D

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL A
FUMOS METÁLICOS EM OPERAÇÕES DE SOLDA

F.
SERGIO COLACIOPPO

Tese apresentada à Faculdade de Saúde
Pública da Universidade de São Paulo
como requisito parcial para obtenção
do título de Doutor em Saúde Pública.

Orientador: Prof.Dr. DIOGO PUPO NOGUEIRA

São Paulo - 1984

A G R A D E C I M E N T O S

- Ao Prof. Dr. Diogo Pupo Nogueira pela contínua orientação nos caminhos da Saúde Ocupacional.
- À Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - FUNDACENTRO, pela cooperação e, em particular, ao pessoal da Divisão de Higiene do Trabalho, especialmente José Manoel Gana Soto, Maria Margarida Teixeira e Maria Luzia Rodrigues Pereira, pela inestimável colaboração na parte prática deste trabalho.
- Aos Pedreira Colacioppo pelas horas de convívio que lhes foram subtraídas.

INDEX

1.	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1.	RECONHECIMENTO	6
1.2.	AVALIAÇÃO	8
1.2.1.	<u>Medição</u>	9
1.2.1.1.	Escolha do equipamento	10
1.2.1.2.	Tempo de amostragem	15
1.2.1.3.	Número de trabalhadores a serem <u>a</u> mostrados	17
1.2.1.4.	Análise do material coletado	19
1.2.1.5.	Causas de erros em medições <u>ambien</u> tais	20
1.2.2.	<u>Comparação</u>	22
1.2.2.1.	Limites de Tolerância	22
1.2.2.2.	Índices biológicos de exposição..	26
1.3.	CONTROLE	18
2.	<u>OBJETIVOS</u>	29
3.	<u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	30
3.1.	A POPULAÇÃO E SEU AMBIENTE DE TRABALHO.....	30
3.2.	A AMOSTRAGEM	34
3.3.	O EQUIPAMENTO	35
3.4.	CALIBRAÇÃO DA VAZÃO DAS BOMBAS	38
4.	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	40
4.1.	COMPARAÇÃO COM OS LIMITES DE TOLERÂNCIA PRECONI- ZADOS PELA ACGIH	43

4.2. COMPARAÇÃO COM OS LIMITES DE TOLERÂNCIA ADAPTA-	
DOS	49
4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA	65
4.4. POSICIONAMENTO DO PORTA-FILTRO	71
4.5. VENTILAÇÃO	74
4.6. ÍNDICES BIOLÓGICOS DE EXPOSIÇÃO	74
4.7. OBSERVAÇÕES	77
5. <u>CONCLUSÕES</u>	80
6. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	83
7. <u>ANEXOS</u>	

- ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES -

Ilustração	Título	Página
Quadro 1	- Composição de Fumos de Solda	5
Figura 1	- Secção do porta-filtro	11
Figura 2	- Conjunto de bomba de amostragem pessoal	12
Figura 3	- Conjunto de calibração para bombas de amostragem	13
Figura 4	- Posicionamento do porta-filtro durante a amostragem	36
Figura 5	- Curvas de risco de superexposição para medidas de médias diárias de exposição	48
Figura 6	- Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - grupo A	56
Figura 7	- Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - grupo B	57
Figura 8	- Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - grupo C	58
Figura 9	- Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - grupo D	59
Figura 10	- Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - grupo E	60

- ÍNDICE DE TABELAS -

Tabela	Título	Página
1	- Tamanho da amostra parcial para os 10% superiores com confiança de 0.90	18
2	- Limites de tolerância para alguns metais - em miligramas por metro cúbico	23
3	- Índice Biológico de exposição para alguns metais	27
4	- Número de elementos por grupo de soldadores	30
5	- Médias aritméticas e desvios das concentrações de metais em amostras de urina e sangue de soldadores	33
6	- Número de amostras previstas	34
7	- Média aritmética e desvio padrão de concentrações de metais em microgramas por metro cúbico	41
8	- Médias e desvio padrão geométricos das concentrações de metais em microgramas por metro cúbico	42
9	- Médias geométricas padronizadas e limites de confiança superiores para concentrações de metais	44
10	- Média aritmética, desvio padrão e coeficientes de variação em avaliações ambientais - de alguns metais	45
11	- Somatória das médias padronizadas com LT_1 e limites de confiança	46

Tabela	Título	Página
12	- Meia vida biológica para alguns metais.	51
13	- Limites de tolerância segundo a ACGIH (LT ₁) e adaptado (LT ₂) em microgramas por metro cúbico	53
14	- Médias geométricas padronizadas com LT ₂ e limites de tolerância superiores para concentrações de metais	54
15	- Somatória das médias padronizadas com LT ₂ e limites de confiança	55
16	- Níveis de ação baseados no limite de tolerância adaptado em micrograma por metro cúbico	62
17	- Grupos de soldadores com exposição profissional a metais	63
18	- Concentrações de metais em amostras de ar geral em microgramas por metro cúbico	63
19	- Valores máximos para concentrações de metais em microgramas por metro cúbico.	65
20	- Concentrações de metais e material particulado total	66
21	- Consumo semanal de eletrodos de solda por grupo e probabilidade de exceder o limite de tolerância segundo BONAS e LOPES ⁶	68
22	- Concentrações de metais em microgramas por metro cúbico em amostras coletadas	

R E S U M O

Foi realizada amostragem de fumos metálicos na zona respiratória de quatro grupos de soldadores e em um grupo de prensistas não expostos a fumos metálicos.

As concentrações de metais obtidas foram comparadas com os limites de tolerância propostos pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH - e adaptados à nossa jornada de trabalho. As concentrações encontradas estão próximas aos limites de tolerância e é enfatizada e discutida a dificuldade de decidir se estão acima ou abaixo do limite.

O nível de exposição é comparado com os níveis de metais no sangue e urina encontrados abaixo dos limites de tolerância biológica.

É evidenciada a necessidade de amostrar o ar dentro do elmo, próximo ao nariz do soldador e a impraticabilidade de um limite de tolerância gravimétrico, único, para a presente situação.

S U M M A R Y

Metallic fumes was sampled from respiratory zone of four welders - group and of one not exposed to welding fumes press operators group.

The metal concentrations were compared with the threshold Limit Values proposed by the American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH - and adapted to our working day shift. The concentrations are near the thresholds and the difficulty to decide that the values are above or below the standard is showed and discussed.

The exposure levels are also compared with blood and urinary metal levels that were found below the biologic tolerance limits.

The necessity of sampling the air from a position the nearest possible to the welder's nose, and the impracticability of the use of a unic gravimetric standard for the present situation are showed.

Desde que o homem aprendeu a utilizar os metais para seu benefício, teve dificuldade em produzir peças ou ferramentas com formas um pouco mais complexas, pois deveriam ser fundidas já no seu formato final ou poderiam passar por um processo de solda em forja, que consistia em martelar as duas peças aquecidas até sua fusão. Não foi senão no final da década de 1880 que se desenvolveu a solda de arco e de resistência, passando para uso industrial poucos anos após. A solda oxí-acetileno desenvolvida no mesmo período, só passou para uso industrial após 1900 ²⁴.

A partir do início de sua utilização industrial foram introduzidas pequenas modificações nos processos de solda visando sua adequação a casos específicos, porém, basicamente utilizando-se os mesmos princípios. Várias modificações foram introduzidas nestes processos, como o revestimento de eletrodos com sais inorgânicos, soldagem em atmosfera de gás inerte, soldagens com plasma, etc.

Pode-se distinguir hoje seis tipos diferentes de soldas ^{7,2} :

- SOLDA DE ARCO, ou SOLDA ELÉTRICA - Processo bastante comum em indústria metalúrgica, consiste na utilização de uma diferença de potencial elétrico entre a peça a ser soldada e um eletrodo. Ao aproximar o eletrodo da peça, forma-se um arco voltaico que funde o metal da peça e do eletrodo. Deve-se variar a amperagem do processo e a qualidade dos eletrodos - segundo os metais que serão soldados e o tipo de solda que se deseja. Os eletrodos possuem composição variável e adequada para cada finalidade, possuindo freqüentemente pequenas porcentagens de Si, C, Mn, Zn, Cd, Cr, Cu, Co, Mo, mistu

- rados a um elemento que serve de base: - Fe, Al ou Cu. O revestimento quando existente, tem a finalidade de melhorar a qualidade da solda e é comum encontrar em tal revestimento Óxido de titânio, carbonato de cálcio, celulose, borato, talco ou asbesto.
- SOLDA DE BAIXO TEOR DE HIDROGÊNIO - Semelhante à descrita a cima e desenvolvida para solda de aço inoxidável utilizando eletrodos revestidos de fluoretos, normalmente com até 9% de fluoretos de cálcio.
 - SOLDA COM GÁS INERTE - MIG - (metal inert gas) - Utiliza um eletrodo consumível e um arco envolto em gás inerte como hélio, argônio, dióxido de carbono ou misturas destes gases. O processo utiliza alta densidade de corrente elétrica, o que leva a formação de elevadas concentrações de fumos. No caso específico de utilização de gás carbônico, é também denominada MAG - (Metal Active Gas).
 - SOLDA COM GÁS INERTE - TIG - (Tungsten inert gas) - Basicamente o mesmo processo da MIG, utilizando, porém, um eletrodo não consumível de tungstênio e tório, podendo ser ou não consumível.
 - SOLDA DE ARCO SUBMERSO - O arco é estabelecido entre o eletrodo e a peça e uma proteção é obtida cobrindo o ponto de trabalho com grânulos de material inerte que contêm fluoretos. A liberação de fumos é reduzida mas é grande a liberação de fluoretos.
 - SOLDA DE PLASMA - Neste processo o instrumento de solda fornece um jato de gás inerte através de um orifício com um gradiente de alta voltagem, resultando numa corrente de gás altamente ionizada. Há uma complexa interação de forças mecâ

nicas e eletromagnéticas no ponto de solda resultando em temperaturas de 30.000°C, podendo ser usada para solda, corte e metalização.

Além dos seis processos referidos, são utilizados outros que oferecem menor risco ao soldador. É de grande aplicação na indústria metalúrgica a solda a gás, ou oxiacetilênica, na qual o calor necessário para fundir a peça e o "eletrodo" é fornecido por um maçarico. A solda a ponto, ou por resistência, utiliza dois eletrodos não consumíveis e une duas chapas metálicas apenas no ponto de contato; desenvolve pouco calor, o suficiente, porém, para fundir o metal das chapas nos pontos. Não é utilizada em peças que serão submetidas a grande esforço; para estas a mais usual é a TIG e a MIG.

Existem ainda outros processos menos utilizados como solda com arco e gás inerte e com eletrodo de núcleo fundente e maçaricos, ou eletrodos especiais para corte de chapas e ainda solda realizada com raio laser ³² .

Como se observa, as operações de solda envolvem grande número de agentes que poderão colocar em risco a saúde do soldador, sendo os principais citados a seguir:

- a - Riscos de acidentes de trabalho. Acidentes podem ser provocados por quedas de peças, fagulhas, contato com peças aquecidas, contato com eletricidade.
- b - Doenças profissionais. Entre outras, a atividade de soldagem pode provocar fadiga, surdez profissional, - stress pelo calor, problemas de postura, oftalmia por

Estudos referentes a acidentes do trabalho com soldadores e avaliação e controle de agentes físicos podem ser encontrados em alguns trabalhos^{16 20 28 44}.

Os agentes químicos a que um soldador está profissionalmente exposto basicamente compõem os fumos de solda cuja composição se encontra no Quadro 1, conforme PEREIRA²⁶ com adaptações. Os fumos de solda representam atualmente o maior problema para a Saúde Ocupacional, pois além das diversas patologias que cada substância pode desenvolver isoladamente, podem-se observar ações aditivas a nível do aparelho respiratório que podem levar, inclusive, ao câncer pulmonar, como se verifica pelo excesso de mortalidade por esta causa observado em soldadores nos Estados Unidos²¹. Dentro dos fumos de solda será dado maior enfoque aos fumos metálicos, por representarem a maior parte dos fumos de solda e algumas dificuldades para avaliação e controle.

QUADRO 1

Composição de Fumos de Solda

Ao iniciar um estudo de um agente químico do ponto de vista da Higiene Industrial, é interessante dividi-lo em três aspectos básicos: reconhecimento, avaliação e controle, que serão vistos a seguir com relação aos fumos metálicos originados em operações de solda MAG, tendo sido escolhido este tipo de solda por ser de grande e crescente uso na indústria metalúrgica.

1.1. RECONHECIMENTO

Em razão do aquecimento no ponto de solda da peça e do eletrodo até a fusão, podemos ter a liberação de fumos metálicos, originados pela evaporação dos metais - fundidos e, portanto, líquidos - com a oxidação destes em contato com o oxigênio do ar e a seguir a condensação ao encontrar temperaturas mais baixas na atmosfera.

Os fumos metálicos em razão de sua origem, apresentam-se como material particulado em suspensão e com partículas de tamanhos que vão de 0,001 a 2 μm ²⁰, e composição variada dependendo do processo, das peças a serem soldadas e dos eletrodos envolvidos, sendo comum encontrarmos os metais constantes do Quadro 1.

São cada vez mais utilizados os processos com eletrodos protegidos com gás inerte (MIG e TIG) pois são mais práticos, dispensando a constante troca dos eletrodos, uma vez que utilizam eletrodo do tipo arame, com fornecimento contínuo. Se por um lado a atmosfera de gás inerte reduz a oxidação dos metais aquecidos, uma ventilação local exaustora poderá remover a proteção dada pelo gás inerte reduzindo a qualidade da solda⁷. Assim, num local onde se tenha vá

rios soldadores com MIG é possível encontrar-se concentrações apreciáveis de fumos metálicos no ambiente.

Ao se observar o trabalho de um soldador nota-se que este executa uma operação intermitente, ou seja, dificilmente um soldador executa apenas a operação de solda durante todo o seu dia de trabalho; normalmente seu trabalho consiste em pegar as peças a serem unidas, colocá-las na posição adequada em um gabarito, executar a solda ou as soldas, remover as peças e lhes dar um destino. Uma descrição mais detalhada da atividade de um soldador pode ser encontrada no item 810.384.014 do Dicionário de Ocupações⁴¹.

Assim, o tempo de produção de fumos é apenas uma parte do tempo total de trabalho. Ao fazer a operação de solda o soldador normalmente usa o elmo protetor contra fagulhas e radiações, o qual protege também contra a "nuvem" de fumos e fumaça que se desprende do ponto de solda. Ao terminar a solda o elmo é levantado e o trabalhador respira diretamente o ar ambiente, que após algum tempo pode estar bastante impregnado devido a continuidade de seu trabalho e de seus colegas.

Embora existam outros agentes químicos presentes na atmosfera de um ambiente de solda, no presente trabalho fixa-se a atenção nos fumos metálicos, por representarem maior problema quanto a exposição e avaliação.

Ao se iniciar o reconhecimento de um local de trabalho e seus respectivos trabalhadores, deve-se em primeiro lugar fazer uma visita preliminar, durante a qual há necessidade de se observar e definir os seguintes pontos:

- a) Área - esta deve ser definida o melhor possível utilizando-se referências fixas como edifícios, colunas e equipamentos

de grande porte.

- b) Número de expostos - verificar quantos trabalhadores estão simultaneamente dentro da área em questão, e ainda, se há outros grupos de trabalhadores em turnos ou ainda trabalhadores não fixos na área, mas que nela adentram como: supervisores, pessoal da manutenção, controle de qualidade, etc.
- c) Tempo de exposição - baseados na definição da área e do número de expostos, estimar o tempo de exposição para cada trabalhador ou grupo de trabalhadores.
- d) Movimentação de materiais - observar o fluxograma de trabalho, estabelecendo-se as funções de cada trabalhador ou grupos para saber-se quem trabalha com o que.
- e) Ritmo de trabalho - observar o cronograma de trabalho da área, verificando as flutuações na produção durante o dia, a semana, o mês e o ano.
- f) Condições ambientais - verificar a ventilação da área; se natural ou artificial, e sua variação ao longo do tempo.
- g) Agentes a pesquisar - através dos materiais utilizados na área, definir o que pode estar sendo lançado na atmosfera a ser avaliado, orientando assim a análise laboratorial posterior.
- h) Outras substâncias - verificar a presença de outras substâncias na área que possam alterar os resultados das medições por interferência na coleta ou análise.

1.2. AVALIAÇÃO

Avaliar alguma coisa é medir algum parâmetro e em seguida comparar com um padrão para, posteriormente, se obter uma conclusão.

Atualmente a avaliação de um ambiente de trabalho com o intuito de se verificar a extensão da contaminação por agentes químicos tem sido uma preocupação e um desafio aos profissionais que militam na Saúde Ocupacional. A ausência de métodos padronizados e de Limites de Tolerância específicos para as nossas condições, assim como a dificuldade atual de importação de equipamentos e reagentes, contribuem para a atual situação.

O primeiro passo para uma avaliação ambiental de fumos metálicos é a medição da concentração de fumos no local de trabalho.

1.2.1. Medição

Com os elementos fornecidos pela visita preliminar, deve-se, a seguir, estabelecer a melhor estratégia de amostragem.

Não há uma estratégia de amostragem única aplicável a todos os casos de avaliações ambientais. Cada caso - deve ser estudado detalhadamente e adequar-se a estratégia de amostragem às suas peculiaridades.

Tendo em vista os recursos disponíveis, deve-se observar ainda:

- a - Disponibilidade, custo aquisitivo e operacional do equipamento de amostragem.
- b - Disponibilidade e custo das análises do material coletado.
- c - Disponibilidade e custo do pessoal envolvido na coleta.
- d - Localização dos trabalhadores.

- e - Precisão, sensibilidade e exatidão dos métodos analíticos.
- f - Número de amostras necessárias.

1.2.1.1. Escolha do equipamento

No caso particular de medições de concentrações de fumos metálicos, poucos são os tipos de equipamentos utilizáveis:

- a) precipador eletrostático - equipamento que, apesar de boas características de eficiência de coleta, apresenta algumas dificuldades práticas de uso que não foram ainda superadas, como sua necessidade de ligar à corrente elétrica, necessidade de acompanhamento contínuo de coleta e certo risco de choque elétrico. Tem, no entanto, a vantagem de poder funcionar durante várias horas sem risco de queda da vazão.
- b) filtração - é o processo mais utilizado atualmente pois reúne grande número de vantagens. Pode-se utilizar bombas fixas ou portáteis providas de baterias próprias permitindo amostragens pessoais e sem acompanhamento contínuo. Podem ser utilizados filtros de diferentes porosidades de acordo com a necessidade, e no caso particular de fumos metálicos, é recomendado o de menor porosidade possível e que produza resultados práticos. O National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH³⁷ recomenda os de 0,8 μm e seria possível utilizar filtros³⁴ com porosidade ainda menor; existem tais filtros, porém a quantidade a mais em massa de partículas coletadas é tão pequena em relação à massa das partículas maiores que não justifica o aumento do custo; além disto, filtros de baixas porosidades tendem a obstruir com mais facilidade, originando flutuações mais frequentes na vazão da bomba.

Pode-se ainda considerar o tipo de suporte para o filtro. O método aceito pelo NIOSH³⁷ não menciona este detalhe, porém pode-se usar um porta-filtro de face aberta ou de face fechada.

Fig. 1 - Seção do porta-filtro

BEAULIEU e colaboradores⁴ realizaram interessante estudo comparativo entre os dois tipos de porta-filtros, para diferentes tipos de aerodispersóides. Apesar das diferenças observadas nas velocidades de captura e eficiência de coleta, as variações observadas com fumos de solda são insignificantes, sendo, portanto, mais indicados os de face fechada pois estes são menos sujeitos a contaminação e perda do material coletado.

Uma variação que se poderia sugerir é o uso de um pré-seletor do tipo ciclone que separa as partículas não respiráveis, superiores a 10 μm , deixando passar somente as respiráveis segundo a curva de retenção nas vias respiratórias^{15 33}

Deve-se observar, no entanto, que tais estudos foram predominantemente realizados com sílica, e no caso de fumos metálicos, esperam-se partículas de diâmetro inferior a $10\text{ }\mu\text{m}$; por outro lado, as partículas de menor diâmetro aerodinâmico terão maior facilidade de atingir os alvéolos e serem posteriormente absorvidas, ao passo que as partículas não respiráveis podem ser retidas no trato respiratório superior e, após, podem ser absorvidas por dissolução diretamente na mucosa ou ainda serem deglutidas e absorvidas pelo trato digestivo.

Assim, o uso de pré-seletor não é recomendado, inclusive os limites de tolerância são estabelecidos com base em estudos realizados coletando-se apenas com filtro.

FIG. 2 - Conjunto de bomba de amostragem pessoal e porta-filtro.

Pelo processo de filtração, usa-se uma bomba aspirante cuja vazão nos é dada pelo rotâmetro a ela acoplado, como se vê na Figura 2.

Para uma correta medição do volume total de ar coletado, é fundamental que o rotâmetro seja calibrado, o que se faz através de uma calibração da escala do rotâmetro em função de um instrumento padrão como o espirômetro, ou ainda segundo a recomendação do NIOSH^{29 30} com uma bureta, conforme a Figura 3.

Fonte: NIOSH⁴⁰

FIG. 3 - Conjunto de calibração para bomba de amostragem

É feita a aspiração do ar pela parte superior de uma bureta invertida e forma-se um pistão sem atrito, através da umectação das paredes internas da bureta com solução de sabão e formação de uma película de solução, película esta transversal ao eixo da bureta e que é aspirada para cima pela bomba a ser calibrada, medindo o tempo gasto para a passagem de um determinado volume de ar, observando-se um máximo de 2 polegadas de água de diferença de pressão.

Deve ser realizada uma calibração com o filtro que será usado na amostragem, antes e depois da amostragem utilizando-se para cálculo do volume a seguinte equação:

$$V = \frac{f_1 + f_2}{2} \times t$$

onde: V = volume da amostra
 f_1 = vazão inicial
 f_2 = vazão final
 t = tempo de amostragem

A calibração do rotâmetro apenas, antes da amostragem e posterior correção na vazão da bomba em intervalos regulares, para manter a indicação do rotâmetro, pode ser utilizada, porém, leva a erros superiores aos obtidos com o esquema descrito anteriormente ⁴³.

Caso a calibração não tenha sido feita no local da amostragem imediatamente antes e após a coleta, deve-se ter o cuidado de verificar a temperatura e pressão atmosférica do local de calibração e do local de amostragem, para posterior correção do volume de ar amostrado pela equação ²⁰:

$$V_c = V \times \sqrt{\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}}$$

onde: V_c = volume corrigido
 V = volume da amostra
 P_1 = pressão na calibração
 T_1 = temperatura na calibração
 P_2 = pressão na amostragem
 T_2 = temperatura na amostragem

O processo de filtração com amostradores pessoais é o que mais se presta para a avaliação de fumos metálicos, pois em higiene industrial normalmente não se deseja avaliar o ambiente de trabalho, mas sim avaliar a exposição dos nossos trabalhadores a determinado agente. Assim, é desejável a amostragem do ar o mais próximo possível do nariz do trabalhador e acompanhando este durante todo o dia de trabalho; além disto, a zona respiratória de um soldador deve ser definida como a região situada realmente onde está o nariz do soldador, ou seja, atrás do elmo protetor e não fora deste.

1.2.1.2. Tempo de amostragem

Idealmente pode-se pensar que em relação ao tempo de medição da concentração de fumos metálicos poderia ser determinada instantânea e continuamente durante todos os dias de trabalho, de tal maneira que se tenha, de instante a instante, o comportamento da concentração de fumos ao nível de cada soldador. Tal estratégia, porém, é impraticável e desnecessária, pois pode-se com boa margem de segurança, realizar uma amostragem em relação ao tempo.

Para fumos metálicos cujos efeitos são predominantemente observados a longo prazo, é desejável estimar-se a

concentração média diária de exposição do trabalhador. A coleta deve ser realizada durante períodos longos, ou mesmo durante toda a jornada de trabalho se praticamente possível.

Uma amostragem de período completo poderá ser dividida em períodos menores quando se busca uma determinada - flutuação da concentração em virtude de alterações na rotina de trabalho.

Deve-se observar, ainda, que o tempo de coleta poderá ser reduzido somente até um mínimo que garanta a coleta de uma quantidade de metais que seja superior ao limite de detecção do processo analítico empregado.

Deve-se considerar ainda que a amostragem de apenas um dia não é satisfatória, a menos que se tenha certeza de que o dia amostrado seja exatamente igual aos demais dias do ano. Assim, segundo LIEDEL et col.¹⁴, a frequência das avaliações deve ser ajustada dependendo da grandeza e da variabilidade dos resultados obtidos e conforme o "julgamento profissional". ROACH²⁹, levando em consideração a meia vida biológica do agente químico, estima que a duração da amostragem deve ser de um décimo da meia vida biológica, buscando-se a não exposição do trabalhador durante o período amostrado a altas concentrações que possam levá-lo a uma carga total do organismo, em um dado instante, superior à tolerável.

Desta forma, verifica-se que para fumos metálicos, deve-se realizar uma amostragem com duração mínima de algumas horas, de acordo com o limite de detecção do método analítico e em pelo menos dois dias para se verificar a flutuação de um dia para outro, ou mesmo de uma semana para outra dependendo das particularidades de cada ambiente.

1.2.1.3. Número de trabalhadores a serem amostrados

Como foi referido em relação ao tempo, pode-se desejar uma avaliação em que a medição da concentração de fumos seja realizada na zona respiratória de todos os soldadores.

Tal estratégia, porém, poderá até ser considerada e inclusive realizada com pequenas populações, sendo, porém impraticável com grandes populações, sendo então desejável uma amostragem em relação ao número de elementos.

Através do estudo preliminar da população e seu local de trabalho, pode-se classificá-la como homogênea em relação ao risco de exposição a fumos metálicos ou dividi-la em grupos homogêneos, de tal modo que, ao menos aparentemente e pelas observações preliminares, todos os elementos da população ou do grupo, estejam nas mesmas condições em relação à exposição a fumos metálicos.

Em cada grupo homogêneo é feita uma escolha de determinado número de trabalhadores, que constituirão a amostra em relação ao grupo. Isto pode ser feito segundo LIEDEL et col¹⁴, que estabelecem uma amostra mínima que dará com 90% de confiança uma fração do grupo que, pelo seu tamanho, inclua pelo menos um elemento que esteja nos 10% mais altos níveis de exposição.

TABELA 1 - TAMANHO DA AMOSTRA PARCIAL PARA OS 10%
SUPERIORES COM CONFIANÇA DE 0.90

Número de elementos do grupo	Número de elementos a serem amostrados
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
mais de 50	22

Fonte: LIEDEL, A.L. et cols.¹⁴

Estabelecido o número de elementos do grupo ou população a ser amostrado, procede-se à escolha dos componentes do grupo amostral, ou seja, em quais trabalhadores serão realizadas amostragens de fumos metálicos.

A não ser que se queira verificar as condições de um trabalhador em especial, e considerando o grupo homogêneo em relação ao risco, procede-se à escolha aleatória e parcialmente, de forma que todos os elementos do grupo tenham a mesma possibilidade de participar da amostra, o que pode ser feito, por exemplo, por sorteio, ou com o uso de uma tabela de números aleatórios.

A legislação brasileira atual, através da norma regulamentadora 15 da portaria ministerial 3214, de junho de 1978, anexo 11, ítem 6¹⁸, estabelece que:

"A avaliação das concentrações dos agentes químicos através de métodos de amostragem instantânea, de leitura direta ou não, deverá ser feita pelo menos em 10 (dez) amostragens, para cada ponto ao nível respiratório do trabalhador. Entre cada amostragem deverá haver um intervalo de, no mínimo, 20 (vinte) minutos."

Verifica-se, porém, que apesar de ser a única referência legal à estratégia de amostragem, esta não se aplica a fumos metálicos, pois estes não constam do referido anexo 11. Por outro lado, é tecnicamente impossível realizar amostragens instantâneas para fumos metálicos com os atuais equipamentos.

1.2.1.4. Análise do material coletado

No material coletado no filtro membrana é feita uma dosagem do elemento componente dos fumos, que se inicia por uma mineralização em meio ácido com destruição

da matéria orgânica e, a seguir, uma análise por colorimetria, através de um desenvolvimento de cor com um complexante adequado, ou por espectrofotometria de absorção atômica, que se faz com a atomização da amostra por uma chama, ou em um forno de grafite. O segundo método, apesar de utilizar equipamento mais caro é mais aceito por ter menor risco de contaminação, boa sensibilidade e precisão²⁷, sendo recomendado por vários autores, inclusive pelo NIOSH³⁷.

1.2.1.5. Causas de erros nas medições ambientais

Ao se realizar uma medição da concentração de um agente químico na atmosfera, deve-se estar atento a possíveis erros que podem ser originados principalmente por:

- a - Erros aleatórios do equipamento de coleta (ex.: flutuação aleatória da vazão da bomba).
- b - Erros aleatórios do método analítico.
- c - Flutuações da concentração ambiental durante o dia.
- d - Flutuações da concentração ambiental de um dia para outro.
- e - Erros sistemáticos no processo de medição (ex.: calibração errada, mal uso do equipamento, etc.).
- f - Mudanças sistemáticas das condições ambientais (ex.: mudança de local de trabalho, mudança da ventilação, etc.).
- g - erros aleatórios ou sistemáticos produzidos por uma contaminação do elemento de captação (filtro), produzida intencionalmente ou não pelo trabalhador com a produção maior do contaminante próximo ao ponto de captação ou com o lançamento de partículas na direção deste.

Os erros aleatórios e flutuações a, b, c e d podem ser chamados erros estatísticos pois podem ser indicados, embora não prevenidos, por uma análise estatística. Os erros sistemáticos (item e) incluem erros do equipamento e falhas hu

manas na sua utilização.

Os erros aleatórios a e b, são quantificáveis e seus efeitos podem ser minimizados por um controle de qualidade estatisticamente elaborado. O controle de qualidade também nos possibilita ter uma boa idéia da variação - coeficiente de variação - de um procedimento de coleta e análise.

Variações aleatórias das concentrações ambientais de um contaminante, durante um dia ou de um dia para outro, são mais influenciados primariamente pelo processo que gera o contaminante e pelos hábitos do trabalhador. Não há razões para acreditar que as flutuações sejam influenciadas pela natureza química do contaminante, mas é provável que sejam pela sua natureza física (poeira, neblina, gás)¹⁴.

É importante notar que as variações aleatórias ambientais de um contaminante em um local de trabalho podem exceder de muito a flutuação dos processos analíticos (frequentemente de 10 a 20 vezes)¹⁴.

Erros sistemáticos podem ser constantes durante uma série de amostragens - por calibração inadequada - ou podem variar abruptamente por uma mudança no processo. Estes erros não podem ser evidenciados estatisticamente e se forem detectados no decorrer da medição, deve ser feita a sua respectiva correção antes da análise estatística. Muitas vezes, porém, passam despercebidos e levam a uma variação maior dos dados que a esperada apenas por variações aleatórias. O controle dos erros sistemáticos é, antes de tudo, um problema técnico do que estatístico¹⁴.

Idealmente uma avaliação ambiental deve ser repetida periodicamente, o que permite observar o comportamento

de erros através das flutuações das concentrações encontradas.

1.2.2. Comparação

1.2.2.1. Limites de Tolerância

Os valores de concentração atmosférica dos fumos de solda como um todo ou seus componentes isoladamente, podem ser comparados com os padrões que são os limites de tolerância (LT).

O Brasil não dispõe de LT desenvolvidos e estabelecidos para sua própria população trabalhadora e, como vários outros países, adota e adapta a orientação da American Conference of Governmental Hygienists (ACGIH), que reúne todas as informações possíveis sobre o assunto e publica anualmente a lista "Threshold Limit Values" (TLV)¹.

Na introdução dos TLV, a ACGIH afirma que:

"Os TLV referem-se a concentrações de aero-dispersóides e representam condições sob as quais supõem-se que quase todos os trabalhadores podem estar expostos dia após dia sem efeito adverso"

"Não são propostos para serem usados(ou modificar): 1- Como um índice relativo de risco ou toxicidade. 2 - Na avaliação ou controle do ar de uma comunidade. 3 - Para estimar o potencial tóxico de uma exposição contínua, ininterrupta ou outros períodos prolongados. 4 - Como prova da existência ou não de uma enfermidade ou condição física. 5 - Para serem usados em países cujas condições de trabalho diferem daquelas dos Estados Unidos da América do Norte, ou diferem as substâncias ou processos."

Os TLV adquiriram força legal em 1971 nos Estados Unidos da América e desde então a Occupational Safety and Health Administration (OSHA) tem promulgado alterações em algumas substâncias visando uma adaptação às condições do momento.

No Brasil os LT existiram a partir da Norma Regulamentadora nº 15 que, no seu anexo 11, regulamenta os limites de tolerância para agentes químicos conforme o preconizado pela portaria 3214, de junho de 1978.

Apesar das restrições expostas acima, os LT brasileiros são basicamente os limites sugeridos pela ACGIH, de 1977, com uma redução proporcional de seus valores em virtude de uma maior exposição semanal de nossos trabalhadores, uma vez que a orientação da ACGIH refere-se a 40 horas semanais e a legislação brasileira refere-se a 48 horas.

Assim, os padrões a que podemos fazer referência numa avaliação de fumos metálicos em operações de solda constam da Tabela 2.

TABELA 2 - LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA ALGUNS METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO.

Metal	Limite de Tolerância	
	ACGIH (1)	NR 15 (18)
Cr	500	—
Cu	200	—
Mn	1000	—
Fe	5000	—
Cd	50 T	—
Pb	150	100
Zn	5000	—
Ni	100	—
Fumos de solda	5000	—

Com os parâmetros indicados na Tabela 2, verifica-se a possibilidade de utilização de um limite para cada metal isoladamente ou um limite único para fumos de solda. Esta questão ainda está em aberto inclusive sendo recomendado seu estudo mais aprofundado pela ACGIH¹.

Os limites de tolerância estão definidos como média ponderada pelo tempo de 8 horas de exposição diária, ou seja, deve-se considerar todo o tempo de exposição diária do soldador e, com exceção do valor de 0,05 mg/m³ para cádmio, pode-se ter uma flutuação da concentração ambiental desde que a média seja inferior ao LT e não se tenha no período valores superiores ao nível de exposição de curto período (15 minutos) - que são superiores aos limites de tolerância e calculados multiplicando-se estes por um fator de desvio específico¹. Há que se recordar, todavia, que não se dispõem atualmente de meios práticos de medir fumos de solda por períodos muito curtos, a não ser em casos de concentração muito elevada.

Assim, após a avaliação pode-se deparar com três situações:

- a - As concentrações encontradas são em muito superiores ao limite de tolerância, justificando, sem dúvida, a implantação de medidas de controle.
- b - As concentrações encontradas são em muito inferiores ao limite de tolerância, e pode-se deixar o ambiente como está sem que haja prejuízo à saúde do trabalhador.
- c - As concentrações encontradas estão próximas ao limite de tolerância e pode-se ter dúvidas quanto a real necessidade - de medidas de controle, as quais tendem a se tornar mais caras à medida que se quer aproximar a concentração ambiental de zero.

Outro parâmetro importante na avaliação do risco à saúde do soldador é a comparação da concentração obtida com o "nível de ação" conforme se verifica no Manual de Estratégia de Amostragem de Exposição Ocupacional, apêndice técnico L¹⁴:

"É o ponto em que certas atividades do padrão proposto devem ser iniciadas, como medidas periódicas da exposição e supervisão médica. Este ponto é a metade do limite de tolerância e as atividades devem ser iniciadas se em um único dia a concentração exceder o nível de ação".

Este ponto é importante para se definir se um dado grupo está ou não exposto e se as medidas de Higiene industrial e Medicina do Trabalho são ou não cabíveis.

Aceita-se genericamente o nível de ação como metade do limite de tolerância, em virtude do fato que na maioria dos casos a flutuação das concentrações devido a vários fatores já citados podem dobrar o valor desta, atingindo, assim, o L.T. É claro que com ambientes com maiores flutuações, o nível de ação deverá ser menor, podendo inclusive ser calculado em função desta variação¹³.

Deve-se ainda considerar que os limites de tolerância por melhor que sejam estabelecidos, não devem ser considerados como proteção total a todos os trabalhadores pois os hipersusceptíveis, que não são identificados facilmente, podem dar uma resposta acima do esperado a uma dada exposição. Do ponto de vista de higiene industrial, pouco se pode fazer nestes casos, a não ser uma eliminação praticamente total da exposição: assim, caberá à Medicina do Trabalho um controle pré-admissional e periódico adequado para detectar esta situação particular.

1.2.2.2. Índices biológicos de exposição

Ao se efetuar uma avaliação da exposição a fumos metálicos, há necessidade de, paralelamente à avaliação do ambiente, efetuar-se uma avaliação biológica, que consiste em realizar testes que possam refletir não só a exposição do trabalhador, mas também a absorção por parte deste dos agentes químicos a que está exposto.

Dependendo da toxicocinética e toxicodinâmica que ocorre com cada substância no interior do organismo, diferentes testes podem ser realizados, que poderão refletir apenas absorção, como as dosagens dos metais no sangue e urina, ou refletir ainda uma ação sobre o organismo, como é o caso de de terminação de produtos de sua ação tóxica.

No caso específico de fumos metálicos, devemos considerar duas formas de ação sobre o organismo. Primeiro, uma ação local a nível do trato respiratório, originando distúrbios pulmonares; segundo, uma ação tóxica sistêmica que é observada após a absorção do metal pela corrente sanguínea e sua distribuição aos pontos sensíveis.

Considerando que o organismo do trabalhador esteja em contato constante com o agente químico, atinge-se um estado de equilíbrio em que a quantidade que é absorvida é igual à excretada, somada à possivelmente depositada, equilíbrio este que é alterado nas pausas diárias ou de fim-de-semana, porém de forma discreta nos casos dos metais com meia vida biológica relativamente grande. Assim, vários limites tem sido propostos para os índices biológicos de exposição e na Tabela 3 encontramos alguns destes.

TABELA 3 - ÍNDICE BIOLÓGICO DE EXPOSIÇÃO PARA ALGUNS METAIS

Metal	Índice	Valor		Referência
		Normal	Máximo	
Cádmio	urina $\mu\text{g}/\ell$	1 - 2	100	42
Chumbo	sangue $\mu\text{g}/\text{d}\ell$	até 40	60	19
	urina $\mu\text{g}/\ell$	até 65	150	19
Cobre	urina $\mu\text{g}/\ell$	18 - 33	-	36
Cromo	urina $\mu\text{g}/\ell$	-	40	19
			50	42
Ferro	plasma $\mu\text{g}/\text{d}\ell$	110 - 285	-	36
Manganês	urina $\mu\text{g}/\ell$	1 - 10	-	36
		20	50 - 80	3
Níquel	urina $\mu\text{g}/\ell$	2 - 2,7	-	36
		-	60	19
		-	60 - 150	3
Zinco	urina $\mu\text{g}/\ell$	800 - 1200	-	3
		150 - 700	1200	19
		-	1500	36

1.3. CONTROLE

Após as duas fases iniciais de reconhecimento e avaliação, tendo-se concluído pela excessiva exposição do trabalhador a fumos metálicos, deve-se passar à fase seguinte de controle da exposição.

Este controle se faz através de duas formas básicas: por medidas de engenharia de higiene industrial e por medidas de medicina do trabalho.

Do ponto de vista de higiene industrial, considere-se inicialmente a possibilidade de eliminação da fonte de fumos metálicos ou o controle de sua emissão pelo estudo das variáveis do processo, como a corrente elétrica empregada, temperatura, composição dos eletrodos, gases utilizados, etc. Esgotando-se estas possibilidades, passa-se ao controle dos fumos já na atmosfera que, se em pequena quantidade, poderá ser diluído, ou se em quantidades maiores deverá ser estudada a ventilação local exaustora.

WIEHE e colaboradores⁴⁵ descrevem interessante processo de controle para emissão de fumos de solda MIG / MAG, onde a ventilação local exaustora é feita com o próprio equipamento de solda e os fumos aspirados logo após uma formação.

Paralelamente às medidas de higiene industrial, e mesmo após a implantação destas, devem ser tomadas medidas de ordem médica que consistem basicamente em exame médico antes do trabalhador iniciar suas atividades na área de soldas e periodicamente, afim de detectar qualquer sinal ou sintoma precoce de uma ação dos fumos metálicos sobre o organismo do trabalhador.

O presente trabalho foi desenvolvido para que, através de estudo de um ambiente de trabalho e de trabalhadores expostos a fumos metálicos, se atingissem os seguintes objetivos:

- a - Estudar a adequação de métodos de avaliação ambiental para que se possa, de maneira simples e econômica, estimar a exposição profissional a fumos metálicos, em condições próximas ao limite de tolerância.
- b - Verificar a aplicação de limites de tolerância da ACGIH à população estudada.
- c - Verificar a possibilidade de utilização de um limite de tolerância único.
- d - Verificar a possibilidade de utilização da dosagem de metais na urina como índice biológico de exposição.
- e - Verificar a possibilidade de utilização de equipamento que permita a amostragem de fumos metálicos na zona respiratória do soldador.

3.1. A POPULAÇÃO E SEU AMBIENTE DE TRABALHO

Foi estudada a população de uma empresa metalúrgica da Grande São Paulo, tendo sido escolhida para estudo por apresentar, além das facilidades oferecidas, um ambiente de trabalho com as principais medidas de controle implantadas e concentrações de fumos metálicos próximas ao limite de tolerância, como foi verificado em testes preliminares.

Devido as características do ambiente de trabalho, assim como pelo tipo de operação efetuada, a população total dos soldadores foi dividida em quatro grupos homogêneos em relação à exposição a fumos metálicos, que constam da Tabela 4 juntamente com os respectivos números de elementos.

TABELA 4 - NÚMERO DE ELEMENTOS POR GRUPO DE SOLDADORES

Grupo	1º turno	2º turno	Total
A	43	-	43
B	12	11	23
C	46	15	61
D	50	23	73
TOTAL	151	49	200

Paralelamente foi estudado um grupo controle grupo E - composto de 52 elementos, empregados da mesma empresa, porém, trabalhando na seção de prensas e estamparia e sem contato com operações de solda, com 26 elementos por turno.

A atividade básica desenvolvida pelos soldadores

é a solda de peças de aço doce com a utilização de equipamento de solda MAG, ou seja, solda produzida por fusão dos metais envolvidos, através de arco elétrico e eletrodo consumível contínuo e proteção de gás carbônico²⁵.

A corrente elétrica é contínua com uma voltagem que varia de um equipamento para outro com uma faixa de 20 a 33 v. A amperagem igualmente variando de 150 a 250 A.

Os eletrodos utilizados são de arame cobreado, AWS A.5.18.69 E.70 S.6 e AWS A.5.18.79 ER. 70S-6 bitola 1,00 mm, fornecidos em rolos de 15 Kg e com a seguinte composição, segundo o fabricante:

C	0,07 - 0,15 %
Mn	1,40 - 1,85 %
Si	0,80 - 1,15 %
P	0,025% max.
S	0,035% max.

Apenas em dois pontos do grupo A é utilizada solda de arco elétrico com eletrodo de aço sem liga revestido, nº AWS E.6011 bitola 3,25 mm, operando com corrente contínua - de 70 V e 120 A.

O grupo A, constituído de 43 soldadores, estão distribuídos ao longo de uma linha de montagem com cerca de 1000 m²; no final desta os soldadores situam-se em cabines individuais e as peças são transferidas de uma para outra através de esteiras. Na parte central, tem-se um ambiente único e as peças, fixadas a uma esteira circular, passam por vários pontos onde recebem as soldas. A ventilação é natural, existindo ventilação exaustora em 8 pontos, que consiste em uma grande coifa situada acima da cabeça dos operários. Observa-

se, a olho nu, a presença de fumaça dispersa pela área. Todos os soldadores utilizam elmo.

O grupo B é constituído de 23 elementos, distribuídos ao longo de uma linha de montagem linear de cerca de 400 m² e as operações de solda são realizadas dentro de uma grande cabine e não se observa dispersão de fumaça pela área. Todos os soldadores utilizam elmo.

O grupo C é constituído de 61 soldadores, que trabalham com peças relativamente pequenas e em cabines individuais, dispersas por uma área de cerca de 2500 m², cada um fazendo a solda de um certo ponto e passando as peças para a cabine seguinte por meio de calhas inclinadas. Todos usam elmo, com exceção de três soldadores que operam máquinas automáticas que dispensam o uso deste. Não havia ventilação exaustora por ocasião da avaliação ambiental, sendo esta feita por ventilação natural, através de aberturas existentes no telhado e insuflação de ar em pontos a 4 m do piso. Observa-se, a olho nu, a presença de fumaça na área.

O grupo D é constituído de 73 soldadores. Embora com diferentes peças para soldar, as condições ambientais são praticamente iguais as do grupo C, apenas com a diferença que este grupo possui 6 soldadores operando máquinas automáticas e todos os demais, com operação manual e com uso de elmo. A ventilação natural se processa por janelas. Há ventilação local exaustora em oito pontos.

O ritmo de trabalho é igual para todos os grupos, com uma jornada diária de 9 h e 36 min., com uma parada de 5% do tempo para necessidades pessoais e de 5 a 7% para necessidades gerais, além de um intervalo de 60 min. para refeição.

ção. O número de peças produzidas por soldador é praticamente constante em todos os grupos, sendo ajustado o número de soldadores com a flutuação da produção.

Por ocasião do exame médico periódico, no segundo semestre de 1983, foram realizadas dosagens de metais em amostras de urina e sangue destes trabalhadores. As dosagens foram realizadas por laboratório com o qual a empresa mantém convênio, através de espectrofotometria de absorção atômica - com equipamento da marca I.L., com forno de grafite. Os níveis encontrados estão na Tabela 5.

TABELA 5 - MÉDIAS ARITMÉTICAS E DESVIOS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM AMOSTRAS DE URINA E SANGUE DE SOLDADORES

Grupo		urina $\mu\text{g}/\ell$						sangue $\mu\text{g}/\text{dl}$
		Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Zn	Pb
A	μ	4.87	6.30	23.09	138.03	8.29	1229.94	21.03
	σ	2.81	2.22	3.70	46.50	6.02	605.93	7.33
	n	35	35	35	35	35	35	36
B	μ	4.94	8.29	22.24	140.90	7.38	867.71	22.94
	σ	3.01	2.86	14.47	33.15	6.05	418.89	8.05
	n	21	21	21	21	21	21	18
C	μ	5.84	6.91	19.79	139.47	7.97	1122.71	22.81
	σ	3.37	2.24	13.79	41.18	6.16	710.80	8.69
	n	59	59	58	59	59	58	54
D	μ	6.44	8.60	19.63	138.70	6.36	859.48	22.50
	σ	4.15	2.91	12.33	42.49	5.50	518.62	8.81
	n	62	63	62	63	62	63	56
E	μ	5.38	7.49	24.64	150.44	8.04	1148.73	20.78
	σ	4.66	2.72	13.64	49.85	5.31	721.29	7.55
	n	49	49	50	50	50	51	51
LTB *		40	50	33	-	100	1200	60

* LTB = Limite de Tolerância Biológica

3.2. A AMOSTRAGEM

Com exceção dos pontos em que se utilizam máquinas automáticas de solda, aparentemente todos os elementos de cada grupo se apresentaram nas mesmas condições de exposição a fumos metálicos. Assim, foi feita uma escolha aleatória para os pontos de amostragem, obedecendo apenas uma distribuição geográfica uniforme, limitados, porém, a um número máximo de 10 pontos por período, por motivo de ordem prática.

Por uma avaliação preliminar, verificou-se que o tempo de amostra para cada ponto deveria ser no mínimo 2 horas para que se obtivesse material suficiente para análise. Foi, então, estipulado um mínimo de 4 horas, não sendo maior por impedimento prático e inclusive não havendo variação nas atividades que indiquem que o restante da jornada de trabalho - seja diferente do período amostrado.

Foram realizadas amostragens em vários dias até que se atingisse o número mínimo de amostras previstas para o grupo, conforme a Tabela 6.

TABELA 6 - NÚMERO DE AMOSTRAS PREVISTAS

GRUPO	SOLDADORES	TOTAL DE AMOSTRAS
A	17	34
B	10	20
C	17	34
D	18	36
CONTROLE	15	30

A Tabela 6 foi montada tendo em vista o número de soldadores no primeiro turno, ou seja, o número total de postos de trabalho por grupo e estabelecendo-se o número mínimo de soldadores que deveriam ser amostrados para que se tenha 90% de confiança e para que ao menos um dos soldadores que esteja nos 10% máximos de exposição seja amostrado. O número total de amostras reflete que, pelo menos, duas amostras devem ser realizadas em cada soldador escolhido.

3.3. O EQUIPAMENTO

Foi utilizada a técnica de coleta de fumos metálicos descrita pelo NIOSH³⁷, utilizando-se filtro membrana de marca Millipore AAWP 03700 lote 1-V16 de esteres de celulose, com porosidade de 0,8 μm , para análise química, e FWS-B de PVC com porosidade de 0,45 μm para análise gravimétrica, montados em suporte de duas peças e de face fechada.

A aspiração foi realizada com auxílio de bombas de amostragem pessoal da marca Bendix, modelo 44 e de marca MSA Modelo S, operando com vazão entre 1,5 e 2,0 ℓpm .

Para realização da coleta na zona respiratória do soldador, pode-se seguir a orientação do NIOSH, da American Welding Society²² e WIEHE e colaboradores⁴⁵, que sugerem a colocação do filtro de captação de fumos dentro do elmo, fixado a este na parte frontal, logo abaixo do filtro de luz. Esta orientação parece ser correta quando o elmo está abaixado em posição de solda, porém, quando o soldador levanta o elmo para realizar outras operações, a coleta de fumos continua em uma região acima da cabeça do trabalhador, o que pode falsear

os resultados, dependendo da movimentação dos fumos. Esta técnica, por outro lado, produz um aumento no peso do elmo e obriga o soldador a usar o elmo adaptado que lhe é oferecido.

Para contornar estes inconvenientes é proposta a utilização de um adaptador simples e barato, que proporciona a colocação do filtro ao lado do nariz do soldador, independentemente do elmo. (Fig. 4)

Fig. 4 - Posicionamento do porta-filtro durante a amostragem.

Como se vê na Fig. 4, a bomba aspirante fica localizada na cintura do soldador e a mangueira é passada junto ao apoio do suporte do elmo, de um lado para outro, por cima da cabeça e descendo até a altura do nariz. A colocação de um arame flexível, coberto com fita adesiva, ao longo da parte final da mangueira, permite a localização do filtro na melhor posição para cada soldador.

Desta maneira, a coleta se processa sempre na zona respiratória do soldador, independentemente da posição do elmo e permite que os soldadores usem seus próprios elmos com os quais já estão acostumados.

Com a finalidade de se verificar o comportamento da massa total de material particulado em suspensão, comparável ao limite de tolerância de 5 mg/m^3 , em relação ao teor de metais, foram coletadas 19 amostras de fumos de solda em diversas posições, inclusive algumas independentes da zona respiratória real do soldador para que se obtivessem amostras com vários níveis de concentrações.

A movimentação do ar na altura da zona respiratória dos soldadores foi avaliada pela medida da velocidade do ar com termo-anemômetro da marca Anemotherm.

A análise do material coletado foi realizada segundo técnica analítica preconizada pelo NIOSH³⁷ utilizando mineralização em meio ácido e leitura final por absorção atômica. As amostras foram analisadas nos laboratórios do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, utilizando para leitura final, um espectrofotômetro de absorção atômica da marca Perkin-Elmer modelo 503, equipado com corretor de deutério.

3.4. CALIBRAÇÃO DA VAZÃO DAS BOMBAS

A calibração da vazão das bombas de amostragem pessoal foi processada antes de cada período de amostragem, sendo utilizado esquema ilustrado na Fig. 3, com o auxílio de uma bureta de 1000 ml da marca EXAX. Cada bomba teve sua vazão medida e ajustada para cerca de 1,70 ℓ pm, com filtro a ser utilizado na amostragem, sendo a seguir o filtro substituído - por um chamado "de referência", que foi utilizado para todas as bombas e anotada a vazão conseguida com este. Posteriormente, recolocou-se o filtro que iria servir para a amostragem e montou-se o conjunto de adaptação ao elmo, efetuando-se a amostragem.

Terminada a amostragem, no mesmo dia, foi feita a medida da vazão final com o filtro de amostragem e a seguir com o filtro de referência.

Com este procedimento obteve-se a vazão inicial e final de cada bomba com o filtro de amostragem e com o filtro de referência. O volume de ar coletado é dado pela multiplicação do tempo de coleta em minutos pela média entre a vazão inicial e final do filtro de amostragem.

A medição da vazão com filtro de referência foi feita com o intuito de verificar se a queda da vazão de amostragem foi devida apenas à impregnação do filtro com partículas, ou se a bomba, isoladamente, teve sua vazão diminuída, por exemplo, por queda na voltagem da bateria. É tolerada uma fl^uatuação na vazão do filtro de referência de até 5%.

Imediatamente antes da calibração inicial, as bombas foram ligadas por cerca de 15 minutos para estabilização

da vazão e o comportamento das baterias foi controlado com a medição das voltagens, sendo recarregadas ao atingirem 3,4 v.

A análise do material coletado nos filtros revelou as concentrações de metais constantes das tabelas anexas, A1, A2, A3, A4 e A5.

A distribuição dos valores de concentração obedecem uma distribuição log-normal como se verifica pela presença de poucos valores de maior magnitude e pela diferença observada entre as médias aritméticas da Tabela 7 e as médias geométricas da Tabela 8.

As médias geométricas são inferiores às aritméticas indicando uma distribuição deslocada para a esquerda em valores mais baixos, e inclusive segundo vários autores^{14 25 31} é a melhor média para se estimar a exposição de um trabalhador.

Na Tabela 8 encontram-se as médias geométricas - MG - e respectivos Desvios Padrões Geométricos - DPG - que medem a variabilidade do ambiente em relação às concentrações de metais na atmosfera, sendo que DPG = 1 significa nenhuma variação, ou seja, todos os resultados são iguais e DPG maior que 2 significa uma grande variabilidade.

MG e DPG foram calculados com os elementos das tabelas anexas A1 a A5, calculando-se inicialmente as médias aritméticas e os respectivos desvios padrões, que constam da Tabela 7 e utilizando as relações:

$$MG = \frac{\mu^2}{\sqrt{\mu^2 + \sigma^2}}$$

onde: μ = média aritmética

σ = desvio padrão

$$DPG = \text{EXP} \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2} \right)}$$

TABELA 7 - MÉDIA ARITMÉTICA - μ E DESVIO PADRÃO - σ DE CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

GRUPO		Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
A	μ	1,9	368,4	82,3	3028,6	0,7	9,0	60,3	3,9
	σ	1,5	253,0	70,2	2002,2	0,6	19,8	27,0	4,7
B	μ	0,3	150,5	31,9	1181,2	0,7	1,0	29,3	1,3
	σ	0,5	55,2	24,7	614,6	0,6	2,0	8,9	1,8
C	μ	2,4	365,1	56,9	2644,6	0,6	11,7	31,0	6,5
	σ	1,0	265,1	52,5	1682,1	0,7	18,8	49,1	8,8
D	μ	0,9	324,9	79,9	2738,6	0,6	27,4	29,0	1,0
	σ	0,8	166,3	44,4	1227,7	0,5	61,0	20,5	2,0
E	μ	1,7	2,6	1,7	53,7	0,5	4,3	42,1	0,0
	σ	0,8	3,9	1,1	51,5	0,5	8,9	50,5	0,0

TABELA 8 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO GEOMÉTRICOS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

GRUPO		Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
A	MG	1,5	303,7	62,7	2519,2	0,6	3,7	55,0	2,5
	DPG	2,03	1,86	2,09	1,83	2,09	3,77	1,53	2,57
B	MG	0,2	141,3	25,2	1047,9	0,5	0,5	28,0	0,8
	DPG	2,94	1,40	1,99	1,63	2,20	3,56	1,35	2,9
C	MG	2,2	295,4	41,9	2231,4	0,3	6,2	16,6	3,8
	DPG	1,48	1,92	2,19	1,79	2,73	3,10	3,06	2,79
D	MG	0,7	289,2	69,8	2499,0	0,5	11,2	23,7	0,5
	DPG	2,11	1,62	1,68	1,53	2,08	3,80	1,89	3,56
E	MG	1,5	1,5	1,5	38,8	0,4	1,9	27,0	0,0
	DPG	1,58	2,93	1,80	2,24	2,40	3,62	2,57	1,0

Pela Tabela 8 verifica-se que, para alguns metais, a variação é pequena como no caso do ferro, que apresenta valores de DPG entre 1 e 2, com exceção apenas do grupo controle; este, porém, apresenta uma média muito inferior aos demais.

Embora importante para avaliar a variabilidade do ambiente, o DPG isoladamente não é suficiente para a avaliação global da exposição do trabalhador. No caso do chumbo, - por exemplo, tem-se grandes variações nas concentrações, o que leva a um DPG alto; porém, a média das exposições é baixa, revelando que em dados instantes apenas a concentração ambiental pode ser alta.

A média das concentrações nos dão uma idéia global do comportamento destas concentrações de metais na atmosfera de trabalho e pelas Tabelas A1 a A5, observa-se que os metais estudados se apresentam em proporções semelhantes, mais notadamente o manganês, cobre e ferro, que aparecem em quantidades maiores.

4.1. COMPARAÇÃO COM OS LIMITES DE TOLERÂNCIA PRECONIZADOS PELA ACGIH

Para melhor avaliação do risco de exposição, é feita padronização das médias, isto é, é calculada a razão entre a concentração e o limite de tolerância. Assim, quanto mais próxima de 1 for a razão, mais a concentração está próxima do limite. Utilizando-se os Limites de Tolerância preconizados pela ACGIH¹ (LT_1) obtem-se os valores da Tabela 9.

TABELA 9 - MÉDIAS GEOMÉTRICAS PADRONIZADAS $\frac{MG}{LT_1}$ E LIMITES DE CONFIANÇA SUPERIORES (LCS) PARA CONCENTRAÇÕES DE METAIS

GRUPO		Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
A	$\frac{MG}{LT_1}$	0,003	0,304	0,314	0,504	0,012	0,025	0,011	0,025
	LCS	0,184	0,534	0,544	0,734	0,177	0,223	0,241	0,190
B	$\frac{MG}{LT_1}$	0,000	0,141	0,126	0,209	0,010	0,003	0,006	0,008
	LCS	0,181	0,371	0,356	0,439	0,175	0,200	0,236	0,173
C	$\frac{MG}{LT_1}$	0,005	0,295	0,209	0,446	0,007	0,041	0,003	0,038
	LCS	0,186	0,525	0,439	0,676	0,172	0,238	0,233	0,203
D	$\frac{MG}{LT_1}$	0,001	0,289	0,349	0,500	0,010	0,075	0,005	0,005
	LCS	0,162	0,519	0,579	0,730	0,175	0,273	0,235	0,169
E	$\frac{MG}{LT_1}$	0,003	0,001	0,008	0,008	0,008	0,013	0,005	0
	LCS	0,184	0,231	0,238	0,238	0,173	0,210	0,235	0,165

Pela média padronizada na Tabela 9 tem-se uma visão do comportamento das concentrações de metais em relação ao Limite, observa-se que em nenhum caso a média padronizada é superior a um, embora se observe, pelas tabelas anexas A6, A7, A8, A9 e A10, que para os casos isolados tem-se concentrações bem acima do limite de tolerância.

Não se dispõe de valores de coeficiente de variação total (CV_t) para este processo de avaliação. Pela indicação do NIOSH ³⁷ tem-se um $CV = 0,03$; este coeficiente de variação, também conhecido como desvio padrão relativo, é apenas para a parte analítica do processo, e para alguns metais foi realizado estudo em 16 laboratórios e com 3 níveis de concentração originando os seguintes dados:

TABELA 10 - MÉDIA ARITMÉTICA, DESVIO PADRÃO
E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO EM
AVALIAÇÕES AMBIENTAIS DE ALGUNS
METAIS

Metal	μ	σ	CV
Cd	100,8	9,9	0,10
Co	97,6	13,9	0,14
Cr	96,6	10,8	0,11
Ni	98,6	10,3	0,10
Pb	98,7	12,2	0,12

Fonte: NIOSH ³⁷

Utilizando-se estes dados e um valor especulativo de 0,14 para CV_t para os coeficientes de variação para ferro, cobre, manganês e zinco, pode-se estimar os limites de confiança superiores (LCS) e limites de confiança inferiores (LCI)

segundo equação¹⁴ :

$$LCS \text{ ou } LCI = \frac{\text{média}}{L \text{ T}} \pm 1,645 \text{ (CV)}$$

Os limites de confiança levam em conta a variação no método de avaliação e indicam com 95% de confiança que a média verdadeira está abaixo ou acima de determinado valor.

O maior valor encontrado para LCS é para o ferro no grupo A, o que indica com 95% de confiança que a média é inferior a 0,734 do LT.

Isoladamente, para cada metal estudado, poder-se-ia concluir pela inexistência de risco à saúde, porém, há que se considerar que os fumos metálicos possuem efeitos tóxicos aditivos, principalmente a nível do aparelho respiratório, havendo necessidade de se realizar uma somatória das concentrações padronizadas como proposta pela ACGIH¹.

$$\frac{Ca}{LTa} + \frac{Cb}{LTb} + \dots + \frac{Cn}{LTn}$$

No presente caso é feita a somatória de $\frac{MG}{LT}$ o riginando a Tabela 11.

TABELA 11 - SOMATÓRIA DAS MÉDIAS PADRONIZADAS COM LT₁ e LIMITES DE CONFIANÇA

Grupo	Somatória	LCS	LCI
A	1.198	1.428	0.967
B	0.503	0.733	0.273
C	1.044	1.274	0.813
D	1.234	1.464	1.004
E	0.046	0.276	0.000

Considerando as somatórias das médias padronizadas da Tabela 11, com exceção do grupo B, os demais grupos encontram-se com exposição superior ao limite de tolerância, porém, ao se considerar igualmente os LCS e LCI, pode-se classificar os grupos em:

A = provável exposição acima do LT

B = exposição abaixo do LT

C = provável exposição acima do LT

D = exposição acima do LT

E = não há exposição

Os grupos A e C, embora com somatória superior a um, possuem um LCI menor que um, o que pode ser interpretado como indicação de que, embora com pouca probabilidade, a média verdadeira poderá estar abaixo de um.

O grupo E, embora com valores diferentes de zero, pode ser considerado sem exposição por estar abaixo do Nível de Ação, que será considerado adiante.

Ao se afirmar, todavia, que o grupo B está com exposição abaixo do LT, é necessário observar que a avaliação está baseada numa estimativa da média diária de exposição, e não na média diária real, obtida por medição de todos os dias do ano, de todos os anos e de todos os trabalhadores, o que é obviamente impossível e desnecessário de se fazer. Assim, resta a dúvida: há possibilidade de que, em algum dia em que não foi feita a medição, a concentração tenha sido superior ao LT?

LIEDEL¹⁴, usando um $CV_t = 0.10$, estabelece os dados da Fig. 5.

FIG. 5 - Curvas de risco de superexposição para medidas de médias diárias de exposição.

Pela Fig. 5 verifica-se que, para uma estimativa de 0,5 do limite de tolerância, como é o caso do grupo B com DPG de até 2.19 para Mn, Cu e Fe, que são os que mais contribuem para a média, obtem-se uma probabilidade de até cerca de 70% de ocorrência que 5% das concentrações nos dias não medidos venham a ter concentrações superiores ao limite.

Desta forma, mesmo no grupo B há possibilidade de se encontrar, em situações isoladas e com pequena chance de ocorrência, concentrações acima do limite, que mostra que amostragens com reduzido número de amostras tendem a não representar a média real.

Levando em conta o exposto, LIEDEL¹³ propõe que o Nível de Ação - NA - não seja considerado apenas como metade do limite de tolerância e sim deve ser estimado levando em conta a variabilidade do ambiente. Na Fig. 5 a intersecção

das curvas com a reta de 0,05 de probabilidade dá os níveis de ação para cada DPG, nos quais tem-se, no máximo, 5% de probabilidade de que não mais de 5% das exposições reais dos trabalhadores exceda o padrão.

Como se observa na Tabela 8, os DPG estão na faixa de 1,40 a 2,19 considerando os grupos A,B,C,D e apenas manganês, cobre e ferro. Desta forma, os níveis de ação deveriam ser de 0.1 a 0.25 do LT. Admitindo-se um valor médio para o DPG de 1.80, obtem-se uma estimativa de 0.15 para o Nível de ação.

Em consequência, 15% do LT pode ser considerado como orientação inicial para se definir a exposição profissional a fumos de ferro, cobre e manganês nas operações de solda MIG/MAG estudadas. Desta forma, ao se encontrar valores superiores a 15% do limite de tolerância, mesmo em apenas um dia, deve-se considerar o trabalhador exposto e medidas regulares de avaliação ambiental e médica devem ser tomadas para se evitar possível super-exposição e conseqüentes danos à saúde.

4.2. COMPARAÇÃO COM LIMITES DE TOLERÂNCIA ADAPTADOS

A análise dos resultados até este ponto foi realizada utilizando-se como padrão, a orientação da ACGIH¹ quanto aos limites de tolerância; porém, como já foi comentado anteriormente, para as condições brasileiras, não se tem limites de tolerância para metais, com exceção de chumbo e mercúrio.

Com o objetivo de se adaptar aos limites de tolerância, deve-se considerar ao menos a principal diferença en

tre a população estudada e a população para a qual o padrão foi estabelecido, que é quanto a jornada de trabalho, que para a população estudada é de 9h e 36 min. contra 8h da população "padrão".

A população estudada não está exposta a fumos metálicos continuamente durante toda a sua jornada de trabalho pois a operação de solda em si é intermitente e existem paralizações ao longo do dia. Estas variáveis, contudo, são comuns não sendo particulares apenas à população em estudo e por outro lado, na avaliação estima-se a média ponderada pelo tempo para toda a jornada de trabalho.

A adaptação de limites de tolerância, embora possível, e aceita por vários estudiosos do assunto^{5 9 10 11 17 30 46}, não pode ser feita especulativamente na forma de simples regra de três, mas sim através de um cálculo adequado para cada substância, levando em conta sua meia vida biológica, pois somente desta forma pode-se evitar uma sobrecarga do trabalhador.

TABELA 12 - MEIA VIDA BIOLÓGICA PARA ALGUNS METAIS

METAL	$T_{1/2}$	OBSERVAÇÃO
Cd	+ de 10 anos	fígado e rins
Cr	5,9 dias 83,4 dias	todo organismo
Cu	4 semanas	todo organismo
Fe	33 dias 10 - 20 anos	Pulmão: partículas com diâmetro aerodinâmico médio de 0,3 μm todo organismo
Pb	5 anos 10 anos 20 dias	todo organismo ossos sangue e tecidos moles
Mn	12,5 a 15 dias	todo organismo (expostos a manganês)
Ni	2 - 3 dias	todo organismo
Zn	162 - 500 dias	todo organismo

Fonte: Friberg et col.⁸

A meia vida biológica para uma substância química é o tempo necessário para que, nas condições normais de metabolização, sua concentração seja reduzida à metade em um determinado fluido, órgão ou mesmo todo o organismo. Para os metais, esta meia vida biológica é bastante elevada, conforme se constata pela Tabela 12.

Com um valor mínimo de 100 h para a meia vida biológica, pode-se estimar a correção dos LT segundo proposto por HICKEY e REIST ¹¹ através da equação:

$$F_p = \frac{1 - e^{-8K}}{1 - e^{-9,6K}}$$

onde: F_p = fator de correção do LT para se evitar um pico de concentração na carga total do organismo

$$K = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$T_{1/2}$ = meia vida biológica

8 = jornada de trabalho prevista no LT, em horas

9,6 = jornada de trabalho da população estudada, em horas

Efetuando-se o cálculo obtém-se:

$$F_p = 0.85$$

Desta forma pode-se estimar que o limite de tolerância, para cada um dos metais, para a nossa população trabalhadora (LT_2) é dado por

$$LT_2 = 0,85 \times LT_1$$

Calculados desta forma os novos limites encontram-se na Tabela 13, com exceção do chumbo para o qual a legislação brasileira atual estipula um limite de 100 microgramas por metro cúbico, inferior ao calculado, de 127.

TABELA 13 - LIMITES DE TOLERÂNCIA SEGUNDO A ACGIH
(LT₁) E ADAPTADO (LT₂) EM µg/m³

Metal	LT ₁	LT ₂
Cromo	500	425
Manganês	1000	850
Cobre	200	170
Ferro	5000	4250
Cádmio	50	42
Chumbo	150	100 *
Zinco	5000	4250
Níquel	100	85

* De acordo com a portaria ministerial 3214 - NR - 15 -
anexo 11¹⁸

Com a utilização dos limites adaptados, podemos calcular as novas médias padronizadas que resultam na Tabela - 14 e suas somatórias com respectivos LCS e LCI na Tabela 15.

TABELA 14 - MÉDIAS GEOMÉTRICAS PADRONIZADAS $\frac{MG}{LT_2}$ E LIMITES DE CONFIANÇA SUPERIORES (LCS) PARA CONCENTRAÇÕES DE METAIS

GRUPO		Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
A	$\frac{MG}{LT_2}$	0,004	0,358	0,369	0,593	0,014	0,037	0,013	0,029
	LCS	0,185	0,588	0,599	0,823	0,179	0,235	0,243	0,194
B	$\frac{MG}{LT_2}$	0,000	0,166	0,148	0,245	0,012	0,005	0,007	0,009
	LCS	0,180	0,396	0,378	0,475	0,171	0,203	0,237	0,174
C	$\frac{MG}{LT_2}$	0,006	0,347	0,246	0,525	0,008	0,062	0,004	0,045
	LCS	0,187	0,577	0,476	0,755	0,173	0,260	0,234	0,210
D	$\frac{MG}{LT_2}$	0,002	0,340	0,411	0,588	0,012	0,112	0,006	0,006
	LCS	0,183	0,570	0,641	0,818	0,177	0,309	0,236	0,171
E	$\frac{MG}{LT_2}$	0,004	0,002	0,009	0,009	0,010	0,019	0,006	0,000
	LCS	0,185	0,232	0,239	0,239	0,175	0,217	0,236	0,165

TABELA 15 - SOMATÓRIA DAS MÉDIAS PADRONIZADAS COM LT_2
E LIMITES DE CONFIANÇA

Grupo	Somatória	LCS	LCI
A	1,417	1,647	1,187
B	0,592	0,822	0,362
C	1,243	1,473	1,013
D	1,477	1.707	1.239
E	0,059	0,289	-

Os dados constantes das Tabelas números: 9,11, 14 e 15 podem ser resumidos, para uma melhor análise, nas figuras números 6 a 10, onde os dados são agrupados por grupos da população estudada.

Fig. 6 - Médias padronizadas com LT₁ e LT₂ e somatória - Grupo A

Fig. 7 - Médias padronizadas com LT₁ e LT₂ e somatória - Grupo B

Fig. 8 - Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - Grupo C

Fig. 9 - Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - Grupo D

Fig. 10 - Médias padronizadas com LT_1 e LT_2 e somatória - Grupo E

Como se observa pelo cálculo com o LT_2 , a classificação dos grupos quanto à exposição, feita anteriormente deve ser modificada:

- Grupo A - provável exposição acima do LT_1
 - exposição acima do LT_2
- Grupo B - exposição abaixo do LT_1 e do LT_2
- Grupo C - provável exposição acima do LT_1
 - exposição acima do LT_2
- Grupo D - exposição acima do LT_1 e do LT_2
- Grupo E - não há exposição.

Verifica-se, assim, que com uma pequena variação no valor do limite de tolerância, a classificação de exposição acima do LT, que antes atingia apenas o grupo D, agora com a adaptação, atinge os grupos A, C e D, mostrando a importância - do estabelecimento de um índice legal que atenda realmente as necessidades técnicas para a caracterização da exposição, de forma padronizada e cientificamente correta. Neste particular muito ainda pode e deve ser feito pois até os limites de tolerância preconizados pela ACGIH são passíveis de sérias críticas por não possuírem bases científicas sólidas, como se vê nas afirmações de TORKELOSON³⁹.

O nível de ação referido e calculado anteriormente aparece nas figuras 6 a 10 e na tabela 16, a seguir:

TABELA 16 - NÍVEIS DE AÇÃO (NA) BASEADOS NO LIMITE DE TOLERÂNCIA ADAPTADO - LT_2 EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO.

Metal	Nível de Ação
Cromo	64
Manganês	128
Cobre	26
Ferro	638
Cádmio	6
*Chumbo	15
Zinco	638
Níquel	13

* baseado no limite estabelecido pela portaria 3214 NR-15 anexo 11¹⁸

Pelas figuras 6 a 10 nota-se que o nível de ação é ultrapassado apenas pelas médias de manganês, cobre e ferro, para os grupos A, B, C e D; para os demais metais, as concentrações médias estão abaixo do nível de ação.

Deve-se observar, porém, que o nível de ação é definido para qualquer concentração encontrada, inclusive para dias isolados e não para as médias. Assim, a comparação das médias nos dá apenas uma visão global dos grupos estudados, mas ao comparar os valores das tabelas anexas A1 a A5 com os níveis de ação, verifica-se que este é superado também por chumbo nos grupos A, C, D e E e por níquel nos grupos A e C.

Pode-se, então, dizer que há exposição profissional a metais nos seguintes grupos:

TABELA 17 - GRUPOS DE SOLDADORES COM EXPOSIÇÃO
PROFISSIONAL A METAIS

Grupos	Metais				
A	Mn	Cu	Fe	Pb	Ni
B	Mn	Cu	Fe		
C	Mn	Cu	Fe	Pb	Ni
D	Mn	Cu	Fe	Pb	
E	Pb				

Verifica-se ainda que não há exposição Profis
sional a cromo e cádmio nos grupos estudados.

A origem do chumbo e níquel pode ser atribuída
à presença destes elementos em algumas peças a serem soldadas
ou prensadas, ou como resíduos dos óleos antiferruginosos em
pregados, ou ainda nos eletrodos utilizados.

Com intuito de se estimar a contaminação do ar
geral, foram realizadas amostragens de material particulado em
suspensão em alguns pontos representativos do ar geral, inclu
sive externos aos edifícios com os seguintes resultados:

TABELA 18 - CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM AMOSTRAS DE AR GERAL EM
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Grupo	Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
A	1	33	8	509	0	1	62	4
B	0	24	5	696	0	1	43	2
C	2	111	18	1253	0	10	19	7
C	1	79	13	1192	0	3	10	6
D	0	53	11	620	1	2	6	3
E	0	3	3	155	0	0	22	0
Externa	0	1	1	23	0	1	7	0

Nota-se que as concentrações da Tabela 18 apresentam valores em proporções semelhantes às encontradas nas zonas respiratórias, notando-se maior quantidade de ferro, seguido por manganês e cobre.

As concentrações do ponto externo e do grupo E apresentam proporções semelhantes entre si e diferentes das encontradas nos grupos de soldadores, sugerindo uma origem diversa para os metais encontrados.

Embora o zinco apareça em quantidades maiores nos grupos de soldadores, apareceu em quantidade apreciável - também no ponto externo, o que não aconteceu com níquel. É recomendável um estudo mais aprofundado, visando detectar as possíveis fontes de metais na atmosfera geral e até que ponto as operações de solda podem ser consideradas como fontes para tal poluição. Tal estudo, porém, foge ao escopo do presente trabalho.

Outra possibilidade de análise dos dados obtidos é a procura da pior situação. O higienista industrial por vezes pode optar por esta estratégia quando suspeita da existência de valores de concentração que superem o valor máximo, tornando necessária uma imediata ação para evitar a super exposição dos trabalhadores.

No presente caso, os valores máximos para uma exposição contínua de até 15 minutos e até quatro vezes por - jornada de trabalho constam da Tabela 19 e foram originados pela adaptação da orientação da ACGIH¹.

TABELA 19 - VALORES MÁXIMOS PARA CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO DE AR

Metal	LT ₂	Valor Máximo
Cromo	425	1.275
Manganês	850	2.550
Cobre	170	510
Ferro	4.250	8.500
Cádmio	42	42 (teto)
Chumbo	100*	300
Zinco	4.250	8.500
Níquel	85	255

* De acordo com a portaria ministerial 3214 NR-15 anexo 11¹⁸

A aplicação destes valores se faz por comparação direta com os valores de concentrações obtidos durante o levantamento e constantes das Tabelas anexas A1 a A6, pelas quais nota-se que, em nenhum caso, a exposição dos soldadores ultrapassou o valor máximo, sendo, portanto, a comparação com o limite de tolerância a única forma de avaliação da intensidade de exposição para o presente caso.

4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

Os resultados das análises gravimétricas combinados com as análises químicas, encontram-se na Tabela 20, pela qual se observa que a soma dos metais analisados em relação à massa de material particulado total coletado no filtro, sofre grande flutuação, indo de 26 a 93%. Com uma diferença média de 60,3% e coeficiente de variação de 0,32.

TABELA 20 - CONCENTRAÇÕES DE METAIS E MATERIAL PARTICULADO TO-
TAL - MPT

Amostra nº	MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO								Total	mg/m ³ MPT	%
	Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni			
401	2	305	46	2950	1	0	98	5	3406	4,03	84
402	2	366	99	3405	1	14	37	3	3926	14,61	26
403	1	222	48	1694	0	7	18	3	1994	3,31	60
404	1	863	130	5409	1	9	90	9	6510	8,72	75
405	0	94	23	1307	0	2	40	0	1465	3,94	37
406	9	1363	86	10358	2	22	216	0	12057	14,75	82
407	5	4040	339	24151	1	13	47	15	28610	38,12	75
408	3	1465	178	10796	1	586	38	16	13034	17,31	75
409	0	78	39	428	0	3	19	3	570	1,49	38
410	2	566	79	1313	0	2	33	8	2000	3,03	66
411	0	165	45	1462	1	2	48	0	1722	4,98	35
412	2	1704	298	8592	0	7	43	4	10649	18,71	57
413	1	1887	255	11717	1	702	44	9	14616	17,31	84
503	1	460	88	4828	1	35	72	7	5499	15,28	36
504	0	433	36	5458	1	0	22	1	5951	13,84	43
505	0	227	36	4554	2	25	42	8	4895	5,25	93
511	0	185	31	3971	0	11	12	14	4224	8,12	52
522	2	420	60	4615	1	11	14	18	5141	7,91	65
531	1	815	138	3746	1	0	14	0	4715	7,60	62

O material não metálico, que constitui de 16 a 74% do material coletado, é composto principalmente pelo oxigênio, para formar os óxidos, e por compostos originados da degradação do óleo que recobre as peças, além de uma fração composta por partículas existentes na atmosfera de uma zona industrial.

Em vista da grande variação nos resultados, é difícil aceitar-se um limite único para fumos de solda, quer de 5 mg/m^3 ou adaptando-se para $4,25 \text{ mg/m}^3$, pois havendo grande diferença entre as proporções de metais e o total, pode-se superestimar as concentrações de metais e recomendar medidas de ordem médica não necessárias e não de acordo com a real quantidade de metais presentes na atmosfera. Por outro lado, deve-se notar que os limites de tolerância não são iguais para cada metal isoladamente; assim, é perfeitamente possível encontrar-se uma situação com concentração menor que o limite gravimétrico e com concentrações de cromo, cobre, chumbo, níquel ou outros, acima do limite individual. Recorda-se ainda que no caso do cádmio, o limite é teto e em 50 microgramas por metro cúbico.

Deve-se considerar, ainda, que além dos fumos metálicos, os fumos de solda contêm outras substâncias de composição complexa e caso se aceite limite único, pode-se estar incorrendo em grave erro, pois em situações que se tenha poucos metais presentes, ter-se-ia em contrapartida grande quantidade destas substâncias que, sendo desconhecidas, poderão ser aceitas com um limite de tolerância excessivamente elevado.

O óleo utilizado para o revestimento de peças é geralmente derivado de petróleo e deve ter principalmente pro

priedades antiferruginosas, podendo ser uma somatória de resíduos de outros óleos mais específicos; a queima destes óleos no ponto de solda e a degradação térmica e volatilização na zona periférica do ponto de solda, pode originar na atmosfera grande número de substâncias¹², inclusive cancerígenas.

BORRAS e LOPES⁶ fazem interessante estudo para correlacionar o consumo semanal de eletrodos com a probabilidade de se obter concentrações de fumos de solda que excedam o limite de 5 mg/m³.

O consumo semanal de eletrodo que foi obtido com o pessoal da produção dos quatro grupos, juntamente com a probabilidade de se exceder o limite, de acordo com gráfico fornecido pelos autores acima, estão na Tabela 21.

TABELA 21 - CONSUMO SEMANAL DE ELETRODOS DE SOLDA POR GRUPO, E PROBABILIDADE DE EXCEDER O LIMITE DE TOLERÂNCIA SEGUNDO BORRAS e LOPEZ⁶

Grupo	Kg	Probabilidade
A	50	85
B	45	80
C	75	93
D	32	65

Segundo os autores, o cálculo só seria aplicável em locais em que não houvesse o acúmulo visível de fumos. Embora este seja um critério subjetivo, admite-se que esta seja a situação do grupo B. Pela Tabela 21 verifica-se que, para um consumo de 45 Kg por semana de eletrodos ter-se-ia uma

probabilidade de 80% de se ultrapassar o limite de tolerância de 5 mg/m³ para fumos totais.

Conforme os resultados obtidos, a concentração de metais para o grupo B atinge, no máximo 0,503 do limite de tolerância LT₁ e tem-se praticamente 100% de confiança que a média real esteja abaixo do limite. Embora não se tenha dados completos, é pouco provável que apenas à custa dos componentes não metálicos, ou algum metal não analisado, tenha-se uma mudança tão grande na avaliação a ponto de se obter 80% de chance de encontrar médias acima do limite.

A diferença observada entre os dados do presente trabalho e dos obtidos por BORRAS e LOPEZ⁶ pode ser atribuída aos fatos de que não é feita referência pelos autores acima à ventilação na situação em que foi realizado o teste e o porta-filtro ser colocado próximo ao pescoço do soldador, atrás do elmo, porém não dentro deste, ao lado do nariz do soldador como foi realizado no presente trabalho.

Para uma análise do risco em relação ao consumo de eletrodos, há necessidade de estudo bastante complexo e, sobretudo há que se considerar o ambiente em particular. Pelos resultados do presente trabalho, observa-se, por exemplo, que o grupo D, embora com um consumo semanal de eletrodos menor - que do grupo B, apresentou maiores concentrações na zona respiratória dos soldadores.

É possível que a avaliação do risco de exposição acima do LT baseada no consumo de eletrodo tenha validade, porém, após uma avaliação mais completa e detalhada do ambiente e de suas particularidades e desde que não sejam introduzidas outras variações.

Desta forma, se todas as condições permanecerem iguais e o consumo de eletrodo também permanecer constante, é de se supor que as concentrações ambientais permaneçam iguais. Todavia, como foi referido anteriormente, o objetivo da higiene industrial é avaliar a exposição profissional do trabalhador e não o ambiente em si, e para as mesmas condições de trabalho há possibilidade de alterar-se a exposição do trabalha-dor, mormente no caso de operações de solda, onde a fonte dos poluentes é pontual formando uma pluma ascendente. Pequenas alterações na posição do trabalhador, na posição do elmo, na inclinação da cabeça, etc., podem originar variações nas concentrações que efetivamente atingem o nariz do soldador, o que é demonstrado pelos DPG obtidos e comentados anteriormente.

Numa situação em que se esteja controlando a exposição ao longo do tempo, as alterações citadas podem ser julgadas pequenas se houver um grande aumento do consumo de eletrodos e poder-se-ia concluir que haveria aumento do risco de exposição acima do limite. Recorda-se, porém, que em grandes empresas há padronização de métodos e processos e cada soldador tem uma faixa de capacidade de trabalho relativamente estreita e não se observam grandes flutuações no consumo semanal de eletrodos, pois a variação na quantidade de produção se reflete mais no número de soldadores que no seu ritmo de traba-lho.

O consumo semanal de eletrodos pode ser considerado como um dos elementos a se conhecer na avaliação de um ambiente e dá apenas uma idéia da possível exposição do soldador.

4.4. POSICIONAMENTO DO PORTA-FILTRO

Durante todo o processo de coleta de amostras utilizou-se o adaptador descrito no ítem 3.3., que permitiu coleta na zona respiratória real do soldador, não tendo sido encontrada dificuldade na colocação dos adaptadores e nem resistência por parte dos soldadores, uma vez que foram esclarededos da finalidade do experimento.

Em alguns casos particulares foram coletadas a mostras fora do elmo, colocando-se o porta-filtro preso na gola do soldador; os resultados destas amostras não foram considerados anteriormente e encontram-se na Tabela 22.

O porta-filtro posicionado fora do elmo deve ser protegido para se evitar a contaminação grosseira de fagulhas que podem, inclusive, perfurar o plástico, perdendo-se a amostra.

Uma comparação simples dos resultados obtidos por estas amostras, principalmente de manganês, cobre e ferro, com as médias obtidas anteriormente para a zona respiratória, revelam uma grande discrepância (por exemplo, atingindo 40 mg/ m^3 para ferro), o que inequivocamente indica a necessidade de se avaliar a exposição do soldador por amostragem do ar o mais próximo possível do nariz deste.

Ainda na Tabela 22, no grupo C, tem-se duas a mostras que não apresentaram valores excessivamente elevados, o que só vem a confirmar os fatores comentados no ítem anterior, quanto a diferentes posições e posturas do soldador.

Em um caso particular foram coletadas amostras simultâneas de um mesmo soldador, com duas bombas e um porta-filtro dentro do elmo, próximo ao seu nariz e outro preso à gola; os resultados destas duas amostras estão na Tabela 23 onde se observa que o posicionamento do porta-filtro no momento da coleta foi responsável por uma diferença de mais de 4 vezes no valor da concentração.

TABELA 23 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS EM AMOSTRAS COLETADAS SIMULTANEAMENTE DENTRO E FORA DO ELMO DE UM MESMO SOLDADOR, EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

Amostra número	Local	Cr	M	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni	$\Sigma \frac{c}{LT_2}$
31	fora do elmo	4	815	138	3746	1	0	14	0	2.689
34	dentro do elmo	1	237	28	678	0	0	9	0	0.607

Ainda com relação ao posicionamento do porta-filtro no momento da coleta, é interessante observar que, apesar de todos os avanços da higiene industrial nas últimas décadas, ainda se encontra orientação para a avaliação de fumos de solda como a preconizada pela norma JIS 3951-1977 in OKUMURA²⁵ que sugere a coleta de amostras de ar geral, e em pontos determinados através de uma malha de 3 metros de espaçamento e a uma altura de 0,5 a 1,5 m do piso, fazendo-se no mínimo 5 e no máximo 20 pontos de amostragem. Como foi verificado, este tipo de amostragem não poderá estimar a exposição dos soldados, podendo, no máximo, estimar a exposição de outros trabalhadores que circulem pela área.

4.5. VENTILAÇÃO

A movimentação do ar foi avaliada pela medida da velocidade do ar na altura da zona respiratória dos trabalhadores tendo-se encontrado os seguintes resultados:

TABELA 24 - VELOCIDADE DO AR NA ZONA RESPIRATÓRIA DOS SOLDADORES EM METROS POR SEGUNDO

Grupo	Velocidade
A	0,30 - 0,40 em 2 pontos
	0,10 - 0,30 restantes
B	0,28 - 0,33 em 3 pontos
	0,17 - 0,22 restante
C	0,10 - 0,30
D	0,15 - 0,20

A medição da ventilação se processou durante as operações normais de solda e com os equipamentos de exaustão e insuflação, quando existentes, operando nas condições habituais.

4.6. ÍNDICES BIOLÓGICOS DE EXPOSIÇÃO

Em função da fumaça presente em alguns locais examinados, pode-se supor que os soldadores estão expostos a concentrações muito superiores a qualquer limite de tolerância; os resultados da avaliação ambiental, contudo, revelam exposição ligeiramente acima do limite. Esta exposição é coerente

com os resultados das dosagens dos índices biológicos de exposição que se encontram na Tabela 5 do item 3.1. e por facilidade reproduzida abaixo.

TABELA 5 - MÉDIAS ARITMÉTICAS E DESVIOS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM AMOSTRAS DE URINA E SANGUE DE SOLDADORES

Grupo		urina $\mu\text{g}/\ell$						Pb
		Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Zn	
A	μ	4.87	6.30	23.09	138.03	8.29	1229.94	21.03
	σ	2.81	2.22	3.70	46.50	6.02	605.93	7.33
	n	35	35	35	35	35	35	35
B	μ	4.94	8.29	22.24	140.90	7.38	867.71	22.94
	σ	3.01	2.86	14.47	33.15	6.05	418.89	8.05
	n	21	21	21	21	21	21	18
C	μ	5.84	6.91	19.79	139.47	7.97	1122.71	22.81
	σ	3.37	2.24	13.79	41.18	6.16	710.80	8.69
	n	59	59	58	59	59	58	54
D	μ	6.44	8.60	19.63	138.70	6.36	859.48	22.50
	σ	4.15	2.91	12.33	42.49	5.50	518.62	8.81
	n	62	63	62	63	62	63	56
E	μ	5.38	7.49	24.64	150.44	8.04	1148.73	20.78
	σ	4.66	2.72	13.64	49.85	5.31	721.29	7.55
	n	49	49	50	50	50	51	51
LTB	*	40	50	33	-	100	1200	60

* LTB = Limite de Tolerância Biológica

Na situação de exposição abaixo do limite de tolerância, os mecanismos biológicos de detoxicação funcionam aquém de sua capacidade total, permitindo, assim, a eliminação satisfatória dos metais absorvidos, evitando-se um acúmulo prejudicial destes no organismo.

Deve ser ressaltado ainda que os limites biológicos de exposição estão calcados na avaliação da absorção dos metais, no caso de exposição a fumos metálicos, porém, é desejável proteger o soldador não só de uma ação sistêmica, mediada pela absorção, como também de uma ação local ao nível do aparelho respiratório. Baseado nesta ação aditiva ao nível pulmonar é que se fez a somatória das médias padronizadas e chegou-se à avaliação da exposição.

Desta forma deve-se comparar os índices biológicos de exposição com as médias isoladas de cada metal e não a sua somatória, e como foi visto anteriormente nenhum metal teve, isoladamente, concentração média superior ao limite; mesmo isoladamente, as concentrações das Tabelas A1 a A5 apresentam apenas raros casos de exposição superior ao limite para ferro, cobre e manganês.

Uma alternativa que poderia ser estudada é a de se fazer uma somatória dos índices biológicos de exposição padronizados; contudo, há necessidade de ser determinada, anteriormente, a proporção de depósito e absorção pulmonar para cada metal e ter-se um limite de tolerância biológica tecnicamente aceito para a nossa população, pois como se observa, mesmo os estudiosos do assunto, têm dúvidas quanto a este limite ^{3, 8, 36}.

Com relação aos dados da Tabela 5 nota-se ainda

que a taxa de chumbo no sangue dos 4 grupos estudados de soldadores que é de 21 a 22 $\mu\text{g}/\text{dL}$, é ligeiramente superior a 17,2, encontrada por NOGUEIRA et cols²³ para a população não exposta da Grande São Paulo, indicando um ligeiro aumento na absorção deste metal para a população industrial.

As taxas de zinco na urina, embora abaixo do LTB, aparecem elevadas inclusive no grupo controle, em relação aos valores normais, indicando uma possível fonte secundária de zinco, além da solda. Tal fato é também observado nas concentrações de zinco no ar, que aparecem em quantidades detectáveis em todos os grupos, inclusive no ar externo. Assim, um possível estudo posterior, entre outros fatores, a exposição a zinco deve considerar, fumos metálicos, ambiente externo e alimentação.

Em relação a cromo, TOLA e col³⁸ encontrou boa correlação entre cromo na urina e níveis de exposição abaixo do limite de tolerância ambiental, porém com concentrações acima de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pelos resultados obtidos verifica-se que para a exposição a fumos metálicos, não é esperada grande alteração nos índices biológicos; assim, o controle médico não deve ser baseado nestas determinações, podendo, porém, serem utilizados os índices biológicos de exposição para controle de casos individuais, onde se tenha suspeita de superexposição.

4.7. OBSERVAÇÕES

Embora pelos resultados do presente trabalho se conclua que há exposição acima do limite de tolerância para

alguns grupos estudados, deve-se observar que é apenas uma estimativa pois os limites de tolerância reais para a população brasileira ainda estão por ser determinados. Como se observou, os índices biológicos de exposição não aparecem alterados, não indicando a possibilidade de ação sistêmica; um estudo mêdico-epidemiológico deve ser desenvolvido para que se julgue a adequação dos limites, pois estes poderão estar muito baixos ou, talvez, até muito altos; os limites de tolerância visam o controle da população como um todo e deverão ser estudadas as particularidades dos vários grupos antes de se determinar um único limite para a população trabalhadora brasileira.

Pelas variações encontradas e grande número de variáveis a controlar, que alteram a concentração de fumos que podem atingir a zona respiratória real do soldador, não se acha viável que um esquema simples e único sirva de modelo para todos os ambientes onde se realizam operações de solda. Cada ambiente deve ser considerado em particular; todas suas variáveis devem ser estudadas e realizada uma avaliação semelhante a do presente trabalho. Após esta avaliação inicial é que, com base nas flutuações observadas, pode-se reduzir o número de amostras, agora, porém, não visando uma avaliação global e inicial, mas sim uma avaliação de acompanhamento para que se tenha periodicamente conhecimento do comportamento das concentrações ao longo do tempo, ou de alguma variação que foi introduzida no ambiente de trabalho.

Dentre as dificuldades encontradas para a realização do presente trabalho pode-se destacar:

a - Dificuldade de se amostrar todo o período de trabalho. Dificilmente se consegue que uma bomba de amostragem pessoal

forneça vazão constante por mais de 9 horas; por outro lado o higienista deve iniciar a calibração inicial cerca de uma hora e meia antes da amostragem e efetuar a calibração final por mais uma hora e meia após a coleta, o que obriga o higienista, ou sua equipe, a uma jornada de mais de 12 horas, o que nem sempre é possível de realizar. Assim, na prática, o mais viável é uma estratégia que prevê uma amostragem de cerca de 5 horas, restando 3 horas para as calibrações, ressaltando-se, é claro, que o restante da jornada de trabalho dos soldadores deve ser conhecido para se julgar da viabilidade ou não da redução do período amostrado.

Deve ser lembrado, ainda, que as bombas devem ser calibradas em momentos próximos ao início da coleta e deixadas funcionando previamente por cerca de quinze minutos. Se a calibração for feita no dia anterior, após o período de repouso, a bateria pode fornecer maior carga, variando a vazão. Por outro lado, é conveniente a calibração imediatamente antes e após a amostragem para se evitar as correções que devem ser feitas com a temperatura e pressão.

- b - Contato com os soldadores. Há necessidade de um contato franco com os soldadores, explicando-se o melhor possível o que se pretende realizar e o que é esperado por parte deles. Neste particular a dificuldade foi plenamente superada com auxílio da supervisão da indústria e de cada grupo, obtendo-se cooperação e compreensão dos soldadores que, apesar de utilizarem diversos equipamentos de proteção individual como: avental, gola, mangas, luvas de raspa, elmo, óculos, etc., ainda se dispuseram a utilizar a bomba de

amostragem pessoal e colaboraram de tal maneira, que nos comunicavam espontâneamente, qualquer alteração em suas ro ti nas de trabalho que pudessem alterar a amostragem. Sem este clima de entrosamento entre pesquisador, supervisão e soldador, é certo que o presente trabalho não poderia ter sido realizado.

c - Em razão do controle de qualidade exercido durante o pro cesso de coleta e análise de amostras, 12% destas foram in val id ad as por vários motivos. Os motivos principais fo ra m:

- I - Flutuação muito alta na vazão da bomba.
- II - Vazamento na fixação da mangueira à bomba (solu ci ona do após troca das mangueiras).
- III - Passagem do fluxo de ar amostrado pela parte lateral do filtro ao invés de através deste, por falha na montagem do porta-filtro.
- IV - Perda do filtro amostrado no transporte.
- V - Inversão da posição da bomba quando de sua recolocação pelo soldador após alguma paralização eventual.
- VI - Paralização imprevista da atividade do soldador por motivos técnicos, administrativos ou pessoais.

Pela análise dos resultados obtidos no presente trabalho pode-se chegar às seguintes conclusões:

- É fundamental a utilização, durante a amostragem, de dispositivo que permita a coleta de fumos metálicos na zona respiratória real do soldador, dentro do elmo e próximo ao nariz deste durante todo o ciclo de operações de solda.
- O dispositivo testado para a amostragem na zona respiratória real do soldador funcionou a contento, não tendo sido detectados problemas para sua utilização.
- Para uma exposição próxima ao limite de tolerância, o limite gravimétrico único não é recomendado, sendo o melhor processo de avaliação a comparação isolada com limites individuais de cada metal.
- A taxa de metais no sangue e urina em concentrações próximas ao limite de tolerância biológica estão coerentes com os resultados obtidos para os metais isoladamente na avaliação da exposição dos soldadores.
- Os índices biológicos de exposição aos metais estudados não devem ser instrumento de controle de exposição de populações de soldadores com exposição ambiental próxima ao limite de tolerância, podendo, todavia, ter valor para o controle médico de casos individuais.
- É possível uma adaptação dos limites de tolerância baseados na meia vida biológica dos metais pesados estudados, que podem ter seu limite preconizado pela ACGIH reduzidos por um fator de 0,85 considerando-se apenas o aumento da jornada de trabalho.

- As médias geométricas das concentrações ambientais encontradas representantes da distribuição log-normal destas e inferiores às médias aritméticas, estão mais de acordo com os baixos níveis de metais encontrados no sangue e urina.
- Em virtude do grande número de variáveis encontradas, não é recomendável uma simplificação na estratégia da amostragem inicial visando uma redução de custos. A amostragem inicial deve ser a mais completa possível, podendo-se, após ter-se conhecimento das condições ambientais, reduzir as amostragens para acompanhamento do ambiente e da população ao longo do tempo.
- Há necessidade de estabelecimento legal de limites de tolerância para as condições brasileiras, que sejam tecnicamente e cientificamente aceitos e praticamente exequíveis, além de uma definição clara dos métodos e processos para uma avaliação ambiental.

1. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS-ACGIH Valores Umbrales Limites (TLVs). Noticias de Seguridad (4/5): 17, 1983.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NB 262. Qualificação de Processos de Soldagem, de Soldadores e de Operários.
3. AZEVEDO, F.A.; DELLA ROSA, H.V. e LEWTON, W. - O Controle Biológico Laboratorial da Exposição de Trabalhadores a Sustâncias Químicas. A medicina do Trabalho e a prevenção da Intoxicação. Rev.Bras.S.Ocup. 37(10): 19, 1982.
4. BEAULIEU, H.J.; FIDINO, A.V.; ARLINGTON, K.L.B. e BUCHAN, R.M. A comparison of Aerosol Sampling Techniques: "open" versus "closed-face" filter cassettes. - AmInd.Hyg.Ass.J. 41(10): 758, 1980.
5. BRIEF, R.S. e SCALA, R.A. - Occupational Limits for Novel Work Schedules Am.Ind.Hyg.Ass.J. (6): 467, 1975.
6. BORRAS, V.M. e LOPEZ, J.L.C. Los Criterios Rapidos de Valoracion Higienica: Su Aplicacion a Las Operaciones de Soldadura. Mapfre Seguridad, 2: 13, 1981.
7. BURGESS, W.A. Potential Exposures In Industry - Their Recognition and Control. in CLAYTON, G.D. e CLAYTON, F.E. - Ed. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology Vol. I, 3^a Ed. John Wiley & sons New York, 1981.
8. FRIBERG et al - Handbook on the Toxicology of Metals Elsevier, Amsterdam, 1980.
9. HICKEY, J.L.S. - Adjustment of occupational Exposure Limits for Seasonal Occupations - Am.Ind.Hyg.Ass.J. 41 (4): 261, 1980.
10. HICKEY, J.L.S. e REIST, P.C. - Application of Occupational Exposure Limits to Unusual Work Schedules. Am.Ind.

Hyg.Ass.J. 38(11):613, 1977.

11. HICKEY, J.L.S. e REIST, P.C. - Adjusting Occupational Exposure Limits for Moonlighting, Overtime, and environmental exposures. Am.Ind.Hyg.Ass.J. 40 (8):722, 1979.
12. HARTZELL, G.E. et al. - Toxic Products from Fires. Am. Ind.Hyg.Ass.J. 44(8): 572, 1983.
13. LEIDEL, N.A.; BUSH, K.A. e CROUSE, W.E. - Exposure Measurements Action Level and Occupational Environmental - Variability DHEW (NIOSH) publication nº 76-131, 1975.
14. LEIDEL, N.A.; BUSCH, K.A. e LYNCH, J.R. - Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. DHEW (NIOSH) publication nº 77-173, 1977.
15. LIPPMANN, M. Aerosol Sampling for Inhalation Hazard Evaluations. in MERCER, T.T.; MORROW, P.E. and STOBBER, W. Ed. Assessment of Airborne Particles. Charles C. Thomas Springfield, 1972.
16. MARCOS, P.A.M. - Saúde e Segurança nas Operações de Solda e Corte. In: XIX CONPAT - Congresso Nacional de Prevenção de Acidentes, Brasília, 1980. FUNDACENTRO, 1981.
17. MASON, J.W. e DERSHIN, H. Limits to Occupational Exposure in Chemical Environments Under Novel Work Schedules J.Occ.Med., 18 (9):603, 1976.
18. MINISTÉRIO DO TRABALHO - Portaria 3214 de 6-1978, Norma Regulamentadora nº 15, Anexo 11.
19. MINISTÉRIO DO TRABALHO - Portaria nº 12, de 6-6-1983, Norma Regulamentadora nº 7.
20. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH-NIOSH The Industrial Environment - Its Evaluation and Control. DHEW (NIOSH) 1973.
21. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

- NIOSH - Occupational Mortality in Washington State-1950-1971 Research Reports Vol I U.S. DHEW Publication n° 76-175, 1976.
22. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH Improving the Welding Environment. Publication n° 657-061/1903, 1979.
- 23 - NOGUEIRA, D.P. et al - Taxa de Chumbo em Amostras de Sangue de Voluntários não Expostos na Grande São Paulo. - Revista de Saúde Pública 13:147,1979.
- 24 - NUEVA Tecnologia para Soldar Al Arco. Noticias de Seguridad (2):31, 1982.
- 25 - OKUMURA, T. e TANIGUSHI, C. Engenharia de Soldagem e Aplicações Livros Técnicos e Científicos Ed. Rio de Janeiro, 1982.
- 26 - PEREIRA, P.F. Problemas Higienicos Generados em las Operaciones de Soldadura al Arco - Noticias de Seguridad (2):18, 1980.
- 27 - PERKIN-ELMER Technique and Applications of Atomic Absorption Perkin-Elmer Corporation 1974.
- 28 - POWELL, C.H. et al Investigative Studies of Plasma Torch Hazards. Am.Ind.Hyg.Ass.J. (7-8):381, 1968.
- 29 - ROACH, S.A. - A More Rational Basis for Air Sampling Programs Am.Ind.Hyg.Ass.J. 27 (1/2):1, 1966.
- 30 - ROACH, S.A. - Treshold Limit Values for Extraordinary Work Schedules Am.Ind.Hyg.Ass.J. (39)(4):345, 1978
- 31 - ROCK, J.C. A comparison between OSHA- Compliance Criteria and Action-Level Decision Criteria. Am.Ind.Hyg.Ass.J. 43 (5):297, 1982.
- 32 - ROCKWELL, J.R. e MOSS, C.E. Optical Radiation Hazards of Laser Welding Processes. Am.Ind.Hyg.Ass.J. 44 (8):

572, 1983.

- 33 - SMITH, R.G. e MUSCH, D.C. Occupational Exposure to Carbon Black: A Particulate Sampling Study. Am.Ind.Hyg. Ass.J. 43 (12):925, 1982.
- 34 - SPURNY, K.K. Aerosol Filtration by Means of Analytical Pore Filters. in MERCER, T.T. MORROW, P.E. and STOBBER, W. Ed. Assessment of Airborne Particles. Charles C. Thomas, Springfield 1972.
- 35 - STERN, R. Criteria for Assessment of Potential Hazards to Welders' Health. The Danish Welding Institute ISBN 87-87806-21-5 Copenhagen, 1980.
- 36 - STOKINGER, H.E. The Metals. in CLAYTON, G.D. e CLAYTON, F.E. Ed. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology - vol. II A 3^a Ed. John Wiley & Sons, New York 1981.
- 37 - TAYLOR, D.G. Coord. - NIOSH Manual of Analytical Methods v.5, General Procedure for Metals, Method n° P&CAM - 173 DHEW (NIOSH) Publication n° 79-141, 1979.
- 38 - TOLA, S. et al. Urinary Chromium as an indicator of the Exposure of Welder to Chromium. Scand. J.Environ. & Health 3:192, 1977.
- 39 - TORKELSON, T.R. Redirection of Industrial Health - 1983 Stokinger memorial Lecture. Am.Ind.Hyg.Ass.J. 44(11): 781, 1983.
- 40 - U.S. DEPARTMENT OF HEALTH EDUCATION AND WELFARE -Criteria for a Recommended Standard ... Occupational Exposure - to Inorganic Nickel 1977.
- 41 - U.S. Department of Labor - Dictionary of Occupational Titles 4^a Ed. U.S. Department of Labor, 1977.
- 42 - WEIL, E. Éléments de Toxicologie Industrielle Masson e Cie. Paris 1975.

- 43 - WEISS, S.A. et al. Air Volume Measurement Error in Pumps with Rotameters and High Range "Constant Flow" Pumps. Am.Ind.Hyg.Ass.J. 43 (10):754, 1982.
- 44 - WELLS ASTETE, M.G. et al Riscos Físicos São Paulo, - FUNDACENTRO, 1983.
- 45 - WIEHE, A.E. et al Application of a Smoke Extrating System for Continuous Electrode Arc Welding. Welding - Journal 350(6):349, 1974.
- 46 - ZIELHUIS, R.L. Permissible Limits for Chemical Exposures in ZENS, C. Ed. Occupational Medicine. Year Book Med.Publ. Chicago, 1977.

TABELA A-1 GRUPO A - CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

Amostra nº	Metais	Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
87	7	271	33	1502	2	0	55	0	
97	1	186	15	1243	0	3	35	0	
108	1	118	38	766	0	0	63	0	
117	2	103	25	697	1	3	45	3	
130	0	206	71	1766	0	0	35	5	
140	1	333	88	2637	1	0	73	13	
90	0	249	23	1196	0	6	27	3	
100	1	455	43	4105	0	0	58	9	
113	0	605	185	4355	0	9	44	5	
119	1	409	165	3053	0	8	36	2	
121	1	533	194	4928	0	0	46	0	
86	4	1090	121	8520	1	5	72	0	
102	1	621	54	4617	1	3	83	3	
107	2	1022	284	7708	0	0	45	3	
115	1	722	229	5308	0	0	49	0	
128	0	825	273	5817	0	0	54	5	
143	1	1087	280	6493	1	6	59	0	
89	2	330	28	2486	1	0	55	0	
101	2	265	19	4801	0	0	63	8	
114	5	427	88	6328	1	0	42	0	
118	1	305	77	5117	0	0	48	0	
131	1	330	81	4935	1	-	-	10	
88	3	562	56	2005	1	6	55	12	
104	1	395	27	3751	1	0	81	3	
111	1	546	99	4324	1	0	62	0	
123	1	507	150	3831	1	0	78	3	
126	2	466	132	3876	1	15	78	6	
137	2	515	81	4155	1	0	117	3	
91	4	306	40	1317	1	0	33	13	
138	0	166	34	1090	2	0	27	0	
134	2	238	41	1402	1	0	55	5	
120	2	446	109	3912	0	0	54	0	
109	1	480	57	3614	1	0	50	0	
92	3	75	15	508	0	0	75	5	
96	3	97	11	631	1	3	50	3	
112	0	149	32	1009	1	3	56	0	
124	2	71	31	507	0	0	51	3	
125	2	179	68	1122	0	7	55	3	
136	3	200	48	963	1	7	55	0	
93	3	279	62	1700	2	47	89	13	
95	3	209	40	1475	0	33	108	7	
110	1	454	63	4311	1	65	90	0	
122	2	265	56	2879	1	97	123	2	
132	3	431	114	4675	2	56	146	18	
139	0	304	100	3250	2	44	117	0	
99	3	135	17	1595	1	0	37	3	
106	2	117	51	2120	1	0	29	0	
133	2	94	73	812	1	8	44	9	
142	1	91	59	918	1	0	33	0	
85	6	138	36	1303	1	7	18	14	

TABELA A-2 GRUPO B - CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

Amostra nº	Metals	Cr	Mn	Cu	Fe	Pd	Pb	Zn	Ni
5		0	142	23	1321	0	0	18	0
10		0	213	14	1798	1	3	29	5
7		0	198	3	1960	1	7	31	3
129		1	119	64	675	0	0	24	0
146		0	94	32	136	1	2	15	0
148		0	187	42	2213	1	0	44	0
149		0	134	34	791	1	0	34	0
150		0	263	102	1719	0	0	43	1
154		1	84	33	631	2	0	38	3
155		1	83	32	556	1	0	32	4
181		0	205	25	1390	0	0	27	0
182		0	154	39	1020	1	0	29	0
182		1	181	14	1831	0	3	36	3
184		0	97	10	782	0	0	18	1
185		1	103	12	895	1	0	21	0

TABELA A-3 GRUPO C - CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

Metais Amostra nº	Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
20	3	393	119	2580	0	10	36	0
26	2	1014	289	4257	1	0	16	0
35	4	897	97	7281	2	26	25	12
42	2	1500	241	8235	1	0	15	19
45	3	340	41	4261	0	0	14	18
61	2	470	47	4603	0	6	14	0
67	1	508	50	4289	1	3	15	6
82	1	208	27	1951	0	5	13	11
27	1	709	92	3807	1	4	24	0
34	1	237	28	678	0	0	9	0
39	2	717	163	5700	1	0	40	0
46	4	102	10	733	1	4	220	15
57	2	542	73	3963	0	7	15	10
71	2	670	61	3243	0	10	23	8
78	2	647	67	3808	0	6	19	6
23	3	241	145	1035	4	38	66	0
52	3	86	10	754	1	14	9	9
56	2	316	27	2776	0	57	16	49
72	1	549	65	3611	0	5	19	0
76	2	361	36	2451	0	53	31	6
25	2	246	28	1710	1	4	13	0
33	4	320	56	3340	1	8	24	14
38	2	303	47	4167	1	0	17	0
48	3	292	50	1708	0	4	20	25
69	2	251	32	1480	0	7	30	0
77	2	170	16	942	0	0	18	9
24	3	161	52	1299	1	4	22	0
36	6	223	53	1869	0	5	48	0
43	2	180	32	1426	1	4	5	0
59	2	186	53	1720	1	3	14	10
75	3	297	167	2066	0	5	36	15
40	2	92	29	891	1	10	14	0
53	2	145	18	1256	0	27	10	9
58	2	182	25	2246	0	29	18	2
70	2	88	14	704	1	24	26	3
83	2	411	41	2477	1	3	20	6
37	3	205	20	1309	1	2	12	0
49	3	196	26	1581	1	0	295	0
60	2	200	40	1884	0	8	19	0
66	2	436	44	4867	1	6	35	3
81	2	253	24	2130	1	5	22	5
51	2	165	2	1148	1	7	2	8
63	2	187	29	1163	0	8	16	5
68	2	198	23	1118	0	5	14	2
79	3	455	36	3395	0	3	24	13
41	5	304	43	1996	1	106	26	0
50	3	457	59	4074	0	26	37	0
65	2	422	56	3363	0	3	20	8
80	2	348	38	2239	1	7	27	10

TABELA A-4 GRUPO D - CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

Amostra n° \ Metais	Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
4	1	68	8	822	0	66	34	0
2	1	235	34	1969	2	12	31	0
15	1	211	36	2270	0	22	23	0
304	0	318	66	2897	1	5	17	0
307	0	365	79	3472	0	7	72	3
303	0	240	89	3286	0	2	28	0
306	0	387	95	4301	0	7	46	0
302	1	132	36	995	0	0	8	0
305	1	88	15	508	1	2	18	0
301	1	363	93	3792	1	6	16	0
308	2	310	121	2711	1	2	23	0
158	0	342	68	2649	0	185	18	5
163	0	449	71	3356	1	52	8	0
159	1	315	86	3651	0	4	13	0
164	1	333	139	3044	1	2	12	0
157	1	480	122	5003	0	8	49	0
162	0	326	71	2736	1	6	12	0
156	0	406	175	3698	0	5	24	0
161	0	780	186	4900	1	6	22	7
160	1	123	35	1012	1	2	11	5
165	2	144	50	1022	1	2	29	0
313	1	317	74	2871	1	237	30	0
318	2	344	87	1936	1	239	27	0
309	0	333	69	1407	1	4	35	0
317	1	211	45	1576	1	28	33	0
311	1	436	50	3776	1	4	29	0
314	0	519	148	4535	1	16	22	0
312	2	260	60	1950	1	5	20	0
316	0	219	58	1829	1	4	12	0
310	2	368	112	2721	1	8	26	0
315	2	428	154	4121	0	6	14	0
405	2	366	99	3405	1	14	37	3
401	1	222	48	1694	0	7	18	3
409	1	862	129	4408	1	9	89	5
411	0	94	23	1307	0	2	40	0
410	2	305	46	2950	0	0	98	5

TABELA A-5 GRUPO E - CONCENTRAÇÕES DE METAIS EM MICROGRAMAS POR METRO CÚBICO

Amostra n° \ Metais	Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni
1	2	0	1	35	1	3	37	0
2	2	1	2	32	1	13	40	0
3	2	1	1	42	1	0	24	0
4	2	0	2	37	1	1	14	0
5	2	1	2	29	1	6	18	0
6	2	1	1	32	0	5	28	0
7	2	1	2	28	1	0	55	0
8	2	2	1	42	1	6	41	0
9	2	0	1	28	1	0	38	0
10	3	8	5	52	2	12	146	0
11	3	2	3	41	1	6	84	0
12	2	1	2	34	0	0	62	0
13	2	0	3	27	0	0	129	0
14	1	0	2	23	1	0	143	0
15	2	1	2	17	1	0	35	0
16	2	0	1	21	1	6	36	0
17	3	0	1	22	1	13	10	0
18	0	0	2	51	1	0	218	0
19	3	0	0	26	0	0	10	0
44	2	9	2	71	0	0	11	0
64	1	10	2	124	0	0	10	0
73	1	12	4	129	0	0	25	0
84	2	14	4	92	1	3	11	0
105	2	8	2	165	0	48	63	0
127	0	0	1	12	0	0	3	0
144	0	1	1	3	0	0	13	0
145	1	2	1	82	0	0	7	0
177	1	2	1	256	0	4	8	0
176	1	1	0	29	0	2	1	0
178	2	2	1	64	0	5	12	0
179	1	2	1	35	0	2	7	0
180	1	2	1	38	0	3	10	0

TABELA A-6 GRUPO A - CONCENTRAÇÕES DE METAIS PADRONIZADAS COM LT₁ (x1000)
E SOMATÓRIA

Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni	Σ
14	271	164	300	50	0	11	0	810
2	186	76	248	0	21	7	0	540
3	118	191	153	0	0	13	0	478
4	102	127	139	32	21	9	29	463
0	206	355	353	8	0	7	47	976
1	333	439	527	26	0	15	133	1474
0	249	114	239	4	39	5	29	679
1	455	209	821	0	0	12	88	1586
0	605	924	870	12	63	9	53	2536
3	409	827	611	0	56	7	25	1938
3	533	971	986	6	0	9	0	2508
9	1090	603	1704	26	36	14	0	3401
2	621	270	923	20	23	17	31	1907
4	1022	1422	1542	8	0	9	34	4041
2	722	1147	1062	6	0	10	0	2949
1	825	1365	1163	6	0	11	51	3422
2	1087	1398	1298	24	43	12	0	3864
5	330	137	497	28	0	11	0	1008
3	265	97	960	6	0	13	86	1428
10	427	442	1266	18	0	8	0	2171
1	305	383	1023	6	0	10	0	1728
2	330	408	987	16	0	2	106	1849
7	562	281	401	30	39	11	118	1449
2	395	133	744	20	0	16	29	1339
1	546	493	865	14	0	12	0	1931
1	507	749	766	24	0	16	26	2089
4	466	658	775	2	102	16	61	2084
3	515	402	831	28	0	23	31	1833
8	306	202	263	20	0	7	13	819
0	166	168	218	36	0	5	0	593
4	238	203	280	28	0	11	54	818
3	446	544	782	0	0	11	0	1786
1	481	285	723	20	0	10	0	1520
6	75	77	102	0	0	15	47	322
5	97	54	126	14	23	10	30	359
0	149	158	202	18	19	11	0	557
4	71	154	101	0	0	10	29	369
3	179	339	224	0	43	11	28	827
5	200	204	193	20	49	11	0	682
6	279	309	340	34	316	18	134	1436
6	209	199	295	0	221	4	66	1000
2	454	314	862	22	431	18	4	2105
4	265	275	576	14	647	25	23	1829
5	431	572	935	32	374	29	177	2555
0	304	502	650	34	295	24	0	1809
5	135	86	319	14	0	7	33	599
4	117	253	424	16	0	6	0	820
5	94	363	162	14	51	9	94	792
3	91	294	184	20	0	7	0	599
12	138	180	260	12	48	4	144	798

TABELA A-7 GRUPO B - CONCENTRAÇÕES DE METAIS PADRONIZADAS COM LT₁ (x 1000)
E SOMATÓRIA

Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni	Σ
0	143	114	264	0	0	4	0	525
0	213	71	359	10	20	6	0	729
0	198	15	392	20	46	6	30	528
2	119	318	135	0	0	5	0	583
0	94	162	27	17	13	3	0	316
0	187	209	443	14	0	9	0	862
0	134	168	158	14	0	7	0	481
0	263	508	344	8	0	9	10	1141
1	084	165	126	32	0	8	30	429
3	84	158	111	18	0	6	39	419
0	205	125	278	0	0	6	0	614
0	154	195	204	20	0	6	0	579
2	181	70	366	0	20	7	30	676
0	97	50	156	0	0	4	10	317
2	103	60	179	20	0	4	0	368

TABELA A-8 GRUPO C - CONCENTRAÇÕES DE METAIS PADRONIZADAS COM LT₁ (x 1000)
E SOMATÓRIA

Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni	Σ
5	393	594	516	0	65	0	7	1580
3	1014	1196	851	14	0	3	0	3081
9	897	485	1456	32	173	5	122	3179
3	1500	1206	1647	12	0	0	194	4562
7	340	206	852	14	0	0	182	1601
5	470	234	921	10	37	3	0	1680
2	508	251	858	10	20	3	61	1613
2	208	134	390	8	35	2	106	885
2	709	458	762	28	25	5	0	1989
7	237	139	136	0	0	2	0	521
3	717	816	1140	20	0	8	0	2704
7	102	49	147	16	29	44	153	547
5	542	367	793	4	46	3	105	1865
3	669	307	649	4	68	5	75	1780
5	647	333	762	0	37	4	56	1844
6	241	724	206	7	253	13	0	1569
6	90	45	150	14	90	2	90	487
5	316	133	555	8	380	3	490	1890
2	549	323	722	4	34	4	0	1638
5	361	181	490	10	352	6	58	1463
3	246	137	342	26	24	2	0	780
8	319	278	668	20	55	5	225	1578
5	303	233	833	26	0	3	0	1403
6	292	251	342	6	23	4	248	1172
4	251	160	296	6	43	6	0	766
4	169	82	189	0	0	4	90	538
7	160	262	260	20	27	4	0	740
12	223	262	374	0	32	9	0	912
3	180	160	285	20	23	0	0	653
4	186	267	344	18	18	3	100	940
6	297	837	413	0	31	7	144	1735
4	92	144	178	12	66	3	0	499
4	144	89	251	8	180	2	89	767
3	182	123	449	8	190	4	23	982
3	88	69	141	12	160	5	26	504
3	410	205	495	14	18	4	55	1204
7	205	100	262	10	12	2	0	598
5	196	129	316	20	0	59	0	725
3	200	200	377	8	56	4	0	848
4	436	219	973	16	43	7	32	1730
3	253	122	426	14	36	4	54	912
3	165	10	229	12	47	0	77	543
3	187	145	233	0	54	3	54	679
3	198	115	224	8	3	3	23	577
7	455	182	679	0	21	5	126	1475
10	304	214	399	18	706	5	0	1656
6	457	293	815	6	171	7	0	1755
4	422	279	673	4	18	4	81	1485
4	348	191	448	26	43	5	100	1165

TABELA A-9 GRUPO D - CONCENTRAÇÕES DE METAIS PADRONIZADAS COM LT₁ (x 1000)
E SOMATÓRIA

Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni	Σ
2	68	40	164	113	0	443	7	837
2	235	169	394	32	79	6	0	917
2	211	181	454	0	146	4	0	998
0	365	393	694	4	47	14	26	1543
0	318	328	579	18	33	4	0	1280
0	240	447	657	4	15	6	0	1369
0	387	476	860	0	48	9	0	1780
2	133	179	199	10	0	1	0	524
2	88	75	101	10	15	4	0	295
2	363	467	758	18	37	3	0	1648
3	310	605	542	12	13	5	0	1490
1	342	338	530	8	1231	4	49	2503
1	449	355	671	14	348	2	0	1840
2	314	427	730	8	29	2	0	1512
2	333	696	609	20	13	2	0	1675
1	480	611	1001	0	49	10	0	2152
0	326	355	547	22	41	2	0	1293
1	406	877	739	4	30	5	0	2062
1	780	930	980	20	43	5	72	2831
2	123	174	202	22	15	2	53	593
3	144	246	204	14	16	6	0	633
1	317	370	574	12	1575	6	0	2855
4	345	438	387	16	1591	5	0	2786
1	333	345	281	12	27	7	0	1006
1	211	225	315	10	185	7	0	954
1	436	249	755	12	27	6	0	1486
1	518	740	907	12	105	4	0	2287
3	260	300	390	14	33	3	0	1003
0	219	292	366	12	27	2	0	918
3	368	558	544	20	52	5	0	1550
3	428	768	824	8	39	3	0	2073
4	305	229	590	10	0	20	49	1207
3	366	493	681	12	94	7	28	1684
3	222	239	339	10	44	4	33	894
2	863	648	1082	26	59	18	89	2787
1	94	115	261	0	11	8	0	490

TABELA A-10 GRUPO E - CONCENTRAÇÕES DE METAIS PADRONIZADAS COM LT_1 (x 1000)
E SOMATÓRIA

Cr	Mn	Cu	Fe	Cd	Pb	Zn	Ni	Σ
3	0	6	7	18	2	7	0	45
4	1	10	6	22	86	8	0	137
3	1	5	8	16	0	5	0	38
4	0	2	7	22	6	3	0	44
5	1	5	6	22	42	3	0	84
4	1	5	6	10	3	6	0	35
5	1	7	6	19	0	11	0	49
4	2	5	8	16	4	8	0	47
4	0	7	5	20	0	8	0	44
7	8	24	10	30	80	29	0	188
6	1	15	8	28	42	17	0	115
5	1	9	7	12	0	12	0	46
4	0	15	5	4	0	26	0	54
3	0	8	5	16	0	29	0	61
4	1	8	3	20	2	7	0	45
3	0	3	4	16	38	8	0	72
5	0	6	4	24	8	2	0	49
11	0	9	10	24	0	44	0	98
7	0	0	5	8	0	2	0	22
4	9	10	14	0	0	0	0	37
2	10	11	25	4	0	2	0	54
1	12	18	26	0	0	5	0	92
3	15	21	18	16	17	2	0	91
3	8	7	33	0	323	13	0	387
1	0	7	2	0	0	0	0	10
0	1	3	1	0	0	2	0	7
1	2	5	15	0	0	1	0	24
3	2	4	51	10	25	2	0	97
2	1	0	6	8	14	0	0	31
3	2	5	13	8	32	2	0	65
2	2	5	7	8	1	1	0	26
2	2	5	8	6	2	2	0	27