

Determinação dos níveis de exposição de metais em trabalhadores da construção naval: impactos e desafios

Determining levels of exposure to metals in shipbuilding employees: impacts and challenges

Maria de Fátima Ramos Moreira¹, Aldo Pacheco Ferreira¹, Ulisses Cesar de Araújo²

RESUMO | Objetivo: Determinar os níveis de metais (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) em amostras ambientais e biológicas. **Métodos:** Estudo transversal com 17 trabalhadores de um estaleiro de grande porte do Estado do Rio de Janeiro com idade entre 18 e 65 anos, com tempo na função laboral de pelo menos 3 anos. A pesquisa foi realizada entre 2012 e o primeiro semestre de 2013. **Resultados:** Os níveis dos metais nos trabalhadores pesquisados foram menores que os considerados críticos pelas legislações. Os cenários avaliados foram consoantes com a literatura científica, que apresenta exemplos de sucesso na iniciativa de diminuir a exposição a metais de trabalhadores da indústria naval. Por outro lado, também, evidenciou a pesquisa que os trabalhadores desenvolvem grande parte de suas práticas em situações perigosas, potencializando as possibilidades de acidentes e outras intercorrências na saúde, deflagrados pelo trabalho a curto ou longo prazo. **Conclusões:** Os profissionais estudados deixam clara a insatisfação com as condições de trabalho e constrangimentos provocados em sua organização. O cenário atual da indústria naval no Brasil é de crescimento, porém, apesar do otimismo com investimentos no setor, pouco tem sido investido na melhoria das condições de trabalho e na criação de políticas públicas eficientes para a saúde dos trabalhadores navais.

Palavras-chave | saúde do trabalhador; exposição; trabalhadores.

ABSTRACT | Objective: To determine levels of metals (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) in environmental and biological samples. **Methods:** Cross-sectional study with 17 workers of a large shipbuilding of the State of Rio de Janeiro aged between 18 and 65 years, with time in work function of at least 3 years. The survey was conducted between 2012 and the first half of 2013. **Results:** The levels of metals in workers surveyed were smaller than those considered critical by the laws. The scenarios evaluated were consonant with the scientific literature that shows examples of successful initiative to reduce exposure to metal workers of the shipbuilding industry. On the other side, the survey also showed that employees develop much of their practices in dangerous situations, increasing the chances of accidents and other health complications, triggered by work in the short or long term. **Conclusion:** The evaluated workers make clear their dissatisfaction with laboral conditions and constraints caused in their organization. The current scenario of the shipbuilding industry in Brazil is growing, however, despite the optimism with investments in the sector; little has been invested in improving the working conditions and the creation of efficient public policies for the health of shipbuilding workers.

Keywords | occupational health; exposure; workers.

Trabalho realizado no Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, da Fundação Oswaldo Cruz (Cesteh/Ensp/Fiocruz) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

¹Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana/Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca/ Fundação Oswaldo Cruz (Cesteh/ENSP/Fiocruz) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

INTRODUÇÃO

Neste estudo, pretende-se trazer para o âmbito da saúde pública, particularmente para o campo da Saúde do Trabalhador, o contexto geral de atuação de profissionais da indústria naval.

Os trabalhadores da indústria naval estão sujeitos a diferentes fatores de risco, destacando-se, dentre outros, a exposição a fumos metálicos, principalmente quando o trabalho ocorre em ambientes confinados^{1,2}.

O campo da Saúde do Trabalhador apresenta como objeto de investigação o processo saúde e doença dos trabalhadores na sua relação com o trabalho³. Mendes e Dias⁴ relatam que, apesar das dificuldades teórico-metodológicas enfrentadas, a saúde do trabalhador busca a explicação sobre o adoecer e o morrer das pessoas, dos trabalhadores em particular, por meio do estudo dos processos de trabalho, de forma articulada com o conjunto de valores, crenças e ideias, as representações sociais e a possibilidade de consumo de bens e serviços, na moderna civilização urbano-industrial.

Portanto, o campo da Saúde do Trabalhador compreende práticas interdisciplinares e interinstitucionais, como técnicas sociais, políticas e humanas. Tendo atores situados em diversos lugares distintos com o objetivo comum de se produzir saúde, desenvolvem-se ações com vistas à promoção da saúde, sempre no âmbito de atuação das políticas públicas de saúde⁵.

Os metais são elementos que ocorrem naturalmente, onipresentes e resistentes à degradação natural. Existem no ambiente em consequência de fontes naturais e antropogênicas⁶. Os efeitos tóxicos mais evidentes e relevantes surgiram especialmente nos trabalhadores expostos ocupacionalmente a esses elementos, além dos danos ambientais provocados pela mineração, processamento e descarte. Mesmo assim, muitos metais se tornaram indispensáveis ao funcionamento da sociedade moderna^{7,8}.

Entre as substâncias químicas tóxicas resultantes das atividades de construção e reparo de um estaleiro, encontram-se os metais. São comumente encontradas no ar, provenientes da emissão de particulados, poeiras, fumos e aerossóis, liberados durante os processos de jateamento, tratamento de superfície, goivagem, solda e pintura⁹.

A exposição a prata (Ag), arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se) e zinco (Zn)

apresenta potenciais riscos para a saúde dos trabalhadores da construção naval^{9,10}. Alguns desses elementos, mesmo sendo essenciais (Cu, Fe, Mn e Zn), se tornam tóxicos em concentrações acima daquelas necessárias (fisiológicas). Alguns atuam sobre o sistema nervoso (Cu, Mn, Pb e Zn), outros são nefrotóxicos (Cd e Pb), enquanto o Fe é hepatotóxico^{11,12}. Intoxicações por Se acontecem quando há um excesso de ingestão desse elemento químico. Os primeiros sintomas são visão embaçada, diminuição de apetite, enfraquecimento de unhas e cabelo, problemas cardiorrespiratórios, depressão respiratória que pode progredir a óbito⁸.

O trabalho na construção naval é tradicionalmente perigoso, com uma taxa de acidentes maior do que duas vezes aquela da construção civil e da indústria em geral¹³. A construção e o reparo de navios são algumas das mais arriscadas operações de um estaleiro e envolvem a edificação, montagem, modificação, transformação, instalação, limpeza, pintura, aparelhamento, testes e manutenção¹⁴.

O risco toxicológico pode ser definido como a consequência tóxica de uma atividade particular em relação à probabilidade de que esta venha a ocorrer¹⁵. Por conseguinte, para auxiliar no gerenciamento da exposição de populações e trabalhadores aos riscos químicos, a fim de que não se atinja ou exceda um risco intolerável, os organismos técnicos ou agências reguladoras têm estabelecido os limites de exposição ocupacional utilizados como parâmetro na avaliação do risco tóxico.

De modo geral, as propriedades tóxicas podem ser avaliadas por meio da relação dose-resposta ou da relação estrutura-atividade (*structure-activity relationship*)¹⁶. Assim, o conhecimento básico de Química, além de auxiliar na identificação das substâncias ou compostos químicos, possibilita uma avaliação preliminar de risco, pois certas propriedades físicas determinam a exposição e os possíveis riscos à saúde.

Uma das medidas mais eficazes de se prevenir a ocorrência de intoxicações ocupacionais é a monitorização biológica¹⁷⁻¹⁹. Para possibilitar a interpretação dos resultados da análise dos diversos indicadores biológicos (IB) usados na monitorização, constam da norma regulamentadora do Brasil os valores máximos permitidos (Índice Biológico Máximo Permitido (IBMP)), abaixo dos quais se supõe que a maioria dos trabalhadores não apresente efeitos nocivos, e também valores de referência desses parâmetros²⁰.

Apesar de se ter vários indicadores que não têm valores de referência (VR), como ácido metilhipúrico,

metiletilcetona, dentre outros, temos uma grande maioria já com definições de VR, os quais são quesitos indispensáveis à monitorização biológica, pois o nível dos indicadores biológicos nos indivíduos expostos deve ser comparado com o nível desse mesmo indicador em uma população cuja característica principal é a de não estar exposta ocupacionalmente ou por uma situação ambiental especial aos xenobióticos avaliados²¹.

Tais valores devem ser determinados em cada país e/ou região, pois vários são os fatores que afetam o bioindicador, como o tipo de alimentação, o local de moradia e de trabalho, os hábitos próprios do indivíduo, a poluição ambiental, entre outros. Infelizmente, pela não disponibilidade de valores da população brasileira, a maioria dos VR foi compilada da literatura internacional¹⁵.

Ao se usar valores reportados na literatura, existe o risco de se cotejar dados de populações com características muito diversas. No estabelecimento da validade de valores de referência é necessário:

1. conhecer as características relevantes da população usada para o estudo;
2. estabelecer a técnica de amostragem;
3. estabelecer a técnica de análise do material biológico e o desempenho da aparelhagem usada.

Este estudo teve por objetivo pesquisar a presença de metais (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) em amostras ambientais e biológicas durante as atividades laborais em um estaleiro de grande porte do Estado do Rio de Janeiro.

MÉTODOS

Realizou-se um estudo transversal, entre 2012 e o primeiro semestre de 2013, com amostra de conveniência composta de 17 trabalhadores. A investigação foi desenvolvida em Jacuecanga, bairro de Angra dos Reis, Rio de Janeiro. Hoje, o município abriga três usinas nucleares, dois estaleiros — sendo um deles de grande porte e considerado um dos maiores do Brasil —, um terminal de importação de petróleo — o Terminal da Baía da Ilha Grande (TEBIG) —, e duas grandes marinas, entre elas, a maior da América Latina. O município está dividido em 5 distritos sanitários, e no 3º distrito se localizam os estaleiros²².

A população avaliada apresentava idade entre 18 e 65 anos, tempo na função laboral de pelo menos 3 anos, e aceitou participar da pesquisa mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Avaliaram-se os indivíduos das atividades de jateamento com granalha de escória de aço e Cu, tratamento de superfície, soldagem, goivagem e pintura em diversos locais de trabalho, sob diferentes condições, como espaço confinado e aberto.

Toda a vidraria e utensílios plásticos utilizados foram descontaminados de acordo com procedimentos já descritos anteriormente²³. Todos os reagentes (Merck, Brasil) utilizados foram, pelo menos, de grau analítico (PA). As soluções-padrão dos metais eram preparadas diariamente em ácido nítrico 0.2% (v/v) a partir das respectivas soluções estoque de 1.000 µg/L, tendo sido a água de diluição previamente purificada pelo sistema Milli-Q (Millipore, USA).

Foram pesquisados os seguintes metais: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se e Zn. Para a avaliação da exposição, foram feitos os procedimentos de acordo com a especificidade:

1. ambiental – utilizou-se o método de amostragem pessoal, que se fundamenta na coleta de ar na zona respiratória do trabalhador, a fim de estimar a concentração de metal inalada pelo indivíduo. Coletaram-se 23 amostras de ar durante toda a jornada de trabalho para fins de comparação com a média ponderada da concentração no tempo (*time weight average* (TWA)). A carga horária dos sujeitos da pesquisa era de 8 horas diárias, 5 dias por semana, totalizando 40 horas semanais. Na coleta de ar, foi utilizada uma bomba portátil, modelo 224-PCXR8 (SKC, USA), com vazão calibrada para 2 L/min e acoplada por um tubo de látex (SKC) a um cassete contendo suporte para filtro e membrana de éster celulose de 37 mm de diâmetro e poro de 0,8 µm (Millipore, USA). Níveis de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn foram determinados no ar do ambiente de trabalho;
2. biológica – indicadores biológicos de exposição (IBP) (ou dose interna) adequados para cada um dos metais avaliados foram utilizados.

Amostras de sangue total foram coletadas em tubos a vácuo heparinizados de 7 mL, específicos para a determinação de elementos-traço, enquanto frascos coletores descontaminados previamente, de 50 mL cada, foram utilizados para a coleta das amostras de urina. Todos os tubos

e frascos foram etiquetados com nome, data e horário de coleta. As amostras foram conservadas e transportadas sob refrigeração para o Laboratório de Toxicologia do Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, da Fundação Oswaldo Cruz (Cesteh/Ensp/Fiocruz), onde permaneceram acondicionadas (-20°C) até a análise.

As análises foram feitas em um espectrômetro de absorção atômica 5100 equipado com forno de grafite HGA-600, corretor de fundo Zeeman e um amostrador automático As-60 (Perkin-Elmer, Connecticut, Estados Unidos). Tubos recobertos com grafite pirolítico (Perkin-Elmer part n° B010-9322) com plataforma de grafite pirolítico (Perkin-Elmer part n° B010-9324) também foram usados. A avaliação do sinal corrigido Zeeman foi realizada por medidas de absorbância integrada (área de pico)²⁴.

A exatidão dos resultados foi acompanhada por meio da análise, em cada série de amostras, dos seguintes materiais de referência, diluídos conforme sua concentração:

- * Contox Trace Metal Serum Control (144 1097RO2 Level I, Kaulson Laboratories, USA): [Mn]=16±4 µg/L; [Cu]=70±10 µg/dL.
- * Contox Blood Lead Controls (Kaulson Laboratories, USA): 5±3 µg/dL (LBO33RO2, Low Level), 25±4 µg/dL (MB30REO2, Medium Level)
- * Metals on Filter Media SRM 2676d III d (NIST, USA): [Mn]=19,83±0,38 µg/filter; [Pb]=29,77±0,61 µg/filter; [Cd]=10,04±0,20 µg/filter; [Zn]=99,31 ± 1,77 µg/filter.
- * Toxic Elements in urine (freeze-dried) SRM 2670a (NIST, USA): [Mn]=2,6±0,7 µg/L (low level); [Zn]=130±30 µg/L (low level); [Cr]=2 µg/L (low level)); [Cr]=20 µg/L (high level).

RESULTADOS

Em geral, os trabalhadores utilizavam algum tipo de equipamento de proteção individual (capacete, capuz, óculos, protetor facial, máscara de solda, protetor auricular, luvas, botas, macacão e vestimentas de polietileno, máscaras com e sem filtro, e respirador de ar tipo linha de ar comprimido com pressão positiva, dependendo da atividade desempenhada). Entretanto, observou-se que a maioria dos trabalhadores utilizava máscaras, algumas em estado precário ou inadequadas às atividades, enquanto

outros nem as utilizavam. Houve um caso em que a pressão positiva não funcionava adequadamente. Em relação aos pintores, a vestimenta de polietileno era composta por calça e camisa, o que deixava descobertas partes do abdômen e antebraço, permitindo o contato da pele com as substâncias químicas.

Os sistemas de ventilação e exaustão, quando presentes, estavam mal projetados. Assim, tornavam-se ineficazes e, algumas vezes, promoviam a exposição de outros trabalhadores não relacionados diretamente àquela atividade. Por exemplo, o tratamento de superfície realizado no paiol da praça de máquina contaminava todo o ambiente, expondo também os pintores às partículas metálicas.

A participação do metal no processo de trabalho, bem como sua importância toxicológica, orientou a escolha desses a serem avaliados. Assim, Fe, Mn, Pb, Cr, Cd, Cu e Zn foram determinados no ar de diferentes ambientes de trabalho, conforme apresentado na Tabela 1. Cd, Cu e Zn não foram avaliados nos processos de solda e goivagem por não terem importância para essas atividades. Entre os elementos, apenas o Pb contém limite de tolerância na legislação brasileira. Portanto, foram adotados os limites estabelecidos (concentração média ponderada no tempo – TWA) pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH)²⁵ para todos os metais, que podem ser encontrados na Tabela 2, tendo-se como base a Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO)²⁶. Foram comparados os resultados biológicos obtidos (VR ou IBMP, quando da existência destes).

Os resultados encontrados para os diferentes indicadores biológicos (biomarcadores de exposição ou dose interna) encontram-se na Tabela 3. Ainda que a ACGIH²⁶ e a NR-7²⁷ não contemplem todos os metais avaliados, os valores de referência da Comunidade Europeia foram utilizados como base de comparação²⁸.

A NR-7²⁷ só prevê VR e IBMP para Cd em urina (VR=até 2 µg/g creatinina; IBMP=5 µg/g creatinina), Pb em sangue (VR=até 40 µg/L; IBMP=60 µg/dL), Cr hexavalente em urina (VR=até 5 µg/g creatinina; IBMP=30 µg/g creatinina). Além desses, constam também As, Hg e Pb na forma tetraetila na urina. Por outro lado, a ACGIH adota os IBP para apenas Cd-urina (5 µg/g creatinina), Pb-sangue (30 µg/dL) e Cr-urina durante a jornada de trabalho (10 µg/L) e final da jornada e semana (25 µg/L), além de As-urina, Cd-sangue, Co e Hg em sangue e urina, no caso dos metais.

Tabela 1. Faixas de concentração de metais nas amostras de ar coletadas em diferentes atividades e ambientes de uma indústria naval em Angra dos Reis, 2012-2013.

Atividade	Local (número de amostras)	Tipo de ambiente	Faixa de concentração (mg.m ⁻³)						
			Fe	Mn	Pb	Cr	Cd	Cu	Zn
Jateamento granalha/aço	Cabine (6)/ Tanque (2)	Confinado	483-7323	6-373	3,8-48,3	1,2-10,2	≤LD-0,15	≤LD-4,0	10-20
Jateamento granalha/Cu	Plataforma/ Casco (3)	Aberto	99-407	1-6	≤LD-4,3	≤LD-1,5	-	-	-
	Cabine (4)	Confinado	1540-8110	5-32	6,4-52,0	1,8-11,0	-	14-83	180-550
ST3	Corredor navio (4)	Confinado	7424-27534	296-1028	22,2-85,0	≤LD-33,4	0,03-0,44	60-73	1140-3000
Solda	Porão (2)	Confinado	248-3824	42-619	≤LD-2,5	≤LD-8,2	-	-	-
Goivagem	Convés (2)	Aberto	6723-11719	245-385	2,2-18,2	0,5-17,1	-	-	-

LD: limite de detecção; ST3: tratamento de superfície.

Tabela 2. Valores limites estabelecidos para a concentração média ponderada no tempo (TLV- TWA) pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*.

Valor Limite ACGIH	Elementos						
	Fe	Mn	Pb	Cr	Cd	Cu	Zn
TLV-TWA (mg/m ³)	2000	200	50	500	50	1000	1000

Tabela 3. Concentração de metais em amostras de sangue e urina de trabalhadores da indústria naval em Angra dos Reis, 2012 - 2013

Amostra	Atividade/local	Cr-U (mg/L)	Mn-U (mg/L)	Zn-U (mg/L)	Pb-S (mg/L)	Mn-S (mg/L)	Cu-S (mg/L)
1	Jateamento granalha aço/Tanque	≤0,44	0,90	≤100	98,0	5,11	898
2	Jateamento granalha aço/Tanque	≤0,44	1,22	200	81,0	7,92	792
3	Jateamento granalha Cu/Cabine	≤0,44	0,90	≤100	48,0	5,42	593
4	Jateamento granalha Cu/Cabine	≤0,44	0,90	≤100	158,0	2,62	937
5	Jateamento granalha Cu/Cabine	≤0,44	1,70	≤100	129,0	7,62	712
6	Jateamento granalha Cu/Cabine	≤0,44	2,50	300	89,0	5,74	1070
7	ST3	≤0,44	2,18	≤100	109,0	13,22	738
8	ST3	≤0,44	2,50	≤100	32,0	9,17	752
9	ST3	≤0,44	2,50	≤100	56,0	7,61	792
10	ST3 (empreiteira)	≤0,44	1,54	≤100	18,0	6,36	355
11	ST3 (empreiteira)	≤0,44	0,90	≤100	77,0	8,23	448
12	ST3 (empreiteira)	≤0,44	0,90	≤100	162,0	8,90	738
13	ST3 (empreiteira)	≤0,44	0,90	≤100	40,0	8,20	765
14	ST3		2,18	≤100	40,0	10,10	580
15	ST3	≤0,44	0,58	≤100	93,0	5,70	527
16	ST3	≤0,44	2,82	200	40,0	8,23	765
17	ST3/Paiol	≤0,44	1,90	400	81,0	11,66	659
Faixa de referência da Comunidade Europeia		0,04-1,50	0,12-1,90	266-846	39,7-275,7	7,10-10,5	807-1643

A conversão dos valores da urina de $\mu\text{g/g}$ para $\mu\text{g/L}$ pode ser realizada por meio de uma gravidade específica média (1,019)¹², considerando indivíduos com ingestão hídrica normal. Assim, o IBMP para cádmio é 5,1 $\mu\text{g/L}$, praticamente o mesmo valor na outra unidade.

DISCUSSÃO

Dentre as Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho, do Ministério do Trabalho e Emprego, a NR-6²⁹ regulamenta o uso de EPI, definido como todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

Na lógica do controle dos riscos no ambiente de trabalho, as medidas de controle individual são as últimas a serem tomadas, priorizando-se aquelas voltadas para a eliminação/diminuição das fontes de emissão e dispersão do contaminante pelo ambiente, como a melhoria da circulação do ar, com sistemas de ventilação/exaustão dimensionados para o local de trabalho^{30,31}.

De acordo com a NR-9³², que trata da prevenção dos riscos ambientais, quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os limites previstos na NR-15³³, ou ainda na ausência destes, devem ser adotados os valores para exposição ocupacional da ACGIH²⁶.

Dentre os metais avaliados, somente o Pb consta da NR-15, com limite de tolerância para até 48h por semana igual a 100 $\mu\text{g/m}^3$, o dobro do estabelecido pelos higienistas industriais americanos. Conforme esta norma, limite de tolerância é a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.

O *Threshold Limit Value - Time Weighted Average* (TLV-TWA) é definido como a concentração média ponderada no tempo para uma jornada normal de 8 horas diárias e 40 horas semanais, à qual a maioria dos trabalhadores pode estar repetidamente exposta, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde. Por isso, os TLV-TWA estabelecidos pela ACGIH foram utilizados para comparação de todos os elementos determinados²⁶.

Das atividades avaliadas, os níveis de exposição dos trabalhadores ao Fe estiveram, em sua maioria, acima do

TLV-TWA, que é de 2.000 $\mu\text{g/m}^3$. Apenas o jateamento com granalha de escória de cobre em ambiente aberto alcançou concentrações de 20 a 5 vezes menores do que o limite estabelecido. A inalação de fumos ou poeira de óxido de ferro por trabalhadores das indústrias de metal pode resultar na deposição de partículas desse metal nos pulmões, produzindo um raio X semelhante ao da silicose. Esses efeitos são vistos em mineradores de hematita, metalúrgicos e soldadores^{34,35}.

A mortalidade por câncer de pulmão nas minas de hematita e fundições de ferro tem aumentado. Entretanto, o papel etiológico dos óxidos de Fe ainda não está bem estabelecido nos casos em que há uma exposição combinada a outras substâncias potencialmente tóxicas e carcinogênicas³⁶.

Quanto ao Mn, todas as atividades apresentaram concentrações acima de 200 $\mu\text{g/m}^3$, exceto também na atividade de jateamento com granalha de escória de Cu em ambiente aberto. Em particular, a via respiratória é crítica para esse metal, considerando uma absorção e distribuição direta sobre o sistema nervoso central³⁷. A forma mais comum de toxicidade é o resultado da inalação crônica de Mn no ar de minas, siderúrgicas, operações de solda e algumas indústrias químicas³⁸. Trabalhadores de indústrias com altas concentrações de poeira de Mn apresentam uma incidência de doença respiratória 30 vezes maior do que a normal. Entretanto, um tipo mais sério de doença resultante da exposição crônica à inalação de dióxido de manganês, geralmente por um período maior do que 2 anos, envolve o sistema nervoso central. O envenenamento crônico por Mn (manganismo) produz uma desordem neuropsiquiátrica, que persistindo pode chegar a desenvolver uma síndrome semelhante à doença de Parkinson^{8,39}.

Nos jateamentos com granalha de escória de aço e de Cu, os resultados de Pb alcançaram níveis próximos ao limite de 50 $\mu\text{g/m}^3$, enquanto alguns valores obtidos no tratamento de superfície estavam acima desse limite. Para adultos com elevada exposição ocupacional, as preocupações são a neuropatia periférica e/ou a nefropatia crônica^{8,25}. Por outro lado, os níveis de Cr, Cd e Cu se encontravam abaixo dos seus respectivos TLV-TWA, indicando que não houve risco de exposição excessiva a esses metais nessas atividades e condições de trabalho. O teor de Zn no ar se apresentou acima do limite de 1.000 $\mu\text{g/m}^3$ somente na atividade de tratamento de superfície. Inalar grandes quantidades de Zn, sob a forma de pós ou fumos provenientes

de fundição ou solda, pode causar uma doença específica de curta duração chamada febre dos fumos metálicos, que geralmente é reversível uma vez cessada a exposição ao Zn. No entanto, muito pouco se sabe sobre os efeitos da inalação do metal a longo prazo⁴⁰.

No caso do jateamento com granalha de escória de Cu, dois tipos de ambiente foram avaliados, e a faixa de concentração encontrada para todos os metais foi bem menor em ambiente aberto. A redução dos teores de Fe no ar variou de 15 a 20 vezes, enquanto o nível de Mn diminuiu 5 vezes, de Pb 3 vezes e de Cr 7 vezes. Apenas Pb e Cr foram determinados na atividade de pintura, visto que são os elementos mais frequentemente utilizados como pigmentos para tintas⁸. Este trabalho não ofereceu risco de exposição quanto aos metais avaliados, em razão de sua redução ou até remoção das tintas utilizadas neste setor industrial. Pode-se observar que os resultados foram interpretados para cada metal, porém o trabalhador está exposto a uma mistura de metais, e o resultado da interação destes com o organismo poderia promover a potencialização, a adição, o sinergismo ou o antagonismo dos efeitos tóxicos, que seriam causados pela exposição a cada metal isoladamente.

Quando se compara os resultados da Tabela 3 com os valores de referência da Comunidade Europeia, verifica-se que apenas o Mn apresentou valores acima da faixa de referência, principalmente na urina. Em concordância com os níveis encontrados para Mn no ar, a atividade de tratamento de superfície proporcionou os níveis mais elevados de Mn na urina, uma vez que 55% dos trabalhadores avaliados nesta atividade apresentaram concentrações maiores do que os valores de referência.

Entretanto, apenas um trabalhador encontrou-se nas mesmas condições no jateamento. Em relação ao Mn no sangue, somente 2 trabalhadores obtiveram resultados acima do VR entre os 17 monitorados, e ambos realizavam a atividade tratamento de superfície, de modo que se pode dizer que a exposição existe, porém fica difícil precisar em que grau. O fato de todas as concentrações de Mn no ar estarem acima do limite de exposição ocupacional na atividade de tratamento de superfície, de 55% dos trabalhadores dessa atividade apresentarem concentração de Mn em urina maior do que o VR e de que apenas dois indivíduos tiveram seus níveis de Mn-sangue acima do limite superior, pode sugerir que talvez o Mn-urina seja um melhor biomarcador para a exposição crônica tendo uma população como base.

Por outro lado, seis trabalhadores (35%) apresentaram níveis de Mn-sangue abaixo do VR. Um único resultado de Mn-urina acima da referência, mesmo com Mn-sangue normal, pode estar relacionado ao alto conteúdo de Mn renal e/ou maior concentração de Mn livre (ultrafiltrável) no sangue⁸. Entre os sete trabalhadores com as menores concentrações de Mn-urina (<1), quatro (57%) tiveram Mn-sangue abaixo do VR, o que pode indicar uma deficiência de Mn, que é também um metal essencial apesar de tóxico³⁹. O Mn tem VR na urina e sangue norte-americanos e europeus (semelhantes), porém as dosagens em meio biológico não têm correlação com a exposição ambiental, e, portanto, não é possível de ser utilizado. Por esse motivo, não existe Mn citado como indicador biológico na NR-7, nem na ACGIH, tampouco na SCOEL europeia.

Os níveis médios de Mn-sangue refletem o conteúdo total do corpo em um grupo, mas não de forma individual. A rápida liberação de Mn do corpo limita a correlação entre os efeitos crônicos à saúde e o nível de Mn-sangue, especialmente depois de cessada a exposição. Assim, os níveis no sangue total mostram a exposição atual, mas existe pouca correlação entre a exposição passada ao Mn e a atuais concentrações de Mn no sangue total. Similar à interpretação das concentrações de Mn no sangue, os níveis do metal na urina são baixos e refletem a exposição muito recente a Mn^{38,40}.

Quando se comparam os valores obtidos para Mn-sangue com aqueles estabelecidos pela *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR)⁴⁰, observa-se que todos os sujeitos também se encontram dentro do intervalo de 4 a 14 µg/L. Esses resultados estão de acordo com os achados de Ellingsen et al.⁴¹, pois estão abaixo dos valores encontrados para 96 soldados que são trabalhadores sabidamente expostos ao metal em questão (Mn-sangue em torno de 8,6 µg/L).

Quanto ao Pb-sangue, obtiveram-se níveis que variaram de 2,4 a 16,6 µg/dL, e tais teores são preocupantes pelo fato de que concentrações entre 5 e 10 µg/dL já sugerem a existência de algum tipo de exposição ambiental e que níveis de 10 a 20 µg/dL já mostram uma exposição ocupacional^{25,42,43}. Nesse sentido, a observação dos níveis de Pb-sangue encontrados mostra que 41% dos indivíduos se encontram expostos, significando uma exposição ambiental recente. Da mesma forma, 24% dos trabalhadores avaliados se encontram expostos ocupacionalmente.

Há bastante dificuldade na interpretação dos resultados de exposições múltiplas², visto que alguns metais são tóxicos mesmo em níveis muito baixos, enquanto outros são essenciais até certas concentrações. Os elementos essenciais são aqueles que participam do metabolismo e formação de muitas proteínas, enzimas, entre outras, e cuja deficiência causa anomalia funcional ou estrutural no organismo. Por outro lado, a existência de um limiar de toxicidade possibilita a ocorrência de efeitos adversos à saúde nos casos de exposição a elevadas concentrações desses metais¹².

Além disso, a dose biologicamente efetiva para cada tecido/órgão/sistema é diferenciada⁶. Avaliando, por exemplo, o sistema nervoso, Pb e Mn são neurotóxicos, mas não é sabido quais os efeitos de uma ação combinada, ainda que os metais essenciais (Cu, Zn) estejam dentro da faixa ótima de concentração.

O método proposto apresentou-se adequado para a análise dos metais em amostras do ar do ambiente de trabalho e biológicas. É importante ressaltar que essa amostragem teve caráter exploratório e não teve a finalidade de definir o perfil de exposição ocupacional nas plantas. As coletas realizadas são uma fotografia instantânea da produção. O perfil detalhado da exposição ocupacional deve ser definido levando-se em conta amostragens em diferentes semanas, meses, clima e volume de produção. Além disso, coletamos amostras de sangue e urina para avaliar os níveis de certos metais nos fluidos biológicos dos trabalhadores, uma vez que, desde a década de 1990, são realizados estudos com a finalidade de minimizar a exposição de trabalhadores da indústria naval e daqueles com exposições em fundições, com propostas de sistemas de ventilação adequadas⁴⁴, bem como a avaliação da eficiência de protetores respiratórios⁴⁵.

Apesar de o monitoramento ambiental ser fundamental para avaliação e manutenção dos níveis de exposição em valores aceitáveis, identificação de fontes de emissão, monitoramento da eficácia das medidas de controle e obtenção de dados para as relações de exposição/efeito e exposição/resposta, o monitoramento biológico é mais adequado, uma vez que considera as diferenças inter e intraindividuais, integrando a toxicocinética e a

toxicodinâmica. Também considera a exposição total, apontando a amplitude da exposição e do risco. Assim, o monitoramento biológico representa um avanço em relação à avaliação dos riscos à saúde, visto que é capaz de quantificar as doses e mostrar alterações precoces e ainda reversíveis^{2,17}.

O jateamento com granalha de aço e a atividade de tratamento de superfície podem ocasionar exposição excessiva a Fe, Mn e Pb, assim como o jateamento com granalha de Cu, que, mesmo em ambientes semiabertos, também expõe os trabalhadores a níveis elevados de Fe e Pb, apesar de esses não terem alcançado teores críticos nos biomarcadores. Por outro lado, altas concentrações de Fe e Mn são encontrados na soldagem e goivagem, constituindo-se também atividades de risco para os trabalhadores^{2,38,43}.

CONCLUSÃO

Os níveis dos metais nos trabalhadores pesquisados foram menores que os considerados críticos pelas legislações. Os cenários avaliados foram consoantes com a literatura científica, que apresenta exemplos de sucesso na iniciativa de diminuir a exposição a metais de trabalhadores da indústria naval. Por outro lado, também evidenciou a pesquisa que os trabalhadores trazem suas experiências com situações perigosas, tanto no que se refere às possibilidades de acidentes quanto aos problemas de saúde deflagrados pelo trabalho a curto ou longo prazo. Deixam clara a insatisfação com as condições de trabalho e constrangimentos provocados pela organização deste.

Com a globalização, é de se esperar que o Brasil, num futuro muito próximo, deverá enfrentar um novo desafio no que diz respeito à Saúde Ocupacional, ou seja, deverá aplicar procedimentos preventivos a efeitos adversos à saúde ocasionados pelos metais. Em função desses fatos, cresce a importância da avaliação dos aspectos analíticos e a recomendação de aplicação do monitoramento biológico dos trabalhadores da indústria naval como guia para avaliação do risco potencial à saúde como recomenda a ACGIH.

REFERÊNCIAS

- Costa MFB, Costa MAF. Exposição Ocupacional a compostos orgânicos voláteis na indústria naval. *Química Nova*. 2002;25(3):384-6.
- Dudka I, Kossowska B, Senhadri H, Latajka R, Hajek J, Andrzejak R, et al. Metabonomic analysis of serum of workers occupationally exposed to arsenic, cadmium and lead for biomarker research: A preliminary study. *Environ Int*. 2014;68:71-81.
- Nehmy RMQ, Dias EC. Os caminhos da saúde do trabalhador: para onde apontam os sinais? *Rev Med Minas Gerais*. 2010;20(2):S5-S12.
- Mendes R, Dias EC. Da medicina do trabalho à saúde do trabalhador. *Rev Saúde Pub*. 1991;25:341-9.
- Minayo-Gomez C, Machado JMH, Pena PGL. Saúde do trabalhador na sociedade brasileira contemporânea. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 2011.
- Donkin SG, Ohlson DL, Teaf CM. Properties and Effects of Metals. In: Williams PL, James RC, Roberts SM (eds). *Principles of Toxicology*. New York: John Wiley & Sons; 2000.
- Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *Br Med Bull* 2003;68:167-82.
- Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg L. *Handbook on the Toxicology of metals*. California: Elsevier, 2007.
- Tanner PA, Leong LS, Pan SM. Contamination of heavy metals in marine sediment cores from Victoria Harbour, Hong Kong. *Mar Poll Bull*. 2000;40(9):769-79.
- Occupational Safety & Health Administration. General Hazard: Respiratory Irritation and Systemic Poisoning [Internet]. [cited 2014 Mar.]. Available from: <http://www.osha.gov/SLTC/shipbuildingrepair/welding.html>
- Li J, Lu Y, Shi Y, Wang T, Wang G, Luo W, et al. Environmental pollution by persistent toxic substances and health risk in an industrial area of China. *J Environ Sci*. 2011;23:1359-67.
- Ferreira AP, Wermelinger ED. Concentrações séricas de metais e suas implicações para a saúde pública. *J Health Sci Inst*. 2013;31(1):13-9.
- Lima ET, Velasco LOM. Construção Naval no Brasil: Existem Perspectivas? Área de Infraestrutura/Gerência de Estudos Setoriais 3. Rio de Janeiro: BNDES, 1997.
- Occupational Safety & Health Administration. Shipyard Employment. Ship Repair. [cited 2014 Mar.]. Available from: http://www.osha.gov/SLTC/etools/shipyard/shiprepair/sr_index.html
- Van Leeuwen CJ, Vermeire TG. Risk assessment of chemicals: An introduction. Springer: USA; 2010.
- Suk WA, Olden K, Yang RSH. Chemical mixture research: significance and future perspectives. *Environ Health Perspect*. 2002;110(6):891-2.
- Pivetta F, Machado JMH, Araújo UC, Moreira MFR, Apostoli P. Monitoramento biológico: Conceitos e aplicações em saúde pública. *Cad Saúde Pub*. 2001;17(3):545-54.
- Amorim LCA. Os biomarcadores e sua aplicação na avaliação da exposição aos agentes químicos ambientais. *Rev Bras Epidemiol*. 2003;6(2):158-70.
- Berlin A, Yodaiken RE, Hanman WA. International Seminar on the Assessment of Toxic Agents at the Workplace: roles of ambient and biological monitoring. *Int Arch Environ Health*. 1982;50:197-207.
- Ministério do trabalho. Secretaria de Segurança do Trabalho. Portaria nº 24 de 29/12/94. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. de 1994. Seção 1, p. 21278.
- Aitio A. Biological monitoring today and tomorrow. *Scan J Environ Health*. 1994;20:46-58.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Estimativas Populacionais do Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios. Metodologia. Rio de Janeiro: IBGE; 2002.
- Moreira FR, Baptista FP, Gomes RA, Mancebo ACA, Souza MCB. A direct method for quantification of lead and cadmium content in biological fluids of the human reproductive system. *Anal Letters*. 2012;45(18):2823-34.
- Tsalev DL, Zaprianov ZK. Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice. Florida: CRC Press, 1985.
- American Conference of Government Industrial Hygienists. ACGIH. Threshold limiting values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, Ohio, USA: Technical Affairs Office ACGIH; 2000.
- Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. TLVs® e BEIs® da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). São Paulo: ABHO; 2009.
- Brasil. NR-7. Programa de controle médico de saúde ocupacional. Portaria MTE nº 1.892 de 9 de dezembro de 2013.
- Minoia C, Sabbioni E, Apostoli P, Pietra R, Pozzoli L, Gallorini M, et al. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European community. I. A study of 46 elements in urine, blood and serum of Italian subjects. *Sci Tot Environ*. 1990;95:89-105.
- Brasil. NR-6. Equipamento de proteção individual. Portaria SIT nº 292, de 8 de dezembro de 2011.
- Augusto LGS. Aviso aos navegantes. In: Augusto LGS (ed). *Saúde do trabalhador no desenvolvimento humano local: ensaios em Pernambuco*. Recife: Ed. Universitária UFPE; 2009.
- Buschinelli JT. Manual de orientação sobre controle médico ocupacional da exposição à substâncias químicas. São Paulo: Fundacentro; 2014.
- Brasil. NR-9. Programas de prevenção de riscos ambientais. Portaria SSST nº 25, de 29 de dezembro de 1994.
- Brasil. NR-15. Atividades e operações insalubres. Portaria SIT nº 291, de 8 de dezembro de 2011.
- Goyer RA, Clarkson TW, Klaassen CD. *Casarett&Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*. New York: McGraw-Hill; 2008.
- Tokar EJ, Boyd WA, Freedman JH, Waalkes MP. Toxic effects of metals. In: Klaassen CD. *Casarett&Doull's Toxicology: The basic science of poisons*. 8. ed. New York: McGraw-Hill; 2013.
- Barreiros ALBS, Jorge M, David JM, David JP. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. *Quim Nova*. 2006;29(1):113-23.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for manganese. Atlanta: U.S. Public Health Service; 2012.
- Colacioppo S. Avaliação da exposição profissional a fumos metálicos em operações de solda. *Rev. Brasileira de Saúde Ocupacional*. 1985;13(49):50-77.
- Santamaria AB, Sulsky SI. Risk Assessment of an essential element: Manganese. *J Toxicol Environ Health, Part A*. 2010;73(2):128-55.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for zinc. Atlanta: U.S. Public Health Service; 2005.

41. Ellingsen DG, Dubeikovskaya L, Dahl K, Chashchin M, Chashchin V, Zibarev E, et al. Air exposure assessment and biological monitoring of manganese and other major welding fume components in welders. *J Environ Monit.* 2006;8(10):1078-86.
42. Paoliello MMB, Gutierrez PR, Turini CA, Matsuo T, Leda M, Barbosa DS, et al. Valores de referência para plumbemia em população urbana. *Rev Saúde Púb.* 1997;31(2):144-8.
43. Spinola AG, Prata PR. Uso de biomarcadores como indicadores do histórico de exposição ocupacional ao chumbo. *Rev Bras Med Trab.* 2009;4-6:39-45.
44. Edmonds MA, Gressel MG, O'Brien DM, Clark NJ. Reducing exposures during the pouring operations of a brass foundry. *Am Ind Hyg Associ J.* 1993;54(5):260-6.
45. Myers WR, Zhuang Z, Nelson T. Field performance measurements of half piece respirations in foundry operations. *Am Ind Hyg Associ J.* 1996;57(2):166-74.

Endereço para correspondência: Aldo Pacheco Ferreira - Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz - Rua Leopoldo Bulhões, 1480 - Manguinhos - CEP: 21041-210 - Rio de Janeiro (RJ), Brasil - E-mail: aldopachecoferreira@gmail.com