

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE
SEGURANÇA DO TRABALHO**

JULIANA ELÍS TEIXEIRA

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA NECESSÁRIAS PARA
A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE DENSIDADE APARENTE COM
UTILIZAÇÃO DE MERCÚRIO NA INDÚSTRIA CERÂMICA**

CRICIÚMA, JUNHO DE 2011

JULIANA ELÍS TEIXEIRA

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA NECESSÁRIAS PARA
A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE DENSIDADE APARENTE COM
UTILIZAÇÃO DE MERCÚRIO NA INDÚSTRIA CERÂMICA**

Monografia apresentada a Diretoria de Pós Graduação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, para a obtenção do título de especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Orientadora: Prof^a Dra. Ângela Coelho Arnt

CRICIÚMA, JUNHO DE 2011

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2. INDÚSTRIA CERÂMICA DE REVESTIMENTO	4
2.1 Etapas do Processo de fabricação de revestimento cerâmico	5
2.2 Ensaios de controle de qualidade	7
2.3 Ensaio de Determinação de Densidade Aparente.....	9
3 MERCÚRIO.....	11
3.1 História do Mercúrio	11
3.2 Aspecto e Forma	12
3.3 Propriedades Físico-químicas	13
3.4 Estabilidade e Reatividade	13
3.5 Toxicocinética.....	15
3.6 Absorção	15
3.7 Distribuição e Armazenamento	15
3.8 Biotransformação e Eliminação.....	16
3.9 Toxicodinâmica	17
3.10 Intoxicação em curto prazo ou aguda	17
3.11 Intoxicação em médio e longo prazo ou crônica	18
3.12 Monitorização da exposição ocupacional.....	19
3.12.1 Medidas de ordem técnica	19
3.12.2 Medidas de ordem médica	20
4 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA EM LABORATÓRIO QUÍMICO	22
4.1 Comportamento Individual recomendado em laboratório químico	22
4.2 Manuseio de produtos tóxicos.....	24
5 METODOLOGIA.....	30
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	31
CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia de Segurança do Trabalho possui como objetivo principal a busca pelo bem estar do ser humano no seu ambiente de trabalho, e para tanto dedica-se à proteger os trabalhadores contra qualquer risco à saúde, que possa decorrer do seu trabalho ou das condições em que este é realizado. Além de contribuir para o estabelecimento e a manutenção do mais alto grau possível de bem estar físico e mental dos trabalhadores.

Com o objetivo de aplicar os conhecimentos adquiridos de Engenharia de Segurança do Trabalho, serão estudados e avaliados os principais aspectos e riscos envolvidos no manuseio e estocagem do mercúrio utilizado na indústria cerâmica para determinação da densidade aparente. Pretende-se estudar os riscos da exposição ocupacional ao mercúrio, as medidas preventivas de ordem técnica no local de trabalho e as medidas preventivas de ordem médica, confrontando-as com a situação real encontrada nos postos de trabalho de indústrias cerâmicas pesquisadas.

A determinação da densidade aparente é fundamental para o acompanhamento da compactação dos revestimentos cerâmicos, pois implica diretamente nas propriedades mecânicas, absorção de água, retração linear e estabilidade dimensional. A determinação da densidade aparente é feita utilizando-se o método de empuxo de mercúrio, que muito embora seja rápido e de fácil utilização, preocupa devido à toxicidade elevada do metal empregado.

O mercúrio é um metal pesado, de densidade $13,69 \text{ g/cm}^3$, de cor prateada, líquido nas condições de temperatura e pressão, formando vapores a temperatura ambiente. Os vapores de mercúrio são incolores e sem cheiro e podem causar sérios danos a saúde humana.

Este trabalho tem como proposta reunir informações a respeito dos procedimentos de segurança durante a execução do ensaio de densidade aparente com a utilização de mercúrio, e definir as condições ideais de segurança do ambiente de trabalho onde é executada esta atividade.

2. INDÚSTRIA CERÂMICA DE REVESTIMENTO

A história dos revestimentos cerâmicos remonta há séculos tendo sua origem perdida entre a China e a Turquia, que apesar de possuir tecnologia em decoração avançada para a época, sua produção era artesanal. Por muitos séculos o revestimento cerâmico foi sinônimo de produtos luxuosos, usando no piso e paredes das casas de pessoas ricas. Após a II Guerra Mundial a produção de cerâmica (lajotas e azulejos) apresentou um desenvolvimento industrial considerável com o advento das técnicas de produção. A possibilidade de produzir em escala industrial baixou os preços e os tornou acessíveis a grande parte da população. Na fase final desse período, os revestimentos cerâmicos foram usados principalmente para satisfazer necessidades funcionais, tais como higiene e facilidade de limpeza e desse modo empregados em banheiros e cozinhas. Com a evolução rápida do processo produtivo, a cerâmica passou a ser uma opção para outros ambientes domésticos. (FONSECA, 2000, p. 18)

A cerâmica teve forte desenvolvimento tecnológico nos últimos 30 anos. O avanço dos materiais especiais, da tecnologia de combustão, da automação, da esmaltação, da decoração e em especial o conhecimento da ciência dos materiais, permitiu através da combinação desses diferentes conhecimentos, o forte desenvolvimento da tecnologia e conseqüente incremento da produção dos materiais cerâmicos, oferecendo um produto com melhores características, mais bonito e com custos adequados ao consumidor.

Visto como uma ciência, o processamento cerâmico não é mais do que uma seqüência de operações que de modo deliberado e sistematicamente mudam os aspectos físicos e químicos da estrutura, designados por características do sistema. As propriedades em cada etapa são função dessas características e das condições de pressão e temperatura.

A ciência do processamento cerâmico tem como objetivo identificar as características mais importantes do sistema e compreender os efeitos das variáveis do processamento, na evolução dessas características. O objetivo da engenharia de processo deve ser a mudança propositada dessas características para melhorar os índices de qualidade do produto final. (FONSECA, 2000, p. 19)

2.1 Etapas do Processo de fabricação de revestimento cerâmico

O processamento cerâmico começa, normalmente, com uma ou mais matérias-primas, um ou mais líquidos e um ou mais aditivos de processamento. O conjunto destas etapas do processamento, que visam obter um sistema com a consistência mais adequada (barbotina ou granulado) ao processo de conformação utilizado, denomina-se preparação de massas.

O processo de preparação de massas pode ser por via úmida ou via seca. No processo por via úmida, as matérias-primas são moídas com água e aditivos em moinho de bolas contínuo ou intermitente. Após a moagem obtém-se a barbotina que é levada ao atomizador, onde ocorre o processo de secagem e obtenção de granulos. No processo por via seca, as matérias-primas passam por um processo de secagem que pode ser natural (por exposição ao sol) ou em secadores rotativos. Após este processo de secagem a massa seca passa pelo processo de moagem em moinhos de martelo ou pendular. A massa já seca e moída passa então pelo processo de umidificação e granulação, onde recebe uma determinada quantidade de água para a obtenção de granulos e plasticidade suficiente para o processo seguinte de conformação.

A massa originada desta etapa é distribuída em moldes e sofre prensagem através de uma força aplicada por meio de um punção. A densidade aparente cresce com o aumento da pressão de prensagem, devido a fenômenos de rearranjo, deformação plástica e fratura dos grânulos. A manutenção da forma após a aplicação da força de consolidação é devida a ação de forças eletrostáticas e de Van der Waals.

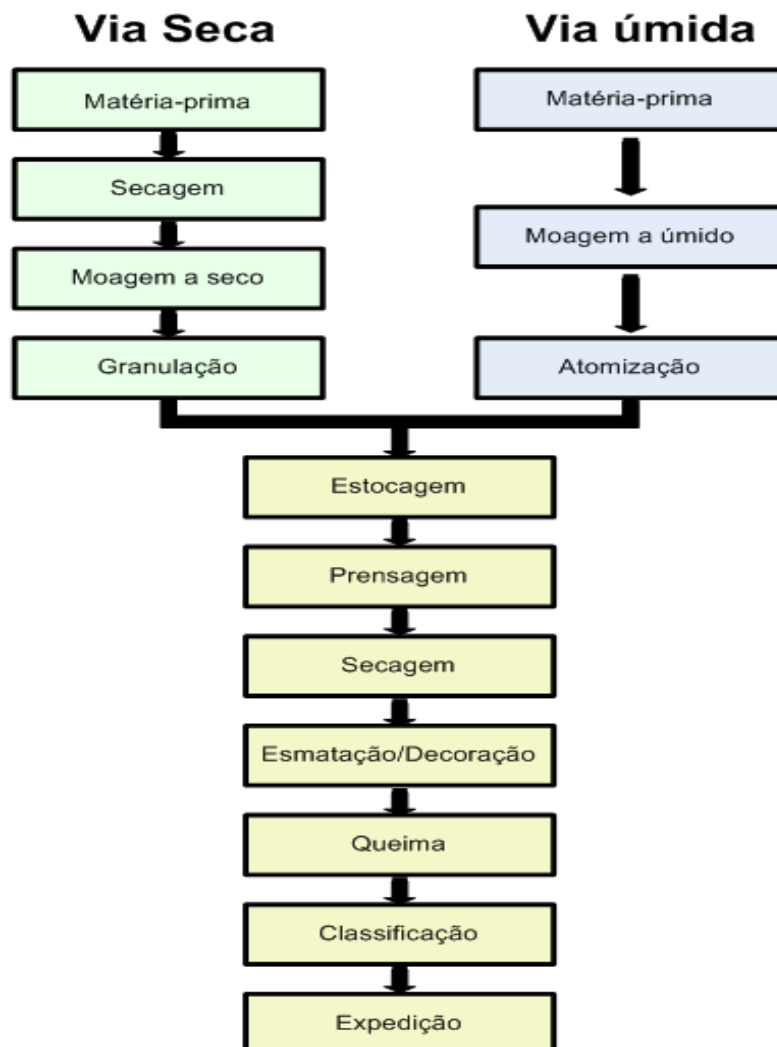
A operação de secagem, que se segue a conformação, remove algum ou todos os líquidos residuais de processamento, recorrendo-se normalmente a meios térmicos para fornecer ao sistema a energia necessária para transformar líquido em vapor.

Após a secagem, os produtos passam por operações de acabamento e beneficiação, como por exemplo a eliminação de rebarbas da conformação e a aplicação de vidrados e decorações. Pode-se dizer que a qualidade do produto final reflete como foram os cuidados na linha de esmaltação. A qualidade também depende das outras atividades anteriores e posteriores, as quais devem seguir padrões e normas pré-estabelecidas. Para realizar o processo de esmaltação, deve-

se seguir algumas etapas para garantir a qualidade do produto como a pós secagem, a aplicação de água, a aplicação de engobe, a aplicação de esmalte e a decoração serigráfica.

O processo seguinte a esmaltação é a queima, realizada em fornos, onde o produto adquire suas características finais, tais como alta resistência mecânica, alta resistência a abrasão e baixa absorção de água. Além disso, é após a queima que algumas cores são obtidas. Na figura 1 pode-se observar as etapas do processo cerâmico.

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de revestimento cerâmico



Fonte: AUTOR

2.2 Ensaios de controle de qualidade

O controle de qualidade é essencial para qualquer processo, não sendo diferente na indústria cerâmica de revestimento. Nas diversas etapas de produção, são necessárias a realização de ensaios de controle de qualidade a fim de garantir a conformidade do produto final.

Nos processos de moagem, granulação e atomização por exemplo, é realizada a análise granulométrica que consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Na realidade, estas três formas têm sido utilizadas. Na análise granulométrica não se pretende mais do que analisar o tamanho das partículas de uma determinada amostra e a forma como elas se distribuem nessa mesma amostra.

Durante a etapa de queima do processo produtivo, que ocorre a mais de 1.000 °C, as características geométricas das placas cerâmicas sofrem variações devido às alterações físico-químicas sofridas pelo esmalte e pela argila. Essas variações são previstas pela Norma Técnica NBR 13818, que especifica as tolerâncias das dimensões e fornece os limites máximos para o esquadro, a curvatura, o empenamento e a variação de espessura das placas cerâmicas para revestimento, características relacionadas ao molde e ao corte da peça.

Um dos parâmetros de classificação das placas cerâmicas é a absorção de água, que tem influência direta sobre outras propriedades do produto. A resistência mecânica do produto, por exemplo, é tanto maior, quanto mais baixa for a absorção.

As placas cerâmicas para revestimentos são classificadas, em função da absorção de água, da seguinte maneira:

- **Porcelanatos**: de baixa absorção e resistência mecânica alta (BIa P de 0 a 0,5%);
- **Grês**: de baixa absorção e resistência mecânica alta (BIb P de 0,5 a 3%);
- **Semi-Grês**: de média absorção e resistência mecânica média (BIIa P de 3 a 6%);

- **Semi-Porosos**: de alta absorção e resistência mecânica baixa (BIIb \geq de 6 a 10%);
- **Porosos**: de alta absorção e resistência mecânica baixa (BIII \geq acima de 10%)

É importante ressaltar que as placas cerâmicas classificadas como BIII, com absorção de água acima de 10%, são recomendadas para serem utilizadas como revestimento de parede (azulejo), justamente por possuírem alta absorção e, portanto, resistência mecânica reduzida.

O Módulo de Resistência à Flexão e Carga de Ruptura são características que estão relacionadas diretamente à absorção de água do produto. São importantes, principalmente no caso de placas para revestimento de lugares que receberão cargas e veículos pesados, como garagens, por exemplo, ou seja, que necessitem de uma resistência mecânica maior.

A Expansão por Umidade (EPU) é um fator considerado crítico, principalmente, quando o produto se destina ao revestimento de ambientes úmidos, tais como piscinas, fachadas e saunas. Produtos resultantes de uma etapa de queima incompleta, quando submetidos a diferenças extremas de temperatura, podem apresentar variações em suas dimensões (dilatação ou contração). A expansão por umidade é uma das causas do estufamento e da gretagem.

O gretamento são fissuras na superfície esmaltada, similares a um fio de cabelo. Seu formato é, geralmente, circular, espiral ou em forma de teia de aranha e é resultante da diferença de dilatação entre a massa e o esmalte. O ideal é que a massa dilate menos do que o esmalte.

A tendência ao gretamento é medida submetendo a placa cerâmica a uma pressão de vapor de cinco atmosferas (5 atm), ou seja, a uma pressão cinco vezes maior que a pressão normal (1 atm), por um período de duas horas. Esse processo acelerado reproduz a Expansão por Umidade (EPU) que a placa sofrerá ao longo dos anos, depois de assentada.

Os ensaios de resistência ao manchamento e resistência ao ataque químico verificam a capacidade que a superfície da placa possui de não alterar sua aparência, quando em contato com determinados produtos químicos ou agentes manchantes. Os resultados desses ensaios permitem alocar o produto em classes de resistência para cada agente manchante ou para cada produto químico especificado na norma NBR 13818. As não conformidades encontradas no ensaio de Resistência ao Ataque Químico, onde é simulada a utilização de produtos de

limpeza (amoníaco, cloro e produtos ácidos), sobre o revestimento, estão relacionadas à composição do esmalte. Em relação ao ensaio de Resistência à Manchas, as não conformidades são resultantes da queima incompleta da matéria-prima.

2.3 Ensaio de Determinação de Densidade Aparente

A determinação da densidade aparente de corpos cerâmicos crus, é de grande importância e é indispensável no controle do processo industrial cerâmico. A densidade aparente influi diretamente no comportamento da peça em diferentes etapas do processo cerâmico, como na contração linear, absorção de água, deformação pirolástica e é também um fator crucial para a resistência mecânica da peça. (DAL BÓ, 2002, p. 43)

A igualdade de composição, do procedimento de preparação das peças e das variáveis de queima, da contração linear e da capacidade de absorção de água diminuem a medida que aumenta a densidade aparente da peça, sendo esta uma relação linear.

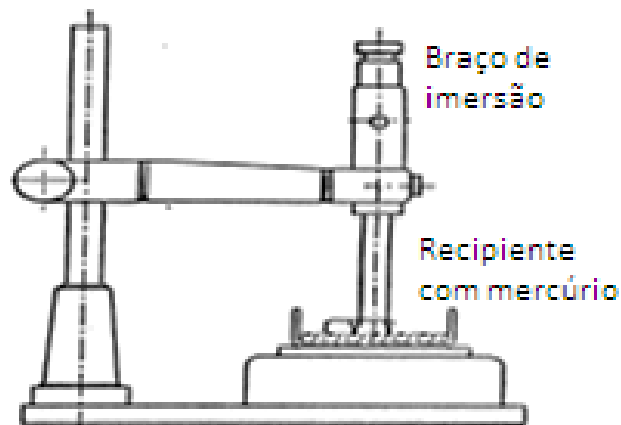
Assim mesmo a velocidade de secagem e de oxidação da peça durante o processo de queima diminuem a medida que aumenta a densidade aparente, pois o coeficiente de difusão efetiva dos gases diminuem quando se tem porosidade baixa.

Por outro lado, variações da densidade aparente da peça podem conduzir a contrações diferenciadas que se traduzem em diferenças dimensionais, curvaturas, entre outros. O acoplamento do suporte-esmalte também é afetado, por variações da densidade aparente do suporte cerâmico, como consequência da variação do módulo de elasticidade com a densidade aparente. (FONSECA, 2000, p. 142)

A determinação de densidade aparente baseia-se no método de empuxo de mercúrio. A técnica se baseia no fato de que o mercúrio se comporta como um fluido não-molhante em relação a maior parte das substâncias. Por consequência, não penetra espontaneamente em pequenos furos ou fissuras destes materiais a menos que se aplique uma pressão sobre ele. Para a realização do ensaio são preparadas amostras do biscoito cerâmico cru ou seco, de aproximadamente 40mm de comprimento por 20mm de largura, com espessura máxima de 10mm. A amostra é pesada e colocada sobre a superfície do mercúrio sem que esta encoste nas bordas do recipiente. O braço de imersão do densímetro (figura 2) é abaixado imergindo a

amostra totalmente no mercúrio. O valor da massa imersa é anotado para que seja calculado o volume aparente da amostra, conforme a equação 1. A densidade aparente é calculada a partir da relação entre a massa da amostra e seu volume aparente, conforme demonstrado na equação 2.

Figura 2 - Densímetro



Fonte: DAL BÓ, 2002

$$V_A = \frac{M_I}{D_{Hg}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V_A = Volume aparente (cm^3)

M_I = Massa Imersa (g)

D_{Hg} = Densidade corrigida do Mercúrio (g/cm^3)

$$D_{ap} = \frac{M}{V_A} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

D_{ap} = Densidade aparente da amostra (g/cm^3)

M = Massa da amostra (g)

V_A = Volume aparente (cm^3)

3 MERCÚRIO

3.1 História do Mercúrio

Para executar seus desenhos sobre as paredes das cavernas em que habitava, ou nos objetos de argila e em suas pinturas faciais, o homem pré-histórico certamente se serviu de uma pedra vermelha, o cinábrio, quimicamente, sulfeto de mercúrio, de fórmula HgS , principal minério do mercúrio. Assim, é bastante antiga a relação entre o homem e o mercúrio, e ela permanece sendo objetivo de intenso interesse tanto da literatura quanto de vários estudos.

O mercúrio é denominado como tal em homenagem ao planeta Mercúrio. Seu principal minério, o cinábrio, é conhecido desde os tempos pré-históricos, pois foi usado pelos hindus e chineses na Antiguidade e encontrado em tumbas egípcias anteriores a 1500 a.C. Admite-se que tanto o Hg quanto o cinábrio começaram a ser extraídos de minas há mais de 2300 anos.

Nessa época, o cinábrio e os minérios de mercúrio eram valorizados por sua densidade e por sua cor, vermelho-dourada, muito usada como pigmento em decoração. Esta talvez tenha sido sua primeira forma de utilização, que durou até o início do século XX, em tintas contendo um pigmento vermelho a base de mercúrio. O primeiro uso não-decorativo desse metal foi na amalgamação, processo descrito por Vitruvius, famoso arquiteto romano. Ele observou que o mercúrio dissolvia prontamente o ouro e descreveu o método para a recuperação desse metal nobre usado nas vestimentas. Assim, é sabido que já era usado na forma de amálgamas com outros metais há 500 a.C. (AZEVEDO, 2003, p.298)

O mercúrio foi usado na medicina desde a época de Aristóteles até a Idade Média. Os antigos chineses acreditavam que o cinábrio e o mercúrio tinham propriedades medicamentosas que prolongavam a vida. Vários imperadores morreram de mercurialismo na tentativa de assegurar a imortalidade, através da ingestão constante desse metal. Os antigos hindus, por outro lado, acreditavam que o mercúrio possuía propriedades afrodisíacas. No início do primeiro século depois de Cristo, na Grécia, o mercúrio foi usado como unguento medicinal. Foi muito usado como componente de unguentos ou pomadas para tratamento de diversas doenças da pele, além de cosméticos pelos romanos. No final da Idade Média, a exata natureza física e química do mercúrio permanecia desconhecida e misteriosa. Muitos

investigadores, inclusive os alquimistas, eram fascinados pelo misterioso material maleável. Até meados do século XVIII o mercúrio justamente por sua natureza líquida não tinha sido ainda classificado como metal e somente a partir daquele século suas propriedades físico-químicas foram descobertas. Este metal foi usado como medicamento no tratamento da sífilis na Europa no século XV porém, no século XIX vários foram os tratados negando-lhe benefícios terapêuticos e evidenciando seus efeitos tóxicos. (AZEVEDO, 2003, p.299)

3.2 Aspecto e Forma

O mercúrio é um metal pesado de aspecto argênteo, inodoro, cujo símbolo Hg deriva do latim hydrargyrum, que, normalmente é encontrado em dois estados de oxidação. Na sua forma elementar é um líquido denso e prateado nas condições normais de temperatura e pressão. Pertence à família química dos metais do grupo IIb, da Tabela periódica juntamente com o cádmio e o zinco. Apresenta os seguintes isótopos naturais com as respectivas abundâncias: 202 (29,80%), 200 (23,13%), 199 (16,84%), 201 (13,22%), 198 (10,02%), 204 (6,85%) e 196 (0,14%). (OGA, 2003, p. 69)

As formas nas quais pode ser encontrado, além da elementar são: mercúrio metálico (Hg^0), mercúrio I e mercúrio II, onde os átomos perdem um ou dois elétrons respectivamente, formando mercúrio mercurioso (Hg^{++}) e o mercúrio mercúrico (Hg^+). Estes dois últimos, mercurioso e mercúrico, formam diversos compostos químicos orgânicos e inorgânicos. Os compostos formados a partir do mercúrio II são mais abundantes que aqueles formados a partir do I e são encontrados na forma de cloretos e nitratos, dentre outros.

Os sais mais importantes são cloreto de mercúrio HgCl_2 , um sublimado corrosivo muito tóxico; cloreto mercurioso Hg_2Cl_2 , clomelano, ocasionalmente ainda usado na medicina; fulminato de mercúrio $\text{Hg}(\text{CNO})_2$, detonador usado em explosivos e sulfeto de mercúrio HgS de cor vermelha usado como pigmento em tintas.

Formam também uma classe de inegável importância que é a dos organomercuriais, ligados a pelo menos um átomo de carbono originando compostos do tipo RHgX , e RHgR' , onde R e R' representam radicais orgânicos e X uma variedade de ânions. A ligação Hg-C é quimicamente estável e não se rompe em

meio aquoso contendo ácidos e bases fracos. Os R e R' são frequentemente radicais alquilas, fenila e meoxietila. Os compostos contendo radicais X na forma de sulfatos e nitratos tendem a ser solúveis na água, enquanto o cloreto forma compostos de maior lipossolubilidade. (AZEVEDO, 2003, p. 300)

3.3 Propriedades Físico-químicas

O mercúrio elementar é a forma mais volátil do compostos mercuriais, porém, o dimetilmercúrio também pode volatilizar-se. Alguns complexos como HgCl_2 e o CH_3HgCl podem apresentar-se na forma gasosa, sendo relativamente estáveis em água de chuva ou na neve, além de águas de rios. A forma mais freqüentemente encontrada na água do mar é o HgCl_4^{-2} .

Os compostos mercuriais tendem a apresentar solubilidade em água bastante variada. Por exemplo, o mercúrio elementar a 30°C apresenta uma solubilidade de $2\mu\text{g/L}$, o cloreto mercurioso a 25°C , 2mg/L , o cloreto mercúrico a 20°C , 69g/L . A solubilidade do cloreto de metilmercúrio em água é maior que a do cloreto mercurioso em aproximadamente três ordens de grandeza, devido à alta solubilidade do cátion metilmercúrio em água.

O Hg causa graves problemas de corrosão devido a alta mobilidade, a tendência a dispersão e a facilidade com que forma amálgamas ou ligas com a maioria dos metais, exceto o ferro. Cuidados especiais devem ser tomados em relação ao cobre, pois o Hg apresenta alta reatividade com este metal e suas ligas. Forma uma massa maleável que pode ser cortada com faca. (NASCIMENTO, 2001, p. 23)

3.4 Estabilidade e Reatividade

O mercúrio é perigoso quando aquecido, pois emite fumos altamente tóxicos. Com relação à capacidade reativa do metal, incompatibilidades e eventuais produtos de combustão, sabe-se que o Hg na presença de cálcio forma amálgama na temperatura de 390°C e reage com acetileno, amônia, dióxido de cloro, azidas, carbeto de sódio, cobre, lítio e rubídio. Com esses últimos, produz reações exotérmicas violentas com possibilidade de explosões. No solo, as misturas de carbeto de sódio e mercúrio, alumínio, chumbo e ferro podem produzir vigorosas

reações. O Hg líquido em contato com dióxido de cloro explode violentamente e pode causar reações perigosas quando aquecido.

É incompatível com diiodofosfeto de boro, óxido de etileno, metilazida, metilsilano, oxigênio, oxidantes e tetracarbonila de níquel. Embora a amônia pura não reaja com o Hg mesmo em pressões de 340kbar a 200°C, a simples presença de traços de água pode acarretar a formação de compostos explosivos, que podem explodir durante a despressurização do sistema.

Os átomos de mercúrio ligados ao carbono variam em termos de estabilidade; geralmente, as ligações em compostos alifáticos são mais estáveis que em compostos aromáticos.

No armazenamento de recipientes que contenham o Hg e seus compostos, deve-se considerar a proteção contra danos físicos, a ventilação do local e a distância com compostos azidas, além dos metais reativos acima descritos. É importante lembrar que o Hg é levemente volátil em condições normais de temperatura e pressão e que, com a umidade do ar, pode se oxida lentamente formando óxido mercurioso.

A pressão de vapor de 2×10^{-3} mmHg a 25°C é suficientemente alta para produzir concentrações perigosas na atmosfera, a temperatura ambiente. A atmosfera saturada a 20°C contém, aproximadamente 15mg/m³ que é 300 vezes maior do que o valor recomendado como limite de exposição ocupacional de 0,05mg/m³. Os vapores apresentam-se no estado monoatômico. O calor de vaporização é de 14,652 kcal/mol a 25°C. (AZEVEDO, 2003 , p. 302)

São propriedades físico-químicas relevantes do mercúrio:

- Número atômico: 80
- Massa atômica relativa: 200,61
- Ponto de fusão: -38,9°C
- Ponto de ebulição: 356,9°C
- Densidade relativa: 13,6 (água=1)
- Gravidade específica: 13,456 (20°C)
- Pressão de vapor: 9,16 Pa (0,0012 mmHg)
- Tensão superficial: 484dines/cm (25°C)
- Temperatura e pressão críticas: 1,462°C e 1,578atm

(AZEVEDO, 2003 , p. 302)

3.5 Toxicocinética

A toxicocinética do Hg é dependente da espécie do metal ao qual o organismo está exposto. Assim, os processos de transporte serão influenciados pelo estado de oxidação e pela forma dos compostos de mercúrio. (OGA, 2003, p. 68)

3.6 Absorção

O mercúrio metálico, devido à sua volatilidade e a sua lipossolubilidade, é preferencialmente absorvido pelos pulmões, o mesmo ocorrendo com compostos organomercuriais. Cerca de 80% dos vapores inalados, tanto de Hg⁰ como de Hg orgânico, são absorvidos a nível alveolar. Com relação aos sais inorgânicos de mercúrio, a absorção pulmonar é determinada pelo diâmetro da partícula do aerossol inalado. As partículas inaladas são depositadas e, posteriormente removidas ou absorvidas dependendo do seu tamanho (< 1µm) e da sua solubilidade.

A absorção do mercúrio metálico por via oral, inferior a 0,01% da dose ingerida, é desprezível. Dependendo da sua solubilidade, acredita-se que cerca de 2 a 10% dos sais de Hg ingeridos acidentalmente ou em tentativas de suicídio, sejam absorvidos por aquela via no estômago.

O mercúrio metálico é moderadamente absorvido através da pele. Exposições da ordem de 0,05mg/m³ determinam uma velocidade de penetração do vapor de Hg⁰ através da pele de cerca de 72µg/cm²/h, equivalente a 2,2% da quantidade absorvida pelos pulmões. Desta forma, a absorção de vapores de Hg⁰, por via cutânea, não contribui significativamente com a carga corpórea da substância. Não obstante, o contato dérmico com mercúrio líquido pode determinar um aumento significativo nos níveis biológicos do metal. (NASCIMENTO, 2001, p. 114)

3.7 Distribuição e Armazenamento

O transporte do mercúrio iônico é realizado pelo plasma enquanto o mercúrio elementar é transportado pelas hemácias. Nos eritrócitos, o mercúrio metálico é rapidamente oxidado ao íon Hg²⁺ que se fixa as proteínas.

Os principais locais de deposição são os rins e o cérebro, após exposição a vapores de mercúrio metálico. A passagem de compostos mercuriais lipossolúveis

do sangue para o cérebro é suficientemente rápida para causar uma distribuição diferencial significativa neste órgão. A subsequente oxidação de Hg^0 para Hg^{2+} no cérebro permite que o mercúrio ali se armazene. No feto, acontece um processo semelhante de distribuição seletiva. O processo oxidativo é mediado enzimaticamente, onde a catalase talvez seja o sítio provável de oxidação.

É importante mencionar que a exposição aos mercuriais estimula a síntese da metalotioneína, que é a proteína transportadora de metais pelo organismo. Isto também pode ser associado ao processo de proteção renal, pela sequestração de mercúrio por essas proteínas de baixo peso molecular.

Por meio de estudos de experimentação animal, observa-se que os compostos mercuriais podem acumular-se em outros órgãos além dos rins, tais como fígado, membrana mucosa do trato intestinal, pele, baço, células intersticiais dos testículos, cabelo, glândulas sudoríparas e salivares, tireóide e substância cinzenta das áreas occipital, parietal e cortical do cérebro, placenta e membrana fetal. (NASCIMENTO, 2001, p. 115)

3.8 Biotransformação e Eliminação

Nas reações de biotransformação, podem ocorrer a oxidação do mercúrio metálico a divalente ou a redução de mercúrio divalente a metálico.

A oxidação dos vapores de mercúrio metálico a forma divalente inorgânica não acontece rapidamente a ponto de evitar a passagem do composto para o cérebro através da barreira hematoencefálica, ou da barreira placentária e outros tecidos. As reações de oxidação nesses locais, após a passagem através da membrana, permitem o acúmulo como composto no feto e no cérebro. O sistema de oxidação catalítico do Hg^0 a Hg^{2+} envolve o sistema enzimático catalase-hidrogênio peroxidase.

A redução de mercúrio divalente para Hg^0 é demonstrada tanto em animais quanto no homem. A decomposição de compostos organomercuriais, incluindo o metilmercúrio é fonte de mercúrio metálico no organismo.

Após exposição aos vapores de mercúrio, o metal é eliminado pela via renal na forma de Hg^{2+} . Os compostos mercuriais são eliminados pelas fezes, pela urina e pelas glândulas salivares, lacrimais e sudoríparas. A velocidade de excreção está associada a espécie e é dose-dependente. Os poucos dados existentes, associados

aos humanos, indicam que o mercúrio é excretado com uma meia-vida biológica de aproximadamente 60 dias. Parte do mercúrio armazenado no cérebro é excretado lentamente com uma meia-vida superior a um ano. (AZEVEDO, 2003, p. 330)

3.9 Toxicodinâmica

Os compostos mercuriais são atraídos por grupos sulfidrilas, ligando-se as proteínas de membranas e enzimas. Além do grupo tiol (SH), pode também ligar-se a uracila e à timina. O mercúrio liga-se covalentemente ao enxofre, sendo esta a propriedade responsável pela maior parte das ações biológicas daquele metal. O enxofre, na forma de grupos sulfidrilas, permite que o mercúrio divalente substitua o átomo de hidrogênio, formando mercaptídeos. Assim, é capaz, mesmo em baixas concentrações de inativar enzimas sulfidrílicas interferindo o metabolismo e a função celular. Também se liga a outros radicais de importância biológica, tais como grupos amida e amina, carboxilas e fosforilas.

Os efeitos neurológicos, observados após a exposição aos vapores de mercúrio metálico, são atribuídos ao íon de mercúrio divalente formado por oxidação no tecido cerebral. Admite-se que o possível mecanismo de ação esteja associado as interferências em grupos funcionais enzimáticos por meio da ligação com grupos sulfidrilas.

O mercúrio, como outros metais, pode catalisar a lipoperoxidação lipídica e o mecanismo de ação proposto poderia ser decorrente do complexo que forma com selênio e desta maneira antagonizar o efeito antioxidante do mesmo ou ainda, pela formação de radicais livres ou pela inativação dos radicais tiólicos antioxidantes como por exemplo, a glutatona. (NASCIMENTO, 2001. p. 123)

3.10 Intoxicação em curto prazo ou aguda

Os sinais e sintomas de intoxicação em exposição aguda têm início insidioso, com um período de latência que pode variar de uma até varias semanas, dependendo da dose ou da concentração dos compostos mercuriais e quanto maior for a dose ou concentração, mais rapidamente aparecerão os efeitos. Efeitos associados a exposição de curto prazo a altas concentrações são, nos dias de hoje,

raramente observados devido aos conhecimentos adquiridos no passado sobre a toxicidade do agente e aos cuidados praticados pelos indivíduos expostos.

As intoxicações em curto prazo, descritas na literatura, estavam vinculadas as altas concentrações dos vapores de Hg formados após aquecimento e que induziam o aparecimento de efeitos nocivos nos sistemas nervoso, digestivo, respiratório e renal. Neste caso, os sintomas são semelhantes aos observados na “febre dos fumos metálicos” e incluem fadiga, febre e tremores, além de, nos episódios mais graves, edema pulmonar. Observam-se tosse, escarros sanguinolentos, dispnéia (respiração curta), inflamação pulmonar, pneumonia química e dores torácicas. Estes efeitos são observados em exposição ocupacional na faixa de 1 a 44mg/m³ de vapores de mercúrio por quatro a oito horas. Todos os acidentes tóxicos que resultaram em morte após exposição aos vapores de mercúrio, estão relacionados ao processo de aquecimento deste composto. São também evidentes em exposições a altas concentrações de vapores de mercúrio efeitos associados ao sistema nervoso central, sendo os tremores mais significativos afetando inicialmente as mãos e espalhando-se em seguida por outras partes do corpo; a instabilidade emocional, incluindo irritabilidade e nervosismo, sonolência, delírios, alucinações, tendência suicida, perda de memória, fraqueza muscular, cefaléia, reflexos lentos e perda de sensibilidade. (AZEVEDO, 2003, p. 332)

3.11 Intoxicação em médio e longo prazo ou crônica

Na intoxicação subaguda se caracteriza, sobretudo, os sintomas respiratórios (tosse, irritação brônquica), gastrintestinais (vômitos, diarreia), dores gengivais, úlceras na boca, albuminúria e discreto aumento urinário de uréia.

A intoxicação crônica ou em longo prazo por mercúrio, chamada de mercurialismo ou hidrargirismo, resulta da exposição permanente e por períodos de tempo prolongados a pequenas quantidades de mercúrio. Pode ser encontrada entre trabalhadores de atividades que utilizam o mercúrio ou seus sais e também pode advir do uso de medicação mercurial. Na indústria, a via de introdução é geralmente, a pulmonar.

Na exposição crônica ao mercúrio elementar na faixa de 0,004 a 12 mg/m³ de vapores de metal no ambiente, surge, inicialmente, um quadro de sinais e sintomas não específicos que é denominado de síndrome astênico-vegetativa ou

micromercurialismo. A síndrome é identificada por neurastenia e três ou mais dos seguintes achados clínicos: hipertrofia de tireóide, aumento da captação de iodo radioativo pela tireóide, pulso fraco, taquicardia, dermatografismo, gengivite, alterações hematopoiéticas e aumento da eliminação urinária do mercúrio. (AZEVEDO, 2003, p. 332)

"Exposições ocupacionais a concentrações superiores a $0,1\text{mg}/\text{m}^3$ de mercúrio no ar já são capazes de provocar o mercurialismo, com o surgimento de tremores musculares e de alterações do comportamento". (FERNANDES, 2007, p. 331)

3.12 Monitorização da exposição ocupacional

Na avaliação dos riscos da exposição aos compostos mercuriais, devem ser considerados os efeitos nocivos tanto ao ambiente quanto ao homem. É necessário estabelecer a diferença entre os riscos decorrentes das atividades laborais e os da exposição ambiental.

Com relação a exposição ocupacional aos compostos mercuriais, nas mais diferentes atividades em que são empregados ou produzidos, o controle dos trabalhadores pode e deve ser feito pela apuração simultânea de dois grandes conjuntos de medidas, a saber: medidas de ordem técnica e medidas de ordem médica ou de saúde. (FERNANDES, 2007, p. 332)

3.12.1 Medidas de ordem técnica

Abaixo estão listadas as medidas de ordem técnica necessárias para a monitorização e controle da exposição ocupacional aos compostos mercuriais:

- A avaliação permanente das concentrações de vapores e/ou poeiras de mercúrio e seus compostos no ar dos ambientes de trabalho;
- A substituição, sempre que possível, do mercúrio por compostos menos perigosos nos processos industriais;
- Nas indústrias, deve-se evitar a inalação e o contato com a pele, e os processos devem ser automáticos e enclausurados;

- Orientar os trabalhadores sobre a toxicidade destes compostos e a necessidade de se utilizarem equipamentos de proteção individual (máscaras e vestimentas de proteção) nas operações manuais;
- Nas indústrias que utilizam mercúrio metálico, assim como em laboratórios químicos, deve-se tomar cuidado para que o mercúrio não se acumule em rachaduras ou cantos das mesas de trabalho. Como o mercúrio se evapora a temperatura ambiente, uma concentração atmosférica perigosa pode sobrevir mesmo com uma contaminação negligenciável. Se o processo industrial ou laboratorial é acompanhado sistematicamente por perda de mercúrio, é recomendável a instalação de um coletor de metal na mesa de trabalho, sob o local da manipulação. Trata-se de um simples reservatório repleto de água e coberto por uma grade, prevenindo toda a evaporação;
- A organização do trabalho de modo a reduzir ao mínimo o número de expostos; Confinar as operações com mercúrio a locais fechados e com sistemas adequados de exaustão de ar. (AZEVEDO, 2003, p. 341)

3.12.2 Medidas de ordem médica

Abaixo estão listadas as medidas de ordem médica necessárias para a monitorização e controle a exposição ocupacional aos compostos mercuriais:

- Exame médico pré-admissional:

Tendo em vista a natureza da toxicidade do mercúrio e seus compostos, e os tipos de efeitos nocivos que eles acarretam ao organismo, preconiza-se a realização de cuidadoso exame clínico laboratorial, previamente a admissão, em pessoas expostas a estes agentes químicos. Devem ser avaliadas as funções: pulmonar, hepática, renal, digestiva, além do sistema nervoso e da pele. Devem ser realizadas pesquisas dos biomarcadores de exposição ao metal (mercúrio no sangue, cabelo e urina). Não é recomendável admitir para função que implique risco de contato com o mercúrio, os portadores de alterações nos órgãos anteriormente citados ou os que apresentam resultados preocupantes nas avaliações toxicológicas mencionadas. (AZEVEDO, 2003, p. 342)

- Exame médico periódico

Entre outros aspectos, o médico do trabalho deve observar lesões gengivais, alterações neurológicas (tremores) e oculares (estado cristalino anterior). A espécie do metal e o tipo de exposição determinam o órgão crítico a ser avaliado pelo clínico.

A avaliação da condução nervosa, os testes neuro-comportamentais e os testes cognitivos podem, também, ser de muita valia. (AZEVEDO, 2003, p. 342)

4 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA EM LABORATÓRIO QUÍMICO

Os riscos oferecidos por um laboratório químico são devidos a vários fatores, entre os quais podem ser citados a absorção cumulativa pelo organismo de pequenas quantidades de substâncias presentes na atmosfera laboratorial (seja por inalação, absorção cutânea ou ingestão), a contaminação em grande escala por acidentes com produtos químicos (explosões, projeção de ácidos) e a má utilização de materiais de vidro, equipamentos elétricos e outros.

O profissional que exerce funções nestes locais, seja de que natureza forem, deve tomar consciência de que a atividade ali exercida deve ser precedida das orientações necessárias para diminuir ao máximo a possibilidade de acidentes. Tais orientações são adquiridas, geralmente, através de treinamentos e cursos oferecidos, em sua maioria, pela própria instituição onde trabalha.

Para evitar acidentes, ao entrar em um laboratório, deve-se observar as normas e procedimentos para sua segurança e de seus colegas. Por serem muito simples, estas regras de segurança são, por vezes, consideradas pouco importantes e desprezadas no dia-a-dia do laboratório.

4.1 Comportamento Individual recomendado em laboratório químico

É recomendável que nenhuma prática laboratorial seja efetuada sem o uso do guarda-pó, pois sempre existirá a possibilidade de ser atingido por substâncias tóxicas e/ou corrosivas. Mesmo que se proceda com a máxima cautela, pode ser atingido por uma substância química originada de um descuido de um colega, ou por produtos de reações indesejáveis.

Para uma proteção adequada, o guarda-pó deve ser, de preferência branco, tipo $\frac{3}{4}$, manga longa. Desta maneira, ter-se-á uma proteção integral das partes do corpo suscetíveis de sofrerem danos por acidentes. Além disto, o guarda-pó (também chamado avental) deve ser confeccionado em algodão, pois os tecidos sintéticos são facilmente inflamáveis.

Pessoas que possuírem cabelos compridos devem mantê-los presos para protegê-los de vapores tóxicos, produtos de reações violentas e do fogo.

É também necessário conhecer muito bem as saídas de emergência, a posição dos extintores, a caixa de primeiros socorros, o chuveiro de emergência e demais equipamentos de proteção coletiva.

O ideal é que conheçamos tão bem o nosso laboratório que, em caso de ficarmos no escuro ou impedidos de abrir os olhos (por exemplo, quando um líquido agressivo atinge os olhos) ou com a visão comprometida, mesmo assim, tateando, podemos encontrar rapidamente o que necessitamos para providenciar as ações de emergência.

Antes de sair, ao final de um dia de trabalho, a última pessoa deve certificar-se que todos os aparelhos estejam desligados, que torneiras (água, gás) estejam fechadas, que as janelas estejam fechadas, as cortinas estejam cerradas, as luzes apagadas, etc.

Regras mínimas de comportamento:

- O laboratório é um lugar de trabalho sério, conseqüentemente, toda e qualquer brincadeira é expressamente proibida;
- Preparar-se para qualquer experiência, lendo as orientações;
- Considerar todos os produtos químicos como perigosos;
- Verificar o procedimento para manuseio e descarte, toxidez e incompatibilidade dos produtos químicos a serem usados;
- Basicamente todos produtos químicos são tóxicos, portanto evitar contato ou exposição desnecessários;
- Trabalhar sempre com avental abotoado, comprido, de mangas longas e de material de difícil inflamabilidade;
- Acostumar-se a usar, no laboratório, um calçado simples, fechado, de couro ou similar, de salto baixo e sola pouco escorregadia ou antiderrapante;
- Acostumar-se a usar, no laboratório, roupas simples, de material de difícil inflamabilidade; o ideal é ter uma roupa de laboratório, que não volte para casa e seja lavada separadamente;
- Óculos de segurança são altamente recomendados no laboratório, especialmente onde o uso é obrigatório; sempre que houver riscos potenciais, usar e fazer com que as demais pessoas usem;
- Armários de roupas, no laboratório, deve conter apenas as roupas e objetos de uso pessoal: nunca colocar materiais de laboratório nestes armários;

- Nunca levar as mãos aos olhos e à boca, quando estiver no laboratório - as mãos estarão contaminadas e poderá haver danos perceptíveis e imperceptíveis;
- Lavar cuidadosamente as mãos, com bastante água e sabão, antes de qualquer refeição. Adquirir o hábito de lavar as mãos, em água corrente, várias vezes, durante o trabalho de laboratório;
- Não colocar qualquer tipo de alimento sobre as bancadas, em armários e em geladeiras de laboratório;
- Nunca utilizar vidraria de laboratório (bequer, erlenmeyer) como utensílio doméstico (copo, reservatório) - o risco é evidente;
- Evitar o uso de lentes de contato: os produtos químicos (vapores) podem danificá-la, causando graves lesões nos olhos;
- Fechar todas as gavetas e portas dos armários que abrir;
- Desenvolver o hábito da limpeza e da organização, base de toda a política de segurança de laboratório;
- Sempre ter cuidado com pisos escorregadios: às vezes é preferível deixar de encerar o piso como garantia de impedir escorregões em escadas e corredores;
- Manter uma boa ventilação na área de trabalho, bem como uma iluminação adequada;
- Rotular imediatamente qualquer reagente ou solução preparados e as amostras coletadas;
- Todos os frascos e recipientes devem permanecer tampados;
- Toda evaporação de solventes, e, mesmo toda a operação de aquecimento, deve ser conduzida em capelas (aerodispersóides são inalados imperceptivelmente!);
- Limpar imediatamente todo e qualquer derramamento de produtos químicos; Em caso de dúvida quanto à toxicidade do produto, consultar o orientador dos trabalhos e/ou proceda como se fosse de máxima toxicidade no seu manuseio;

4.2 Manuseio de produtos tóxicos

A manipulação de produtos tóxicos, em laboratório deve ser evitado. Mas sendo inevitável, deve ser feita com elevado grau de segurança, desde que se reconheça a toxicidade do produto e o grau de risco envolvido em sua manipulação. Para isto alguns cuidados são essenciais:

- Não manipular produtos tóxicos sem se certificar da toxicidade de cada um deles e dos mecanismos de intoxicação;
- Apesar de muitas vezes o odor constituir-se como característica própria de uma determinada substância, evitar aspirar vapores, pois muitos compostos são extremamente irritantes, quando não tóxicos;
- Trabalhar com produtos tóxicos, somente, na capela;
- Ao transferir ou manejar solventes voláteis ou substâncias que desprendem vapores tóxicos ou corrosivos, utilizar uma capela com tiragem boa ou então um local bem ventilado;
- Não jogar produto tóxico na pia;
- Evitar o contato de produtos tóxicos com a pele; não permitir que reagentes e solventes entrem desnecessariamente em contato com a pele e, em caso de contaminação, lavar a parte afetada com água e sabão. Não utilizar nesta lavagem, solventes orgânicos, tais como acetona ou álcool, pois estes somente irão aumentar a absorção do contaminante através da pele. A transferência de sólidos deve ser efetuada com o auxílio de espátulas, líquidos devem ser transferidos com o auxílio de provetas ou pipetas;
- Cuidar para que um líquido, ao ser vertido do frasco que o contém, não escorra sobre o respectivo rótulo, danificando-o;
- Qualquer sintoma de mal-estar o trabalho deverá ser interrompido imediatamente, e deverá ser procurado socorro médico, com a ficha do produto manuseado.

Deve-se evitar respirar até mesmo pequenas concentrações de gases e vapores de produtos tóxicos, visto que muitos deles tem efeito direto sobre o sistema nervoso central, o fígado e os rins, mesmo que sintomas agudos dos envenenamentos não sejam observados quando da exposição.

O metanol e o brometo de metila atacam irreversivelmente o nervo ótico, o benzeno é um veneno cumulativo que ataca a medula cerebral e o tetracloreto de carbono é extremamente tóxico para o fígado. Estes devem, sempre que possível, ser substituídos por etanol, tolueno e hexacloroetano respectivamente.

O monóxido de carbono, o ácido cianídrico e o ácido sulfídrico são fatais se inalados em pequenas concentração. Especialmente perigosos são o monóxido de carbono por ser inodoro, e o ácido cianídrico, com seu odor que lembra o de

amêndoas. Por outro lado, ninguém parece ter dificuldade em detectar o ácido sulfídrico, mas este gás, em concentração alta, inibe o olfato e pode-se receber uma dose letal muito rapidamente e com pouco aviso. A inalação de ácido nitroso (ou dióxido de nitrogênio e tetróxido de nitrogênio) não produz sintomas imediatos de envenenamento mas acarreta danos severos aos pulmões, resultando em congestão e acúmulo de fluido dentro de cinco a quarenta e oito horas após exposição.

Vapor de mercúrio e poeira de chumbo e sílica são venenos que se acumulam no corpo e causam doenças crônicas se inalados em baixa concentração por longo período de tempo. Estes produtos devem ser manuseados em capelas, e no caso da sílica e do chumbo, uma máscara com filtros deve ser usada também. Em caso de derramamento de mercúrio, deve-se aspirá-lo com um tubo de vidro de ponta fina conectado a uma bomba de vácuo através de um "trap", no qual o metal será recolhido. Caso seja impossível a retirada de mercúrio por aspiração (mercúrio preso em pequenas rachaduras e frestas de difícil acesso) costuma-se espalhar enxofre em pó. As minúsculas gotas de mercúrio aderem ao enxofre e podem, então, serem facilmente removidos varrendo-se o enxofre espalhado. Após um certo tempo o enxofre reagirá com o mercúrio que possa ter permanecido nas rachaduras e frestas, formando o sulfeto, que é inócuo.

Alguns produtos químicos são conhecidos cancerígenos, isto é, substâncias que produzem ou predisõem ao desenvolvimento de câncer. Estas substâncias não devem ser manuseadas, ou se necessário com extremo cuidado. Os cancerígenos mais conhecidos são beta-naftol, alfa-naftilamina, benzeno, 3,4-benzopireno e outros hidrocarbonetos de estrutura similar. Recentemente, os compostos alifáticos e aromáticos que contém o grupo nitroso e as nitrosoaminas foram adicionados a esta categoria. O vapor da mistura sulfocrômica (usada no desengorduramento de vidrarias) é também considerado cancerígeno, por isso o recipiente que a contém deverá estar apropriadamente tampado.

4.3 Cuidados no manuseio do mercúrio

O termo "perigoso" quando associado ao mercúrio refere-se a capacidade dessa substância produzir efeitos adversos no organismo; o termo "risco" descreve a probabilidade e a consequência de que, em uma dada atividade, o mercúrio produza

danos adversos ao homem. Um trabalhador coloca-se em “risco” quando está “exposto” a um “perigo”. Matematicamente diz-se que a magnitude do risco de contaminação pelo mercúrio é função da periculosidade da substância e da frequência de exposição a essa substância no ambiente de trabalho.

A inalação é a principal via de entrada de mercúrio metálico no organismo. Cerca de 80% dos vapores inalados são absorvidos pelos pulmões. A absorção pelo aparelho digestivo é praticamente desprezível. Portanto, o mercúrio é considerado relativamente não-tóxico se ingerido. Embora a taxa de permeabilidade seja baixa, também é possível a penetração subcutânea, como, por exemplo, devido a quebra de um termômetro de líquido em vidro, seguida de lesão do tecido cutâneo. Não é raro ocorrer quebras de termômetros em laboratórios, principalmente em banhos de térmicos. Usuários de termômetros convivem diariamente com este perigo. Por tal motivo, os banhos térmicos deveriam ser instalados sob coifas ou em capelas, e esses dispositivos validados quanto a sua eficiência. Banhos térmicos que possuem sistemas de drenagem apresentam a vantagem de permitir uma melhor coleta do mercúrio no caso de acidentes, uma vez que o metal deposita-se no fundo do banho. A drenagem é realizada após o banho atingir temperatura ambiente, de modo a reduzir a volatilização do mercúrio durante a operação de limpeza. O resfriamento do banho deve ocorrer o mais rápido possível.

Para banhos que operam em temperaturas mais elevadas, não existe alternativa se não a de permitir a volatilização de parte da substância pelo sistema de exaustão, até que o banho alcance a temperatura ambiente, e se possa realizar o trabalho de limpeza com segurança. Nestes casos, o ideal seria que o mercúrio não fosse lançado para atmosfera, sendo mais correto tratá-lo adequadamente. Atualmente existem meios para captação de vapores de mercúrio, como o uso de carvão ativo com enxofre.

Algumas formas de controle preventivo são instalar os banhos térmicos sob coifas ou capela; substituir os termômetros de mercúrio por outros tipos de termômetro; treinar para conduta em casos de acidente e comunicar situações de derramamento às áreas adjacentes que compartilhem o sistema de refrigeração do laboratório.

4.3.1 Resíduos de mercúrio

Os resíduos de mercúrio devem ser recolhidos, embalados, armazenados e dispostos adequadamente. É incorreto dispor equipamentos e materiais contaminados pelo mercúrio no lixo comum do laboratório. A incineração desse material libera mercúrio para a atmosfera sob a forma de vapores tóxicos.

O recolhimento do mercúrio e a inativação dos seus resíduos são extremamente importantes. É inadmissível que pessoas sem o prévio conhecimento dos riscos inerentes a esta substância realizem essa atividade. Fontes de calor, incidência da luz solar e a divisão do mercúrio em pequenas gotas, promovem o aumento da taxa de evaporação do metal. Além disso, o mercúrio pode depositar-se em frestas, tetos, ralos, paredes porosas, penetrar em materiais macios como a madeira e o solo, e sedimentar-se em banhos de calibração, constituindo-se em um foco permanente de contaminação. Pequenos derramamentos, de menos que 5 mL, podem ser coletados com o auxílio de um fio ou chapa de cobre secos. O metal recolhido é mantido em um recipiente bem fechado, protegido com água e com glicerina, até a disposição final deste resíduo. Depósitos em fendas ou ranhuras podem ser recolhidos mediante a aspiração com uma pipeta conectada a um sistema de vácuo contendo um dispositivo para captura de vapores formados (mistura para inativação de resíduos de mercúrio).

A região que esteve em contato com o mercúrio, piso ou bancadas é limpa com a mistura para inativação de resíduos de mercúrio, formada por 85g de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) e 15g de EDTA. Resíduos da limpeza são armazenados como sais de mercúrio em um coletor diferenciado daquele usado para resíduos de mercúrio metálico. Não se deve misturá-lo com resíduos de mercúrio metálico.

As principais ações para o recolhimento de resíduos de mercúrio são:

- Isolar a área;
- Utilizar equipamento de proteção apropriado: luvas, óculos de segurança, etc;
- Impedir a circulação de pessoas na região do vazamento;
- Impedir que o resíduo atinja ralos, cursos d'água, bueiros ou áreas confinadas;
- Utilizar uma lanterna para facilitar a localização do mercúrio metálico;
- Não usar escovas ou pincéis.

4.3.3 Disposição de resíduos de mercúrio

Os resíduos de mercúrio metálico e instrumentos quebrados ou materiais contaminados devem ser enviados a empresas especializadas que promovem a recuperação e a destinação adequada dos resíduos. O custo desse serviço depende da quantidade e do tipo de material enviado.

Importante ressaltar que esta tarefa não pode representar uma simples transferência de responsabilidades; pois se a empresa contratada não efetuar a disposição correta, o contratante possui co-responsabilidade sobre este ato ilegal.

5 METODOLOGIA

O estudo bibliográfico sobre o elemento mercúrio e seus compostos foi de fundamental importância para o levantamento de informações e compreensão dos riscos e possíveis problemas gerados por este elemento químico. Teses e artigos científicos também foram utilizados para levantar dados sobre o trabalho com o mercúrio e seus compostos.

Por meio do estudo das normas de segurança a serem aplicadas em atividades desenvolvidas em laboratório químico, pelo estudo teórico das características e propriedades do elemento mercúrio e pelas etapas e especificações constantes no procedimento experimental do ensaio de densidade aparente, este trabalho proporá recomendações específicas de segurança para o trabalho com o mercúrio na indústria cerâmica de revestimento.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Baseado no estudo realizado pôde-se evidenciar que o elemento mercúrio possui algumas particularidades relacionadas ao risco para a saúde humana, e que no meio industrial, neste caso na indústria cerâmica, sendo indispensável e não disponível sua substituição, alguns cuidados devem ser tomados. Como proposta para um ambiente de trabalho seguro e sadio seguem recomendações de cuidados necessários para a execução do ensaio de densidade aparente na indústria cerâmica demonstrados na tabela 1, conforme os cuidados especificados nas normas estudadas.

Tabela 1 - Cuidados propostos para segurança no trabalho com mercúrio

Cuidados	Riscos que serão evitados
Utilização de guarda-pó branco de manga longa	Penetração subcutânea
Cabelos compridos sempre presos	Acidentes como derramamentos
Utilização de sapatos fechados de couro, salto baixo e solado pouco escorregadio.	Penetração subcutânea e Acidentes
Utilização de óculos de segurança	Penetração subcutânea
Lavar as mãos constantemente durante o trabalho	Penetração subcutânea e Ingestão
Alimentos não devem ser deixados no ambiente de trabalho	Ingestão
O ensaio deve ser realizado somente em capelas com exaustão adequada	Inalação
Utilização de luvas de segurança	Penetração subcutânea e Ingestão

Cuidados	Riscos que serão evitados
Os locais de trabalho devem possuir piso e paredes em material liso e impermeável, sem fissuras	Inalação
Local de trabalho com o mercúrio deve ser separado dos demais	Inalação, Acidentes
Deve ser proibido comer, fumar e beber nos locais de trabalho	Ingestão
Em caso de derramamento do mercúrio, o metal deve ser imediatamente recolhido quer através de aspiração, quer com produtos de amalgamação	Inalação
Utilização de mascaras	Inalação
Limpeza diária e sistemática do ambiente de trabalho	Inalação, Penetração subcutânea
A armazenagem do mercúrio deve ser em local com exaustão adequada e em ambiente de acesso restrito e seguro	Inalação, Acidentes
Devem ser realizados treinamentos sobre os riscos da manipulação do mercúrio para todos os envolvidos	Acidentes
Os frascos e materiais contaminados com mercúrio não podem ser dispostos no lixo comum, devem ser destinados corretamente	Inalação, Contaminação do solo ou água

Fonte: AUTOR.

É importante que além dos cuidados propostos seja realizada uma avaliação permanente das concentrações de vapores e/ou poeiras de mercúrios e seus compostos no ar do ambiente de trabalho, conforme a NR 15.

É recomendado que os exames admissionais e periódicos sejam realizados para o acompanhamento da eficácia dos cuidados preventivos adotados.

CONCLUSÕES

Após a pesquisa bibliográfica realizada, pode-se concluir que:

- Todo o trabalho que requer manipulação do elemento mercúrio e seus compostos deve ser realizado sempre seguindo as recomendações de segurança em laboratório, evitando assim acidentes de trabalho e contaminações;
- É de grande importância que os cuidados no descarte de resíduos e em eventuais derramamentos ou vazamentos do elemento mercúrio e seus compostos sejam seguidos para evitar contaminação do meio ambiente;
- Existem algumas atividades em que o elemento mercúrio não pode ser substituído, porém sua utilização pode ter riscos minimizados sempre que as normas de segurança no trabalho e monitorização da exposição ocupacional forem cumpridas.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Fausto A.; CHASIN, Alice A. Da Matta. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003.

FERNANDES, Almesinda Martins de O.; GUIMARÃES, Zinely da Silva. **Saúde-doença do trabalhador: um guia para os profissionais**. Goiânia: AB Editora, 2007.

FONSECA, António Tomás da. **Tecnologia do Processamento Cerâmico**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000.

NASCIMENTO, Elisabeth S.; CHASIN, Alice A. da Matta. **Ecotoxicologia do Mercúrio e seus Compostos**. Salvador: CRA, 2001.

OGA, Seizi. **Fundamentos de toxicologia**. 2. Ed. São Paulo: Atheneu Editora, 2003.

NORMAS REGULAMENTADORAS. **Segurança e Medicina do Trabalho**. São Paulo, 2009. 63. ed.

DAL BÓ, Marcelo; NEVES, Wencenslau F. das; AMARAL, Sidenir do. Substituição do mercúrio por água na determinação da densidade aparente do suporte cerâmico cru. **CERÂMICA INDUSTRIAL**. São Paulo: 2002, p, 42-46.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818: Placas Cerâmicas para revestimento: Especificações e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 1997.