

Guia Técnico

sobre estratégia de amostragem e interpretação de resultados de avaliações quantitativas de agentes químicos em ambientes de trabalho

Procedimento Técnico

MINISTÉRIO
DO TRABALHO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO



Guia Técnico

*sobre estratégia de amostragem e
interpretação de resultados de avaliações
quantitativas de agentes químicos
em ambientes de trabalho*

Procedimento Técnico

Presidente da República

Michel Temer

Ministro do Trabalho

Caio Luiz Vieira de Mello

Fundacentro

Presidente

Leonice Alves da Paz

Diretor Executivo Substituto

Allan David Soares

Diretor Técnico

Robson Spinelli Gomes

Diretor de Administração e Finanças

Ricardo Felix

Dr. Albertinho Barreto de Carvalho

Guia Técnico

*sobre estratégia de amostragem e
interpretação de resultados de avaliações
quantitativas de agentes químicos
em ambientes de trabalho*

Procedimento Técnico

SÃO PAULO

MINISTÉRIO
DO TRABALHO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

2018

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.
Disponível também em: www.fundacentro.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Serviço de Documentação e Biblioteca – SDB / Fundacentro
São Paulo – SP
Erika Alves dos Santos CRB-8/7110

Carvalho, Albertinho Barreto de.

Guia técnico sobre estratégia de amostragem e interpretação de resultados de avaliações quantitativas de agentes químicos em ambientes de trabalho [texto] : procedimento técnico / Albertinho Barreto de Carvalho. – São Paulo : Fundacentro, 2018.

109 p. : il. (algumas color.), fórmulas ; 21 cm.

Resumo: Guia para definição de estratégia de amostragem para a determinação de concentração de agentes químicos no ar dos ambientes de trabalho. Orienta a análise estatística dos dados obtidos e a comparação destes dados com os valores de referência estabelecidos pela legislação brasileira.

Referências: p. 107-109.

Inclui lista de definições e conceitos.

ISBN 978-85-92984-06-9

1. Produtos químicos – Dosagem no ar. 2. Amostras de ar – Avaliação estatística – Descrição de técnica. 3. Riscos químicos. I. Título.

CIS Gi Qia

CDU 54-4:613.6

CIS – Classificação do “Centro Internacional d’Informacion de Sécurité et d’Hygiene du Travail”
CDU - Classificação Decimal Universal

Revisão estatística:

Dr. André Luis Santiago Maia – Pesquisador/CRBA

Colaboração:

Dra. Arline Sydneia Abel Arcuri (Tecnologista/CTN), Marco Antonio Bussacos (Tecnologista/CTN), Marcos Paiva Matos (Tecnologista/CRBA), Robson Rodrigues da Silva (Tecnologista/CRBA)

Ficha técnica

Editora-chefe: Glaucia Fernandes

Preparação de original: Karina Penariol Sanches

Revisão de textos: BR 75 - Clarisse Cintra

Projeto gráfico, capa e miolo: M&W Comunicação Integrada

Sumário

1. Introdução	9
2. Objetivo	11
3. Campo de aplicação	13
4. Referências normativas	15
5. Símbolos, abreviaturas e unidades	17
6. Definições e conceitos	21
6.1. Ambiente de trabalho	21
6.2. Avaliação	21
6.3. Bomba de amostragem	21
6.4. Coleta ou amostragem de ar	21
6.5. Coleta ou amostragem instantânea	21
6.6. Coletor ou amostrador de ar (sistema de amostragem de ar)	22
6.7. Concentração no ar – conversão de unidades	22
6.8. Conformidade	22
6.9. Distribuição lognormal	23
6.10. Fator de desvio (FD)	23
6.11. Fatores de redução de limites	24
6.12. Grupo Similar de Exposição (GSE) ou Grupo Homogêneo de Exposição (GHE)	26
6.13. Jornada ou turno de trabalho	26
6.14. Local de trabalho	27
6.15. Medição	27
6.16. Medição instantânea	27
6.17. Misturas – feito combinado ou aditivo	27

6.18. Monitoramento	30
6.19. Nível de ação	30
6.20. Período avaliado	31
6.21. Tempo de coleta ou de medição (duração)	32
6.22. Valor Máximo Permitido (VMP)	34
6.23. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho (VRAT)	34
6.24. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho – Média Ponderada no Tempo ($VRAT_{MPT}$)	35
6.25. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho – Valor Teto ($VRAT_{Teto}$)	35
6.26. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho – Curta Duração ($VRAT_{CD}$)	35
6.27. Vazão de coleta (ou de amostragem)	35
6.28. Zona de trabalho	35
6.29. Zona respiratória	35
7. Objetivos da avaliação quantitativa	37
8. Etapas da avaliação quantitativa	39
8.1. Reconhecimento ou caracterização básica	39
8.1.1. Referentes ao processo produtivo e à planta industrial	39
8.1.2. Referentes aos trabalhadores e aos processos de trabalho (empregados diretos e indiretos)	41
8.1.3. Resultados anteriores	41
8.2. Avaliação qualitativa e prioridades	42
8.3. Estratégia de avaliação quantitativa	42
8.3.1. Amostra ou coleta pessoal	43
8.3.2. Amostra ou coleta estacionária (de área ou de ponto fixo)	44
8.3.3. Tipos de amostras segundo a duração	45

8.3.3.1 Amostras únicas cobrindo todo o período	45
8.3.3.2 Amostras consecutivas cobrindo todo o período	46
8.3.3.3 Amostras parciais	48
8.3.3.4 Amostras/medições de curta duração ou instantâneas	50
8.3.4 Substâncias com $VRAT_{MPT}$ e sem $VRAT_{Teto}$ ou $VRAT_{CD}$	53
8.3.5. Substâncias com $VRAT_{MPT}$ e $VRAT_{CD}$	55
8.3.6. Substâncias com $VRAT_{MPT}$ e com $VRAT_{TETO}$	55
8.3.7. Substâncias que só possuem o $VRAT_{TETO}$	56
8.3.8. Substâncias que só possuem o $VRAT_{CD}$	57
8.3.9. Número mínimo de resultados necessários	58
8.3.9.1. Para substâncias com $VRAT_{MPT}$ sem $VRAT_{CD}$ ou $VRAT_{TETO}$	60
8.3.9.2. Para substâncias com $VRAT_{CD}$ ou $VRAT_{TETO}$	61
8.3.9.3. Critério NIOSH para grupos de trabalhadores (GSE ou GHE)	62
8.3.9.4. Critério da AIHA para grupos de trabalhadores (GSE ou GHE)	65
8.3.10. Avaliação inicial	66
8.3.11. Distribuição das amostras no tempo	66
9. Metodologia analítica	73
10. Interpretação dos resultados/julgamento	77
10.1. Princípios básicos	78
10.2. Bases para o julgamento	78
10.3. Critérios de julgamento	79
10.3.1. Para comparação com $VRAT_{MPT}$	79
10.3.2. Para comparação com $VRAT_{CD}$, $VRAT_{TETO}$ e VMP	80

10.4. Procedimentos de análise estatística	80
10.4.1. Análise preliminar dos dados	80
10.4.2. Análise estatística dos resultados representativos da jornada integral (MPT-8h) para comparação com $VRAT_{MPT}$	81
10.4.2.1. Julgamento/conclusões	84
10.4.3. Análise estatística dos resultados de curta duração e instantâneos para comparação com $VRAT_{CD}$, $VRAT_{TETO}$, ou VMP.	84
10.4.3.1. Julgamento/conclusões	87
10.4.4 Análise estatística dos resultados de exposição a misturas – efeito aditivo	87
10.4.5. Rejeição de resultados	87
10.4.6. Resultados abaixo do limite de quantificação ou detecção do método	88
11. Periodicidade dos monitoramentos – reavaliações	89
Apêndice 1. Análise estatística dos resultados obtidos: exemplos práticos	93
Apêndice 2. Utilizando programas estatísticos na internet	101
Bibliografia	107

1. Introdução

As avaliações ambientais dos agentes químicos inseridas nos programas previstos pela legislação brasileira de Segurança e Saúde no Trabalho (SST) – principalmente o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) – e nos laudos técnicos periciais têm sido questionadas com frequência por profissionais que atuam nas áreas de SST, auditores fiscais do trabalho, profissionais da vigilância da saúde e trabalhadores quanto à confiabilidade de seus resultados e das conclusões deles advindas. Uma das questões mais frequentemente levantadas é qual a quantidade de medições de concentração necessária para se chegar a um diagnóstico confiável, seja referente às exposições de trabalhadores ou à contaminação de locais de trabalho. Muitos indagam: como é possível concluir sobre a exposição de um trabalhador ou a contaminação de um local de trabalho por um agente químico realizando-se apenas uma ou duas medições no ano?

De fato, o Ministério do Trabalho (MT), através das ações de fiscalização e dos trabalhos desenvolvidos pela Fundacentro, tem constatado a existência de sérios problemas nos programas de monitoramento dos agentes químicos nos PPRA e também nos laudos técnicos ambientais emitidos por grande parte das empresas. Muitas delas nem realizam avaliações – a maioria faz apenas uma medição de concentração ao ano – e as poucas que se dispõem a avaliar um número mínimo de jornadas de trabalho apresentam incongruências na escolha dos dias e dos trabalhadores a serem monitorados, na interpretação de resultados e na periodicidade dos novos monitoramentos. As auditorias do MT têm constatado que o monitoramento das exposições agudas tem sido negligenciado pela maioria das empresas auditadas.

A avaliação quantitativa de agentes químicos requer investimentos financeiros e profissionais especializados que muitas vezes a torna inacessível para as pequenas empresas. Para estas, seria mais apropriado adotar metodologias de avaliação qualitativa dos riscos com base na experiência profissional, no conhecimento profundo dos processos produtivo e de trabalho, na percepção dos riscos, nas Fichas de Dados sobre Segurança dos Produtos Químicos e na participação dos trabalhadores.

2. Objetivo

Este guia visa contribuir (i) na definição da estratégia de amostragem para a determinação das concentrações dos agentes químicos no ar em ambientes de trabalho, seja na zona respiratória de trabalhadores ou em locais de trabalho, (ii) na análise estatística dos resultados obtidos e (iii) na comparação destes com os valores de referência para ambientes de trabalho (limites de concentração) à luz da legislação atualmente vigente no Brasil.

3. Campo de aplicação

Este guia técnico se destina, com exclusividade, à determinação das concentrações de agentes químicos em ambientes de trabalho, tanto em fase gasosa, como na forma de material particulado, para fins de avaliação da contaminação dos locais de trabalho e da exposição de trabalhadores, individualmente ou organizados em grupos. Contempla as poucas regulamentações sobre estratégia de amostragem e interpretação de resultados para os agentes químicos hoje contidas na legislação brasileira de SST, com a vantagem de ser mais abrangente, podendo, portanto, ser utilizado em complementação a elas.

Direcionado aos profissionais que atuam na área de SST, especialmente na área de Higiene Ocupacional, que realizam avaliações de agentes químicos nos ambientes de trabalho, fornece orientações para a definição da estratégia de amostragem e a interpretação estatística dos resultados obtidos por comparação com valores de referência para os ambientes de trabalho. Neste sentido, só deve ser utilizado por profissionais que possuam qualificação apropriada para utilizar metodologias de química analítica e manipular tanto equipamentos de amostragem e medição de substâncias químicas no ar, quanto protocolos ou programas computacionais de estatística aplicados à avaliação dos agentes químicos no ar em ambientes de trabalho.

O guia, ainda, traduz para linguagem técnica as exigências da legislação em vigor relativas às avaliações ambientais dos agentes químicos para atendimento às Normas Reguladoras nº 9 (NR 9 – PPRA) e nº 15 (NR 15 – Atividades e Operações Perigosas e Insalubres), Anexos 11 e 12. Para a substância química Benzeno, ainda está em vigor o Anexo 13-A, da NR 15, e a Instrução Normativa nº 1, de 25/12/1995 (IN 01/95), que trata da Determinação das Concentrações de Benzeno no Ar, muito embora os procedimentos apresentados neste guia sejam mais abrangentes do que os da própria IN 01/95.

Para as substâncias cancerígenas em humanos ou animais, recomenda-se que seja adotado o princípio da precaução, priorizando-se a eliminação desses agentes do processo produtivo. Caso isto não seja possível, a prioridade deve ser a adoção de medidas de controle coletivo basea-

das nas melhores tecnologias existentes para a eliminação das emissões da substância para o ambiente de trabalho. Conforme recomendações de várias instituições internacionais, entre elas o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH/EUA), a *Health and Safety Executive* (HSE/UK) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), as concentrações dessas substâncias devem ser mantidas nos níveis mais baixos possíveis.

As conclusões ou julgamentos que indiquem conformidade das concentrações em relação os valores de referência legais vigentes, atingidas com base nos procedimentos indicados neste guia, **não devem ser utilizadas como critério de exclusão ou negação do risco ou de dano à saúde dos trabalhadores**. Elas indicam apenas que o conjunto de resultados de concentrações no ar obtidos em um determinado período de tempo e na situação avaliada aponta para uma conformidade em relação aos valores de referência vigentes, sem, contudo, necessariamente refletir a exposição efetiva (dose absorvida) de cada trabalhador individualmente e os efeitos sobre a saúde deles, em especial daqueles mais suscetíveis. A dose de um agente químico absorvida por um determinado trabalhador ou grupo pode ser bem diferente daquela estimada a partir de resultados de concentração no ar obtidos na zona respiratória dele ou a partir de resultados obtidos em outro trabalhador do grupo. Isso porque as concentrações determinadas na zona respiratória de trabalhadores não levam em conta o esforço físico no exercício da atividade (que aumenta a frequência respiratória e, portanto, a quantidade de ar inalada), nem a absorção por outras vias de ingresso no organismo, nem a interação das misturas de poluentes que possam estar presentes no ar, nem a interação com outros agentes ou fatores de riscos presentes no ambiente de trabalho.

Este guia não abrange estudos de populações outras que não a de trabalhadores nem ambientes que não sejam os de trabalho. Também não contempla a análise crítica sobre as exigências da atual legislação brasileira (trabalhista e previdenciária), bem como a viabilidade (ou inviabilidade) técnica do seu cumprimento, principalmente por parte das pequenas empresas.

A escolha de métodos analíticos e de instrumentos de medição de concentração, assim como as medições ambientais realizadas para fins de avaliação da eficácia de medidas de controle, liberação de espaços confinados e isolamento de áreas contaminadas não fazem parte do escopo deste guia.

4. Referências normativas

Na aplicação deste guia, poderá ser necessário consultar:

- **NHO 07/2002:** *Calibração de bombas de amostragem individual pelo método da bolha de sabão*
- **NHO 08/2009:** *Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho*
- **NR 15/1978:** *Atividades e operações insalubres. Anexos 11, 12 e 13-A*
- **NR 9/1994:** *Programa de prevenção de riscos ambientais*
- **IN 01 de 20/12/1995:** *Avaliação das concentrações de benzeno em ambientes de trabalho*

NOTA:

Havendo edições mais recentes ou novas regulamentações e normas correlacionadas, recomenda-se sua utilização.

5. Símbolos, abreviaturas e unidades

ABHO = Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais

ACGIH® = American Conference of Governmental Industrial Hygienists

AIHA® = American Industrial Hygiene Association

BEI® = *Biological exposure indice (índice de exposição biológica), da ACGIH*

C = *Ceiling* (o mesmo que “Teto”)

C_{CD} = Concentração de curta duração

CD = Curta duração. Similar a STEL

$C_{Inst.}$ = Concentração instantânea

$C_{máx}$ = Concentração máxima (medida instantânea do pico de concentração)

C_{MPT} = Concentração média pondera no tempo

DP = Desvio padrão

DPG = Desvio padrão geométrico

DPY = Desvio padrão da média dos logaritmos neperianos

HSE = Health and Safety Executive, Reino Unido

FD = Fator de desvio

FR = Fator de redução para limites

GHE = Grupo homogêneo de exposição

GSE = Grupo similar de exposição

I_{LST} = Índice de julgamento do limite superior de tolerância

I_{MV} = Índice de julgamento para a média verdadeira do perfil de exposição

IN = Instrução Normativa

$I_{p95\%}$ = Índice de julgamento do percentil 95%

IPVS = Imediatamente perigoso à vida e à saúde

L/min = Litros por minuto (unidade de vazão de coleta de ar)

LQ = Limite de quantificação do método

LSC = Limite superior de confiança

LST = Limite superior de tolerância

LT = Limite de tolerância

LT_{MPT} = Limite de tolerância média ponderada no tempo

LT_{TETO} = Limite de tolerância valor teto

m^3 = Metro cúbico. Unidade de volume de ar ($1m^3 = 1000L$)

mg/m^3 = Miligrama de agente químico por metro cúbico de ar. Unidade de concentração

MA = Média aritmética

MAY = Média aritmética dos logaritmos neperianos das concentrações

MG = Média geométrica

MPT = Média ponderada no tempo (o mesmo que TWA)

NA = Nível de ação

NHO = Norma de higiene ocupacional

NIOSH = National Institute for Occupational Safety and Health

NR = Norma regulamentadora

OMS = Organização Mundial da Saúde

Osha = Occupational Safety & Health Administration

$P_{95\%}$ = Percentil 95%

ppm-v (ou ppm) = Parte do agente químico por milhão de partes de ar, em volume. Unidade de concentração equivalente a mililitros por metro cúbico de ar (ml/m^3)

PPRA = Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

SST = Segurança e Saúde no Trabalho

STEL= *Short term exposure limit* (limite de exposição de curto tempo)

t = parâmetro da distribuição “t” de Student. Valor tabelado

TLV®= *Threshold limit values* (valor limite de tolerância), da ACGIH

TWA = *Time weighted average* (o mesmo que MPT)

VMP = Valor máximo permissível

VRAT= Valor de referência para ambientes de trabalho

VRATs = Valores de referência para ambientes de trabalho

VRAT_{CD} = Valor de referência para ambientes de trabalho, curta duração

VRAT_M = Valor de referência para ambientes de trabalho, para misturas

VRAT_{MPT} = Valor de referência para ambientes de trabalho, média
ponderada no tempo de 8 horas

VRAT_{Teto} = Valor de referência para ambientes de trabalho, valor teto

VRT = Valor de referência tecnológico

Y = Logaritmo neperiano da concentração (Y = lnC)

6. Definições e conceitos

Para efeito deste guia aplicam-se as definições e os conceitos apresentados a seguir.

6.1. Ambiente de trabalho

Considera-se como sendo a área definida pelos limites físicos da empresa ou os locais onde o trabalhador circule ou exerça a sua atividade.

6.2. Avaliação

Processo ou conjunto de ações necessárias para se realizar uma caracterização da contaminação de um determinado local de trabalho ou da exposição ocupacional de trabalhadores. A determinação das concentrações dos agentes químicos no ar está contida no processo de avaliação quantitativa, constituindo-se, portanto, em uma de suas etapas.

6.3. Bomba de amostragem

Instrumento portátil e leve, dotado de bateria recarregável, que permita o ajuste da vazão definida pelo método e seja intrinsecamente seguro. A bomba deve possuir um sistema automático de controle de vazão com capacidade para mantê-la constante, dentro de um intervalo de $\pm 5\%$, durante o tempo de coleta.

6.4. Coleta ou amostragem de ar

Corresponde ao processo de se obter uma amostra do ar em um período de tempo específico para fins de determinação da concentração do agente químico.

6.5. Coleta ou amostragem instantânea

Corresponde ao processo de obtenção de uma amostra de ar representativa de um instante de modo a caracterizar o pico de concentração. Nestes casos, a duração da coleta deve ser de no máximo 5 minutos.

6.6. Coletor ou amostrador de ar (sistema de amostragem de ar)

Sistema composto por bomba de amostragem, mangueira e dispositivo de coleta (tubo adsorvente, *impinger*, ciclone com porta-filtro, monitor passivo etc).

6.7. Concentração no ar – conversão de unidades

Corresponde à quantidade total de agente químico por unidade de volume de ar. É expressa como massa por unidade de volume (mg/m^3) ou volume por unidade de volume (ml/m^3 ou ppm). A unidade mg/m^3 pode ser utilizada tanto para gases e vapores como para substâncias na forma de partículas. Já a unidade ppm, em volume, só pode ser empregada para gases e vapores. Entretanto, tem sido comum encontrar a unidade mg/m^3 aplicada aos Valores de Referência para Ambientes de Trabalho (VRATs) das substâncias na forma de partículas e a unidade ppm para os VRATs de gases e vapores. A conversão de mg/m^3 para ppm (em volume) para gases e vapores pode ser feita utilizando-se a equação (1):

$$\text{ppm} = \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) \times \frac{24,45}{PM} \times \frac{760}{P_{\text{atm}}} \times \frac{(\text{°C} + 273,15)}{298,15} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que,

mg/m^3 = valor da concentração no ar, expressa nesta unidade;

24,45 = volume molar do ar (em litros) na condição normal de temperatura e pressão – CNTP (25 °C e 1 atm);

PM = peso molecular da substância;

P_{atm} = pressão atmosférica no ato da coleta, em mmHg;

760 = pressão atmosférica nas CNTP (= 1 atm);

°C = temperatura, em graus centígrados, no ato da coleta;

273,15 = temperatura, em kelvin, correspondente a 0 °C;

298,15 = temperatura, em kelvin, correspondente a 25 °C.

6.8. Conformidade

Para efeito deste guia, conformidade significa que não houve violação dos limites de concentração (ou valores de referência) durante a jornada de trabalho e que a probabilidade (ou risco) de ocorrer violação ao longo do tempo é baixa. O cumprimento desta condição será

indicado como situação de **CONFORMIDADE**. O não cumprimento será indicado como **NÃO CONFORMIDADE**.

6.9. Distribuição lognormal

Distribuição de probabilidade cujo logaritmo das concentrações aleatórias tem distribuição normal (curva de Gauss), ou seja, se a concentração segue distribuição lognormal, então o seu logaritmo é normalmente distribuído. A distribuição lognormal é aplicável quando a quantidade de interesse assume apenas valores positivos, como o caso da concentração de agente químico no ar.

6.10. Fator de desvio (FD)

760 760 Representa o controle da dispersão das concentrações de curta duração durante uma jornada típica de trabalho para as substâncias que só possuem valores de referência do tipo média ponderada no tempo ($VRAT_{MPT}$), ou seja, que não sejam valor teto ($VRAT_{TETO}$) ou curta duração ($VRAT_{CD}$). Corresponde ao desvio máximo permitido da concentração em relação ao $VRAT_{MPT}$ de modo que esta média seja a mais representativa possível da estimativa da exposição. Excursões acima do valor médio têm que ser limitadas também como forma de prevenir efeitos agudos ainda desconhecidos para a substância.

Para efeito deste guia, os fatores de desvio (FD) estão apresentados na Tabela 1 (ou aqueles que venham substituí-los) e são similares aos estabelecidos no Quadro 2, do Anexo 11 da NR 15. São utilizados para o cálculo do valor máximo permissível (VMP), descrito adiante, no item 6.22.

Tabela 1 – Adaptação do Quadro 2 do Anexo 11, da NR 15 – Fatores de Desvio*

$VRAT_{MPT}$ (mg/m^3)**	FD
$0 < VRAT \leq 1,0$	3
$1,0 < VRAT \leq 10,0$	2
$10,0 < VRAT \leq 100$	1,5
$100 < VRAT \leq 1000$	1,25

(...)

(...)

VRAT _{MPT} (mg/m ³)**	FD
VRAT > 1000	1,1

* Esta tabela apresenta correções nas faixas de limite de tolerância (LT) e nas unidades de concentração em relação ao original publicado no Anexo 11, da NR 15 (Portaria nº 3.214/1978).

** A unidade mg/m³ é aplicável tanto para as substâncias no estado gasoso, como na forma de material particulado (poeiras, fumos, névoas etc.).

6.11. Fatores de redução de limites

Os Limites de Tolerância (LT) constantes no Quadro 1 do Anexo 11 foram originários da tabela de *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices* (TLVs[®] and BEIs[®]) – valor limite de tolerância e índice de exposição biológica – da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH/EUA), a qual adota a jornada de trabalho de 8 horas diárias e 40 horas semanais. Para adequar os valores de limites de 40 horas semanais à jornada brasileira de 48 horas semanais (jornada estendida), foram aplicados Fatores de Redução (FR) aos TLVs[®] da ACGIH. Os fatores de redução foram obtidos a partir do modelo desenvolvido pelos pesquisadores Brief & Scala¹, utilizando a equação (2) abaixo.

$$FR_{\text{jornada semanal}} = \frac{40 \times \frac{168 - h}{128}}{h} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que,

40 = jornada de trabalho padrão dos TLVs[®] da ACGIH;

h = jornada de trabalho semanal vigente na NR-15 (48 horas);

168 = total de horas da semana (7 dias x 24h/dia);

128 = total de horas de descanso na semana (168h - 40h).

O FR obtido foi multiplicado pelo TLV da ACGIH, obtendo-se, assim, o valor do LT reduzido para a jornada de até 48 horas semanais.

1 Mais informações sobre o modelo Brief & Scala, bem como sobre outros modelos propostos para redução de limites de exposição podem ser obtidas em "Models for adjusting occupational exposure limits", In: HARRIS, R. L.; CRAWLEY, L. J.; CRAWLEY, L. V. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. New York: John Wiley & Sons, 1998. v. 3A. chapter 07-247.

Dessa forma, de modo a preservar a coerência, todos os VRATs que forem importados de países que adotem a jornada típica de trabalho inferior a 48 horas semanais (ex.: 40 horas semanais, como na ACGIH, OSHA, HSE etc.) devem ter seus valores reduzidos, multiplicando-se o valor do limite importado pelo FR calculado, conforme demonstrado a seguir.

Exemplo de cálculo de FR semanal pelo modelo Brief & Scala

Substância: n-Hexano; sem limite de tolerância estabelecido na NR 15, Anexo 11.

Seguindo orientação da NR 9, na ausência de limites na NR 15, recorre-se ao TLV®-TWA (*Time Weighted Average*) da ACGIH, que, no TLVs® and BEIs® de 2015, era 50 ppm, 8h/dia e 40h/semana. Para adequá-lo ao padrão de tempo dos limites de tolerância do Anexo 11/NR 15 (até 48 horas semanais), é necessário aplicar o FR para o TLV®-TWA da ACGIH, ou seja:

Calculando o FR:

$$FR_{\text{jornada semanal}} = \frac{40 \times 168 - 48}{48 \times \frac{128}{128}} = 0,78$$

O limite de tolerância a ser adotado no Brasil será:

$$LT\text{-}MPT_{\text{reduzido}} = TLV^{\circ}\text{-}TWA \times 0,78 = 50 \times 0,78 = 39 \text{ ppm}$$

Existem situações, contudo, em que a jornada semanal de trabalho é menor do que 40 horas, mas a jornada diária é maior do que 8 horas. Por exemplo, quem trabalha 12 horas por dia e folga 24 horas. Apesar de a jornada semanal ser reduzida, a exposição diária se dá por um tempo muito superior ao admitido pelo VRAT_{MPT}, aumentando perigosamente a dose absorvida pelo trabalhador. Neste sentido, Brief & Scala também propuseram uma equação similar à anterior, porém para calcular o FR para a jornada de trabalho diária, conforme apresentado a seguir (equação 3).

$$FR_{\text{jornada semanal}} = \frac{8}{h} \times \frac{24 - h}{16} \tag{Eq. (3)}$$

Em que,

h = jornada de trabalho diária;

24 = total de horas do dia;

16 = horas de descanso.

Exemplo de cálculo de FR diário pelo modelo Brief & Scala

Trabalhador exposto a n-Hexano; jornada diária de 12 horas, sendo que a jornada padrão é de 8 horas. O cálculo do FR nos dará:

$$FR_{\text{jornada semanal}} = \frac{8}{12} \times \frac{24 - 12}{16} = 0,5$$

O LT-MPT para a jornada de 12 h/dia será:

$$LT-MPT_{\text{reduzido}} = 50 \text{ ppm} \times 0,5 = 25 \text{ ppm}$$

NOTA:

As fórmulas de Brief & Scala não podem ser aplicadas para aumentar o valor dos VRATs nos casos em que a jornada de trabalho, diária ou semanal, seja menor do que aquela associada ao VRAT. Como exemplos, temos as jornadas de 6 horas diárias e/ou 36 horas semanais e as de 44 horas semanais.

A não aplicação de FR em valores de limites importados de outros países (como os da ACGIH) pode levar a conclusões equivocadas no julgamento final, visto que a exposição do trabalhador estaria sendo subestimada.

6.12. Grupo Similar de Exposição (GSE) ou Grupo Homogêneo de Exposição (GHE)

Grupo constituído por trabalhadores que, se adequadamente constituídos, experimentam exposição semelhante de forma que o resultado fornecido pela avaliação da exposição de qualquer trabalhador do grupo seja representativo da exposição do restante dele. Isso, no entanto, não significa que o resultado de concentração obtido no trabalhador escolhido ao acaso seria o mesmo obtido nos demais trabalhadores do grupo, pois existe uma variabilidade das concentrações dentro do próprio grupo em uma mesma jornada de trabalho e em jornadas diferentes.

6.13. Jornada ou turno de trabalho

Refere-se ao período durante o qual o trabalhador exerce, efetivamente, sua atividade, por exemplo: jornadas diárias de 8 horas, de 6 horas, de 12 horas; jornada semanal de 48 horas.

Para efeito deste guia, considera-se que o turno ou jornada de trabalho típico é aquele definido na legislação de SST em vigor. Para jornadas superiores (diárias e/ou semanais), aplicar os fatores de redução descritos no item 6.11 deste guia.

6.14. Local de trabalho

Local onde o trabalhador desenvolve suas atividades.

6.15. Medição

É a determinação da concentração do agente químico realizada com instrumentos de leitura direta que forneçam a leitura da concentração no ato da determinação/medida.

6.16. Medição instantânea

É a medição realizada com instrumentos de leitura direta representativa de um dado instante. O tempo de medição deve ser o mais breve possível, de preferência não superior a 5 minutos, de modo que possa caracterizar o pico de concentração.

6.17. Misturas – efeito combinado ou aditivo

Conforme orientação da ACGIH (2012), quando duas ou mais substâncias químicas que estão presentes no ar apresentam efeito toxicológico sobre o mesmo órgão ou sistema orgânico humano, os seus efeitos combinados devem ser considerados prioritariamente em relação aos efeitos individuais. Na ausência de informações contrárias, os efeitos de diferentes fatores de riscos devem ser considerados aditivos.

Na prática, isto pode ser feito somando-se o produto da razão entre a concentração medida – seja ela uma média ponderada de 8 horas, uma média ponderada de 15 minutos ou uma medição instantânea – e o VRAT ou VMP correspondente. O resultado da soma das frações deve ser, no máximo, igual à unidade (1,0), isto é:

$$\frac{C_{(A)}}{VRAT_{(A)}} + \frac{C_{(B)}}{VRAT_{(B)}} + \dots + \frac{C_{(N)}}{VRAT_{(N)}} \leq 1,0 \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que,

$C_{(A)}$, $C_{(B)}$, $C_{(N)}$ = concentrações dos agentes químicos A, B, N;
 $VRAT_{(A)}$, $VRAT_{(B)}$ e $VRAT_{(N)}$ = valores de referência correspondentes.

O VRAT da mistura ($VRAT_M$) será considerado excedido quando o resultado da soma na equação (4) for superior a 1,0, ou seja, $VRAT_M > 1,0$.

Esta fórmula aplica-se tanto na avaliação da exposição durante a jornada inteira de trabalho (8 horas), como nas exposições de curta duração, ou seja, podem ser utilizados os $VRAT_{MPT}$, os $VRAT_{Teto}$, os $VRAT_{CD}$ e os VMP. O livreto TLVs® & BEIs® da ACGIH (2012) apresenta, no Quadro 1, as possibilidades de combinações mostradas no Quadro 1 deste guia.

Quadro 1 - Combinações possíveis dos limites para o cálculo do $VRAT_M^{(*)}$

Avaliação da jornada integral ou de curta duração	Substância A	Substância B
Jornada integral	$VRAT_{MPT}$	$VRAT_{MPT}$
Jornada integral	$VRAT_{MPT}$	$VRAT_{Teto}$
Curta duração	$VRAT_{CD}$	$VRAT_{CD}$
Curta duração	$VRAT_{CD}$	$VRAT_{Teto}$
Curta duração	$VRAT_{Teto}$	$VRAT_{Teto}$
Curta duração	$VRAT_{CD}$ ou $VRAT_{Teto}$	VMP (quando não há $VRAT_{CD}$ ou $VRAT_{Teto}$)

(*) Adaptado da Tabela E-1. *Combinações Possíveis dos Limites de Exposição na Aplicação da Fórmula Aditiva para Misturas*, do Anexo E, do livreto TLVs® e BEIs® da ACGIH. Tradução da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO), 2012, p. 83.

Para o agrupamento das substâncias como mistura, o efeito crítico à saúde que serviu de base para o estabelecimento do VRAT é que deve

ser utilizado como referência. O livreto da ACGIH apresenta, na última coluna da tabela dos TLVs®, o efeito crítico base para o TLV que deve ser utilizado para fins de cálculo do TLV de mistura. Uma substância pode ter um ou mais efeitos críticos base para o TLV, por exemplo: irritante para o trato respiratório superior; irritante para os olhos; dano no sistema nervoso central (SNC) etc. Sendo assim, deve-se buscar o efeito que agrupa o maior número de substâncias para o cálculo do TLV e também realizar tantas combinações quantas sejam possíveis, de modo a demonstrar que o VRAT da mistura não foi ultrapassado para qualquer dos efeitos combinados. O livreto também apresenta um exemplo numérico ilustrativo.

Exemplo:

Um trabalhador exposto a uma mistura de três solventes orgânicos (A, B e C) foi avaliado durante uma jornada inteira de trabalho e durante a única atividade crítica de curta duração que realizou. Os resultados das concentrações MPT da jornada integral e da atividade de curta duração estão apresentados na Tabela 2 a seguir.

A substância B não possui um VRAT_{CD} atribuído. Por esta razão, utiliza-se o VMP calculado por meio da equação (4) e utilizando os fatores de desvio da Tabela 1 deste guia ($VMP = VRAT_{MPT} \times 1,25$). Após a realização das medidas de concentração instantânea durante a atividade de curta duração, o resultado mais elevado (150 ppm) é utilizado para o cálculo do VRAT_M para a atividade de curta duração. Todos os três solventes apresentam ação irritante para o trato respiratório superior, portanto, seus efeitos serão considerados aditivos.

Tabela 2 Resultados de concentração – exposição à mistura

Substância	Resultado MPT(ppm)	VRAT _{MPT} (ppm)	Resultado CD (15 min) ou Instantâneo (ppm)	VRAT _{CD} (ppm)	VMP (ppm)
A	160	500	490	750	-
B	20	200	150	-	250
C	90	200	220	300	-

(Fonte: próprio autor)

Cálculo do $VRAT_M$ para jornada integral utilizando a equação (4):

$$\frac{C_{(A)}}{VRAT_{(A)}} + \frac{C_{(B)}}{VRAT_{(B)}} + \dots + \frac{C_{(N)}}{VRAT_{(N)}} \leq 1,0$$

$$160/500 + 20/200 + 90/200 = 0,32 + 0,10 + 0,45 = 0,85$$

Ou seja, $VRAT_M$ não foi excedido na jornada integral.

Cálculo para exposição de curta duração utilizando a equação (4):

$$\frac{C_{CD(A)}}{VRAT_{CD(A)}} + \frac{C_{Inst.(B)}}{VMP_{(B)}} + \frac{C_{CD(C)}}{VRAT_{CD(C)}} \leq 1,0$$

$$490/750 + 150/(200 \times 1,25) + 220/300 = 0,65 + 0,60 + 0,73 = 1,98$$

Ou seja, o $VRAT_M$ para a atividade de curta duração foi excedido.

Segundo a ACGIH, o modelo também se aplica a exposições consecutivas a diferentes agentes na jornada, exceto para substâncias com $VRAT_{TETO}$. A fórmula do TLV para misturas não oferece proteção adequada quando a mistura contém substâncias que tenham efeitos sinérgicos nem deve ser utilizada para misturas complexas, com grande número de componentes, como gasolina, emissões de diesel, produtos de termodecomposição, cinzas no ar etc. (ACGIH, 2012). É importante consultar o livreto da ACGIH para a correta utilização do TLV de misturas.

6.18. Monitoramento

Corresponde ao acompanhamento periódico da concentração dos agentes químicos no próprio ambiente de trabalho ou na zona respiratória de trabalhadores.

6.19. Nível de ação

De acordo com a NR 9, “[...] considera-se nível de ação (NA) o valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições a agentes ambientais ultrapassem os limites de exposição [...]”. Para os agentes químicos, o nível de ação é definido na NR 9 como sendo o valor correspondente à metade do limite de exposição ocupacional.

De acordo com o manual de estratégia do NIOSH (LEIDEL et al., 1977) e com a planilha IHStat (Mulhausen, 2013), para garantir uma probabilidade elevada (95%) de que não mais do que 5% das exposições não medidas excedam o VRAT, o nível de ação deverá ser reduzido à medida que aumenta o desvio padrão geométrico (DPG), seguindo o disposto na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 Nível de ação recomendado em função do DPG(*)

DPG	NA
≤1,25	0,5 VRAT _{MPT}
1,3	0,4 VRAT _{MPT}
1,5	0,25 VRAT _{MPT}
2,0	0,1 VRAT _{MPT}
>2,0	Grande variabilidade
≥ 3,0	Processo fora de controle ou grupo pobremente definido

(*) Adaptado de Leidel et al. (1977) e Mulhausen (2013)

Com base na tabela acima, o NA pode ser um parâmetro móvel e deve ser estabelecido para cada situação ou grupo de trabalhadores avaliado, não sendo correto, portanto, o estabelecimento de um valor fixo. Na prática, valores de DPG abaixo de 1,3 indicam baixa variabilidade das concentrações no ar e são dificilmente atingidos em atmosferas complexas e de ambientes abertos. Por outro lado, valores de DPG entre 1,5 e 2,0 são mais encontrados, indicando que, ao se estabelecer um valor fixo, um nível de ação correspondente a 1/10 do limite seria o mais apropriado, pois estaria contemplando a maioria das situações reais. Para valores de DPG acima de 2, a variabilidade já é muito grande e nenhum nível de ação pode ser sugerido. Nestas circunstâncias, medidas devem ser adotadas para reduzir a dispersão das concentrações.

6.20. Período avaliado

Corresponde ao período de tempo que está em avaliação, como, por exemplo, a jornada de trabalho, um determinado mês, semestre ou ano de trabalho.

Exemplos:

- a) Coleta de uma amostra de ar realizada por 6 horas, durante uma jornada de trabalho de 8 horas. O período em avaliação é a jornada de trabalho (8 horas); a duração da coleta é de 6 horas.
- b) Três amostras coletadas durante a jornada de trabalho de 8 horas, tendo cada uma delas a duração de 2h30. O período avaliado é de 8 horas (jornada de trabalho); a duração de cada coleta é de 2h30.
- c) Dez amostras de jornada de 8 horas coletadas ao longo do período de seis meses. O período avaliado é o semestre; a duração de cada coleta pode ser variável, desde que representativa da jornada de trabalho específica.

6.21. Tempo de coleta ou de medição (duração)

Corresponde ao tempo gasto na coleta da amostra de ar ou na medição da concentração do agente químico utilizando instrumentos de leitura direta. A duração da coleta ou da medição deve ser o suficiente para a obtenção do volume mínimo de ar adequado à sensibilidade do método analítico ou do instrumento de medição para a faixa de concentração que se pretende quantificar.

Para determinações utilizando-se instrumentos de leitura direta, a duração de cada medição é definida pelo fabricante do equipamento, podendo variar de alguns segundos até vários minutos (geralmente, até 10 minutos).

Sempre que o método analítico permitir, a duração da coleta deve cobrir o período de tempo estabelecido pelo limite de concentração a ser utilizado, de modo a possibilitar a comparação com o resultado obtido.

Exemplos:

- a) Se o agente químico tiver um $VRAT_{CD}$ de 15 minutos (Ex.: TLV®-STEL), a duração da coleta da amostra de ar deve ser de, no máximo, 15 minutos.

- b) Se o agente químico tiver um $VRAT_{MPT}$ de 8 horas (Ex.: TLV®-TWA), a duração da coleta da amostra de ar deve ser de, no máximo, 8 horas (480 minutos). Se o tempo de exposição for maior do que 8 horas, o $VRAT_{MPT}$ da jornada deve ser reduzido para o tempo efetivamente trabalhado, aplicando-se o fator de redução descrito no item 6.11 deste guia.
- c) Se o agente químico tiver um $VRAT_{TETO}$ (Ex.: TLV®-Ceiling), a duração da coleta ou medição deve ser o mais rápido que o método permita, de modo a produzir um resultado de concentração instantânea.

Quando a metodologia analítica não permitir que a duração da coleta seja representativa do período de tempo estabelecido pelo $VRAT$, será necessário realizar coletas de amostras consecutivas, conforme será descrito adiante.

Nem sempre a duração ou tempo de coleta ou medição corresponderá ao tempo de efetiva exposição. Por exemplo:

- a) O trabalhador está exposto a um determinado agente químico que possui limite de concentração de curta duração (15 minutos). A atividade realizada pelo trabalhador dura 25 minutos (tempo de efetiva exposição) e a exposição é similar ao longo do período da atividade. Neste caso, para atender ao limite de concentração, a duração da coleta deve ser de, no máximo, 15 minutos, mas ainda ficarão os 10 minutos restantes da atividade, cuja exposição é similar. Será necessário realizar uma nova coleta com duração de 15 minutos cobrindo o restante da atividade, visto que não se sabe em qual dos períodos a concentração obtida será maior. Neste segundo momento, o tempo de efetiva exposição será de apenas 10 minutos. A coleta terá que se estender por mais 5 minutos, mesmo o trabalhador não estando mais exposto.
- b) Se for possível identificar o período de 15 minutos mais críticos da exposição, a coleta deve ser realizada durante ele, não sendo necessário efetuar nova coleta no período restante.

6.22. Valor Máximo Permitido (VMP)

É o valor de concentração que não pode ser ultrapassado em momento algum da jornada. Corresponde ao valor máximo permitido estabelecido no Anexo 11, da NR 15, e pela ACGIH/EUA, no capítulo introdutório do livreto TLVs® & BEIs®. A ultrapassagem do VMP indica processo ou atividade sem controle adequado. De acordo com o Anexo 11, da NR 15, a violação do VMP caracteriza-se como uma **situação de risco grave e iminente**.

O mesmo anexo da NR 15 estabelece que o VMP seja calculado como função dos FD, a partir da equação (5):

$$\text{VMP} = \text{LT}_{\text{MPT}} \times \text{FD} \qquad \text{Eq. (5)}$$

Tome-se como exemplo uma substância no estado gasoso (o vapor de um solvente orgânico, por exemplo) cujo LT-MPT = 5 ppm (a coluna Valor Teto não deve estar assinalada). Enquadrada, portanto, na faixa de LT da Tabela 1 do item 6.10 deste guia, seu FD = 2. O VMP para esta substância será: $\text{VMP} = 5 \times 2 = 10$ ppm.

NOTA:

Para os limites de tolerância estabelecidos na NR 15, Anexos 11 e 12 – originados da ACGIH –, o cálculo do VMP é realizado aplicando-se os fatores de desvio do Quadro 2 do Anexo 11 (apresentado na Tabela 1 deste guia). Nos casos em que for necessário adotar outros TLVs® da ACGIH para substâncias que não possuem limites estabelecidos na NR 15, os cálculos do VMP devem utilizar o mesmo critério.

6.23. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho (VRAT)

É a concentração limite do agente químico tomada como referência para os ambientes de trabalho, conforme estabelecida pelo Ministério do Trabalho. No Brasil, atualmente estão em vigor os limites de tolerância da NR 15, os TLVs® da ACGIH/EUA, conforme orientação da NR 9, e o Valor de Referência Tecnológico (VRT), para o Benzeno, estabelecido pelo Anexo 13-A, Portaria nº 14, de 20/12/1995.

6.24. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho – Média Ponderada no Tempo ($VRAT_{MPT}$)

É a concentração limite do agente químico – média ponderada no tempo – para uma jornada típica de até 8 horas diárias e até 48 horas semanais. Representa a concentração média ponderada admissível para a jornada de trabalho. Corresponde aos limites de tolerância da NR 15, Anexos 11 e 12, que não possuem a coluna Valor Teto assinalada, ao VRT_{MPT} do benzeno (NR 15, Anexo 13-A) e aos TLVs®-TWA, da ACGIH/EUA, ou outros com as mesmas características.

6.25. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho – Valor Teto ($VRAT_{Teto}$)

É a concentração limite do agente químico, do tipo Teto, ou seja, valor que não pode ser ultrapassado em momento algum da jornada. Representa a máxima concentração instantânea admissível durante os momentos críticos de exposição. Corresponde aos limites de tolerância da NR 15, Anexo 11, que possuem a coluna Valor Teto assinalada, e aos TLV®-Ceiling (TLV®-C), da ACGIH/EUA.

6.26. Valor de Referência para Ambientes de Trabalho – Curta Duração ($VRAT_{CD}$)

É a concentração limite do agente químico para períodos de curta duração, em geral 15 minutos. Corresponde aos TLVs®-STEL, da ACGIH/EUA.

6.27. Vazão de coleta (ou de amostragem)

Volume de ar, geralmente em litros, que passa através do dispositivo de coleta, por unidade de tempo, geralmente em minutos.

6.28. Zona de trabalho

Corresponde a uma zona espacial ou organizacional definida onde o trabalhador desenvolve sua(s) atividade(s). Pode ser formada por um ou mais locais ou frentes de trabalho.

6.29. Zona respiratória

Região hemisférica com um raio de 150 ± 50 mm, medido a partir das narinas do trabalhador.

7. Objetivos da avaliação quantitativa

A determinação das concentrações dos agentes químicos no ar nos ambientes de trabalho pode ser realizada para atender aos seguintes objetivos:

- a) Estimar e monitorar a exposição dos trabalhadores durante a jornada de trabalho e ao longo do tempo para registros e estudos epidemiológicos.
- b) Conhecer os níveis de concentração em locais ou zonas de trabalho
- c) Conhecer os níveis de concentração de espaços confinados.
- d) Subsidiar projetos de implantação de medidas de controle e avaliar sua eficácia.
- e) Verificar a conformidade dos ambientes de trabalho e das exposições ocupacionais com os VRAT estabelecidos na legislação.
- f) Diagnosticar fontes de contaminação dos locais de trabalho.
- g) Prevenir a exposição de trabalhadores a concentrações elevadas através do monitoramento contínuo do ambiente de trabalho, em tempo real, utilizando instrumentos de leitura direta da concentração dotados de alarmes pré-ajustados.

As orientações deste guia são aplicáveis aos objetivos dos subitens (a), (b), (e) e (g).

8. Etapas da avaliação quantitativa

8.1. Reconhecimento ou caracterização básica

Esta etapa envolve a coleta inicial de informações, a visita aos locais de trabalho para observações detalhadas e a definição dos grupos de trabalhadores. A consulta aos trabalhadores e a discussão com eles são elementos fundamentais para uma correta caracterização.

As informações levantadas nesta etapa são de vital importância para as demais e devem incluir os procedimentos de operação/produção normal, as paradas para manutenção, os procedimentos pré-operacionais e as situações críticas.

A seguir, seguem as informações a serem levantadas.

8.1.1. Referentes ao processo produtivo e à planta industrial

- a) Relação de todos os equipamentos (bombas, tanques, vasos, colunas de extração, de destilação, de secagem, reatores, misturadores, ciclones, tubulações, trocadores de calor, esteiras transportadoras, britadores, aquecedores, peneiras etc.) que contenham agentes químicos ou por onde eles circulem, suas características e localização no processo ou na planta industrial.
- b) Relação de todas as possíveis fontes de emissão de agentes químicos para a atmosfera (respiros, flanges, selos de bombas, *vents*, válvulas, válvulas de alívio de pressão etc.), identificando sua localização no processo ou na planta.
- c) Descrição do processo produtivo enfatizando as circunstâncias, as fases do processo ou os procedimentos que podem contribuir para a contaminação dos ambientes de trabalho pelos agentes químicos.
- d) Quantidade dos agentes químicos processados (como matéria-prima, como produto e como insumo, quando for o caso).
- e) Informações relativas aos agentes químicos: 1. propriedades físico-químicas (ponto de fusão, ponto de ebulição, pressão de

vapor, densidade do vapor no ar, solubilidade na água etc.); 2. parâmetros relativos à segurança (explosividade, inflamabilidade, temperatura de autoignição etc.); 3. parâmetros de higiene ocupacional e saúde (odor, limite de odor, VRATs, IPVS, efeitos sobre a saúde, incluindo carcinogenicidade, mutagenicidade e teratogenicidade etc.). As fichas de dados de segurança das substâncias químicas fornecidas por empresas apresentam muitas dessas informações, mas não devem ser as únicas fontes consultadas, pois podem estar incompletas ou defasadas. É necessário recorrer a outras bases de dados nacionais e internacionais, podendo ser por meio de bibliotecas de universidades e instituições como a própria Fundacentro.

- f) Parâmetros operativos, como temperatura e pressão, nas várias fases do processo e nos equipamentos contendo os agentes químicos ou por onde eles circulem.
- g) Diagrama de bloco, ou fluxograma simplificado e *layout* da planta industrial, ou processo produtivo contendo as disposições dos equipamentos e as fontes relacionadas nos itens (a) e (b) acima.
- h) Descrição dos locais de trabalho, enfatizando se são ambientes abertos ou fechados (se fechados, área e pé direito), a ventilação local e a existência ou não de equipamentos de proteção coletiva.
- i) Dados climáticos: temperatura do local de trabalho, umidade relativa do ar e direção e velocidade dos ventos, com as respectivas taxas de predominância.
- j) Interferência de áreas vizinhas aos locais de trabalho.

8.1.2. Referentes aos trabalhadores e aos processos de trabalho (empregados diretos e indiretos)

- a) Identificação das zonas de trabalho e da posição ou distância dos trabalhadores em relação às fontes de emissão dos agentes químicos.

- b) Descrição das funções, dos procedimentos e das atividades dos trabalhadores, enfatizando o tempo de duração de cada atividade ou de permanência do trabalhador no local, frequência de cada operação ou procedimento na jornada de trabalho e ao longo do tempo e **identificação clara das atividades de CURTA DURAÇÃO**.
- c) Levantamento do número de trabalhadores expostos a cada agente químico ou mistura, identificando aqueles com atividades tais que possam ser separados em grupos similares de exposição.
- d) Identificação e quantificação de trabalhadores avaliados, a *priori*, como de maior risco de exposição.
- e) Descrição das atividades, dos procedimentos e das zonas de trabalho avaliados, a *priori*, como de maior risco de exposição.
- f) Duração da jornada e do regime de trabalho.
- g) Dados indicativos de possível comprometimento da saúde devido à exposição aos agentes químicos.

8.1.3. Resultados anteriores

- i. Reunir todos os resultados de medições e monitoramentos realizados anteriormente (amostras pessoais e estacionárias), quando existirem.
- ii. Reunir todos os resultados de medições já realizadas de fontes de emissão, em situações de emergência, na avaliação de medidas de controle etc.

8.2. Avaliação qualitativa e priorizações

A avaliação qualitativa antecede a avaliação quantitativa, mas foge ao escopo deste guia. É imprescindível ter em mente que não há avaliação quantitativa bem-sucedida sem que tenha sido precedida de uma igualmente bem-sucedida avaliação qualitativa. Esta fase inclui a constituição e priorização dos grupos de trabalhadores (grupos similares de exposição), a seleção das medidas de controle para as si-

tuações identificadas como de risco para a saúde, em especial aquelas caracterizadas como de risco grave e iminente, e a determinação dos agentes químicos e situações a serem submetidos à avaliação quantitativa.

Sempre que forem identificadas atividades, procedimentos ou situações que visivelmente exponham os trabalhadores aos agentes químicos, devem-se privilegiar as medidas de controle coletivo de modo a garantir a integridade de sua saúde, em especial quando envolverem agentes carcinogênicos, mutagênicos ou genotóxicos. As determinações de concentrações nestes casos devem ser voltadas para o dimensionamento das medidas de controle e a avaliação de sua eficácia, considerando que não exigem grande quantidade de medições e dispensam as abordagens estatísticas apresentadas neste guia.

8.3. Estratégia de avaliação quantitativa

Esta etapa compreende a definição dos métodos de coleta e medições, da duração da amostragem e medição, do número mínimo de resultados exigidos, da escolha dos períodos e momentos para a realização das coletas e das medições, e a realização do diagnóstico inicial. Em resumo, é o planejamento das amostragens e das medições.

A estratégia a ser adotada para a coleta de amostras ou medição da concentração de um agente químico ao longo de uma jornada de trabalho é em função:

- a) Da capacidade de coleta do dispositivo coletor, representada pelo volume máximo de ar admitido pelo método analítico.
- b) Do tempo necessário para realizar cada medição com o instrumento de leitura direta.
- c) Do tipo de VRAT que está sendo avaliado (MPT-8h; CD – 15 min ou Teto).
- d) Do objetivo da avaliação (por exemplo, conhecer o perfil da exposição ao longo da jornada de trabalho ou em diferentes atividades realizadas).

Nesse sentido, durante a jornada de trabalho será quase sempre necessário coletar mais de uma amostra e/ou realizar mais de uma

medição de concentração. Raramente, a avaliação da exposição ocupacional em uma jornada de trabalho será realizada a partir da coleta de única amostra. A exceção poderá acontecer para substâncias que possuem apenas o $VRAT_{TETO}$, como será demonstrado adiante.

8.3.1. Amostra ou coleta pessoal

Corresponde a uma amostra de ar coletada ou à medição de concentração na zona respiratória do trabalhador. O dispositivo de coleta é fixado, em geral, na lapela do trabalhador, podendo ser no lado esquerdo ou no direito (Figura 1). O lado escolhido deve, quando possível, ser aquele que esteja mais próximo da fonte de emissão do agente químico. O resultado de concentração obtido é uma estimativa da exposição, via inalação, do trabalhador. Devido à necessária movimentação do trabalhador no exercício de suas atividades, os resultados obtidos das amostras pessoais podem não ser representativos da verdadeira contaminação dos locais e das zonas de trabalho, que podem ser mais bem avaliados através das amostras estacionárias distribuídas em cada local.



Figura 1. Coleta de amostra pessoal

(Fonte: Fundacentro, NHO 08)

8.3.2. Amostra ou coleta estacionária (de área ou de ponto fixo)

Corresponde à amostra coletada ou à medição de concentração realizada em um ponto fixo no ambiente de trabalho. Neste caso, o dispositivo de coleta ou medição é fixado em um suporte ou mantido na altura média da zona respiratória, geralmente em torno de 1,6 m acima do solo (Figura 2).



Figura 2. Coleta de amostra estacionária (de área ou de ponto fixo).

(Fonte: Fundacentro, NHO 08)

Uma amostra ou medição pessoal pode ser considerada como estacionária desde que o trabalhador tenha permanecido exatamente no mesmo ponto durante todo o período de coleta.

É o tipo de amostra ou medição mais apropriado para avaliar a contaminação dos locais de trabalho, sendo em geral utilizado para conhecer os níveis de concentração do agente químico no ar em um determinado local de trabalho, para avaliar a eficácia de medidas de controle ou quando se quer realizar medições em tempo real através do uso de monitores contínuos com sistemas de registro de resultados, acoplados ou não a sistemas de alarme.

Os resultados de concentração obtidos com amostras estacionárias podem ser utilizados para detectar variações sazonais, de ciclos de processo ou mudanças de eficiência de sistemas de proteção coletiva existentes.

Seus resultados não devem ser considerados substitutos daqueles que seriam obtidos com amostras pessoais, pois algumas atividades do trabalhador podem influenciar nas concentrações determinadas na zona respiratória. Entretanto, para trabalhadores cujas atividades não gerem exposições adicionais ao agente químico, os resultados de amostras ou medições estacionárias podem ser uma alternativa aceitável para a estimativa das exposições ocupacionais.

Os pontos de coleta de amostras ou medições estacionárias devem ser determinados por critérios técnicos e discussão com os trabalhadores, devendo-se considerar os seguintes fatores: número e localização das fontes do agente químico, direção dos ventos, zonas ou locais de trabalho e arranjo físico do local.

8.3.3. Tipos de amostras segundo a duração

8.3.3.1 Amostras únicas cobrindo todo o período

É quando uma única amostra de ar é coletada continuamente durante todo o período de avaliação. Por exemplo: para uma substância química com VRAT_{MPT} de 8 horas, realiza-se a coleta de uma amostra única com duração de 8 horas. De modo análogo, para uma substância química com VRAT_{CD} (15 minutos), realiza-se a coleta de uma amostra única com duração de 15 minutos.

A concentração MPT (C_{MPT}) do agente químico fornecida pelo laboratório já é representativa do período avaliado, sendo, portanto, apropriada para a comparação direta com os respectivos VRATs. A concentração é calculada pelo laboratório a partir da seguinte equação:

$$C_{MPT} = \frac{\text{massa da substância coletada, em mg}}{\text{Volume de ar coletado, em m}^3} \quad \text{Eq. (6)}$$

O volume de ar coletado é calculado da seguinte forma:

$$C_{MPT} = \frac{Q_m \times t}{1000} \quad \text{Eq. (7)}$$

Em que,

V = volume de ar coletado, em m³.

Qm = vazão média, em L/min (média das vazões inicial e final da bomba).

t = tempo total de coleta, em minutos.

1000 = fator de conversão de litro para metro cúbico.

NOTA:

Para maiores detalhes sobre cálculo da vazão média e calibração das bombas de amostragem, consultar normas específicas. Por exemplo, NHO 07.

A amostragem única apresenta as vantagens de ter menor custo, pois já fornece o resultado representativo do período em avaliação, e de causar menor incômodo para o trabalhador, por não haver interrupções de suas atividades e trocas dos dispositivos de coleta. Entretanto, apresenta as desvantagens de não fornecer informações sobre a variação da concentração no período avaliado e de ser mais propensa à saturação do dispositivo de coleta.

8.3.3.2 Amostras consecutivas cobrindo todo o período

É quando várias amostras de ar são coletadas consecutivamente durante o período de avaliação. Cada amostra individual será analisada e os resultados das concentrações individuais serão utilizados para o cálculo da concentração MPT para o período, utilizando a equação abaixo.

$$C_{MPT} = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad \text{Eq. (8)}$$

Em que,

C_{MPT} = concentração MPT no período, em ppm ou mg/m³.

C₁, C₂, C_n = concentrações, em ppm ou mg/m³.

T₁, T₂, T_n = tempo de coleta de cada amostra, em minuto ou hora.

São úteis nos casos de existirem atividades diferenciadas ao longo da jornada, pois, além de possibilitarem a comparação do resultado final com o VRAT_{MPT} para o período, permitem conhecer a variação das concentrações dentro do período avaliado. Reduzem o risco de saturação do

dispositivo de coleta, mas aumentam o custo da avaliação e o incômodo ao trabalhador, devido às necessárias trocas de dispositivo de coleta.

A tomada de amostras consecutivas pode ser a única alternativa quando existe um risco evidente de saturação do dispositivo de coleta ou quando o método analítico não permite a tomada de uma amostra única durante toda a jornada de trabalho de 8 horas.

Exemplo:

Substância química X com um $VRAT_{MPT}$ (8h).

Informações extraídas do método analítico:

Volume máximo admitido = 5 L

Vazão da bomba de amostragem = 0,05 L/min

Calculando o tempo máximo de coleta admitido, chega-se a:

Volume (V) = vazão (Q) x tempo (t), ou $V = Q \times t$;

t (min.) = $V(L)/Q(L/min) = 5/0,05 = 100$ minutos.

Ou seja, cada amostra só poderá ser coletada por, no máximo, 100 minutos. Como a jornada de trabalho tem 480 minutos, será necessário coletar mais quatro amostras consecutivas para cobrir o período inteiro de 8 horas. Serão cinco amostras coletadas consecutivamente para fornecer a C_{MPT} da jornada de 8 horas. Cada amostra individual fornecerá o resultado da C_{MPT} do período correspondente.

Supondo que foram obtidos os resultados de concentração apresentados na Tabela 4, a seguir, o cálculo da C_{MPT} , utilizando a equação (8) será:

$$C_{MPT} = \frac{2 \times 100 + 10 \times 100 + 8 \times 100 + 20 \times 80 + 6 \times 100}{480} = 8,8 \text{ ppm} \quad \text{Eq. (8)}$$

O resultado de 8,8 ppm é que deverá ser comparado com o $VRAT_{MPT}$.

Tabela 4 Resultados de concentração de amostras consecutivas

Amostra	Concentração (ppm)	Tempo (min)
1	2	100
2	10	100
3	8	100

4	20	80
5	6	100
Tempo total		480

(Fonte: próprio autor)

8.3.3.3 Amostras parciais

São as amostras coletadas por um período de tempo menor do que o período de efetiva avaliação, ou seja, o período correspondente ao VRAT. Podem ser amostras únicas ou consecutivas, mas o tempo total de coleta é inferior ao período em avaliação.

Para o resultado de concentração MPT obtido poder ser comparável com o $VRAT_{MPT}$, é necessário que o tempo total de amostragem cubra, pelo menos, 70% do período em avaliação. Ex.: 5,6 horas para jornadas de 8 horas.

A menos que se tenha absoluta certeza de que a exposição no período não coberto pela coleta de amostra tenha sido nula ou desprezível, a concentração obtida, mesmo que não sendo referente a todo o período, poderá ser considerada como representativa dele. Caso haja a certeza de que a exposição foi nula ou desprezível, a concentração obtida deverá ser corrigida para a jornada de 8 horas utilizando-se a fórmula para amostras consecutivas e considerando a concentração nula no tempo que faltou realizar a coleta, conforme exemplo a seguir.

Exemplo:

i) Jornada de trabalho de 8 horas e duração da coleta de amostra única de 6 horas. Resultado obtido nas 6 horas foi 10 ppm. Como a exposição foi insignificante ou nula nas 2 horas restantes, assume-se o resultado da concentração como sendo igual a “zero”. Assim,

$$C_{MPT} \frac{10 \times 6 + 0 \times 2}{8} = 7,5 \text{ ppm}$$

Este seria o resultado a ser comparado com o $VRAT_{MPT}$. Caso a coleta tivesse sido interrompida antes de concluída a tarefa ou cessada a exposição, o resultado a ser utilizado seria o da MPT de 6 horas, ou seja, 10 ppm. Ao utilizar o resultado parcial da MPT para comparar com o $VRAT_{MPT}$, o profissional está sendo mais conservativo na avaliação.

ii) De modo análogo, quando se trata da avaliação do cumprimento de um $VRAT_{CD}$ (15 minutos), tem-se as seguintes situações:

- a) O trabalhador esteve exposto durante os 15 minutos, mas a coleta só durou 12 minutos: o resultado da concentração MPT de 12 minutos é considerado representativo dos 15 minutos sem a necessidade de qualquer correção, pois representa mais de 70% do período de 15 minutos.
- b) O trabalhador só esteve exposto por 5 minutos: 1) se a amostra foi coletada continuamente durante os 15 minutos, ou seja, incluindo o período não exposto, o resultado já será representativo da MPT de 15 minutos, sem a necessidade de correção; 2) se a medição da concentração foi realizada apenas durante os 5 minutos de efetiva exposição, será necessário converter o resultado instantâneo obtido em uma concentração MPT de 15 minutos, realizando cálculo semelhante ao item anterior, conforme o exemplo a seguir:

- Resultado medido em 5 minutos = 120 ppm
- Tempo de efetiva exposição = 5 minutos
- Tempo referente ao $VRAT_{CD}$ = 15 minutos

$$C_{MPT} \frac{120 \times 5}{15} = 40 \text{ ppm}$$

O resultado de 40 ppm é o representativo de 15 minutos a ser utilizado para a comparação com o $VRAT_{CD}$. Se, contudo, a substância tivesse um $VRAT_{TETO}$, o resultado a ser considerado seria o de 120 ppm e não a média dos 15 minutos. O mesmo se aplicaria caso se tratasse de um limite do tipo VMP. Nestes casos, não se trataria de amostragem parcial.

8.3.3.4 Amostras/medições de curta duração ou instantâneas

É a estratégia de amostragem apropriada para avaliações de exposições de curta duração a substâncias com $VRAT_{CD}$, $VRAT_{TETO}$ ou VMP. Conforme já mencionado, as coletas de amostras ou medições de con-

centração com instrumentos de leitura direta devem ser realizadas sempre nos períodos de provável maior exposição dentro da jornada de trabalho.

As amostragens de curta duração poderão ser realizadas por meio da coleta de uma amostra única durante os 15 minutos ou de uma série de coletas/medições instantâneas no referido período. O número de medições necessárias para cobrir o período de 15 minutos dependerá do tempo que o instrumento necessita para analisar a amostra coletada e fornecer o resultado de concentração. Por exemplo, se um aparelho necessita de 5 minutos para cada medição, serão realizadas três medições consecutivas no período de 15 minutos. O resultado para fins de comparação com o $VRAT_{CD}$ será a média aritmética das três medições. Mas se o instrumento fornece o resultado de concentração a cada minuto, o profissional poderá realizar o máximo de medições possíveis no período para obtenção da média.

Exemplos de aplicações práticas:

1. Trabalhador realiza várias atividades consideradas críticas durante a jornada.

- a) É possível identificar a pior situação dentre as selecionadas: Avaliar a atividade adotando uma das estratégias de amostragem citadas: a) coletar amostra contínua de 15 minutos, quando se tratar de $VRAT_{CD}$; b) realizar tantas medições quantas forem possíveis no período (utilizando instrumentos de leitura direta) para obtenção do valor máximo da concentração para fins de comparação com o VMP ou $VRAT_{TETO}$, ou para o cálculo da MPT-15 minutos, quando a comparação for com o $VRAT_{CD}$.
- b) Não é possível identificar a pior situação dentre as atividades críticas selecionadas (muita similaridade): Realizar tantas medições ou coletas de amostras de 15 minutos quantas forem possíveis, cobrindo todas as atividades críticas identificadas. O resultado mais elevado de concentração obtido deverá ser utilizado para comparação com o VMP ou $VRAT_{TETO}$, conforme o caso. Quando se tratar de $VRAT_{CD}$, o maior valor das médias de 15 minutos obtido é que deverá ser utilizado para comparação.

2. Trabalhador realiza a mesma atividade, continuamente, durante toda a jornada de trabalho **e não é possível identificar o momento mais crítico:**

Realizar um número de coletas/medições durante toda a jornada de modo que se tenha uma alta probabilidade de flagrar a concentração máxima (para substâncias com $VRAT_{TETO}$ ou VMP) ou a média de 15 minutos mais elevada (para substâncias com $VRAT_{CD}$). Os momentos de coleta/medição devem ser escolhidos aleatoriamente ao longo de todo o período. O item 6, do Anexo 11, da NR 15, estabelece um número mínimo de dez coletas/medições, distribuídas ao longo da jornada de trabalho, com intervalos de, no mínimo, 20 minutos.

De acordo com Leidel (1977), oito a onze medições seriam suficientes para caracterizar adequadamente a situação. Os momentos de coleta das amostras deverão ser escolhidos de forma aleatória, subdividindo-se o período de interesse em um número de subperíodos de tempo equivalente, no mínimo, ao tempo de coleta/medição. Por exemplo, uma atividade que dura 2 horas (120 minutos) contém oito subperíodos de 15 minutos, doze de 10 minutos, vinte e quatro de 5 minutos etc.

Tomando-se como exemplo uma jornada de trabalho de 8 horas (480 minutos), durante a qual se deseja realizar oito a onze amostragens de 15 minutos para comparação com um $VRAT_{CD}$, deve-se proceder da seguinte forma:

- a) Subdivide-se o período de 480 minutos em “n” subperíodos de 15 minutos, conforme mostrado no Quadro 2 a seguir. O horário de almoço deve ser excluído do intervalo.
- b) Utiliza-se qualquer metodologia de escolha aleatória (tabelas de números aleatórios ou geração de números aleatórios no Excel) para selecionar os oito a onze subperíodos a serem avaliados. Cada subperíodo estará associado ao seu intervalo de tempo em que a coleta/medição deverá ser realizada. A escolha aleatória pode selecionar subperíodos consecutivos (Ex.: subperíodos 15, 16 e 17), que devem ser obedecidos. Se houver algu-

ma suspeita quanto a um determinado subperíodo que não foi selecionado pela escolha aleatória, este pode ser adicionado aos demais selecionados aleatoriamente para ser avaliado. O maior resultado das médias de concentração de 15 minutos obtido é que deverá ser utilizado para comparação com o $VRAT_{CD}$.

NOTA:

Tanto nos casos de amostragens cobrindo o período inteiro, como nas amostragens parciais, os horários de refeições só podem ser contemplados no tempo de coleta de amostra ou medição de concentração quando integrarem o tempo total da jornada de 8 horas, como nos casos de revezamento de turnos. Quando, além da jornada efetiva de 8 horas, existirem intervalos de refeição e descanso preestabelecidos (ex.: turno matutino das 8h às 12h, almoço e descanso das 12h às 13h, turno vespertino das 13h às 17h), estes não podem ser incluídos de modo a complementar o tempo de amostragem necessário. Caso seja considerado que o local das refeições e/ou de descanso possa estar contribuindo para uma exposição continuada do trabalhador ao agente químico em avaliação, é necessário investigar e adotar medidas que eliminem tal possibilidade.

Quadro 2 Subperíodos de 15 minutos na jornada integral (8 horas)

Subperíodo	Intervalo (hora)
01	08h - 08h15
02	08h15 - 08h30
03	08h30 - 08h45
.	.
.	.
16	11h45 - 12h
17	13h - 13h15
17	13h - 13h15
.	.
.	.
31	16h30 - 16h45
32	16h45 - 17h

(Fonte: próprio autor)

8.3.4 Substâncias com $VRAT_{MPT}$ e sem $VRAT_{Teto}$ ou $VRAT_{CD}$

Para essas substâncias, é necessário determinar a concentração média ponderada da jornada inteira de trabalho (MPT-8h) e realizar as medições instantâneas das concentrações durante as atividades de maior risco de exposição (atividades críticas). O resultado da concentração MPT-8h será comparado com o $VRAT_{MPT}$, enquanto que o maior resultado dos picos de concentração será comparado com o Valor Máximo Permitido (VMP), conforme ilustrado na Figura 3.

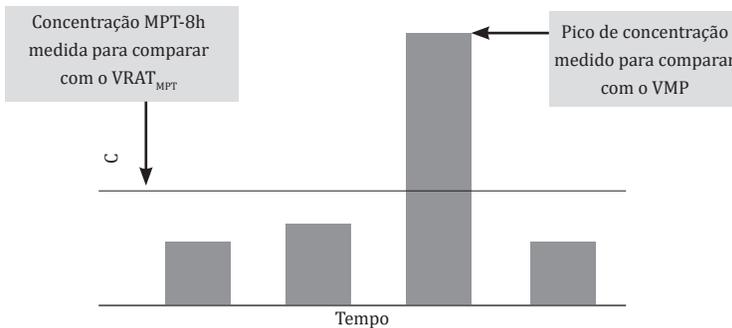


Figura 3. Perfil da exposição durante a jornada de trabalho, apresentação a exposição média de 8 horas e a exposição a pico de concentração.

(Fonte: próprio autor)

Exemplo:

Substância química X, na forma de vapor, que possua um LT_{MPT} (8h) = 8 ppm no Quadro 1 do Anexo 11, NR 15, sem que a coluna Valor Teto esteja assinalada.

Neste caso, será necessário calcular a concentração correspondente ao VMP seguindo procedimento descrito no item 6.22 deste guia.

Para uma substância com $LT_{MPT} = 8$ ppm, o FD correspondente é 2. Ou seja: $VMP = 8 \times 2 = 16$ ppm

A determinação da concentração MPT-8h poderá ser feita por meio da coleta de amostra única no período inteiro das 8 horas ou em parte deste (amostra única parcial), ou por meio da coleta de amostras consecutivas no período inteiro das 8 horas ou em parte deste (amostras consecutivas no período parcial), conforme será descrito a seguir.

O objetivo das medições dos picos é encontrar o valor máximo de concentração. Obviamente, o profissional utilizará as informações obtidas na etapa de reconhecimento/caracterização básica para realizar as medições apenas durante as atividades ou os momentos mais críticos ou de maior exposição durante a jornada de trabalho. O máximo valor obtido será comparado com o VMP calculado, ou seja, 16 ppm. Já o valor da concentração MPT-8h será comparado com o LT_{MPT} , ou seja, 8 ppm, conforme representado na Figura 3.

Para avaliar a obediência ao VMP todas as situações ou atividades críticas realizadas na jornada de trabalho deverão ser avaliadas obtendo-se a concentração máxima (o pico de concentração) daquela jornada.

Caso o VMP seja ultrapassado em algum momento, isso indica um processo em descontrole e deve-se buscar a adoção imediata de medidas de controle na fonte e o atendimento à legislação em vigor. A NR 15, Anexo 11, trata esta situação como um risco grave e iminente.

Quando não houver viabilidade técnica para a realização de medições instantâneas, realizar a determinação da concentração média ponderada de até 15 minutos.

8.3.5. Substâncias com $VRAT_{MPT}$ e $VRAT_{CD}$

Nestes casos é necessário determinar a concentração média ponderada da jornada inteira de trabalho (MPT-8h) e as concentrações médias ponderadas de 15 minutos durante as atividades de maior risco de exposição (atividades críticas). O resultado da concentração MPT-8h será comparado com o $VRAT_{MPT}$, enquanto que o maior resultado das concentrações de curta duração será comparado com o $VRAT_{CD}$ (15 min).

A diferença em relação ao item anterior está no método de medição da concentração de curta duração. No caso anterior, a medição do pico de concentração deve ser feita, prioritariamente, utilizando-se instrumentos de leitura direta, que fornecem uma medida instantânea da concentração. No presente caso, a concentração medida deverá sempre ser representativa de uma média ponderada de 15 minutos (Figura 4).

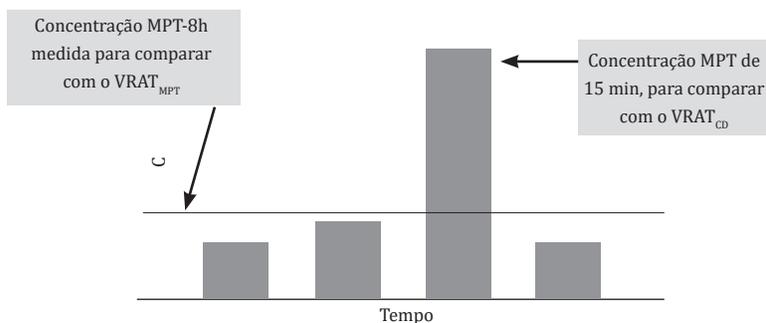


Figura 4. Perfil da exposição durante a jornada de trabalho, apresentando a exposição média de 8 horas e a exposição de curta duração.
(Fonte: próprio autor)

8.3.6. Substâncias com $VRAT_{MPT}$ e com $VRAT_{TETO}$

Existem ainda substâncias para as quais pode ter sido atribuído tanto um $VRAT_{MPT}$, como um $VRAT_{TETO}$. Nestes casos também se faz necessário avaliar as duas situações. A estratégia de amostragem é idêntica à do item 8.3.4 deste guia, sendo que, o máximo valor de concentração obtido, desta vez, será comparado com o $VRAT_{TETO}$ (Figura 5). Não se aplica o cálculo do VMP, pois o $VRAT_{TETO}$ já é, em si, um valor máximo de pico que não pode ser ultrapassado em momento algum das jornadas de trabalho.

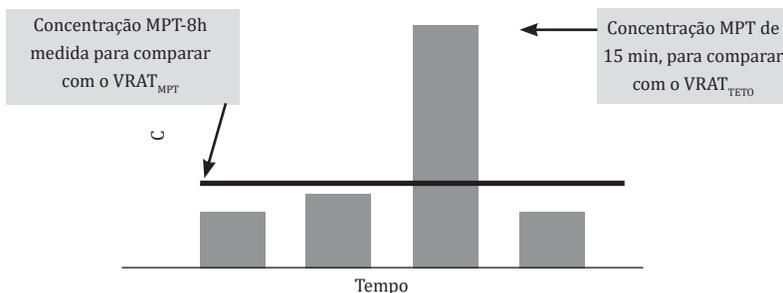


Figura 5. Perfil da exposição durante a jornada de trabalho, apresentando a exposição média de 8 horas e o momento da exposição a pico de concentração, que deverá ser medido para confronto com o $VRAT_{TETO}$.
(Fonte: próprio autor)

8.3.7. Substâncias que só possuem o $VRAT_{TETO}$

Para substâncias que possuam apenas um $VRAT_{TETO}$, só é necessário realizar as medições dos picos de concentração nos momentos da jornada de trabalho de provável maior exposição. Para estas substâncias, não faz sentido a determinação da concentração MPT da jornada de 8 horas, pois se trata de uma substância apenas com efeito agudo conhecido e nenhum efeito crônico ainda associado.

O máximo valor de concentração obtido deverá ser comparado com o $VRAT_{TETO}$ (Figura 6). Também, nestes casos, não se aplica o cálculo do VMP.

Para tais substâncias, a determinação da concentração deve ser feita o mais rapidamente possível, de preferência utilizando instrumentos de leitura direta da concentração, os quais fornecem o resultado de concentração no ato da realização da medida. A coleta de amostras instantâneas de ar durante os momentos críticos, para posterior análise em laboratório, é uma alternativa aceitável se não houver disponibilidade de instrumentos de leitura direta da concentração. Quando não houver viabilidade técnica para a realização de medições instantâneas, o tempo máximo de coleta de amostras de ar para substâncias com $VRAT_{TETO}$ deve ser 15 minutos.

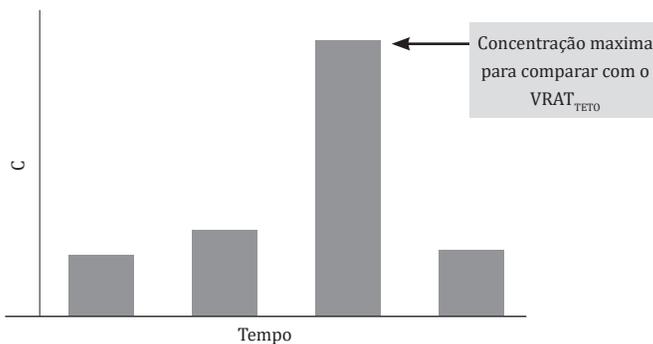


Figura 6. Perfil da exposição durante a jornada de trabalho, apresentando o momento da exposição a pico de concentração, que deverá ser medida para confronto com o $VRAT_{TETO}$.
(Fonte: próprio autor)

8.3.8. Substâncias que só possuem o VRAT_{CD}

Se uma substância só possui o VRAT_{CD} (15 minutos), a estratégia de amostragem é semelhante à descrita nos itens anteriores deste guia (itens 8.3.5 e 8.3.7). O resultado da concentração deverá ser representativo da MPT de 15 minutos, obtido no momento de provável maior exposição (Figura 7). O resultado pode ser obtido mediante a coleta de amostras de 15 minutos de duração ou por meio de instrumentos de leitura direta da concentração. Alguns instrumentos modernos têm a capacidade de realizar várias leituras de concentração durante o período crítico de 15 minutos e fornecer o resultado da MPT do período.

ATENÇÃO!!

Para a avaliação de conformidade com VRAT_{TETO}, VRAT_{CD} ou VMP, todos os prováveis momentos críticos existentes durante a jornada de trabalho devem ser contemplados, de modo que o resultado utilizado para comparação seja o mais representativo possível do máximo valor atingido.

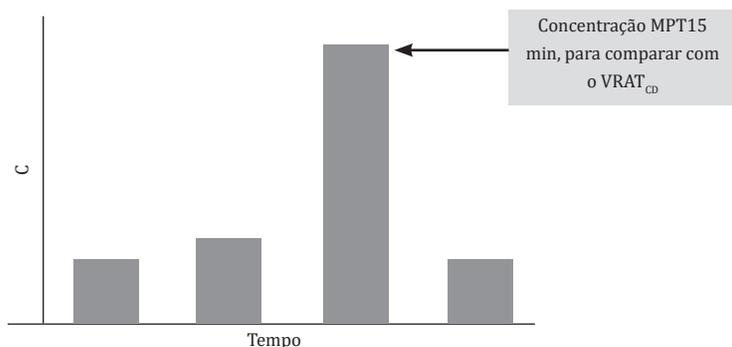


Figura 7. Perfil da exposição durante a jornada de trabalho, apresentando o momento da exposição de curta duração, que deverá ser medida para confronto com o VRAT_{CD}.
(Fonte: próprio autor)

8.3.9. Número mínimo de resultados necessários

Na avaliação quantitativa, um número mínimo de resultados de concentração deve ser obtido de modo que possa haver confiança estatística aceitável no julgamento da situação avaliada (exposição de grupos de trabalhadores ou contaminação de locais de trabalho).

Na prática, não é possível realizar o monitoramento diário das exposições dos trabalhadores durante todo o ano de trabalho. Por isso, é necessário realizar o planejamento estatístico das campanhas de avaliações, selecionando-se um número minimamente suficiente de jornadas de trabalho, nas quais, um determinado número de trabalhadores e de situações será escolhido de forma adequada para a coleta de amostras ou medições de concentração, conforme será apresentado adiante.

De acordo com Rappaport e Selvin (1987), o número mínimo de resultados é função, principalmente, do quanto a concentração média está distante do VRAT e da dispersão das concentrações (medida como desvio padrão geométrico – DPG) ao longo do período, ambiente ou situação/atividade avaliada. Os autores chegam a demonstrar que, em concentrações correspondentes ao nível de ação estabelecido na NR 9 (50% do $VRAT_{MPT}$), se o DPG for 1,5, seriam necessários sete resultados, enquanto que, se o DPG fosse 2,0, seriam necessários 21 resultados para se realizar um julgamento confiável. Para DPG igual a 2,5, 3,0 e 3,5, seriam necessários, respectivamente, 41, 67 e 96 resultados.

A American Industrial Hygiene Association (AIHA, 1991, 2006) propõe que entre seis e dez resultados devam ser suficientes para uma estimativa válida do perfil de exposição. Menos do que isso gera uma grande incerteza na estimativa do perfil da exposição, a menos que fosse possível garantir que a variação das concentrações no período era bem pequena (as concentrações se distribuem de forma uniforme na situação, atividade ou período avaliado). Mais resultados podem não gerar informações adicionais que justifiquem o custo e, em situações em que as concentrações estejam muito próximas do VRAT, podem ser necessários trinta ou mais resultados para garantir que não houve violação do VRAT.

Para fins deste guia, o número mínimo de resultados (n) necessários para o julgamento da exposição ou da contaminação dos ambientes de trabalho será seis ($n \geq 6$), seguindo o modelo proposto pela AIHA. Este número mínimo de resultados deve ser aplicado a cada trabalhador ou GSE, bem como em cada situação ou local avaliado. Para as avaliações de curta duração também devem ser obtidos ao menos seis resultados para cada operação ou atividade que se repita e na qual haja a possibilidade de ocorrência de picos de concentração.

Algumas regras práticas têm sido propostas com o intuito de reduzir a quantidade de amostras e os custos, assumindo um número mínimo de resultados inicial bem menor do que o proposto pela AIHA. Por exemplo, coletar inicialmente três amostras e, caso os três resultados de concentrações obtidos estejam abaixo de 1/10 do VRAT, a situação ou GSE é tida como em conformidade com o VRAT (BOHS; NVVA, 2011). Contudo, de acordo com Deives e Henderson (2009), essas recomendações devem ser usadas com cuidado, pois elas podem afetar significativamente a qualidade dos dados obtidos.

Tais regras não são incentivadas neste guia, pois elas assumem que as concentrações se distribuem de forma homogênea, ou seja, que a dispersão é baixa (um desvio padrão geométrico inferior a 2, de acordo com Rappaport e Selvin, [1987]) – o que não é verdade para um ambiente real. Além disso, em muitos casos, depende-se também do conhecimento prévio da dispersão da distribuição (das concentrações no período inteiro, ou no GSE).

NOTA:

O número mínimo de resultados aqui estabelecido não deve ser confundido com o número de medições definido no item 6 do Anexo 11, NR 15. Estes últimos serão utilizados para obtenção de um resultado de jornada (a média) e um resultado de pico de concentração.

8.3.9.1. Para substâncias com VRAT_{MPT} sem VRAT_{CD} ou VRAT_{TETO}

Conforme já abordado anteriormente neste guia (item 8.3.4), para estas substâncias será necessário determinar a CMPT, para compará-la com o VRAT_{MPT} e a concentração instantânea máxima ($C_{m\acute{a}x}$), para compará-la com o VMP.

O número de resultados corresponde ao número de etapas de trabalho a serem avaliadas, sendo que cada uma dessas jornadas irá fornecer um resultado de concentração MPT.

Para cada jornada de trabalho, pelo menos um trabalhador de cada GSE, escolhido aleatoriamente, deverá ser selecionado para a avaliação. Ao final das campanhas, cada GSE possuirá no mínimo seis resultados de concentração MPT.

Caso não haja violação do VMP, a concentração máxima obtida deverá ser registrada de modo que, ao final da campanha de avaliações do GSE, existam ao menos seis resultados de picos de concentração. Estes resultados, juntamente com os de MPT, serão submetidos ao tratamento estatístico que será abordado adiante, neste guia.

Exemplo:

Um GSE-1 foi avaliado em relação a n-hexano (TLV®-TWA = 50 ppm, ACGIH, 2012; VMP = 50 x 1,5 = 75 ppm, de acordo com item 6.22) em seis jornadas de trabalho diferentes, obtendo-se seis resultados de C_{TWA} . Para este GSE foram identificadas três atividades críticas realizadas pelos trabalhadores durante cada jornada, com duração máxima de 15 minutos cada, durante as quais foram realizadas medições instantâneas da concentração. Em cada uma das atividades, o instrumento de leitura direta permitiu realizar até três medições de concentração. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Resultados obtidos no GSE-1

Dia	Medições instantâneas (ppm)			$C_{máx.}$ (ppm)	
	C_{TWA} (ppm)	AC 1*	AC 2*		AC 3*
1	10	20, 30, 45	55, 25, 30	40, 20, 35	55
2	5	12, 15, 17	20, 10, 21	13, 25, 20	25
3	6	10, 13, 8	10, 12, 13	13, 15, 14	15
4	12	20, 15, 30	35, 60, 50	45, 30, 50	60
5	25	50, 70, 75	60, 30, 70	35, 40, 70	75
6	15	60, 73, 30	70, 60, 30	30, 50, 65	73

* Atividade crítica

Nessa tabela, observa-se que, de cada conjunto de três medições instantâneas realizadas, o maior valor obtido foi separado como concentração máxima de cada dia avaliado. Como nenhum valor de C_{TWA} e $C_{máx}$ ultrapassou os respectivos limites (TLV®-TWA = 50 ppm e VMP = 75 ppm), os resultados serão agora submetidos à análise estatística, conforme será mostrado adiante.

8.3.9.2. Para substâncias com $VRAT_{CD}$ ou $VRAT_{TETO}$

Nestes casos, o procedimento é análogo ao da avaliação da obediência ao VMP, descrito no item anterior. Para o $VRAT_{TETO}$, o procedimento é exatamente o mesmo, já para o VRA_{TCD} , a diferença é que, em vez da concentração máxima, seria necessário calcular a média aritmética das três medições instantâneas realizadas durante 15 minutos de cada atividade crítica. O resultado mais elevado de média calculada (C_{STEL} , 15 min) das três atividades críticas é que seria separado para a análise estatística. Alternativamente, poderia ser coletada uma amostra única de 15 minutos em cada atividade crítica. Mais uma vez, o maior resultado entre os três de cada jornada é que seria separado para compor o conjunto mínimo de resultados que serão submetidos à análise estatística.

ATENÇÃO!!

É para separar o valor máximo de cada dia, e não obter a média das três medições instantâneas em cada dia.

8.3.9.3. Critério NIOSH para grupos de trabalhadores (GSE ou GHE)

O critério proposto pelo NIOSH (LEIDEL et al., 1977) para a definição do número de trabalhadores e a escolha daqueles a serem monitorados baseia-se na seleção do “trabalhador mais exposto”, ou “empregado de maior risco” (*maximum risk employee*), ou na seleção de grupos de trabalhadores tidos como de maior risco.

Alguns profissionais podem se perguntar: mas se o grupo é homogêneo ou similar, não deveria ser possível identificar um trabalhador mais exposto do que outro do mesmo grupo. Isto, entretanto, depende de qual critério foi adotado para a formação do grupo de trabalhadores. Vejamos as situações a seguir.

Situação 1:

Em um galpão de fabricação de piscinas de fibra de vidro, cinco trabalhadores do setor de laminação, que realizam o espalhamento da resina sobre o molde da piscina utilizando rolinhos, foram agrupados como um GSE. Esses trabalhadores realizam suas atividades ao lado do laminador (profissional que realiza a aplicação da resina poliestirênica junto com fibra de vidro, uti-

lizando uma pistola – este trabalhador não faz parte do GSE). Todos os cinco trabalhadores realizam a mesma atividade, com a mesma duração e estão expostos aos mesmos agentes químicos (vapores de estireno, fibra de vidro, aerossol de resina etc.). Este GSE já é um grupo de trabalhadores de maior risco. Um deles, no entanto, fica ao lado do laminador, ou seja, muito mais próximo da pistola e, portanto, da fonte de emissão dos vapores e aerossol gerados no processo de laminação. Este seria, a princípio, o trabalhador mais exposto (ou empregado de maior risco) a ser selecionado.

Situação 2:

Em numa fábrica de calçados, dez trabalhadores realizam a atividade de colagem de componentes, continuamente durante toda a jornada de trabalho, expostos aos mesmos solventes orgânicos. Eles foram agrupados em um mesmo GSE. Neste caso, se todos realizam as tarefas da mesma forma, é quase impossível identificar um trabalhador considerado mais exposto. Mesmo assim, as concentrações dos solventes orgânicos no ar variam, tanto no ambiente de trabalho, como na zona respiratória de cada um deles. Essas flutuações podem atingir valores acima dos valores de referência (digressões, excursões ou desvios), podendo gerar picos de concentração que ultrapassem os valores definidos para curta duração (Teto, STEL ou VMP, conforme o caso). Por isso, o NIOSH orienta selecionar um subgrupo de trabalhadores a serem monitorados, de modo a tentar flagrar o possível mais exposto, conforme explicado a seguir:

- i. Quando é possível identificar o trabalhador mais exposto do grupo (Situação 1):** as amostras e as medições de concentração instantâneas em cada jornada de trabalho (MPT, STEL, Teto, VMP) devem ser obtidas no trabalhador selecionado. De acordo com o item 8.3.9 deste guia, serão necessários um mínimo de seis resultados de jornada para cada parâmetro avaliado ($VRAT_{MPT}$ e VMP, por exemplo).

- ii. **Quando não é possível identificar o trabalhador mais exposto do grupo (Situação 2):** realiza-se a escolha aleatória de um subgrupo de trabalhadores de modo que pelo menos um dentre os 10% mais expostos esteja incluído, com 90% de confiança. O tamanho desse subgrupo é definido a partir da Tabela 6, a seguir, em que N é o número total de trabalhadores do GSE e n, o número de trabalhadores que deverão ser monitorados (subgrupo) na jornada. Para $N \leq 7$, $n = N$, ou seja, todos devem ser monitorados, pois, nestes casos, o critério e a confiança estabelecidos não poderão ser atendidos. A escolha aleatória deve ser feita por meio de sorteio, ou do uso de uma tabela de números aleatórios, como a constante no manual do NIOSH (LEIDEL et al., 1977), ou gerando números aleatórios em uma planilha Excel, por exemplo.

Tabela 6 Tamanho do subgrupo que contém ao menos um trabalhador mais exposto

N	n
8	7
9	8
10	9
11 - 12	10
13 - 14	11
15 - 17	12
18 - 20	13
21 - 24	14
25 - 29	15
30 - 37	16
38 - 49	17
50	18
> 50	22

N = n^o de trabalhadores do grupo original

n = n^o de trabalhadores do subgrupo

(Fonte: Leidel et al., 1977)

Este critério foi adotado na NR 22, Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, para a escolha dos trabalhadores dos GSE a serem monitorados, e também está sugerido na NHO 08 da Fundacentro.

Este modelo não admite que a escolha aleatória recaia sobre o mesmo trabalhador, pois isto comprometeria a chance daquele mais exposto do grupo ser selecionado.

Exemplo:

Tomando um GSE contendo 13 trabalhadores ($N = 13$), consultando a Tabela 6, o subgrupo deverá ser formado por 11 trabalhadores ($n = 11$), selecionados aleatoriamente, isto é, por sorteio. Já para um GSE com seis trabalhadores ($N = 6$), o subgrupo será o próprio grupo ($n = N$).

Da mesma forma que no subitem anterior (i), caso os resultados de concentrações mais elevados sejam inferiores aos parâmetros de comparação ($VRAT_{MPT}$, $VRAT_{TETO}$, $VRAT_{CD}$, ou VMP), eles comporão o conjunto de resultados do subgrupo, que será submetido à análise estatística.

O número de amostras coletadas em uma mesma jornada será grande, mas somente o resultado mais elevado é que interessa, pois representa o trabalhador mais exposto.

Os resultados das amostras dos trabalhadores monitorados podem ser utilizados para obter o perfil médio da exposição do grupo na jornada e/ou conhecer a variabilidade das exposições dentro subgrupo.

Em cada uma das abordagens, o número mínimo de resultados a serem obtidos para avaliação estatística segue os mesmos princípios já discutidos anteriormente.

ATENÇÃO!!

O número de trabalhadores do subgrupo (n) da Tabela 6 não deve ser confundido com o número mínimo de resultados a serem obtidos para o GSE estabelecido neste guia. Os trabalhadores selecionados a partir da Tabela 6 para constituírem o subgrupo deverão ser monitorados na mesma jornada de trabalho e não em jornadas diferentes. Caso contrário, não será possível cumprir o critério NIOSH de conseguir selecionar o trabalhador mais exposto na jornada. Além disso, seria o mesmo que dizer que, para um GSE com três trabalhadores, só seriam necessários três resultados, visto que, para $N \leq 7$, $n = N$.

8.3.9.4. Critério da AIHA para grupos de trabalhadores (GSE ou GHE)

O modelo da AIHA parte do princípio de que o grupo de trabalhadores deve ser o mais similar possível, inclusive quanto ao perfil de exposição. Sendo assim, trabalhadores de funções ou cargos idênticos, mas visivelmente identificados como mais expostos, devem ser separados dos demais, mesmo que seja necessário criar um novo GSE.

Para este modelo, vale a definição constante do item 6.12 deste guia, de forma que, o resultado fornecido pela avaliação da exposição de qualquer trabalhador do grupo seja representativo da exposição do restante dos trabalhadores do mesmo grupo.

Para a avaliação do GSE, deverão ser obtidos os resultados ($n \geq 6$) para cada parâmetro em avaliação ($VRAT_{MPT}$, $VRAT_{CD}$, $VRAT_{TETO}$ ou VMP), escolhendo-se de modo aleatório o(s) trabalhador(es) a ser(em) monitorado(s). A escolha aleatória poderá recair sobre o mesmo trabalhador ou trabalhadores diferentes do grupo, ou seja, em cada jornada, no mínimo um trabalhador deve ser selecionado por sorteio para ser monitorado. Diferentemente do modelo NIOSH, mesmo que o trabalhador já tenha sido contemplado no monitoramento anterior, ele deve ser incluído no novo sorteio, podendo vir a ser selecionado mais uma vez.

Fica a critério do profissional a escolha de um ou mais trabalhadores do grupo, por cada jornada avaliada. Em qualquer dos casos, só será produzido um resultado.

8.3.10. Avaliação inicial

A primeira campanha de monitoramento de uma empresa é parte do diagnóstico inicial das situações e das informações levantadas na etapa de caracterização básica. É a partir deste diagnóstico inicial que será possível estabelecer um planejamento mais apropriado para as futuras campanhas de monitoramento.

Os monitoramentos iniciais devem incluir, obrigatoriamente, os locais de trabalho, as situações e os grupos de exposição classificados como críticos. Os monitoramentos dos grupos de trabalhadores devem ser realizados nos dias de efetiva exposição ou mais críticos. Muitos desses monitoramentos subsidiarão a adoção das medidas de controle prioritizadas.

Nesta fase, as jornadas de trabalho a serem monitorada podem ser espalhadas em um intervalo de tempo relativamente curto, por exemplo, um ou dois meses. Esta mesma abordagem se aplica à investigação de situações novas, como, por exemplo, após a partida de uma unidade operacional ou a implantação de novos equipamentos ou processos de trabalho.

Os resultados da avaliação inicial também serão objeto da análise estatística descrita no item 10 deste guia.

8.3.11. Distribuição das amostras no tempo

Não existe uma regra ou critério único para a distribuição ou o espalhamento das amostras ao longo do período em avaliação. Por exemplo, para o PPRA, que é um programa anual, em qual intervalo de tempo as amostras deverão ser espalhadas? Na realidade, este intervalo de tempo depende de variáveis como:

- a) Características do processo produtivo (se contínuo ou em bateladas).
- b) Características do processo de trabalho ou atividade (se repetitivo, ao longo do período ou concentrado em uma determinada janela de tempo).
- c) Objetivo da avaliação.
- d) Número de jornadas de trabalho que serão avaliadas (número de resultados a serem obtidos). Quanto maior, melhor será a confiabilidade no processo de avaliação.
- e) Dispersão das concentrações do agente químico ao longo do período (essa dispersão é conhecida?).

Após a definição do número de resultados ($n \geq 6$), a escolha das jornadas de trabalho para a coleta de amostras e as medições de concentração deve ser feita aleatoriamente dentro do período de tempo em avaliação. Não deve ser dada preferência especial a turno, dia ou trabalhador. Em cada dia, no mínimo um trabalhador do grupo tam-

bém será selecionado aleatoriamente. Devem ser excluídos os dias considerados atípicos ou não representativos do processo produtivo, como nos casos de paradas para manutenção, férias coletivas, feriados programados (para aqueles que trabalham em horário administrativo) etc. Processos em batelada devem contemplar apenas o período efetivo de produção e as amostras serão distribuídas neste período. O mesmo raciocínio se aplica para as atividades que sejam concentradas em um período específico.

Situações consideradas atípicas (ex.: paradas para manutenção) devem ser avaliadas separadamente. Vale, no entanto, a escolha aleatória dentro dessas situações.

Durante situações de emergência, como não é possível prever o momento em que ocorrerão (incêndios, vazamentos de grande monta), os monitoramentos realizados devem ser tratados e registrados separadamente.

A escolha aleatória pode ser feita por sorteio, ou utilizando uma tabela de números aleatórios, ou uma planilha Excel. Nesta última, basta habilitar a função estatística ALEATÓRIOENTRE, inserir o dia inicial e o dia final, em uma célula qualquer da planilha. A partir disso, basta clicar em F9 que a célula irá gerar um novo número aleatório para o intervalo definido. Se algum número for repetido, em se tratando da escolha dos dias de monitoramento, escolhe-se outro em substituição. Veja o exemplo a seguir.

Exemplo:

Se a empresa necessita realizar uma campanha de monitoramento em um período de quatro meses, entre fevereiro e maio (o processo produtivo é contínuo), os resultados devem ser obtidos em dias escolhidos aleatoriamente ao longo desses quatro meses. Pode-se proceder da seguinte forma:

Numeram-se os dias em sequência de 32 a 151, que correspondem aos meses de fevereiro a maio, lembrando que janeiro compreende do dia 01 ao 31, fevereiro, de 32 a 59 (28 dias), e assim sucessivamente até o último dia do mês de maio (151). O período a ser inserido na célula ALEATÓRIOENTRE é 32 a 151. Cada vez que clicar em F9, um novo número será gerado e corresponderá a um de-

terminado dia de um determinado mês, quando deverá ser feita a amostragem, conforme mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 Escolha aleatória dos dias de monitoramento no período de Fevereiro a Maio (4 meses), assumindo $n = 6$

Mês (dias do mês)	Sequência de dias	Escolha aleatória Entre 01 e 151 (Excel)		Dia do mês em que cairá o monito- ramento
		Sequência obtida com F9	Dias em ordem crescente	
Fevereiro (01 a 28)	32 a 59	1º = 80	35	04 e 16
		2º = 35	47	
Março (01 a 31)	60 a 90	3º = 67	67	07, 17, 20
Abril (01 a 30)	91 a 120	4º = 98	77	08
Maio (01 a 31)	121 a 151	5º = 47	80	Sem monito- ramento
		6º = 77	98	

Fonte: próprio autor.

Em cada dia selecionado, o trabalhador a ser monitorado também deverá ser sorteado dentre todos dos outros turnos (a menos que ele seja o único na jornada – caso em que a escolha do dia já selecionará o trabalhador).

Os dias selecionados aleatoriamente por qualquer dos métodos (sorteio, tabela de números aleatórios ou planilha Excel) podem cair em sequência ou em um mesmo mês. Se isto ocorrer e não houver confiança quanto à representatividade dos dias escolhidos, é porque, na verdade, não existe segurança quanto ao caráter homogêneo da distribuição ao longo do período e deve-se realizar uma nova escolha. Outra forma seria selecionar o(s) dia(s) de cada mês, assumindo que os monitoramentos serão mensais. Neste caso, o período a ser incluído na célula ALEATÓRIOENTRE será 01 a 31. Veja um exemplo no Quadro 4 para $n = 8$.

Quadro 4 Escolha aleatória dos dias de monitoramento no período de fevereiro a maio, assumindo dois monitoramentos por mês (n = 8)

Mês (dias do mês)	Escolha aleatória entre 01 e 31 (Excel)
	Sequência obtida com F9 (data do monitoramento)
Fevereiro (01 a 28)	13 e 15
Março (01 a 31)	01 e 12
Abril (01 a 30)	02 e 15
Maiο (01 a 31)	04 e 29

Fonte: próprio autor.

Nesses dias selecionados, deverão ser realizados os monitoramentos para todos os VRATs da substância em análise, ou seja: para uma substância com TLV(r)[®]-TWA e TLV[®]-STEL, em cada dia, será produzido um resultado de cada um desses parâmetros. A C_{TWA} poderá ser obtida com uma amostra única ou por amostras consecutivas e a C_{STEL} a ser selecionada como resultado da jornada será o maior valor das concentrações STEL obtidas na jornada. Por exemplo, se o trabalhador monitorado realizou três atividades de maior risco na jornada, as três devem ser monitoradas (por 15 minutos) e o maior resultado obtido é que será comparado com o TLV[®]-STEL. Caso não haja violação do limite, o valor é reservado para compor o conjunto dos resultados de STEL, que seguirão para a análise estatística.

Quando houver inviabilidade técnica ou operacional de se realizar os monitoramentos TWA e STEL na mesma jornada, os dias e turnos nos quais serão realizados os monitoramentos devem ser escolhidos aleatoriamente, seguindo procedimento análogo. Os dias nos quais possam não acontecer as atividades mais críticas, com maior risco de violação do TLV[®]-STEL, não deverão ser incluídos no processo de escolha aleatória.

Se o dia selecionado para o monitoramento coincidir com um feriado ou final de semana deve-se: a) realizar o monitoramento no dia selecionado, caso o GSE trabalhe em regime de revezamento de turno e não esteja na folga; ou b) selecionar um novo dia, caso o GSE trabalhe em horário administrativo (segunda à sexta, por exemplo).

Quando as atividades críticas de curta duração não ocorrerem diariamente, deve-se atentar para o fato de que, nos dias selecionados para o monitoramento da exposição de curta duração, também deverão ser realizados os monitoramentos de jornada (TWA), pois essas atividades influenciam diretamente a concentração média da jornada. Esta estratégia visa não ao perfil da exposição ao longo do tempo, mas ao perfil da exposição no período considerado como crítico. Caso as concentrações medidas nestas situações conduzam a um julgamento de **CONFORMIDADE**, é possível extrapolar a conclusão para o período inteiro, ou seja, incluindo os dias em que não ocorreram as atividades críticas.

Quando a empresa realiza apenas uma campanha anual, os resultados mínimos devem ser obtidos em dias escolhidos aleatoriamente ao longo do ano (ou ao longo de, pelo menos, oito meses).

NOTA:

A menos que se tenha o conhecimento de que as concentrações se distribuem de forma homogênea ao longo de todo o período em avaliação, não se devem concentrar as coletas de amostras em um único mês sem que isto tenha ocorrido como resultante da escolha aleatória. Os resultados obtidos no curto período podem conduzir a julgamentos equivocados sobre o inteiro período em avaliação. As exceções são os processos produtivos em batelada, as avaliações de períodos mais críticos da produção ou o processo de diagnóstico inicial ou investigação de situação específica.

Para os monitoramentos periódicos (reavaliação), tanto a periodicidade como o intervalo de tempo no qual as amostras devem ser espalhadas estão contemplados no item 11 deste guia.

9. Metodologia analítica

Detalhes sobre a metodologia analítica, como procedimentos de coleta, medição e análises laboratoriais, fogem ao escopo deste guia. Contudo, algumas recomendações relativas à garantia da qualidade dos resultados obtidos serão apresentadas a seguir.

- a) A metodologia analítica tem que ter a sensibilidade adequada para a determinação da concentração atmosférica do agente químico nos ambientes de trabalho, devendo ter o limite de quantificação, a sensibilidade e a precisão ajustados em faixas que incluam os VRATs estabelecidos pelos órgãos reguladores.
- b) A metodologia analítica deverá ser capaz de medir concentrações das substâncias tão baixas quanto um vigésimo (1/20) do $VRAT_{MPT}$ para a jornada inteira, no mínimo. Também deve estar adequada para a determinação de concentrações em amostras de curta duração, como as amostras de 15 minutos, quando pequenos volumes de ar são coletados.
- c) Metodologias analíticas de organismos e instituições internacionais de renome como, NIOSH (EUA), OSHA (EUA), ACGIH (EUA), ASTM (EUA), EPA (EUA), HSE (UK), entre outras, poderão ser utilizadas como referência.
- d) Todo procedimento analítico deve ser calibrado em laboratório e testado no ambiente de trabalho onde será aplicado, principalmente quando se tratar de atmosferas complexas e de ambientes abertos. Alguns exemplos desses ambientes são as indústrias siderúrgicas, as indústrias químicas e petroquímicas, as carvoarias, os postos de combustíveis, as fábricas de produtos à base de resinas e fibra de vidro etc. Se isto não for feito, corre-se o risco de comprometer toda a campanha de monitoramento ou a qualidade dos dados obtidos.

- e) Muitas vezes, um método devidamente validado pelo fabricante e calibrado pelo laboratório prestador do serviço pode não apresentar desempenho satisfatório no ambiente de trabalho onde será utilizado, fato que só será percebido mediante testes de desempenho realizados na atmosfera real.
- f) Os laboratórios, sejam eles próprios ou prestadores de serviços, devem realizar os testes de desempenho da metodologia (coleta e análise) no ambiente de trabalho da empresa onde a metodologia será aplicada, de modo a garantir a qualidade dos resultados fornecidos.
- g) Para o processo de validação ou testes em campo, existem protocolos bem elaborados por instituições como NIOSH (KENNEDY et al., 1995), OSHA (EIDE et al., 2010), ASTM (ASTM INTERNATIONAL, 2013), entre outros, que podem servir como referência.
- h) Podem ser utilizados como referência resultados de testes de desempenho da metodologia que já tenham sido realizados previamente em ambientes de trabalho de empresas com características climatológicas e de produção similares.
- i) Os laboratórios devem documentar todo o processo de validação de campo, mantendo-o em seus arquivos, e fornecer cópia à empresa contratante (quando for o caso).
- j) Os laboratórios devem desenvolver programas internos de controle de qualidade laboratorial e participar, sempre que possível, de programas externos para uma melhor confiabilidade dos seus resultados.
- k) As bombas de amostragem devem ser calibradas antes de cada coleta. Após as coletas, as vazões finais das bombas devem ser medidas para possibilitar o cálculo do erro entre a vazão inicial e a final.

- l) Serão validadas para os cálculos estatísticos as amostras cujas variações nas vazões, inicial e final, sejam de até 5%.
- m) Caso o resultado de alguma amostra seja maior que 5%, este só poderá ser utilizado para subsidiar o julgamento profissional. Nova amostra deverá ser coletada em sequência, de modo a completar o número de resultados pretendido.

10. Interpretação dos resultados/ julgamento

Ao julgar, com base nos resultados das concentrações dos agentes químicos medidas, que a exposição de um trabalhador ou de um grupo de trabalhadores está em conformidade com a legislação, o profissional está emitindo um parecer que engloba tanto os dias que foram monitorados, quanto os não monitorados, e isto é feito sempre a partir de um número reduzido de jornadas de trabalho avaliadas. Imagine que, de cerca de 250 jornadas de trabalho (dias úteis em um ano) anuais, apenas poucas jornadas ($n \geq 6$) serão avaliadas! É com base nesses resultados que se fará o julgamento para o ano inteiro, e estas informações irão constar, por exemplo, no relatório anual do PPRa, em atendimento à NR 09 do Ministério do Trabalho e Emprego.

A simples comparação visual dos resultados obtidos com os respectivos VRATs muitas vezes é insuficiente para se chegar a uma conclusão confiável. Não basta olhar para os resultados obtidos e concluir que o risco de violação do VRAT está em conformidade com a legislação apenas porque estes resultados ficaram abaixo do limite estabelecido. É necessário ainda avaliar a probabilidade e a confiança de não haver violação dos limites para o período inteiro, incluindo os dias de trabalho não monitorados. Por isso, é necessário demonstrar a confiabilidade estatística do seu julgamento através da realização de testes de conformidade com os valores de referência. Estes testes levam em conta a dispersão dos resultados obtidos e a proximidade ou o distanciamento deles em relação aos respectivos VRATs.

Neste sentido, o nível de ação tem papel fundamental. Se os resultados obtidos se situam no, ou abaixo do, nível de ação e a dispersão é razoavelmente baixa ($DPG < 2$), a análise estatística confirmará a hipótese de obediência ao VRAT no período não avaliado, levando ao julgamento de **CONFORMIDADE**.

A ferramenta que auxiliará na interpretação dos resultados dos monitoramentos e nas tomadas de decisões é a estatística. Ela será útil principalmente para as situações em que todos os resultados de con-

concentração obtidos nos dias avaliados estão abaixo dos VRATs, o que induziria o profissional ao julgamento de conformidade para o período inteiro (ex.: o ano). Esta é a hipótese que precisará ser testada.

10.1. Princípios básicos

Para efeito deste guia, considera-se que:

- a) As concentrações instantâneas e de curta duração dos agentes químicos na jornada de trabalho obedecem a uma distribuição lognormal.
- b) As concentrações MPT – 8h dos agentes químicos, ao longo do tempo, obedecem a uma distribuição lognormal.
- c) A dispersão das concentrações (dispersão da distribuição) ao longo do tempo não é conhecida nas avaliações iniciais.
- d) A dispersão das concentrações de curta duração, na jornada de trabalho e ao longo do tempo, não é conhecida nas avaliações iniciais.

10.2. Bases para o julgamento

Os julgamentos das exposições ou da contaminação dos locais de trabalho terão como bases:

- a. O julgamento profissional (a partir da experiência do profissional avaliador)
 - para resultados obtidos em situações de emergência; para resultados únicos obtidos em situações específicas (ex.: manutenção de emergência, não rotineira);
 - quando houver quantidade insuficiente de resultados no período (ex.: no ano ou semestre), em decorrência de processos ou atividades que se repetem poucas vezes, como em carregamentos de navios;
 - para resultados suspeitos ou obtidos de amostras não validadas (ex.: erro da vazão da bomba de amostragem acima de 5%; saturação do substrato de coleta ou ocorrência de *breakthrough* etc.);
 - para resultados que superam os respectivos limites (VRATs ou VMP);

- quando vários resultados estiverem abaixo dos limites de quantificação do método.
- b. A análise estatística dos resultados obtidos
- para todos os resultados válidos que não violaram os respectivos limites. Resultados que violaram os limites devem ser incluídos se não houve alterações no GSE ou no processo produtivo ou de trabalho, que tornem necessário uma nova avaliação;
 - quando existe um número mínimo de resultados que possibilite a análise estatística.

Nestes casos, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir.

10.3. Critérios de julgamento

10.3.1. Para comparação com VRAT_{MPT}

Para efeito deste guia, a situação de **CONFORMIDADE** caberá quando for demonstrado estatisticamente que a média verdadeira do perfil de exposição é inferior ao VRAT_{MPT}, com 95% de confiança, adotando o método Land's Exato, sugerido pela AIHA (Bullock; Ignacio, 2006).

Na prática, deve-se demonstrar que o limite superior de confiança Land's Exato para um intervalo de 90% de confiança ($LSC_{LE,95\%}$) é igual ou inferior ao VRAT_{MPT} ($LSC_{LE,95\%} \leq VRAT_{MPT}$).

Para o benzeno, a IN 01/95 (Brasil, 1995) realiza o cálculo do LSC de um intervalo de 95% de confiança a partir de valores tabelados de "t" de Student, que era o antigo modelo proposto pela AIHA (Hawkins et al., 1991). Mais recentemente, a AIHA assumiu que, para a distribuição lognormal e com menos que 30 resultados, o método Land's Exato fornece um intervalo de confiança mais exato em torno da média verdadeira (Bullock; Ignacio, 2006). Além disso, é mais sensível à dispersão, em especial quando se tem poucos resultados, produzindo valores de LSC mais elevados do que os obtidos pela distribuição "t" de Student. Para baixas dispersões (valores de DPG < 1,5), os dois métodos fornecem resultados similares.

Os cálculos do intervalo de confiança utilizando a distribuição "t" de Student são bem mais simples do que os que adotam o método Land's

Exato. Entretanto, a planilha IHStat, da AIHA, disponível gratuitamente na internet, já realiza os cálculos de modo automático (Mulhausen, 2013), conforme será demonstrado no Apêndice 2 deste guia. A AIHA recomenda que, sempre que houver disponibilidade de computadores ou calculadora programável, seja utilizado o método Land's Exato para o cálculo dos limites de confiança (Bullock; Ignacio, 2006).

10.3.2. Para comparação com $VRAT_{CD}$, $VRAT_{TETO}$ e VMP

Como estes limites **não podem ser ultrapassados em momento algum das jornadas de trabalho**, o mais importante é garantir que não mais de 5% dos resultados mais elevados possam violar os limites. Ou seja, deve-se garantir, com 95% de confiança, que pelo menos 95% da distribuição das concentrações sejam inferiores ao respectivo limite.

Na prática, deve-se demonstrar que, tanto o percentil 95% ($P_{95\%}$) da distribuição das concentrações, quanto o seu limite superior de confiança de 95%, denominado Limite Superior de Tolerância ($LST_{P_{95\%}, 95\%}$), são menores ou iguais aos respectivos limites.

10.4. Procedimentos de análise estatística

Inicialmente os resultados ($n \geq 6$) devem ser separados da seguinte forma:

- a) Resultados de amostras pessoais.
 - Representativos da jornada integral para confronto com $VRAT_{MPT}$, 8h.
 - De curta duração ou instantâneo para confronto com $VRAT_{CD}$ (TLV-STEL-15 min), $VRAT_{TETO}$ e VMP.
- b) Resultados das amostras estacionárias (quando houver).
 - Representativos da jornada integral para confronto com $VRAT_{MPT}$, 8h.
 - De curta duração ou instantâneo para confronto com $VRAT_{CD}$ (TLV-STEL-15 min), $VRAT_{TETO}$ e VMP.

10.4.1. Análise preliminar dos dados

- a) **Houve violação de qualquer dos limites nos dias avaliados?**
Se um ou mais resultados obtidos violaram os respectivos limites, caracteriza-se uma situação de **NÃO CONFORMIDADE**, independentemente

temente de qual limite foi violado, pois eles são complementares. Por exemplo: 1) para uma substância com TLV®-TWA e TLV®-STEL estabelecidos, não pode ocorrer violação de qualquer dos TLVs® na jornada; 2) Para uma substância que só tenha o LT_{MPT}, não pode ocorrer violação do LT nem do VMP. Não é necessário realizar análise estatística. Medidas de controle devem ser adotadas para reduzir as concentrações e, em seguida, reavaliar (n ≥ 6 resultados).

- b) **Não houve violação de qualquer dos limites nos dias avaliados?** Todos os resultados obtidos ficaram abaixo dos respectivos limites. Todos esses conjuntos de resultados devem ser submetidos ao procedimento estatístico a seguir (itens 10.4.2 e 10.4.3) com o intuito de avaliar o risco ou a probabilidade de violação do VRAT ou do VMP.

10.4.2. Análise estatística dos resultados representativos da jornada integral (MPT-8h) para comparação com VRAT_{MPT}

A partir dos resultados, calculam-se os seguintes parâmetros da estatística descritiva: média aritmética dos resultados = MA; desvio padrão da média aritmética, para n-1 = DP; média geométrica = MG; desvio padrão geométrico = DPG.

- a) A média aritmética (MA) é igual à soma dos resultados dividido pelo número destes.

$$MA = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n} \quad \text{Eq. (9)}$$

Em que, C₁ a C_n = são os resultados de concentração obtidos.

- b) O desvio padrão (DP) da média aritmética (MA) é obtido pela equação (10):

$$DP = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - MA)^2} \quad \text{Eq. (10)}$$

NOTA:

A MA e o DP podem ser obtidos a partir de uma calculadora científica, bastando, para isso, inserir todos os resultados na função estatística da calculadora (“data” ou “Add”) e pedir diretamente que ela forneça os re-

sultados de MA e de DP, este último para n-1 graus de liberdade. A MG não pode ser obtida em calculadoras científicas, sendo necessário realizar os cálculos demonstrados adiante, o Apêndice deste guia.

O programa Microsoft Excel (e outros programas similares) também pode ser utilizado para obter estes parâmetros, incluindo a MG, mas é necessário ter familiaridade com o programa e habilidade com o uso da ferramenta de análise de dados.

- c) Calcula-se o logaritmo neperiano (ou natural) de cada resultado de concentração obtido ($Y = \ln C_i$), a MA dos logaritmos ($MA(\ln C_i)$, ou MAY) e o respectivo desvio padrão ($DP(\ln C_i)$, ou DPY). Este cálculo é necessário porque foi assumido que as concentrações nos ambientes de trabalho seguem uma distribuição lognormal.
- d) A MG e o DPG podem ser obtidos a partir dos resultados da média dos logaritmos (MAY) e do desvio padrão da média dos logaritmos (DPY), obtendo-se o exponencial (ou função inversa) de cada um deles, ou seja:

$$MG = \exp (MAY) = e^{MAY} \quad \text{Eq. (11)}$$

$$DPG = \exp (DPY) = e^{DPY} \quad \text{Eq. (12)}$$

- e) Obtém-se o Limite Superior de Confiança Land's Exato ($LSC_{LE,95\%}$), para um intervalo de 90% confiança a partir da seguinte equação (vide exemplos nos Apêndices 1 e 2 deste guia):

$$LSC_{LE,95\%} = e^{\left[(MAY + \frac{DPY^2}{2}) + C \frac{DPY^2}{\sqrt{n-1}} \right]}$$

Em que C é o fator obtido no gráfico da Figura 8 (a seguir) como função do número de resultados (n) e do desvio padrão da média dos logaritmos das concentrações (DPY), identificado no gráfico como S.

- f) A partir do valor de $LSC_{LE,95\%}$, calcula-se o índice de julgamento para a **média verdadeira** do perfil de exposição (I_{MV}) através da relação:

$$I_{MV} = \frac{LSC_{LE,95\%}}{VRAT_{MPT}} \quad \text{Eq. (14)}$$

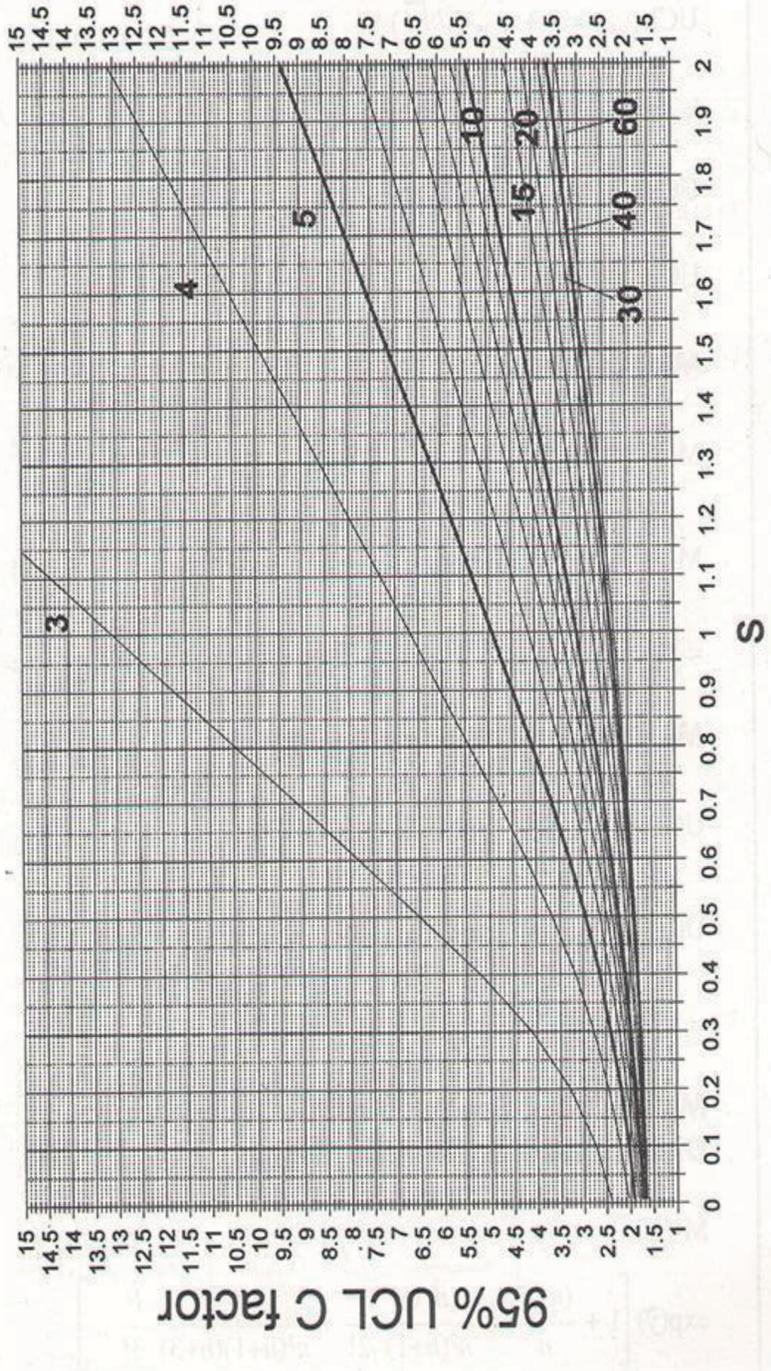


Figura 8 Fator C do LSC_{L,E,95%} (95% UCL), como função do número de resultados (n) e do DPY (S)
 Fonte: Hewett e Ganser (1997)

10.4.2.1. Julgamento/conclusões

- a) Se $I_{MV} > 1,0$: situação de **NÃO CONFORMIDADE**, pois não é possível garantir que a média verdadeira dos dados observados (do perfil da exposição) esteja abaixo do $VRAT_{MPT}$, com 95% de confiança.

É necessário rever a caracterização básica (tarefas executadas, procedimentos operacionais, fontes de emissões fugitivas, falhas ou vazamentos nos equipamentos do processo etc.), adotar medidas de controle que eliminem ou reduzam as concentrações de modo a atingir a **CONFORMIDADE** e reavaliar ($n \geq 6$ resultados).

- b) Se $IMV \leq 1,0$: situação é de **CONFORMIDADE**, pois é possível afirmar que a concentração média verdadeira do perfil de exposições é inferior ao $VRAT_{MPT}$, com 97,5% de confiança.

10.4.3. Análise estatística dos resultados de curta duração e instantâneos para comparação com $VRAT_{CD}$, $VRAT_{TETO}$, ou VMP.

- a) A partir dos resultados, calcula-se a MA, o DP, a MG e o DPG, conforme procedimento descrito no item anterior (10.4.2).
- b) O cálculo do percentil 95% (P95%) e do Limite Superior de Tolerância ($LST_{P95\%, 95\%, n}$) pode ser feito a partir das seguintes equações:

$$P95\% = MG \times (DPG)1,645 \quad \text{Eq. (15)}$$

$$LST_{P95\%, 95\%, n} = MG \times (DPG)K \quad \text{Eq. (16)}$$

Em que $K = K_{(0,95;0,95;n)}$, o qual pode ser obtido na Tabela 7 para uma proporção igual a 95% ($P = 0,95$), um nível de confiança de 95% ($\gamma = 0,95$) e n resultados, conforme será demonstrado no exemplo prático do Apêndice 1.

Tabela 7 Fatores K de Tolerância para cálculo do LST ($_{p95\%,95\%,n}$). O valor a ser adotado deve corresponder à probabilidade (nível de confiança) de 95% ($\gamma = 0,95$), a uma proporção (percentil) de 95% ($P = 0,95$) e n resultados

		$\gamma = 0.95$				
		$\gamma = 0.95$				
n \ P	P	0.75	0.90	0.95	0.99	0.999
	n					
3		3.804	6.158	7.655	10.552	13.857
4		2.619	4.163	5.145	7.042	9.215
5		2.149	3.407	4.202	5.741	7.501
6		1.895	3.006	3.707	5.062	6.612
7		1.732	2.755	3.399	4.641	6.061
8		1.617	2.582	3.188	4.353	5.686
9		1.532	2.454	3.031	4.143	5.414
10		1.465	2.355	2.911	3.981	5.203
11		1.411	2.275	2.815	3.852	5.036
12		1.366	2.210	2.736	3.747	4.900
13		1.329	2.155	2.670	3.659	4.787
14		1.296	2.108	2.614	3.585	4.690
15		1.268	2.068	2.566	3.520	4.607
16		1.242	2.032	2.523	3.463	4.534
17		1.220	2.001	2.486	3.415	4.471
18		1.200	1.974	2.453	3.370	4.415
19		1.183	1.949	2.423	3.331	4.364
20		1.167	1.926	2.396	3.295	4.319
21		1.152	1.905	2.371	3.262	4.276
22		1.138	1.887	2.350	3.233	4.238
23		1.126	1.869	2.329	3.206	4.204
24		1.114	1.853	2.309	3.181	4.171
25		1.103	1.838	2.292	3.158	4.143
30		1.059	1.778	2.220	3.064	4.022
35		1.025	1.732	2.166	2.994	3.934
40		0.999	1.697	2.126	2.941	3.866
45		0.978	1.669	2.092	2.897	3.811
50		0.961	1.646	2.065	2.863	3.766

Fonte: Bullock e Ignacio, (2006)

- c) Para $n > 25$, podem ser necessárias interpolações para obter o valor de K, pois os valores de n passam a ser em sequência de 5. Por exemplo, para $n = 28$, o valor de K estará entre 1,103 e 1,059. O valor de K pode ser obtido da seguinte forma:

O valor de K para $n = 25$ é 2,292 ($P = 0,95; \gamma = 0,95; n = 25$)

O valor de K para $n = 30$ é 2,220

A diferença entre estes dois valores de K é:

$$2,292 - 2,220 = 0,072$$

Entre $n = 25$ e $n = 30$ existiriam seis (6) valores de n, incluindo ambos os valores citados ($n_1 = 25; n_2 = 26; n_3 = 27; n_4 = 28; n_5 = 29; n_6 = 30$). Vamos chamar isto de intervalo de n. Sendo assim, se para um intervalo de n igual a 6 (Int. 1 = 6), a diferença entre os valores de K é 0,072, qual será esta diferença para o intervalo igual a 4 (em que $n = 28$)? Basta fazer uma regra de três simples:

$$\begin{array}{l} 6 \longrightarrow 0,072 \\ 4 \longrightarrow x \end{array}$$

$$\text{Em que } x = (4 \times 0,072) / 6 = 0,048$$

Agora basta subtrair o valor de K para $n = 25$ (2,292) do valor de x encontrado (0,048) e este será o valor de K para $n = 28$ resultados. Ou seja, 2,244.

- d) Calculam-se os índices de julgamento do Percentil 95% ($I_{p95\%}$) e do Limite Superior de Tolerância (I_{LST}) através das equações 17 e 18:

$$I_{p95\%} = \frac{P95\%}{VRAT_{CD}, VRAT_{TETO}, \text{ ou VMP}} \quad \text{Eq. (17)}$$

$$I_{LST} = \frac{LST_{p95\%, 95\%}}{VRAT_{CD}, VRAT_{TETO}, \text{ ou VMP}} \quad \text{Eq. (18)}$$

10.4.3.1. Julgamento/conclusões

- a) Se $I_{P95\%}$ ou $I_{LST} > 1,0$: situação de **NÃO CONFORMIDADE**, pois não é possível garantir que 95% da distribuição das concentrações ou exposições estejam abaixo do limite, com 95% de confiança. É necessário rever a caracterização básica (tarefas executadas, procedimentos operacionais, fontes de emissões fugitivas, falhas ou vazamentos nos equipamentos do processo etc.), adotar medidas de controle que eliminem ou reduzam as concentrações de modo a atingir a **CONFORMIDADE** e reavaliar ($n \geq 6$ resultados). Por se tratar de exposições agudas, configura-se uma situação de risco grave e iminente à saúde.
- b) Se $I_{LST} \leq 1,0$: situação de **CONFORMIDADE**, pois é possível garantir que 95% da distribuição das concentrações estão abaixo do limite, com 95% de confiança.

10.4.4. Análise estatística dos resultados de exposição a misturas – efeito aditivo

Os resultados de exposição a misturas serão sempre números adimensionais (sem unidade), pois não são resultados de concentração e sim da razão entre a concentração e o VRAT ou VMP correspondente, conforme item 6.17 deste guia.

Contudo, os resultados de $VRAT_M$ também apresentam a mesma variabilidade que as concentrações medidas. Por isso, quando não ocorre violação do limite de mistura nas jornadas avaliadas, ainda é necessário submeter os resultados às mesmas análises estatísticas descritas anteriormente, ao longo do item 10.4. Veja exemplo nos Apêndices 1 e 2.

10.4.5. Rejeição de resultados

Resultados aparentemente discrepantes só podem ser descartados se:

- a) for confirmada a ocorrência de falhas no procedimento analítico (coleta e/ou análise), a violação ou a contaminação da amostra após a coleta;

- b) houver um grande número de resultados ($n \geq 30$), de modo que, através da aplicação de testes estatísticos de rejeição, o valor discrepante possa ser rejeitado e descartado.

Resultados aparentemente discrepantes que não se enquadrem nos itens acima podem resultar de amostras coletadas durante situações atípicas inesperadas, como vazamentos casuais, emergências etc. Nestes casos, os resultados dessas amostras só poderão ser úteis para o julgamento profissional.

10.4.6. Resultados abaixo do limite de quantificação ou detecção do método

Para efeito deste guia, os resultados expressos como abaixo do limite de quantificação do método (LQ) deverão ser substituídos pelo valor correspondente à metade do limite de quantificação (por exemplo, se o resultado for expresso como $< 0,1$ ppm, o valor a ser utilizado nos cálculos estatísticos será o próprio $0,05$ ppm). Para isso, os laboratórios devem sempre informar o valor do limite de quantificação (LQ) do método, expresso como concentração no ar, especificando o volume de ar tomado como referência.

Entretanto, nos casos de vários valores do conjunto de resultados serem reportados como abaixo do LQ, a depender da quantidade destes em relação à quantidade total de resultados, a análise estatística poderá ser inadequada. Nestas situações, as conclusões deverão ter como base o julgamento profissional.

11. Periodicidade dos monitoramentos – reavaliações

Para fins deste guia, e na ausência de orientação específica na legislação, a periodicidade das reavaliações aqui proposta está baseada no modelo da IN 01/95, Anexo 13-A, para o benzeno, com modificações. A periodicidade será, então, determinada a partir dos índices de julgamento calculados nos subitens 10.4.2 e 10.4.3.

A proposta deste guia é que o índice a ser utilizado para a definição da periodicidade seja aquele que apresente o valor mais elevado dentre os obtidos (por exemplo, se $I_{MV} = 0,32$; $I_{P95\%} = 0,51$ e $I_{LST} = 0,65$, o índice a ser utilizado será o I_{LST}). Isto porque, para a maioria das substâncias, dois tipos de VRATs estarão sendo avaliados: um da jornada integral e outro de curta duração. Aquele que apresentar o maior valor de índice de julgamento será utilizado para a definição da periodicidade.

A periodicidade mínima sugerida é:

- i. I_{MV} , ou $I_{P95\%}$, $I_{LST} > 1,0$: NÃO CONFORMIDADE. A frequência de monitoramento deve ser aquela necessária para a avaliação das medidas de controle adotadas.
- ii. $0,50 < I_{MV}$, ou $I_{P95\%}$, $I_{LST} \leq 1,0$: Após 4 meses.
- iii. $0,25 < I_{MV}$, ou $I_{P95\%}$, $I_{LST} \leq 0,50$: Após 8 meses.
- iv. $0,10 < I_{MV}$, ou $I_{P95\%}$, $I_{LST} \leq 0,25$: Após 12 meses.
- v. I_{MV} , ou $I_{P95\%}$, $I_{LST} < 0,10$: Após 24 meses.

Nas campanhas para reavaliações, sugere-se que, em situações normais de operação, as amostras sejam distribuídas aleatoriamente nos intervalos de tempo propostos no Quadro 5 a seguir, exceto em casos específicos já abordados no item 8.3.10 deste guia.

Quadro 5 Intervalo de tempo para a distribuição aleatória das amostras

Faixa do índice de julgamento	Periodicidade	Intervalo de tempo para distribuir as amostras aleatoriamente
i	Após medidas de controle	Dentro de 1 ou 2 meses
ii	Após 4 meses	Dentro de 2 a 4 meses
iii	Após 8 meses	Dentro de 4 a 6 meses
iv	Após 12 meses	Dentro de 6 a 12 meses
v	Após 24 meses	Dentro de 6 a 12 meses

Fonte: próprio autor

É uma sugestão de frequência mínima e a empresa está livre para optar por retomar os monitoramentos imediatamente após a obtenção do resultado do I_{MV} , conforme ilustrado a seguir.

Exemplo:

Empresa realizou a primeira campanha de monitoramento do GSE 1 e obteve para este $I_{MV} = 0,32$, $I_{P95\%} = 0,41$ e $I_{LST} = 0,91$. Para este GSE, o próximo monitoramento deverá ocorrer, no máximo, daqui a 4 meses. A empresa terá duas opções:

1ª Opção: aguardar os 4 meses se passarem e distribuir as amostras, aleatoriamente, nos meses subsequentes (2 a 4 meses seguintes); ou

2ª Opção: reiniciar nova campanha de monitoramento o mais rápido possível, distribuindo as amostras nos 4 meses subsequentes.

Independente da avaliação do GSE, qualquer desvio dos resultados individuais em relação aos limites de concentração estabelecidos deverá ser investigado, relatando-se as possíveis causas e as eventuais medidas recomendadas ou adotadas.

Caso haja qualquer alteração, seja tecnológica, operacional ou de procedimentos e atividades, que levem à suspeita de ocorrerem alterações significativas no referido índice, deve-se realizar uma nova avaliação.

Até a realização de uma nova avaliação, a situação a ser considerada como representativa do objeto da avaliação (exposição do trabalhador

ou do GSE, ou contaminação do ambiente de trabalho) será aquela da última avaliação realizada.

Quando ocorrerem situações de emergência, tais como respingos, vazamentos, rupturas ou outras falhas que possam levar à maior exposição ocupacional ou ao aumento na concentração ambiental do agente químico, novos monitoramentos deverão ser realizados, depois de normalizada a situação, visando garantir que a situação retornou ao nível anterior.

Caso a condição anterior à situação de emergência não seja alcançada, deve-se realizar uma nova avaliação padrão para determinar o novo valor de índice de julgamento.

Os monitoramentos realizados durante a situação de emergência servirão apenas para a caracterização da situação, visando ao direcionamento e à avaliação das medidas corretivas implantadas.

Apêndice 1

Análise estatística dos resultados obtidos

Exemplos práticos

I. Análise estatística dos resultados de jornada integral (MPT-8h)

Cálculos dos parâmetros MA, DP, MG, DPG e $LSC_{LE,95\%}$ para os seguintes resultados de concentração, representativos de jornadas de trabalho de 8 horas (MPT-8h) (em ppm): 24, 3, 39, 34, 5, 2. O agente químico X tem um $VRAT_{MPT}$ (8 h) = 78 ppm.

1) Cálculo dos logaritmos neperianos ($Y = \ln C_i$), da MA, do DP, da MAY e do DPY.

C (ppm)	$\ln C_i = Y$
24	3,18
3	1,10
39	3,66
34	3,53
5	1,61
2	0,69
MA (Eq. 9) = 17,83	MAY (Eq. 9) = 2,295
DP (Eq. 10) = 16,63	DPY (Eq. 10) = 1,314

NOTA:

Para resultados de concentração menores do que 1,0, os valores dos logaritmos serão sempre negativos (Ex.: $C_{MPT} = 0,25\text{ppm}$, $\ln(0,25) = -1,386$).

2) Cálculo dos valores de MG e DPG (equações 11 e 12):

$$MG = e^{MAY} = MG = e^{2,295} = 9,92_{\text{ppm}}$$
$$DPG = e^{DPY} = e^{1,314} = 3,72_{\text{ppm}}$$

Na calculadora, o resultado de MG pode ser obtido simplesmente inserindo-se o valor de MAY (igual a 2,295) e teclando a função ex (que é o exponencial de ln) ou “Inv” + ln (inverso do ln). O mesmo se faz com DPY (igual a 1,314) para obter o DPG.

3) Cálculo do $LSC_{LE,95\%}$: Para realizar o cálculo pela equação (13), inicialmente é preciso obter o valor do fator C no gráfico da Figura 8, para $n = 6$ e $S (DPY) = 1,31$.

$$LSC_{LE,95\%} = e \left[\left(\frac{MAY + \frac{DPY^2}{2}}{2} \right) + c \frac{DPY}{\sqrt{n-1}} \right] \quad Eq. (13)$$

Pelo gráfico, $C = 5,20$ (para $n = 6$ e $S = 1,31$). Considerando o valor de MAY (= 2,295) e DPY (= 1,314), calculados acima, tem-se:

$$LSC_{LE,95\%} = e \left[\left(\frac{2,295 + \frac{(1,314)^2}{2}}{2} \right) + 5,20 \frac{1,314}{\sqrt{6-1}} \right] = 500 \text{ ppm}^{(*)}$$

() Os valores de MAY e DPY devem ser utilizados com, pelo menos, duas casas decimais, pois o resultado desta operação pode variar bastante, a depender das aproximações dos valores que são inseridos na fórmula. Por exemplo, se tivéssemos arredondado o valor de DPY para 1,31 e o valor de MAY para 2,30, o resultado teria sido 495 ppm. Mas se tivéssemos arredondado o valor de DPY para 1,3, o resultado final teria caído para 477 ppm. Se estes valores estiverem muito acima ou muito abaixo do $VRAT_{MPT}$ esta diferença não tem influência na conclusão final, como é o caso do nosso exemplo, no qual o $LSC_{LE,95\%}$ foi muito superior ao $VRAT_{MPT}$ (=78 ppm). No entanto, em situações em que estes valores fiquem muito próximos um do outro, a conclusão final sofrerá influência direta das aproximações (arredondamentos) realizadas.*

4) Cálculo do I_{MV} utilizando a equação 14:

$$I_{MV} = \frac{LSC_{LE,95\%}}{VRAT_{MPT}} \quad I_{MV} = \frac{500}{78} = 6,4$$

Ou seja, $I_{MV} \gg 1,0$.

5) Análise dos resultados e conclusão:

Nenhum dos resultados individuais foi superior ao $VRAT_{MPT}$ (78 ppm) ou mesmo ao nível de ação (39 ppm). Apenas um deles foi igual ao NA. A MA (17,83 ppm), em consequência, ficou bem abaixo do NA. Há uma aparente indicação de **CONFORMIDADE**, entretanto, o valor do $LSC_{LE,95\%}$ foi extremamente elevado, 6,4 vezes superior ao $VRAT_{MPT}$, conforme demonstra o I_{MV} , indicando uma situação de **NÃO CONFORMIDADE**, pois não foi possível garantir que a média verdadeira do perfil de exposição ficasse abaixo do $VRAT_{MPT}$ com 95% de confiança. O valor obtido do $LSC_{LE,95\%}$ chega a ser absurdo, mas isso é resultado da elevada dispersão dos dados, demonstrada pelo valor do DPG, 3,72 ppm. De acordo com a Tabela 3, $DPG > 3$ indica processo fora de controle ou GSE pobremente definido, o que fica bastante claro ao se observar a discrepância dos resultados obtidos. A investigação e a revisão da caracterização básica poderão ajudar a entender tais discrepâncias.

II. Análise estatística dos resultados de curta duração e instantâneos

Cálculos dos parâmetros MA, DP, MG, DPG, P95% e $LST_{P95\%,95\%}$ para os seguintes resultados de concentração de curta duração (MPT-15 min) (em ppm): 65, 45, 56, 34, 20, 12. O agente químico X do item (I) tem um $VRAT_{cd}$ (15 min) = 150 ppm.

1) Cálculo dos logaritmos neperianos ($Y = \ln C_i$), da MA, da MAY e do DPY.

C (ppm)	$\ln C_i = Y$
65	4,17
45	3,81
56	4,03
34	3,53
20	3,00
12	2,48
MA (Eq. 9) = 38,67	MAY (Eq. 9) = 3,502
DP (Eq. 10) = 20,57	DPY (Eq. 10) = 0,650

2) Cálculo dos valores de MG e DPG (equações 11 e 12):

$$MG = e^{3,502} = 33,18 \text{ ppm, e}$$

$$DPG = e^{0,650} = 1,92 \text{ ppm}$$

3) Cálculo do $P_{95\%}$ (equação 15) e do $LST_{P95\%,95\%,n}$ (equação 16).

$$P95\% = MG \times (DPG)^{1,645} \quad \text{Eq. (15)}$$

$$P95\% = 33,18 \times (1,92)^{1,645} = 97,0$$

$$P95\% = 97 \text{ ppm} < 150 \text{ ppm, ou seja, } P95\% < VRAT_{CD}$$

Para realizar o cálculo do $LST_{P95\%,95\%,n}$, inicialmente é preciso obter o valor de $K_{0,95;6;0,95}$ na Tabela 7, para $n = 6$, $P = 0,95$ e $\gamma = 0,95$. O valor de K é 3,707. Para $n = 10$ o valor de K seria 2,911.

$$LST_{P95\%,95\%,6} = MG \times (DPG)^K \quad \text{Eq. (16)}$$

$$LST_{P95\%,95\%,6} = 33,18 \times (1,92)^{3,707} = 372$$

$$LST_{P95\%,95\%,6} = 372 \text{ ppm} > 150 \text{ ppm, ou seja, } LST_{P95\%,95\%,6} > VRAT_{CD}$$

4) Cálculos dos Índices de Julgamento ($IP95\%$ e $ILST$) utilizando as equações (17) e (18).

$$I_{95\%} = \frac{P95\%}{VRAT_{CD}} \quad \text{ou} \quad I_{95\%} = \frac{97}{150} = 0,64$$

Ou seja, $I_{P95\%} < 1,0$, e,

$$I_{LST} = \frac{LST_{P95\%,95\%,6}}{VRAT_{CD}} \quad \text{ou} \quad I_{LST} = \frac{372}{150} = 2,5$$

Ou seja, $I_{LST} > 1,0$.

5) Análise dos resultados e conclusão:

Nenhum dos resultados individuais foi superior ao $VRAT_{CD}$, conforme já havia sido observado na análise preliminar dos dados. O valor do $P95\%$ (97 ppm) também ficou abaixo do $VRAT_{CD}$ (150 ppm) ($I_{P95\%} < 1,0$), indicando que 95% do perfil das exposições de curta duração estão abaixo do $VRAT_{CD}$. Entretanto, o valor obtido para o $LST_{P95\%,95\%,6}$ é muito superior ao $VRAT_{CD}$ ($I_{LST} > 1,0$), indicando que não é possível garantir com 95% de confiança que o $P95\%$ é inferior ao $VRAT_{CD}$.

Conclusão: Situação de **NÃO CONFORMIDADE!** Adotar medidas de controle imediatamente.

III. Análise estatística dos resultados referentes aos efeitos aditivos de misturas de agentes químicos ($VRAT_M$) (itens 6.17 e 10.4.4)

Os cálculos são semelhantes aos realizados nos exemplos anteriores (I e II), ou seja, os resultados de $VRAT_{M-MPT}$ e os de $VRAT_{M-CD}$ (15 min ou instantâneo) serão analisados separadamente.

Como os resultados de concentração das substâncias serão divididos pelos respectivos VRATs, o resultado final será reportado como um número decimal, adimensional, ou seja, menor do que um ($< 1,0$) e sem unidade de concentração. Sendo assim, a análise estatística se dará utilizando os resultados de $VRAT_M$ calculados e não os resultados de concentração de cada agente químico da mistura.

O que precisa ser garantido é que a média verdadeira dos $VRAT_M$ seja menor ou igual à unidade, com 95% de confiança. O cálculo do desvio padrão geométrico (DPG) fornece o retrato da dispersão dos resultados de $VRAT_M$ obtidos, os quais sofreram influência direta da dispersão das concentrações de cada agente químico. Essa dispersão será determinante no resultado do $LSC_{LE,95\%}$.

1) Cálculos dos parâmetros MA, DP, DPG e $LSC_{LE,95\%}$ para os seguintes resultados de $VRAT_M$, representativos de jornadas de trabalho de 8 horas (MPT-8h): 0,4; 0,3; 0,9; 0,4; 0,5; 0,2.

$VRAT_{M-MPT}$	$\ln (VRAT_M) = Y$
0,4	-0,92
0,3	-1,20
0,9	-0,11
0,4	-0,92
0,5	-0,69
0,2	-1,61
MA (Eq. 9) = 0,45	MAY (Eq. 9) = -0,907
DP (Eq. 10) = 0,24	DPY (Eq. 10) = 0,504

Calculando os valores de MG e DPG (equações 11 e 12):

$$MG = e^{-0,907} = 0,40, \text{ e } DPG = e^{0,504} = 1,66$$

Para aplicar a equação (13), teremos que encontrar o valor de C na Figura 8 para $n = 6$ e $S(\text{MAY}) = 0,50$. Ou seja, $C = 2,55$:

$$LSC_{LE,95\%} = e \left[(-0,907 + \frac{(0,504)^2}{2}) + 2,55 \frac{0,504}{\sqrt{6-1}} \right] = 0,841$$

Calculando o I_{MV} (equação 14):

$$I_{MV} = \frac{0,81}{1,0} = 0,81$$

Conclusão: CONFORMIDADE, pois é possível afirmar, com 95% de confiança, que a média verdadeira dos $VRAT_M$ é $\leq 1,0$.

2) Cálculos dos parâmetros P95% e $LST_{95\%,95\%,n}$ para os resultados de $VRAT_M$ de curta duração.

Supondo que os resultados do item anterior (0,4; 0,3; 0,9; 0,4; 0,5; 0,2) são referentes aos $VRAT_{M-CD}$, basta agora calcular os valores de P95% e $LST_{95\%,95\%,n}$ utilizando os mesmo valores de MAY e DPY já calculados.

Pela equação (15):

$$P95\% = 0,40 \times (1,66)^{1,645} = 0,92$$

Ou seja, 95% do perfil da exposição à mistura estão abaixo do $VRAT_{M-CD}$, que é um (1,0). Ainda falta garantir que esta condição se dê com 95% de confiança, ou seja, a partir da confirmação de que o $LST_{95\%,95\%,n}$ seja menor ou igual a 1,0.

Para realizar o cálculo do $LST_{95\%,95\%,n}$ pela equação (16), inicialmente é preciso obter o valor de $K_{0,95;0,95;6}$ na Tabela 7, para $n = 6$, $P = 0,95$ e $\gamma = 0,95$. O valor de K é 3,707.

$$LST_{95\%,95\%,6} = 0,40 \times (1,66)^{3,707} = 2,62$$

Conclusão: NÃO CONFORMIDADE, pois não foi possível garantir, com 95% de confiança, que o P95% é menor ou igual ao $VRAT_{M-CD} (= 1,0)$.

IV. Influência do DPG e do número de resultados (n) nos parâmetros de testes conformidade e no julgamento final

A Tabela 8 apresenta os parâmetros estatísticos abordados no Apêndice 1 calculados para 4 grupos de trabalhadores avaliados com seis e dez resultados, em uma situação simulada na qual todas as Médias Aritméticas (MA) obtidas foram idênticas. O agente químico possui um $VRAT_{MPT}$ de 90 ppm.

Tabela 8. Parâmetros da análise estatística para quatro grupos de trabalhadores cujos resultados apresentaram a mesma MA.

	GSE-1	GSE-2	GSE-3	GSE-4
1	24	24	16	16
2	3	3	13	13
3	39	39	29	29
4	34	34	12	12
5	5	5	25	25
6	2	2	12	12
7	3	-	10	-
8	33,1	-	30	-
9	10	-	12	-
10	25	-	19	-
n	10	6	10	6
MA	17,8	17,8	17,8	17,8
DP	14,7	16,6	7,6	7,4
MG	10,9	9,9	16,5	16,7
DPG	3,22	3,70	1,50	1,47
$LSC_{LE,95\%}$	82,0	510	23,6	27,1
P95%	74,5	86,2	32,1	31,6
$LST_{P95\%,95\%,n}$	327	1300	53,7	70,2

Nos GSE-1 e GSE-2, o $DPG > 3$ (grupo pobremente definido ou processo fora de controle). Para o GSE-2, com $n = 6$, o julgamento seria de **NÃO CONFORMIDADE**, apesar de a MA estar muito abaixo do $VRAT_{MPT}$ (78 ppm).

Apêndice 2

Utilizando programas estatísticos na internet

Um modo mais prático de tratar os resultados obtidos, que dispensa o uso de calculadoras, é inserir os resultados obtidos em um dos programas ou planilhas disponibilizados gratuitamente na internet, como o Hyginist, da *Theo Scheffers Arbo Consultancy* (TSAC)¹, o Altrex Chimie, do *Institut National de Recherche et Securite* (INSR)², e o IHStat, da AIHA (Mulhausen, 2013).

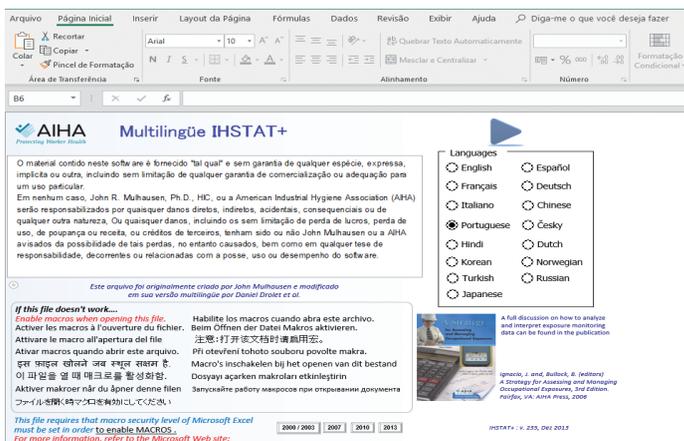
Dentre eles, o mais conhecido no Brasil é o IHStat, da AIHA, uma planilha Excel disponibilizada em língua portuguesa (Figura 9). Nela, todos os dados da estatística descritiva e mais o $LSC_{LE, 95\%}$ o P95% e o $LST_{P95\%, 95\%, n}$ podem ser obtidos automaticamente, conforme mostrado nas Figuras 10 a 12. A planilha permite a inserção de até 200 resultados de uma só vez.

Vários outros parâmetros, além dos sugeridos neste guia, são calculados na referida planilha e podem auxiliar o profissional na análise estatística dos resultados obtidos. Cada célula de cada parâmetro calculado apresenta um comentário contendo uma explicação resumida sobre ela. Para acessar o comentário, basta clicar na célula que contém uma marca vermelha em seu canto superior direito. Maiores informações sobre esses parâmetros podem ser obtidas em Hawkins et al. (1991) e Bullock e Ignacio (2006).

O programa Hyginist está disponível apenas em inglês, enquanto que o Altrex Chimie está em francês. O Hyginist possibilita ao usuário realizar as análises estatísticas utilizando, tanto os critérios adotados pelo IHStat, como outros, inclusive do NIOSH (Lei del, 1977).

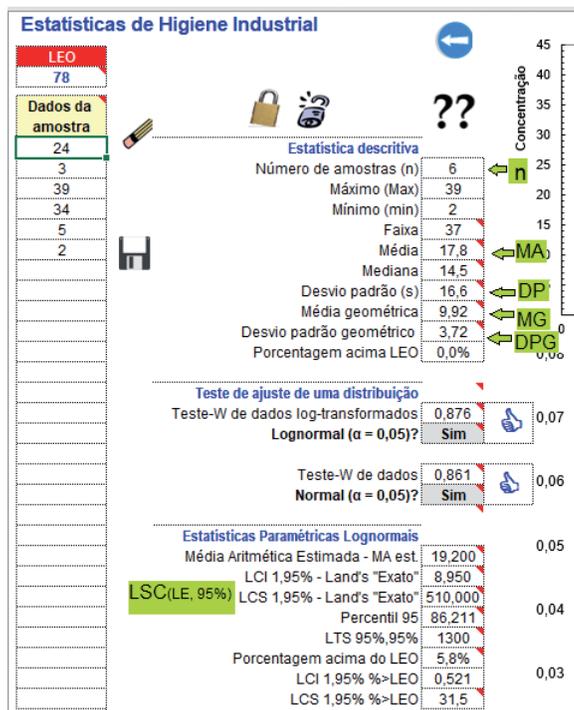
1 Disponível em: <http://www.tsac.nl/downen.html>. Acesso em: 13 out 2018.

2 Disponível em: <http://www.inrs.fr/media.html?reflNRS=outil13>. Acesso em: 13 out 2018.



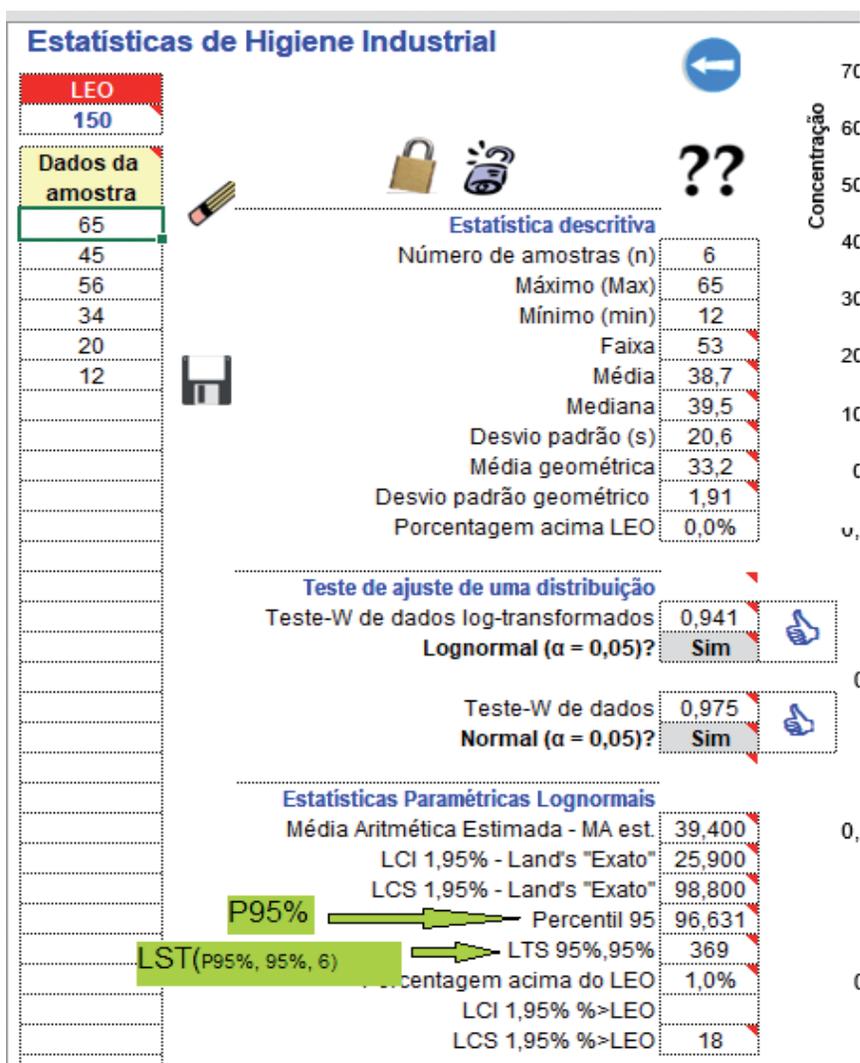
Fonte: Mulhausen, 2013.

Figura 9 Página inicial da planilha IHStat – visão geral



Fonte: Mulhausen, 2013.

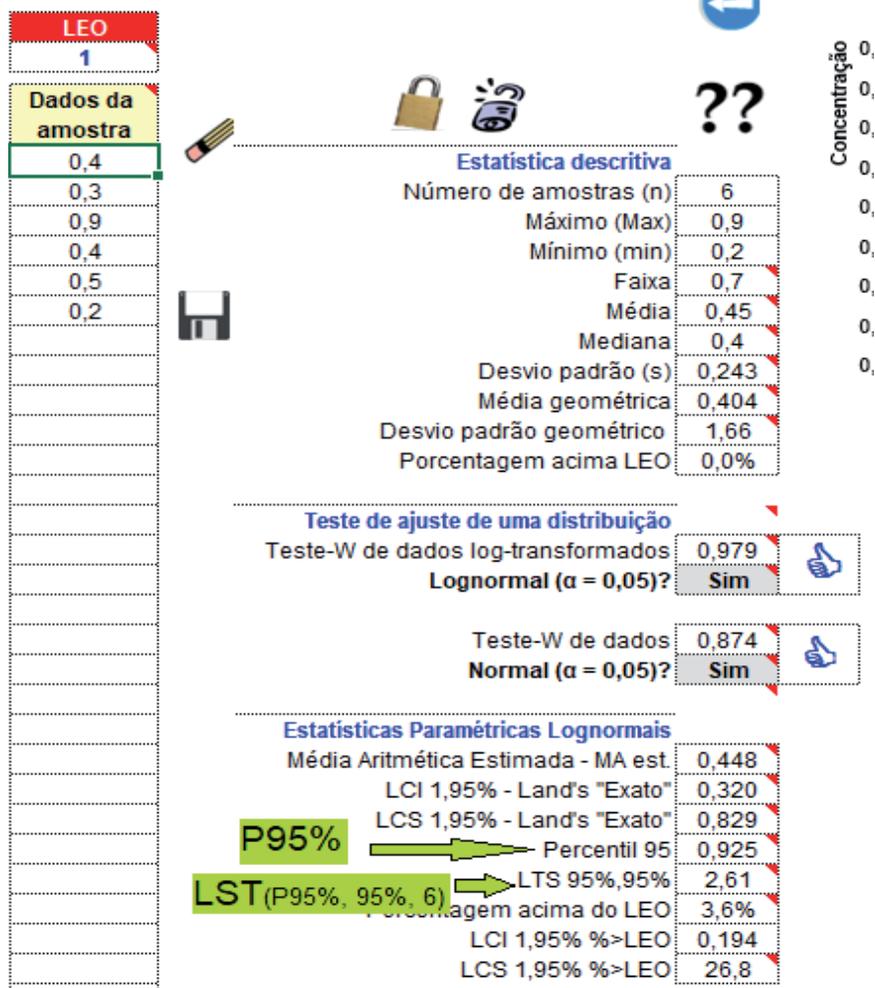
Figura 10 Detalhe da planilha IHStat, fornecendo os dados da estatística descritiva e mais o $LSC_{LE,95\%}$ para o exemplo prático 1, do Apêndice 1.



Fonte: Mulhausen, 2013.

Figura 11 Detalhe da planilha IHStat fornecendo os dados da estatística descritiva e mais o P95% e o $LST_{P95\%,95\%,6}$ para o exemplo prático 2, do Apêndice 1.

Estadísticas de Higiene Industrial



Fonte: Mulhausen, 2013.

Figura 12 Detalhe da planilha IHStat (Mulhausen, 2013) fornecendo os dados da estatística descritiva e mais o P95% e o $LST_{P95\%,95\%,6}$ para o exemplo prático 3, do Apêndice 1.

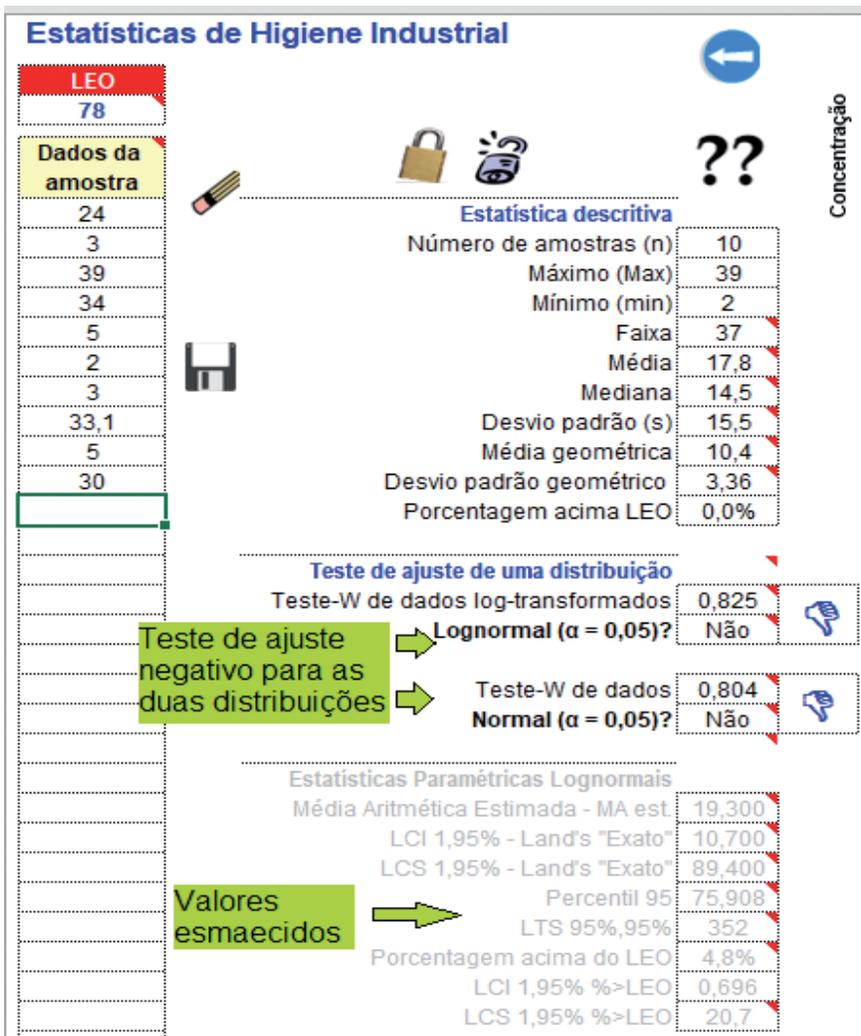
Quando os resultados não passam no teste de ajuste de uma distribuição na Planilha IHStat-AIHA

Quando os resultados inseridos na planilha não passam no teste de Shapiro e Wilk, de ajuste da distribuição, conhecido como Teste W, significa que os dados não aderem aos modelos de distribuição da planilha (normal e/ou lognormal). Quando isso acontece, os parâmetros estatísticos calculados no campo “Estatísticas Paramétricas” são apresentados esmaecidos, conforme mostrado na Figura 13. A representação simbólica é um dedo polegar voltado para baixo, em uma indicação de “reprovado”.

No exemplo da Figura 13, os dados obtidos não se ajustaram ao modelo de distribuição lognormal, assumido neste guia, portanto, os parâmetros estatísticos calculados admitindo essa distribuição não são apropriados, podendo levar a conclusões equivocadas.

Nestas situações, quando os parâmetros calculados neste guia (apresentados esmaecidos na planilha) indicarem uma situação de **CONFORMIDADE**, sugere-se seguir a periodicidade dos monitoramentos definida no item 11. Se os parâmetros calculados indicarem uma situação de **NÃO CONFORMIDADE**, sugere-se:

- a) Obter mais resultados e refazer o Teste W. Se o conjunto total de resultados também não passar no Teste W e os parâmetros calculados continuarem apontando para uma **NÃO CONFORMIDADE**, aplicar os itens (2) e (3), a seguir. Se passar no Teste W e apontar para **NÃO CONFORMIDADE**, aplicar o item (3).
- b) Revisar a caracterização básica e reavaliar, com $n \geq 6$ resultados. Se a situação se mantiver a mesma do item anterior, aplicar o item (3), a seguir.
- c) Adotar medidas de controle tecnológicas e reavaliar, com $n \geq 6$ resultados.



(Fonte: Mulhausen, 2013)

Figura 13 Detalhe da planilha IHStat (Mulhausen, 2013), apresentando esmaecimento dos resultados de estatísticas paramétricas lognormais devido ao não ajuste dos resultados na distribuição lognormal idealizada, segundo o Teste W.

Bibliografia

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). TLVs® and BEIs® Baseados na Documentação dos Limites de Exposição Ocupacional (TLVs®) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos e Índices Biológicos de Exposição (BEIs®). Ed.em português. Tradução ABHO, 2012. 256 p.

ARMSTRONG, B. G. Confidence Intervals for Arithmetic Means of Log-normally Distributed Exposures. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J.** 53 (8):481-485 (1992).

ASTM INTERNATIONAL. **Standard Practice for Evaluating the Performance of Diffusive Samplers.** ASTM D6246 - 08(2013). Disponível em: <http://www.astm.org/Standards/D6246.htm>. Acesso em: 13 out 2018.

BOHS (British Occupational Hygiene Society); NVvA (Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne). **Testing Compliance with Occupational Exposure Limits for Airborne Substances.** 2011. Disponível em: <http://www.bohs.org/wp-content/uploads/Sampling-Strategy-Guidance-2011-1.pdf>. Acesso em: em: 13 out 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 14, de 20/12/1995. IN nº 1 de 20/12/1995. **Avaliação das Concentrações de Benzeno em Ambientes de Trabalho.** 19p. 1995.

BS (BRITISH STANDARD). Workplace Atmospheres – Guidance for the Assessment of Exposure by Inhalation to Chemical Agents for Comparison with Limit Values and Measurement Strategy. BS EN 689:1996. ISBN 0580254208. 1996. 28p. Disponível em: <http://www.indunarm.co.za/downloads/BS EN 689.1996.pdf>. Acesso em: 13 out 2018.

BULLOCK, W. H.; IGNACIO, J. S. **A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures**. AIHA (American Industrial Hygiene Association), 419p, 2006.

DAVIES, B; HENDERSON, J. **Measurement of Hazardous Substances**. OH learning.com. Austrália, 2009. Disponível em: <http://www.ohlearning.com/training-search-pages/ViewTrainingMaterial.aspx>. Acesso em: 13 out 2018.

EIDE, M.; SIMMONS, M.; HENDRICKS, W. **Validation Guidelines for Air Sampling Methods Utilizing Chromatographic Analysis**. OSHA Salt Lake Technical Center. 2010. Disponível em: <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/chromguide/chromguide.html>. Acesso em: 13 out 2018.

HAWKINS, N. C.; NORWOOD, S. K.; ROCK, J. C. (Eds.). **A Strategy for Occupational Exposure Assessment**. American Industrial Hygiene Association (AIHA), EUA, 1991.

HEWETT, P; GANSER, G. H. Simple Procedure for Calculating Confidence Intervals Around the Sample Mean and Exceedance Fraction Derived from Lognormally Distributed Data. **Appl. Occup. Environ. Hyg.** 12(2):132-142 (1997).

KENNEDY, E. R.; FISCHBACK, T. J.; SONG, R.; ELLER, P. M.; SHULMAN, S. A. **Guidelines for Air Sampling and Analytical Method Development and Evaluation**. A NIOSH Technical Report. U. S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. Cincinnati, Ohio. 1995. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/95-117/>. Acesso em: 13 out 2018.

LAND, C. Standard Confidence Limits for Linear Functions of the Normal Mean and Variance. **Journal of the American Statistical Association.** 68(344):960 – 963 (1973).

LEIDEL, N. A.; BUSCH, K. A.; LYNCH, J. A. **Occupational Exposure Sampling Strategy Manual**. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), EUA, 1977. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/77-173/>. Acesso em: 13 out 2018.

MULHAUSEN, J. **AIHA Multilingüee IHSTAT, 2013, v.235**. AIHA. Disponível em: <https://www.aiha.org/get-involved/VolunteerGroups/Documents/EASC-IHSTAT-V235.xls>. Acesso em: 13 out 2018.

PATTY'S INDUSTRIAL HYGIENE AND TOXICOLOGY. **Models for Adjusting Occupational Exposure Limits**. Vol: 3A, Ch: 07-247. John Wiley & Sons, Inc. 1998.

RAPPAPORT, S.M.; SELVIN, S. A Method for Evaluating Mean Exposure from a Lognormal Distribution. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J.** 48, 374-379, 1987.

Sobre o livro

Composto em Myriad Pro bold 12/18 (título e subtítulo) e Cambria Regular, Bold, Italic 11/9

Formato 16x23 cm

Impressão: Marina Artes Gráficas e Editora
1000 exemplares

**MINISTÉRIO
DO TRABALHO**



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

Rua Capote valente, 710
São Paulo - SP
05409-002
tel. 3066-6000

www.fundacentro.gov.br



ISBN 978-85-92984-06-9



9 788592 984069 >