ventilatória e eficiência de trabalho, por tipo de atividade. Conforme pode ser verificado, no máximo 20% do metabolismo são convertidos em energia mecânica e os restantes 80% são convertidos em calor.

Tabela 1 – Metabolismo, O<sub>2</sub> Absorvido e Eficiência Mecânica (Fanger 1972; NIOSH 1973; ISO 8996/90)

ATIVIDADE	OXIGÊNIO ABSORVIDO (L/min)	TAXA METABÓLICA		EFICIÊNCIA MECÂNICA (η)	MÁXIMA ABSORÇÃO DE OXIGÊNIO - VO <sub>2</sub> max (L/min)		
		Kcal/h	W		Baixa 2,5	Média 3,0	Alta 3,5
					% DA VO <sub>2</sub> MAX EXIGIDA		
Sentado, em descanso	0,31	90	104	0	12	10	9
Em pé, relaxada	0,37	108	125	0	15	12	11
Andando em nível – 3,2km/h	0,62	180	209	0	25	21	18
Andando em nível – 4,0km/h	0,74	215	249	0	30	25	21
Andando em nível – 5,6km/h	1,00	288	334	0	40	33	29
Andando em nível – 6,4km/h	1,18	340	394	0	47	39	34
Andando em subida com 5% de inclinação – 1,6km/h	0,74	215	249	0,07	30	25	21
Andando em subida com 5% de inclinação – 3,2km/h	0,93	270	313	0,10	37	31	27
Andando em subida com 5% de inclinação – 6,4km/h	1,90	550	638	0,11	76	63	54
Andando em subida com 15% de inclinação – 1,6km/h	0,97	260	302	0,15	39	32	28
Andando em subida com 15% de inclinação – 3,2km/h	1,44	415	481	0,19	58	48	41
Andando em subida com 15% de inclinação – 4,8km/h	2,18	630	731	0,19	87	73	62
Andando em subida com 25% de inclinação – 1,6km/h	1,12	325	377	0,20	45	37	32
Andando em subida com 25% de inclinação – 3,2km/h	2,08	600	696	0,21	83	69	59
Em pé usando ferramentas manuais elétricas ou pneumáticas	0,57	165	191	0	23	19	16
Em pé usando serra/ serrote manual	1,38	400	464	0,20	55	46	39
Em pé aplainando ou polindo manualmente	1,87	540	626	0,20	75	62	53
Trabalho de mecânica, elétrica, pintura e manutenção geral	0,86	250	290	0,10	34	29	25
Trabalho de limpeza geral: áreas administrativas, domésticas etc	0,86	250	290	0,10	34	29	25
Sentado, trabalho com as mãos em mesa ou bancada	0,69	200	232	0,20	28	23	20
Supervisionando, processo, pessoas – em pé, com deslocamento e pequeno esforço com os braços	0,62	180	209	0,10	25	21	18
Dirigindo veículo leve – tráfego pesado	0,62	180	209	0	25	21	18
Dirigindo veículos pesados	1,00	290	336	0	40	33	29
Podando árvores, cortando plantas com ferramenta manual	1,25	360	418	0,10	50	42	36
Puxando ou empurrando cargas com carrinho – 57kg a 4,5km/h	0,78	225	261	0,20	31	26	22
Movimentando sacaria de 50kg	1,25	360	418	0,20	50	42	36
Cavando com enxada ou enxada	1,38	400	464	0,20	55	46	39
Cavando ou removendo areia ou terra molhada com pá	1,87	540	626	0,20	75	62	53

O cérebro e os grandes órgãos do tronco são os que possuem tecidos com maior atividade metabólica e, portanto, são os que geram maior quantidade de calor metabólico, quando comparados com os músculos e os demais órgãos. Apesar disso, o sistema muscular e esquelético podem produzir quantidades de calor que excedem a taxa de metabolismo basal em 10 vezes, ainda que por tempo muito breve.

O metabolismo é a única fonte interna de calor, embora possa ser complementada pela ingestão de bebidas e alimentos quentes, radiação de microondas ou ressonância magnética.

O corpo humano pode ser grosseiramente dividido em 2 compartimentos: interno e periférico. No compartimento interno a profusão de tecidos permite a uniformidade da temperatura com variações de décimos de grau entre eles. Esta é a chamada “temperatura interna” e situa-se na casa dos 37°C. No compartimento periférico a temperatura não é homogênea e varia no tempo e entre as diferentes partes do corpo. Esta temperatura é chamada de “temperatura externa, ou da pele” e situa-se na faixa de 2 a 4°C abaixo da temperatura interna, portanto, na faixa de 33°C a 35°C. Estão incluídos no grupo periférico as pernas, braços e pele. Em condições especiais de calor ambiente este gradiente pode diminuir para 1 ou 2°C, ou aumentar até 10 a 15°C, em caso de frio extremo.

Um baixo gradiente de temperatura entre o compartimento interno e o periférico decorre de altas temperaturas do ambiente, ou quando a vasodilatação termoregulatória periférica permite um aumento no fluxo sanguíneo para esta região, com conseqüente transporte do calor metabólico gerado no compartimento interno. Por outro lado, a vasoconstrição retém o calor metabólico no compartimento interno, aumentando o gradiente de temperatura em relação ao compartimento periférico.

A distribuição do calor nos tecidos respeita a Segunda Lei da Termodinâmica, onde o fluxo segue do mais quente para o mais frio, sendo o principal meio a condução, através dos tecidos “sólidos” e do sangue. Aproximadamente 95% do calor do corpo são trocados com o ambiente através da pele e os 5% restantes através da respiração.

## **1.2 Sistema Nervoso Central**

Por associação com experiências realizadas em animais, parece estar esclarecido que a termoregulação do corpo humano é comandada por uma área localizada na parte inferior do cérebro, chamada hipotálamo, que funciona como um termostato que deteta as variações de temperatura e sinaliza e/ou comanda outros órgãos para as ações de controle. A parte anterior do hipotálamo funciona como um termostato e integrador, enquanto a parte posterior promove o “ajuste” da temperatura interna do corpo, disparando respostas fisiológicas apropriadas para corrigir as variações detetadas nesta temperatura.

A parte anterior do hipotálamo é a área que recebe as informações dos receptores sensíveis às mudanças na temperatura da pele, músculos e demais tecidos. Os neurônios responsáveis pela transmissão das informações sobre a temperatura utilizam monoaminas e acetilcolina, dentre outros neurotransmissores. O ajuste na resposta, realizado pela área posterior do hipotálamo é feito por troca iônica.

Quando ocorrem variações na temperatura, a parte posterior do hipotálamo mobiliza as respostas fisiológicas para obter o ajuste. No caso de elevação da temperatura, o hipotálamo posterior atua na base do nervo simpático, que controla a circulação,

determinando a dilatação da rede de vasos cutâneos, aumentando o fluxo sanguíneo na região periférica. Adicionalmente, o sistema de glândulas sudoríparas pode ser ativado, promovendo aumento da produção de suor. Este conjunto de ações é projetado para dissipar o calor e trazer a temperatura do corpo para o ponto de ajuste.

É interessante notar que o sistema termoregulador responde ao aumento de temperatura do corpo, disparando o mecanismo de dissipação de calor, quando este aumento é provocado pelo esforço muscular e/ou condições ambientais desfavoráveis, porém, inverte as ações, promovendo a vasoconstrição, quando ocorre uma febre. Uma vez que a febre é um processo induzido e o objetivo é a conservação de calor, o ponto de ajuste da temperatura é elevado no hipotálamo posterior e, apesar de parecer uma sobrecarga térmica, o processo dissipativo não é disparado. Ao contrário, entra em ação a elevação da temperatura, pela elevação do processo metabólico, e a conservação de calor.

### **1.3 Atividade Circulatória e Muscular**

Durante a realização de um trabalho ou exercício moderado ou pesado, os músculos em atividade necessitam de suprimento extra de oxigênio demandando um aumento no fluxo sanguíneo. Inicialmente o sistema simpático circulatório atua suprindo os músculos ativos com substâncias vasodilatadoras e inibindo as vasoconstritoras, ao mesmo tempo que promove uma vasoconstrição em todo o sistema circulatório periférico e músculos inativos. Se a demanda continua elevada, este mesmo sistema atua nos grandes vasos dos órgãos digestivos, promovendo a vasoconstrição e seqüestrando até 1 litro de sangue que é adicionado ao volume circulante.

Apesar do aparente equilíbrio entre a demanda e o suprimento, os tecidos das áreas “inativas” continuam necessitando de oxigênio, competindo com os músculos “ativos”. Esta situação pode levar os músculos a utilizar suas reservas anaeróbicas, retirando energia através da oxidação do glicogênio. Esta conversão resulta no acúmulo de ácido láctico nos músculos podendo levar à sensação de dor e fadiga. Se a  $VO_2$  max continua elevada o metabolismo anaeróbico assume proporções significativas em relação ao metabolismo muscular total. Como resultado, haverá um débito adicional de oxigênio para ressintetizar o ácido láctico acumulado nos músculos. Dependendo da demanda, este débito só será “pago” no período de descanso, podendo levar até 24 horas ou mais.

Ao lado da competição por oxigênio travada entre os órgãos “ativos” e “inativos”, se a carga de calor metabólico e do ambiente se mantém elevada, ocorre a segunda etapa do conflito e que é disparada pelo hipotálamo que atua na dissipação do calor, através da vasodilatação do sistema circulatório periférico e produção de suor.

Nestas condições, onde ha uma alta proporção de  $VO_2$  max e calor metabólico e/ou ambiental elevados, a pressão sanguínea permanece relativamente constante, porém, o volume de sangue do sistema venoso central decresce, devido a dilatação dos vasos cutâneos, resultando em um aumento da frequência cardíaca para manter a demanda requerida. O volume circulatório efetivo acaba decrescendo, devido a necessidade de manter o suprimento dos músculos em atividade e a circulação periférica. A redução do volume é acelerada ainda pela perda de água na forma de suor.

### **1.4 Mecanismo da Transpiração**

As mais de 2 milhões de glândulas sudoríparas estão localizadas na camada superficial da pele e secretam uma solução hipotônica aquosa, quando estimuladas pelo sistema

nervoso simpático colinérgico. Uma pessoa pode atingir picos de 3 litros de suor por hora (3L/h) e consegue manter taxas da ordem de 1L/h por várias horas. Cada litro de suor evaporado da pele, em condições de clima seco, representa 580 kcal (675watts) transferidos para o ambiente. Apesar de ser o meio mais eficaz de troca térmica e redução da carga de calor no corpo do trabalhador, a transpiração perde eficácia quando a pressão parcial de vapor de água no ambiente é elevada e/ou quando a roupa utilizada funciona como um isolante. Além disso, transpiração da ordem de 1L/h levará o trabalhador a perder acima de 5% da massa corpórea, resultando em hipoidratação. Por outro lado, altas taxas de transpiração podem trazer pouco resultado efetivo, se todo o suor não for evaporado. Quando o suor é depositado na pele e cai em gotas, devido a uma alta umidade relativa do ar, por exemplo, o seu efeito dissipativo de calor é perdido.

Um componente importante do suor é o cloreto de sódio, ou sal. Uma pessoa não aclimatizada perde até 4 gramas de sal por litro de suor (4g/L), enquanto que uma aclimatizada reduz esta perda para 1g/L.

### **1.5 Aclimatização ao Calor**

A maioria das pessoas, quando submetida a condições de temperatura elevada, dependendo do nível de metabolismo exigido pelo tipo de trabalho físico, apresenta elevação da temperatura interna do corpo, aumento do ritmo cardíaco e perda excessiva de líquido e sais minerais, principalmente sódio (NIOSH, 1973/86; ASHRAE, 1983).

A aclimatização ou “adaptação” de uma pessoa ao calor é um mecanismo natural que é caracterizado pela redução e ajuste próximo dos valores “normais” da temperatura interna do corpo, batimentos cardíacos e equilíbrio eletrolítico. A aclimatização é alcançada em torno de 1 a 2 semanas de exposição ao calor e é perdida por volta do mesmo tempo de ausência de exposição (NIOSH, 1973/86; ASHRAE, 1983).

Qualquer pessoa, mesmo sendo saudável, com bom condicionamento físico e motivada, que vier a trabalhar pela primeira vez em um ambiente quente desenvolverá sinais graves de cansaço e elevação anormal da temperatura interna do corpo e da frequência cardíaca. Com a sucessão da exposição, a habilidade para o trabalho aumenta e os sinais de estresse tendem a diminuir. Após 1 ou 2 semanas a pessoa consegue trabalhar sem dificuldades. Este aumento da tolerância adquirida para trabalho em ambientes quentes é chamada de aclimatização (NIOSH, 1973).

## **2 INDICADORES AMBIENTAIS E FISIOLÓGICOS**

Como o corpo humano produz calor, através do metabolismo, e recebe ou dissipa calor para o ambiente, a avaliação da sobrecarga térmica depende da quantificação e interpretação de todos os parâmetros envolvidos.

Assim, é necessário avaliar a temperatura do ar, temperatura radiante, pressão parcial de vapor de água, velocidade do ar, propriedades térmicas da roupa e o metabolismo. A partir do conhecimento destes parâmetros, é possível prever os indicadores biológicos mais importantes, quais sejam: temperatura interna ou retal, temperatura oral, frequência cardíaca e perda de líquido através da transpiração.

### 3 PROPRIEDADES TÉRMICAS DA ROUPA

Conforme analisado em capítulos anteriores, a principal via de troca de calor do corpo humano com o ambiente é a pele. Em grau maior ou menor, a roupa utilizada pela pessoa interfere na dissipação do calor de duas maneiras:

- reduzindo a dissipação por evaporação, devido à resistência ao transporte do vapor de água produzido pelo suor;
- reduzindo a dissipação por convecção, devido ao isolamento da pele do contato com o ar.

Assim, para a análise do estresse térmico, é necessário conhecer a influência do tipo de roupa utilizada pelo trabalhador avaliado. Grosseiramente, pode-se dizer que quanto maior a espessura e/ou menor a permeabilidade do tecido, menor será a dissipação do calor por evaporação do suor e convecção com o ar.

A Norma ISO 9.920/95 (ISO 9920/95) estabelece os valores do isolamento térmico oferecido pelas roupas e que é denominado de  $I_{cl}$ , expresso em metro quadrado graus Celsius por watt ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ).

$$I_{cl} = \left( \frac{\bar{t}_{sk} - \bar{t}_{cl}}{H} \right)$$

onde:

$I_{cl}$  = isolamento térmico da roupa, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$

$\bar{t}_{sk}$  = temperatura média da pele, em graus Celsius

$\bar{t}_{cl}$  = temperatura média da superfície da pessoa vestida, em graus Celsius

H = perda de calor por convecção, radiação e condução por metro quadrado de pele, em watts por metro quadrado

A definição do isolamento da roupa, segundo a ISO 9.920 inclui partes vestidas e partes não cobertas, como a cabeça e mãos. Em função disso, a norma propõe o uso da unidade denominada "clo" ( $1 \text{ clo} = 0,155 m^2 \cdot ^\circ C/W$ ). Os valores de isolamento térmico da roupa listados pela referida Norma foram obtidos através da medição em manequins.

Resumidamente, a avaliação do isolamento térmico das roupas é feita da seguinte forma: coloca-se um manequim com as dimensões de um humano adulto mediano nas posições sentado e em pé, vestido com cada tipo de roupa a ser analisada, em ambiente controlado, determina-se as temperaturas do ar e radiante, pressão parcial de vapor e velocidade do ar no ambiente, alimenta-se o sistema de aquecimento do manequim, através de controladores eletrônicos, mede-se a temperatura da "pele" do manequim vestido e, finalmente, calcula-se os coeficientes de troca térmica entre o manequim e o ambiente. Como as temperaturas e as demais condições são conhecidas, os valores encontrados para cada tipo de roupa são uma aproximação razoável do que deve ocorrer em condições de uso por humanos. Embora mais complexa, a medição do isolamento térmico das roupas também pode ser feita com humanos, em condições reais de campo, ou em laboratório.

Para efeito de cálculo da dissipação de calor, levando em conta a resistência oferecida pela roupa, a Norma ISO 9.920/95 (ISO 9920/95) relaciona uma série exaustiva de tipos de roupas com seus respectivos valores  $I_{cl}$ ,  $f_{cl}$  e  $clo$ .

Na condição real de uso das roupas, entretanto, ocorrem interferências que resultam em benefícios para a pessoa. O isolamento estático que é calculado a partir dos índices e fator de roupa acaba sendo reduzido pelo contato da roupa com o ar e pela movimentação da pessoa. Quanto maior a velocidade do ar, maior a dissipação do calor por convecção. Quanto maior a movimentação da pessoa maior o chamado “efeito bombeamento”, que, na verdade, é a expulsão de parte do vapor de água do suor através da gola, punhos, barras e aberturas de botões da roupa, resultando em maior dissipação. Todo esse efeito benéfico do isolamento dinâmico adicionado pela movimentação do ar e do “bombeamento” deve ser levado em conta quando se efetua o cálculo do isolamento das roupas.

#### **4 ÍNDICE EMPÍRICO – IBUTG**

O método estabelecido na legislação brasileira, e que é adotado na maioria dos demais países, estabelece que o valor a ser considerado como representativo da exposição ao calor é um índice empírico resultante das temperaturas seca, úmida e radiante e que é denominado de IBUTG – Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo.

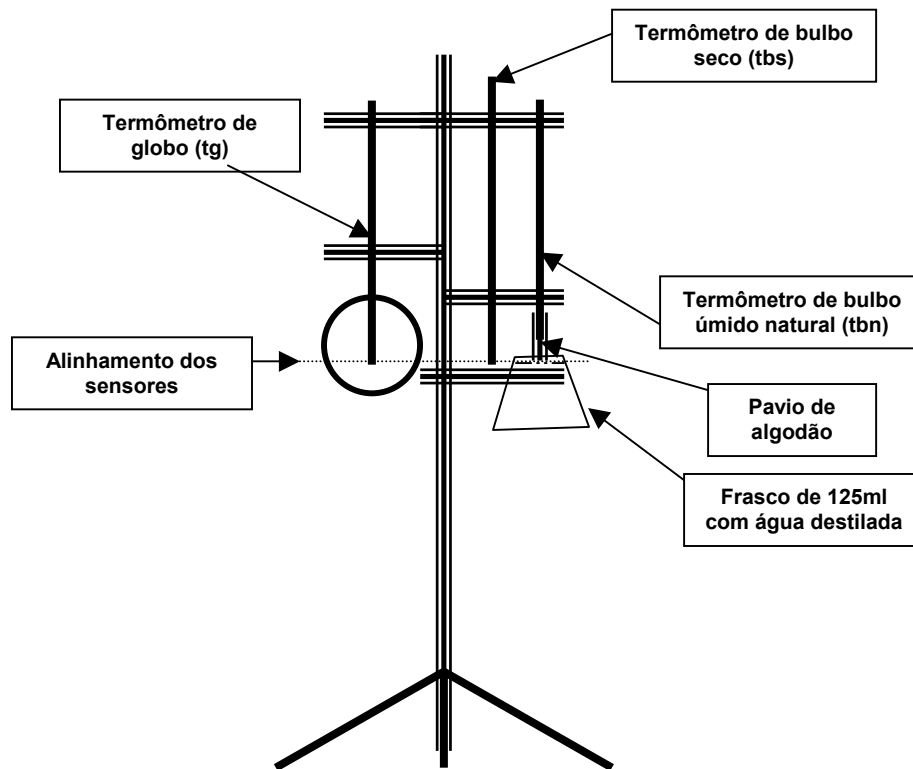
No Brasil, a legislação estabelece que a avaliação do IBUTG deve ser feito na pior condição da jornada e o índice calculado para 1 (uma) hora, sendo este o valor considerado para estabelecimento da salubridade ou insalubridade da atividade, independentemente de nas demais horas da jornada diária, semanal, mensal ou anual os valores serem diferentes.

Além das especificações genéricas contidas na Norma Regulamentadora N° 15, da Portaria MTb N° 3.214 de 08 de junho de 1.978 (MTB, 2001), no Brasil, a referência mais difundida é a Norma da Fundacentro NHT 01 (Fundacentro, 1985), e que consiste basicamente no seguinte:

- Temperatura de Bulbo Seco (TBS) – Medida com termômetro de mercúrio comum com escala de +10°C a +100°C e precisão mínima de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ;
- Temperatura de Globo (TG) – Medida com esfera oca de cobre com espessura da parede de aproximadamente 1mm, diâmetro interno de 152,4mm, pintada externamente na cor preta fosco, com abertura de 18mm de diâmetro e duto cilíndrico com comprimento de 25mm, para inserção do termômetro de mercúrio com escala de +10°C a +150°C e precisão de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . O termômetro deve ser inserido através de um orifício central feito em uma rolha cônica de borracha que é encaixada na abertura da esfera. O bulbo do termômetro deve ficar no centro da esfera;
- Temperatura de Bulbo Úmido Natural (TBN) – Medida com termômetro de mercúrio comum com escala de +10°C a +50°C e precisão de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . O bulbo do termômetro deve ser totalmente revestido com um pavio de algodão, cuja extremidade oposta deve ficar imersa em água destilada contida em um frasco de 125ml.

Os três termômetros devem ser fixados em um tripé com os sensores na mesma altura e, após um período de estabilização, as temperaturas podem ser lidas.

**Figura 1 -Tripé com Arranjo dos Três Termômetros**



A Norma ISO 7.243/89 (ISO 7243/89) estabelece que os instrumentos de medição devem ter as características da tabela 2.

Tabela 2- Características dos Instrumentos de Medição do IBUTG (ISO 7243/89)

SENSOR	CARACTERÍSTICA	PRECISÃO
Temperatura Úmida	Forma do sensor = cilíndrica	± 0,5°C
	Diâmetro externo na parte sensível = 6mm ± 1mm	
	Comprimento do sensor = 30mm ±5mm	
	Faixa de medição = 5°C a 40°C	
Temperatura de Globo	Diâmetro da esfera = 150mm	Faixa de 20°C a 50°C = ± 0,5°C Faixa de 50°C a 120°C = ± 1°C
	Coeficiente médio de emissão da parede da esfera negra = 0,95	
	Espessura da parede = o menor possível	
	Faixa de medição = 20°C a 120°C	
Temperatura do ar	Faixa de medição = 10°C a 60°C	± 1°C

A **temperatura de bulbo úmido natural não deve ser confundida com temperatura úmida psicrométrica**, a qual é medida utilizando-se um sensor com pavio de tecido umedecido e ventilado artificialmente com fluxo de pelo menos 4m/s.

Para a medição das temperaturas devem ser tomados os seguintes cuidados:

- Os sensores e o instrumento de medição devem ser especificados corretamente, calibrados e aferidos periodicamente;
- Quando a temperatura radiante média é superior a temperatura do ar, os sensores de temperatura do ar e úmida devem ser protegidos contra a radiação com lâmina ou tela termicamente isolante/refletiva, assegurando-se a passagem do fluxo de ar pelos sensores;
- O pavio utilizado para umedecer o sensor do termômetro úmido deve estender-se até além da parte sensora, a fim de evitar erros devido a condução térmica no próprio termômetro;
- Durante todo o tempo de medição o pavio do sensor de temperatura úmida deve permanecer úmido;
- Todos os sensores devem ser posicionados na mesma altura, geralmente na região do abdome, a 1,1m do piso;
- As leituras devem ser feitas após a estabilização dos sensores em cada ponto.

Apesar de controverso para alguns juristas, termômetros de mercúrio comuns, podem ser substituídos por sensores eletrônicos, desde que com igual fidelidade de resposta e devidamente ajustados e calibrados.

O cálculo da exposição ao calor é feito da seguinte forma:

♦ **Ambiente sem carga solar**

$$\text{temperatura de globo (TG) x 0,3 + temperatura de bulbo úmido (TBN) x 0,7}$$

♦ **Ambiente com carga solar**

$$\text{temperatura de globo (TG) x 0,2 + temperatura de bulbo úmido (TBN) x 0,7 + temperatura de bulbo seco (TBS) x 0,1}$$

O cálculo acima resulta em um índice chamado, Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG), cujo valor é comparado com valores constantes nas normas técnicas e legais que levam em conta a taxa de metabolismo do trabalhador.

Para atividades com vários postos de trabalho e/ou níveis diferentes de temperatura, deve-se calcular o IBUTG médio que é uma ponderação do índice no tempo, ou seja:

$$\overline{\text{IBTUG}} = \frac{\text{IBUTG1} \times t_1 + \text{IBUTG2} \times t_2 + \dots + \text{IBUTGn} \times t_n}{60}$$

Onde:

$\overline{\text{IBUTG}}$  = IBUTG médio ponderado na hora

IBUTG n = IBUTG dos "n" pontos amostrados

t<sub>n</sub> = tempo de exposição em minutos ao IBUTG<sub>n</sub>

60 = tempo total em minutos do período de 1 hora considerado

Da mesma forma, quando a taxa de metabolismo varia no período de 1(uma) hora, deve-se calcular a taxa média ponderada, ou seja:

$$\bar{M} = \frac{M1 \times t1 + M2 \times t2 + \dots + Mn \times tn}{60}$$

Onde:

$\bar{M}$  = taxa de metabolismo média ponderada

Mn = taxa de metabolismo nos pontos “n” amostrados

Tn = tempo de duração em minutos da atividade nas taxas “Mn”

Os limites de tolerância para exposição ao calor, no Brasil, são definidos na Portaria MTb 3 214/78 - NR15- Anexo 3, em função da taxa de metabolismo. Assim, para encontrar tais limites é necessário associar os valores da tabela de atividades com os das tabelas de limites de tolerância.

Tabela 3- Taxas de Metabolismo por Tipo de Atividade (Brasil - NR 15 – Anexo 3)

TIPO DE ATIVIDADE	TAXA DE METABOLISMO	
	Kcal/h	W/h
<b>SENTADO EM REPOUSO</b>	100	115
<b>TRABALHO LEVE</b>		
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex. datilografia)	125	145
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex. dirigir)	150	175
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com braços	150	175
<b>TRABALHO MODERADO</b>		
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas	180	210
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175	200
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada com alguma movimentação	220	255
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar	300	350
<b>TRABALHO PESADO</b>		
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar (Ex: remoção com pá)	440	510
Trabalho fatigante	550	640

Tabela 4 - Limite de Tolerância - IBUTG Constante (Brasil - NR 15 – Anexo 3)

REGIME DE TRABALHO INTERMITENTE COM DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL (por hora)	VALORES IBUTG PARA DIFERENTES ATIVIDADES		
	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	Até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9

15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	Acima de 30,0

Tabela 5 Limite de Tolerância - IBUTG Médio (Brasil - NR 15 – Anexo 3)

$\bar{M}$ (kcal/h)	MÁXIMO
	IBUTG
175	30,5
200	30,0
250	28,5
300	27,5
350	26,5
400	26,0
450	25,5
500	25,0

Para valores intermediários na taxa de metabolismo, podem ser feitas interpolações entre as faixas.

O índice IBUTG, adotado no Brasil como o divisor entre salubridade e insalubridade, que define inclusive se o empregador deve ou não pagar o adicional de 20% sobre o salário mínimo ao trabalhador, é muito questionado, pelas seguintes razões:

- A quase totalidade dos países adota o IBUTG como um indicador qualitativo (“screening”), para definir medidas ergonômicas e de planejamento do trabalho, jamais para decidir pelo pagamento de um adicional ao trabalhador;
- Da forma como está colocado na Lei brasileira, os limites de tolerância não levam em consideração a roupa utilizada pelo trabalhador, que, em alguns casos, pode potencializar os efeitos do calor, como as roupas impermeáveis de elevado  $I_{cl}$ , ou, ao contrário, superestimam os casos de trabalhadores que utilizam bermudas, camisetas e chinelos;
- A medição feita na pior condição de metabolismo e temperaturas, em geral superestima situações que jamais seriam consideradas insalubres, uma vez que ocorrem com pouca frequência e tem curta duração no conjunto da jornada total diária;
- Como em ambientes com carga solar a temperatura radiante tem peso relativamente baixo no IBUTG (20%), enquanto que na prática esta influência pode ser significativa para a dissipação do calor, em alguns casos o índice pode resultar pouco seguro.

Apesar destas considerações, o método de avaliação da sobrecarga térmica no Brasil é o IBUTG e é obrigatório para caracterizar ou descaracterizar a insalubridade e o pagamento do respectivo adicional.

## 5 TEMPERATURA EFETIVA

Embora a legislação brasileira e as normas internacionais mais comuns, ACGIH e OSHA, por exemplo, adotem o IBUTG como limite de tolerância, a antiga legislação da Previdência Social exigia para a caracterização da aposentadoria especial que o calor fosse medido e expresso como Temperatura Efetiva (TE) e não IBUTG.

A NR 17, da Portaria MTb 3 214/78, também define que os ambientes de trabalho, “onde são executadas atividades que exigem solicitação intelectual e atenção constantes”, devem possuir um índice de Temperatura Efetiva entre 20 e 23°C.

A determinação da Temperatura Efetiva (TE) teve origem em 1923 e foi aperfeiçoada ao longo do tempo, porém, é mais aplicável para ambientes termicamente controlados ou naqueles em que não existem fontes radiantes expressivas, como escritórios, laboratórios, hospitais, lojas, depósitos etc. Para estes ambientes, o cálculo do IBUTG e da TE levará a resultados muito próximos. Para ambientes com fontes de calor radiante significativas, como na indústria de transformação por exemplo, os resultados apresentam discrepância.

Para determinação da temperatura efetiva (TE), o procedimento de campo é similar ao do IBUTG, acrescido da medição da velocidade do ar, ou seja:

- mede-se as temperaturas de globo, úmida e seca em °C;
- mede-se a velocidade do ar em metros por segundo (m/s)

Após a medição, entra-se no ábaco ilustrado a seguir e encontra-se a temperatura efetiva (TE).

Como regra, sempre que a diferença entre as temperaturas de globo e seca for igual ou maior que 1,1°C, deve ser feita a correção na temperatura efetiva, que passa a ser denominada de “Temperatura Efetiva Corrigida” (TEC). Esta providência é necessária, para correção do efeito da temperatura radiante, evidenciada pela diferença entre as temperaturas de bulbo seco (TBS) e de globo (TG).

Os passos para correção da TE são os seguintes:

- Entra-se na carta psicrométrica com as temperaturas seca (TBS) e úmida (TBN) e acha-se o ponto de encontro das duas linhas;
- Substitui-se a temperatura seca (TBS) pela de globo (TG);
- Mantendo-se a umidade absoluta constante, desloca-se o ponto de encontro das temperaturas seca (TBS) e úmida (TBN) para a direita na carta até encontrar o valor da temperatura de globo (TG), agora substituindo a seca;
- Volta-se deste ponto pela linha da temperatura úmida e acha-se o novo valor. Esta será a chamada “Temperatura Úmida Corrigida”;
- Substitui-se a temperatura seca (TBS) no ábaco pela de globo (TG) e entra-se com a úmida corrigida no lado da temperatura úmida;
- Encontra-se o ponto de encontro das temperaturas de globo e úmida corrigida com a linha da velocidade do ar e desloca-se para a temperatura efetiva. Este será o valor da Temperatura Efetiva Corrigida (TEC).

Se a variação entre as temperaturas de globo e seca medidas for menor que 1,1°C, a correção é desnecessária. Assim, basta entrar com as temperaturas seca e úmida no ábaco, encontrar a velocidade do ar e deslocar para a temperatura efetiva.

Para efeito de definição de risco à saúde, a previdência social brasileira considerava como limite de tolerância uma TE igual a 28°. Acima desse valor a atividade é considerada insalubre. Uma publicação da National Safety Council (USA) “Radiant Heat Control” (ver referencias bibliográficas), citando um autor de estudo, recomenda que: “para o maior conforto para a maioria das pessoas trabalharem, no verão, a TE não deve ultrapassar 21,6 graus. Para a temperatura corrigida (TEC), o valor máximo deveria ser de 26,6 graus, sendo desejável que não ultrapasse jamais os 30 graus”.

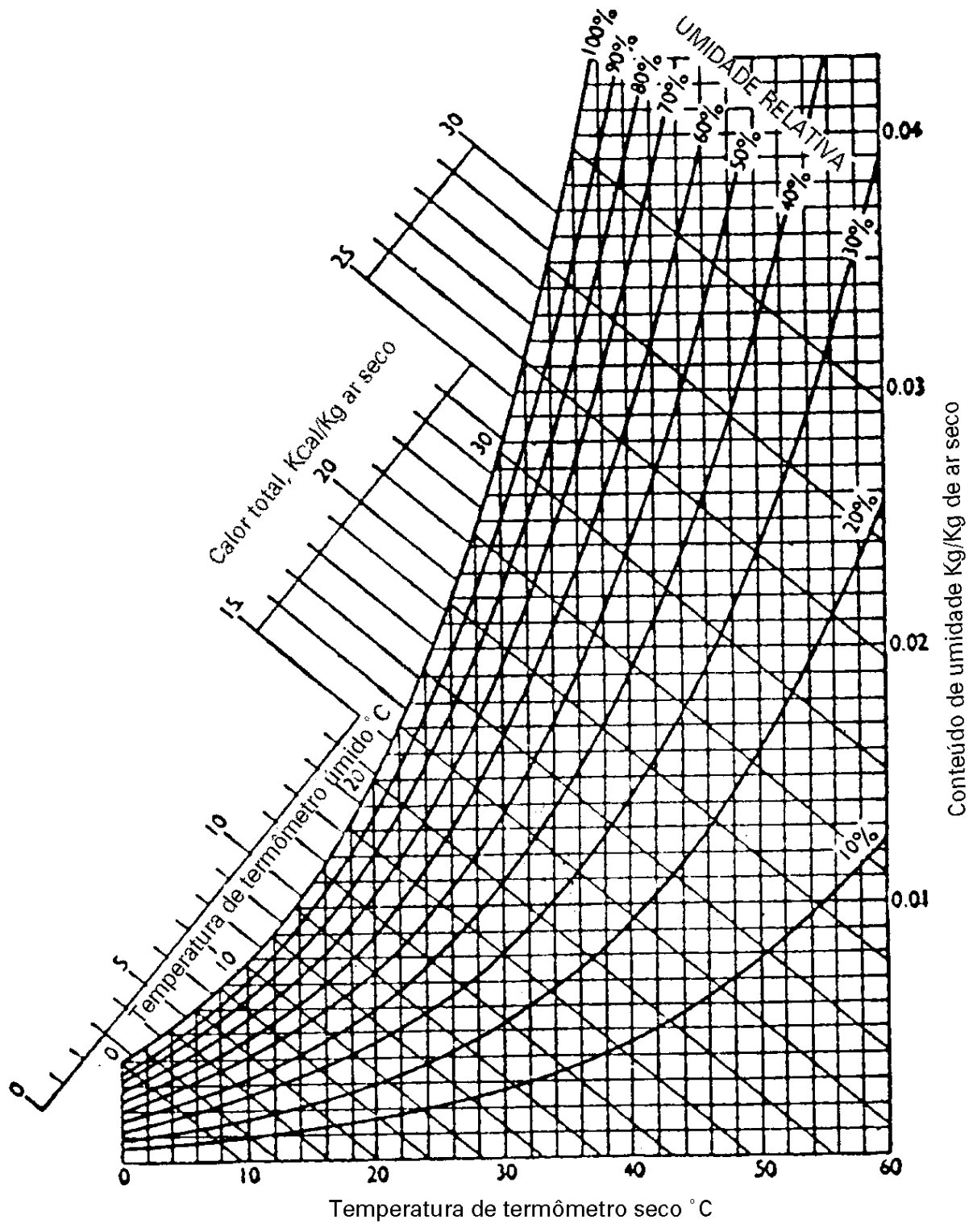
Exemplo 1:

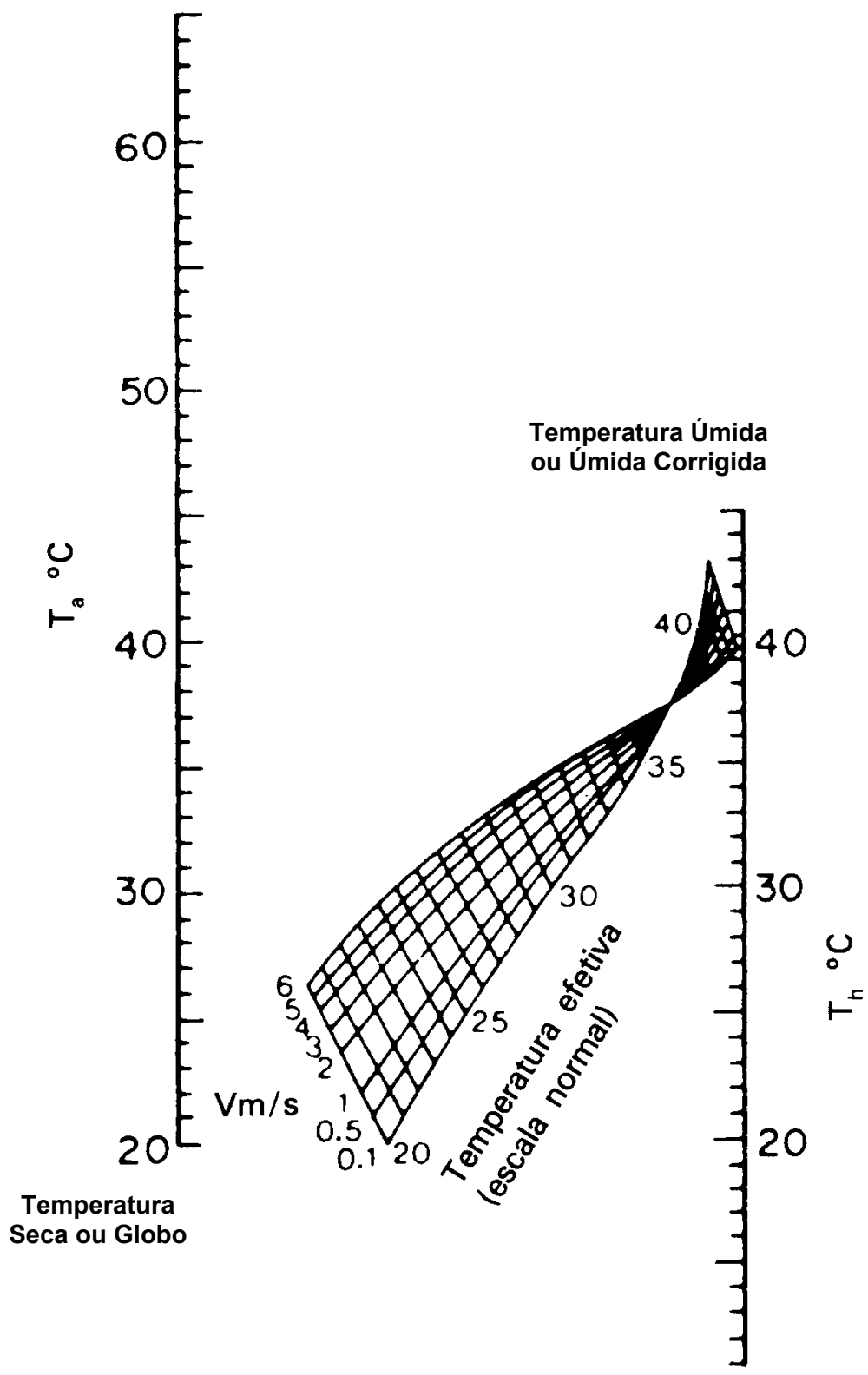
- Temperatura de Bulbo Seco (TBS) = 28°C
- Temperatura de Bulbo Úmido (TBN) = 21°C
- Temperatura de Globo (TG) = 28,5°C
- Velocidade do Ar = 0,5 m/s
- Temperatura Efetiva (TE) = 24°

Exemplo 2:

- Temperatura de Bulbo Seco (TBS) = 28°C
- Temperatura de Bulbo Úmido (TBN) = 21°C
- Temperatura de Globo (TG) = 31,0°C
- Velocidade do Ar = 0,5 m/s
- Temperatura Úmida Corrigida = 22°C
- Temperatura Efetiva (TEC) = 25,7°

A seguir é apresentada uma carta psicrométrica e o ábaco de temperatura efetiva.





## 6 FRIO

A legislação brasileira, na Portaria Mtb 3.214/78 NR 15, Anexo 9, especifica que trabalhos em câmaras frigoríficas ou similares que exponham o trabalhador ao frio, sem proteção, são considerados insalubres, em função do laudo do local. A NR 15 não especifica, entretanto, como é feita a avaliação para elaboração do laudo.

A Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) estabelece o seguinte:

*Artigo 253 - Para os empregados que trabalham no interior das câmaras frigoríficas e para os que movimentam mercadorias do ambiente quente ou normal para o frio e vice-versa, depois de 1 (uma) hora e 40 (quarenta) minutos de trabalho contínuo, será assegurado um período de 20 (vinte) minutos de repouso, computado esse intervalo como de trabalho efetivo.*

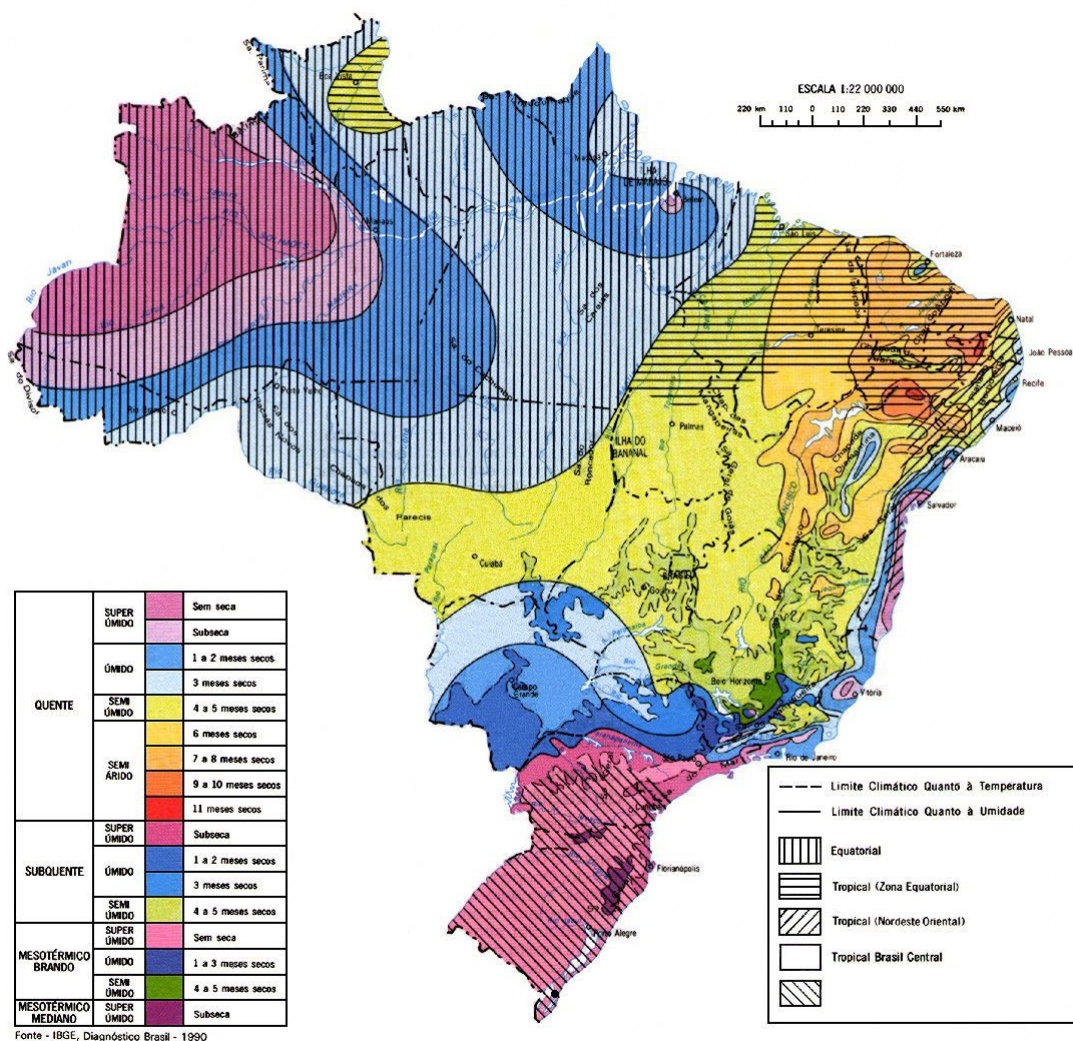
**Parágrafo único** - *Considera-se artificialmente frio, para os fins do presente artigo, o que for inferior, nas primeira, segunda e terceira zonas climáticas do mapa oficial do Ministério do Trabalho e Emprego, a 15°C (quinze graus), na quarta zona a 12°C (doze graus), e nas quinta, sexta e sétima zonas a 10°C (dez graus) –ver tabela 6.*

Tabela 6 - Limites de Temperatura – FRIO – CLT ART. 253

CLIMA	QUENTE			SUB QUENTE	MESOTÉRMICO BRANDO E MESOTÉRMICO MEDIANO		
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>		4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>
<b>ZONAS AMBIENTE ARTIFICIALMENTE FRIO</b>	<15°C			<12°C	<10°C		

As zonas climáticas são ilustradas no “mapa oficial” do IBGE.

Mapa 1.16  
Unidades Climáticas do Brasil



## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT, 1995 - NBR 5418/95, Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas, Associação Brasileira de Normas Técnicas São Paulo – SP.

ACGIH, 2001 - TLVs e BEIs, Limites de Exposição (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos e Índices Biológicos de Exposição (BEIs) - American Conference of Governmental Industrial Hygienists - Tradução autorizada para o português feita pela Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais - ABHO).

API, 1991 – American Petroleum Institute, Norma RP 500 – Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installation at Petroleum Facilities.

ASHRAE, 1983 - HANDBOOK 1981 FUNDAMENTALS, 1983 - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

BIOMED II HEAT STRESS, 1999 - Strategy for evaluation and prevention of risk due to work in thermal environments. *Annals of Occupational Hygiene*, **43**(5): 367-76, 1999.

BROUHA, L., 1960 - *Physiology in Industry*, Pergamon Press, New York.

BURTON AC., 1935 – Human calorimetry. The average temperature of the tissues of the body. *J. Nutr*; 9:261-80.

CANDAS, V., Libert J. P., Brandenberg G., 1985 – Hydration during exercise – Effects of thermal and cardiovascular adjustments. *European Journal of Applied Physiology* 55, 2, 113-122.

CLT, 1968 - Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), Editora Atlas SA, 20ª Edição, 1968 e Site do Ministério do Trabalho – [www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br).

COOPER TE, Trezeck GJ, 1971 – Correlation of thermal properties of some human tissue with water content. *Aerospace Med*; 42:24-7.

DUBOIS EF, 1948 – *Fever and the Regulation of Body Temperature*. Charles C. Thomas, Springfield, Ill.

EPA, 1995 - *A Guide to Heat Stress in Agriculture*, Environmental Protection Agency and Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

FANGER PO, 1972 – *Thermal comfort*. MacGarw Hill, New York.

FULLER, Frank H and Smith, Paul E. Jr, 1981 - Evaluation of Heat Stress in a Hot Workshop by Physiological Measurements, *American Industrial Hygiene Association Journal*, Volume 42, Number 1 (1981).

FUNDACENTRO, 2.002 – Norma para avaliação da exposição ocupacional ao calor, NHO 06.

IEC – International Electrotechnical Commission, Normas 79-0 a 79 18

ISO 7243, 1989 – Hot environments – estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature), International Organization for Standardization.

ISO 7726, 1998 – Thermal environments – instruments and methods for measuring physical quantities, International Organization for Standardization.

ISO 7933, 1989 – Hot environments – analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate, International Organization for Standardization.

ISO 8996, 1990 - Ergonomic – Determination of Metabolic Heat Production, International Organization for Standardization.

ISO 9886, 1992 - Evaluation of Thermal Strain by Physiological Measurements, International Organization for Standardization.

ISO 9920, 1995 – Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble, International Organization for Standardization.

JORDÃO, Dácio Miranda, 1998, - *Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo – Atmosferas Explosivas*, Rio de Janeiro – RJ.

KAMPMANN, B, 1997b – Working paper GT2/12 of BIOMED project BMH4-CT96-0648 “HEAT”. Rehydration in field experiments and laboratory investigations.

MTB, 2001 - Normas Regulamentadoras N° 15 e 17, *Manuais de Legislação de Segurança e Medicina do Trabalho* (2001), Atlas, São Paulo – SP e site do MTE ([www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br))

NFPA, 1998 – The National Electrical Code - National Fire Protection Association, Norma 70, Quincy, Massachusetts, USA.

NIOSH, 1972 – Criteria for a Recommended Standard – occupational exposure to the environments. U. S. Department of Health, Education and Welfare, Health Services and Mental Health Administration, NIOSH, HSM – 10269.

NIOSH, 1973 - National Institute for Occupational, Safety and Health: The Industrial Environment – its Evaluation & Control, U. S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, 1973.

NIOSH, 1986 - Criteria for a Recommended Standard... Occupational Exposure to Hot Environments – Revised Criteria. DHHS (NIOSH) Publication no. 86-113. Washington, DC. US Government Printing Office National Institute for Occupational, Safety and Health (NIOSH).

OSHA, 1999 - Technical Manual – Section III: Chapter 4 – HEAT STRESS Occupational Safety and Health Administration – U. S. Department of Labor (OSHA).

WHO, 1969 – Health factors involved in working under conditions of heat stress. Technical report 412. WHO Scientific Group on Health Factors Involved in Working under Condition of Heat Stress.