

# Índice de exposição à sílica na atividade de mineração de ouro

## Silica exposure index in gold mining

Ana Paula Scalia Carneiro<sup>a,\*</sup>, Sandhi Maria Barreto<sup>b</sup>, Arminda Lucia Siqueira<sup>c</sup> e Poliana Freitas La Rocca<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Ambulatório de Doenças Profissionais. Hospital das Clínicas. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG, Brasil. <sup>b</sup>Departamento de Medicina Preventiva e Social. Faculdade de Medicina. UFMG. Belo Horizonte, MG, Brasil. <sup>c</sup>Departamento de Estatística. UFMG. Belo Horizonte, MG, Brasil

### Descritores

Sílica. Silicose, diagnóstico. Exposição ocupacional. Indicadores de exposição. Estudos transversais.

### Resumo

#### Objetivo

Propor um índice que sintetize a exposição cumulativa à sílica, incluindo intensidade, duração e época da exposição e testá-lo em relação à presença e gravidade de silicose.

#### Métodos

Estudo transversal realizado com 140 ex-mineiros de ouro, residentes em duas localidades do Estado de Minas Gerais, examinados entre 11/1997 e 12/1999. Foram analisadas informações sobre história clínica e ocupacional, radiografia de tórax e espirometria. Casos *borderline* de silicose pela radiografia foram submetidos à tomografia computadorizada de alta resolução. O índice representa a soma dos escores extraídos da transformação logarítmica das taxas de concentração de sílica respirável nas diversas funções, minas e períodos trabalhados. Foram aplicados testes paramétricos para comparação das médias entre os grupos de interesse.

#### Resultados

O índice proposto apresentou-se discriminativo em relação ao desfecho principal (silicose) e aos desfechos secundários (enfisema e tuberculose) pulmonar no grupo total, incluindo os diversos estágios da doença, com valores  $p$ : 0,008, 0,016 e  $<0,001$  respectivamente. Em relação às quatro categorias principais da silicose, o teste de Tukey evidenciou diferenças nas médias do índice entre as categorias 0 e 3 e 1 e 3. Porém, no subgrupo constituído pelos casos *borderline*, a discriminação entre os desfechos não foi satisfatória, tanto com diagnósticos obtidos pela radiografia quanto pela tomografia.

#### Conclusões

O índice proposto representa um avanço na síntese da exposição ocupacional dos participantes, podendo ser usado para outras profissões. Entretanto, torna-se importante a incorporação de fatores clínicos e funcionais para entender a evolução da doença em expostos à sílica, especialmente nos casos duvidosos.

### Keywords

Silicon dioxide. Silicosis, diagnosis. Occupational exposure. Exposure indicators. Cross-sectional studies.

### Abstract

#### Objective

To develop a cumulative silica exposure index, including time period, duration and intensity of exposure, and to test this index as for occurrence and severity of silicosis.

#### Methods

A cross-sectional study was carried out comprising 140 former gold miners from

### Correspondência/ Correspondence:

Ana Paula Scalia Carneiro  
Al. Álvaro Celso, 55 2º andar Santa Efigênia  
30150-260 Belo Horizonte, MG, Brasil  
E-mail: [apscalia@email.com](mailto:apscalia@email.com)

\*Bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).  
Recebido em 2/7/2004. Reapresentado em 2/8/2005. Aprovado em 6/9/2005.

two localities in Southeastern Brazil between November 1997 and December 1999. Complete data on occupational and medical histories, chest x-rays and spirometry were analyzed. Borderline cases on the x-rays were also submitted to high-resolution chest computed tomography. The exposure index was the sum of scores obtained by logarithmic transformation of respirable silica concentration related to job tasks, mines and work time. Parametric tests were used for comparing averages between the groups of interest.

#### Results

The silica exposure index was able to discriminate the main outcome (silicosis) as well as other outcomes (tuberculosis and lung emphysema) in the whole group at p-values of 0.008, 0.016 and <0.001 respectively. In regard to the four main categories of silicosis, the Tukey test showed differences in the averages of the exposure index in the categories 0 and 3 and 1 and 3. However, in the borderline cases subgroup, the exposure index was not satisfactory for cases submitted to x-rays and tomography and it could not differentiate other outcomes.

#### Conclusions

The silica exposure index represents an advance in exposure evaluation of former miners. However, other information, such as clinical and lung functional data are needed for better understanding disease progress in silica exposed cases, especially among borderline cases.

## INTRODUÇÃO

A silicose é uma doença ocupacional que permanece como um sério problema de saúde pública, pela alta incidência e prevalência nos países em desenvolvimento. Dados nacionais sugerem que Minas Gerais seja o Estado com maior número de casos,\* a maioria proveniente de minerações subterrâneas de ouro. De modo geral, atividades de mineração constituem uma das principais formas de exposição à sílica. Existem ainda outras importantes fontes de exposição como garimpos, lapidações, pedreiras, indústria cerâmica, construção civil pesada.<sup>1</sup>

O desenvolvimento da doença apresenta um forte gradiente dose-resposta em relação à exposição à sílica, inclusive com formas progressivamente mais graves.<sup>3,10,13,18</sup> Estudos recentes mostram que mesmo em exposições a concentrações de sílica dentro dos limites de tolerância adotados em vários países (0,1 mg/m<sup>3</sup>), existe ocorrência expressiva de casos de silicose<sup>15</sup> e, até mesmo mortes em sua decorrência.<sup>16</sup>

Além da silicose, exposições crônicas à poeira de sílica podem aumentar o risco de doença pulmonar obstrutiva crônica,<sup>12</sup> enfisema<sup>11</sup> e tuberculose pulmonar,<sup>7,9</sup> independentemente do adoecimento por silicose. Existem ainda evidências suficientes do efeito carcinogênico da sílica,<sup>13,20</sup> embora permaneça controverso se a silicose é necessária para o desenvolvimento de câncer em expostos à sílica.

O diagnóstico da silicose é baseado na radiografia de tórax (RX), e história clínica e ocupacional coerentes.<sup>1</sup> A Organização Internacional do Trabalho (OIT) desenvolveu uma padronização reprodutível da codificação das alterações radiológicas das pneumoconioses, sendo as lesões parenquimatosas classificadas em relação à profusão, forma e tamanho.<sup>14</sup> A quantificação dos pequenos nódulos da silicose varia em 12 subcategorias: 0/-,-0/0, 0/1, 1/0, 1/1, 1/2, 2/1, 2/2, 2/3, 3/2, 3/3, 3/+. No Brasil, para fins previdenciários,\*\* considera-se como caso de silicose, quando a leitura feita por pelo menos dois leitores experientes for maior ou igual a 1/0.

A doença na sua forma crônica é insidiosa, ocorrendo após vários anos do início da exposição. Em fases iniciais costuma ser assintomática, ou pouco sintomática, com pouca alteração nas provas de função pulmonar.

Recentemente tem sido estudada a possibilidade da utilização da tomografia computadorizada de alta resolução (TCAR) de tórax como método que possa diagnosticar lesões mínimas de silicose com maior precisão. Porém, ainda não há consenso na literatura,<sup>2,8,21</sup> tampouco a utilização de modelos padronizados para leituras rotineiras.

Na mineração subterrânea de ouro, os principais fatores que determinam a intensidade da exposição à sílica são a função exercida pelo trabalhador e a qua-

\*Brasil. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Manual de Normas para controle das pneumoconioses: silicose, pneumoconiose dos trabalhadores do carvão e pneumoconioses por poeiras mistas. Brasília (DF): 1997. p. 36.

\*\*Instituto Nacional do Seguro Social. Ordem de Serviço n 609, de 5 de agosto de 1998: Aprova Norma Técnica sobre Pneumoconioses. Diário Oficial da União, n 158, de 19 de agosto de 1998, seção I, p. 53-60.

lidade do controle ambiental em cada mina. Esse último é representado principalmente pela eficiência da ventilação e umidificação do processo no interior da mina. A intensidade da exposição somada à duração, fornece a exposição cumulativa de cada indivíduo em um dado período. Apesar de conhecida a relação dose-resposta para silicose, não existe um único índice que sintetize a exposição cumulativa, o que facilitaria a comparação dos trabalhadores expostos.

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um índice síntese da história de exposição à sílica na atividade de mineração subterrânea de ouro que pudesse ser utilizado na prática clínica.

## MÉTODOS

Trata-se de estudo transversal, realizado com 140 ex-mineiros, residentes na região de Nova Lima e Raposos, Minas Gerais, conforme descrito em outro artigo.<sup>4</sup> Estima-se que nos últimos 19 anos tenham sido identificados cerca de 4.500 casos de silicose nessa região.\* Embora praticamente todos tivessem diagnóstico prévio da doença, foi estabelecido judicialmente que todos deveriam ser submetidos à perícia médica, mesmo que a maioria deles já recebesse algum benefício previdenciário devido à silicose. Dessa forma, os primeiros 150 convocados à perícia, cujos exames foram realizados no período de novembro de 1997 a dezembro de 1999, constituíram a casuística do presente estudo. Devido ao fato da perícia ser de interesse dos pacientes, apenas 10 (6,6%) não compareceram, sendo quatro por motivo de desistência da ação e seis por já terem falecido por ocasião da convocação.

Os dados foram coletados pelos instrumentos citados a seguir:

- Anamnese clínica e ocupacional, na forma de entrevista e questionário clínico e ocupacional padronizado;
- RX de tórax nos padrões da OIT,<sup>14</sup> cuja leitura foi feita de modo independente por três leitores experientes. Somente foram aceitos exames de qualidade 1 ou 2.<sup>14</sup> Os resultados foram considerados pela mediana das leituras e agrupados nas categorias principais: 0, 1, 2 e 3. Os portadores de grandes opacidades foram incluídos na categoria 3, independente da classificação dos pequenos nódulos;
- TCAR realizadas com técnica padronizada, realizada quando a mediana das três leituras radiológicas foi menor ou igual a 1/0. Os exames foram avaliados por três radiologistas experientes, de

diferentes serviços, não participantes da etapa das leituras radiológicas. A graduação dos micronódulos seguiu a proposta de Begin et al<sup>2</sup> (1991), classificando-os em quatro categorias de acordo com a profusão.

Os seguintes critérios foram utilizados para diagnóstico de “caso *borderline* de silicose”, enfisema e tuberculose (desfechos secundários):

- Silicose *borderline*: indivíduos cuja mediana das leituras radiológicas foi igual ou menor que 1/0, incluindo, portanto, casos iniciais (1/0), os considerados “suspeitos” (0/1) e não casos (0/-, 0/0);
- Enfisema: preenchimento das seguintes definições imagenológicas: evidências ao RX de destruição vascular e aumento difuso do volume pulmonar, caracterizado como hiperinsuflação difusa;<sup>6</sup> e/ou presença na TCAR de áreas de baixa atenuação e destruição vascular<sup>6</sup> classificadas como: proximal (centrolobular), panacinar e parasseptal. O alargamento anormal dos espaços aéreos, associados com fibrose, foi considerado como “enfisema” irregular ou paracatricial;
- Tuberculose: indivíduos com história clínica da doença e/ou portadores de seqüelas ao RX e/ou TCAR caracterizadas por presença de áreas de estrias, nódulos calcícos, alterações fibroateletásicas, espessamento e/ou calcificação pleural.<sup>7</sup> Nenhum paciente apresentava tuberculose ativa por ocasião do estudo.

As informações relativas à função, mina, tempo de exposição (anos) e época trabalhada foram obtidas durante a anamnese e conferidas com os documentos dos autos do processo e com as carteiras de trabalho. Nos casos de discordância, foram consideradas as informações fornecidas pelo paciente, desde que ele não apresentasse problemas cognitivos.

A atribuição de escores para a intensidade da exposição foi feita conjuntamente por dois engenheiros de segurança do trabalho, um vinculado a uma empresa de segurança e medicina do trabalho e outro, a uma empresa empregadora. Foram utilizadas avaliações ambientais já existentes nas minas da empresa, constituídas por quantificações de sílica livre em diversas funções, minas e épocas.\*\*

Definiram-se duas épocas principais baseadas nas datas nas quais se deu a maior parte a mudança no processo de trabalho da via seca para via úmida em cada mina. Dessa forma, as oito minas existentes foram classificadas com relação à mudança no proces-

\*Instituto Nacional do Seguro Social. Ordem de Serviço n 609, de 5 de agosto de 1998: Aprova Norma Técnica sobre Pneumoconioses. Diário Oficial da União, n 158, de 19 de agosto de 1998, seção I, p. 53-60.

\*\*Lima DA, Lorenzo GV, Amaral LS, Sampaio MR. Relatório técnico das condições de segurança, higiene e medicina do trabalho e trabalho educativo na Mineração Morro Velho S/A. Belo Horizonte, Fundacentro, CEMG. 1991/1992. (5 volumes).

**Tabela 1** - Escores atribuídos à intensidade da exposição de acordo com as funções, para cada mina e período (de acordo com mudança do processo de trabalho da via seca para úmida).

Função	Mina															
	A			B			C		D		E		F e G		H	
	Até 1980	1981 a 1985	Após 1985	Até 1982	Após 1982	Até 1982	Após 1982	Até 1975	Após 1975	Até 1985	Após 1985	Até 1985	Após 1985	Até 1990	Após 1990	
Operador de planta de refrigeração	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Maquinista de elevador	3	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Sinaleiros de poços	3	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Gaioleiro	3	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Chefe de turno	3	3,5	2	2	1	2	1	3	3	3	3	3	3	3	2	
Encarregado	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Eletricista	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Mecânico	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Encanador	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Transportador de ferramentas	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Transportador de água	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Motoneiro	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Engatador de bonde	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Escoramento	5,5	3,5	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	
Feitor	6	4,5	3,5	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	2	
Operador de máquina de rampa	6	4,5	3,5	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	2	
Rasteleiro	6,5	5	4	5	3	5	3	4	3	4	3	4	3	3	2	
Operador de pá mecânica	6,5	5	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	3	2	
Operador de pá carregadeira	6,5	5	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	3	2	
Operador de jumbo	6,5	5	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	3	2	
Braçal	6,5	5	4	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	3	2	
Ajudante de perfurador	7	6	5	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	4	3	
Perfurador	7	6	5	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	4	3	

Zero: Indica ausência da referida função de acordo com as minas.

so de trabalho da seguinte forma: Mina A antes de 1980, entre 1981 e 1985 e depois de 1985; Minas B e C antes e depois de 1982; Minas D, E, F e G, antes e depois de 1975; Mina H, antes e depois de 1990 (Tabela 1).

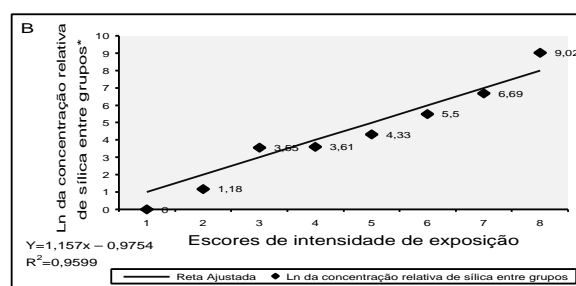
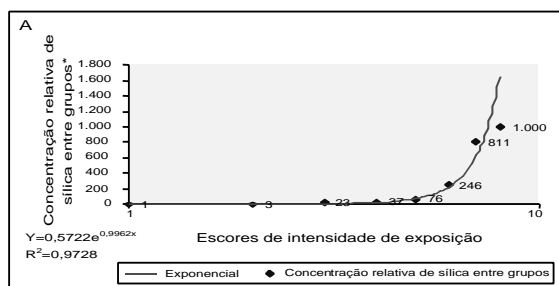
Foram identificadas 23 funções diferentes exercidas no subsolo das minas pelos trabalhadores incluídos no estudo, reunidas em três a seis subgrupos, de acordo com o grau de exposição à sílica, considerando simultaneamente a mina trabalhada e a época.

As medidas de sílica livre na fração respirável variaram de aproximadamente 12,45 mg/m<sup>3</sup> (pior situação correspondente à perfuração a seco ocorrida no passado) até valores próximos a 0,012 mg/m<sup>3</sup> (funções menos expostas em via úmida exercidas recentemente). Tomando o menor valor como referência e dividindo-se cada concentração pelo valor de referência, obtêm-se valores que variaram de 1 a

1.000 e que naturalmente são números puros, isto é sem unidade.

Para oito situações (combinação de mina, período e função) consideradas importantes, havia dados suficientes que permitiram estabelecer relação entre a concentração relativa de sílica (y) e o escore de intensidade de exposição (x) atribuído (variando de 1 a aproximadamente 7), como mostra a Figura 1A. Tomando-se o logaritmo neperiano da concentração é possível linearizar a relação exponencial dessa figura (ver Figura 1B). Obtém-se então a equação de regressão linear  $y=1,1579x - 0,9754$ , cujo ajuste é bom ( $R^2=96\%$ ). Os escores apresentados na Tabela 1 foram obtidos a partir deste modelo de regressão e da experiência de profissionais conhecedores da exposição de cada função exercida nas minas.

Denotando por  $F_{ij}$  o escore de intensidade de exposição (Tabela 1) e  $T_{ij}$  o tempo trabalhado na i-ésima mina



\*Divisão da concentração de sílica de cada situação pelo menor valor dentre as mesmas.

**Figura 1** - Ajuste de escores de intensidade de exposição em relação à concentração relativa de sílica dentre os grupos em A e ao Ln da concentração relativa em B.

em determinado período na *j*-ésima função (*i*=1,2, ..., 9 e *j*=1,2, ..., 23), a história de exposição cumulativa de cada trabalhador pode ser descrita pela equação:

$$I_{EXP} = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{23} F_{ij} T_{ij} \quad (1)$$

Em resumo, o índice proposto apresenta conteúdo quantitativo representado pelos escores atribuídos à intensidade da exposição (função, mina e época considerados simultaneamente) que, trabalhados com a duração da exposição (anos), fornece uma medida cumulativa final.

Os 140 pacientes estudados, foram distribuídos nas quatro categorias radiológicas de silicose (referidas como categoria 0, categoria 1, categoria 2 e categoria 3), respectivamente com os seguintes tamanhos:  $n_0=57$  (41%),  $n_1=48$  (34%),  $n_2=16$  (11%) e  $n_3=19$  (14%). O cálculo do poder para as comparações dos índices desses grupos foi baseado nos testes de médias de uma análise de variância a um fator com tamanhos de amostras desiguais disponível no *software* nQuery Advisor. Foi adotado o nível de significância de 5% e para valores plausíveis dos parâmetros necessários ao cálculo do poder, obtemos valores de poder superiores a 90%.

Como a distribuição do índice seguiu a distribuição normal, foram aplicados testes paramétricos para comparação das médias entre os grupos de interesse. Foram utilizados o teste *t* de *Student* e a técnica de análise de variância, respectivamente para comparação de categorias binárias ou múltiplas. O procedimento para localizar as diferenças entre categorias testadas neste último caso foi baseado no teste de Tukey.<sup>19</sup>

A validação indireta do índice em relação aos diagnósticos de silicose foi feita pela curva ROC (*Receiving Operating Characteristic*).<sup>23</sup> A área sob a curva ROC superior a 0,70 é considerada como boa capacidade de discriminação. Embora idealmente a utilização da curva ROC seja para avaliar acurácia de testes diagnósticos, também tem sido empregada em situações de ausência ou imperfeição do padrão-ouro.<sup>23</sup> Assim, mesmo que no presente estudo não se tenha o padrão-ouro para o diagnóstico (resultados anátomo-patológicos), optou-se pela utilização da curva ROC como uma investigação adicional sobre as qualidades do índice de exposição proposto. A análise foi feita no grupo completo considerando-se como diagnóstico de silicose aquele obtido pelo RX. Para o subgrupo *borderline* considerou-se em separado tanto o diagnóstico obtido pelo RX quanto pelo TCAR de tórax.

Foram utilizados os programas estatísticos SPSS 10.0 e nQuery Advisor 4.0.

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais.

## RESULTADOS

A idade dos pacientes variou de 37 a 88 anos, com média de 58,4 anos, todos do sexo masculino. As datas de admissão nas minas variaram de 1933 a 1986. Em relação à duração da exposição, a variação foi de um a 45 anos, com média de 15,8 anos. O tempo de afastamento da exposição, à época da avaliação, variou entre dois a 42 anos com média de 16,2 anos. O número de funções de cada indivíduo, no decorrer de seu contrato de trabalho, variou de uma a seis. A maior parte dos indivíduos (76%) exerceu duas ou três funções distintas ao longo de seu contrato de trabalho, sendo que 88% deles em algum momento foram trabalhadores "braçais": 41% "perfuradores", 18% "encarregados", 13% "ajudantes de perfurador" e 11% "feitores". O número de minas trabalhadas por indivíduo variou de uma a quatro, sendo a Mina A a mais freqüente, seguida da Mina B.

De acordo com critérios do presente estudo, 57 (40,7%) dos 140 pacientes examinados foram considerados não portadores de silicose (RX menor ou igual a 0/1) e 83, portadores (RX maior ou igual a 1/0).

Para o presente estudo, os pacientes foram divididos em dois subgrupos: 66 foram considerados como casos de silicose bem definidos à radiografia de tórax (mediana das três leituras radiológicas maior ou igual a 1/1) e os demais 74 como *borderline* (mediana das três leituras radiológicas igual ou menor que 1/0). Este último subgrupo foi submetido à TCAR, sendo que cinco deles não compareceram para realização do exame, restando, portanto, 69 com propedêutica completa.

A história de exposição obtida a partir da equação (1) variou de 6,00 a 185,50 (média=75,2; DP=34,36) no grupo completo. No subgrupo de casos *borderline* variou de 6,0 a 155,5 (média=54,0; DP=25,2).

Por meio da comparação feita pelo teste *t* de *Student* (Figura 2A), no grupo completo, a média do índice foi significativamente maior entre os casos de silicose que entre os não casos ( $p=0,008$ ). Em relação às quatro categorias principais de silicose, as médias do índice foram de 65,92, 73,13, 80,69 e 103,50 respectivamente para as categorias 0, 1, 2 e 3. Elas foram comparadas pela análise de variância, sendo encontrada diferença significativa entre todas ( $p<0,001$ ). Entretanto, pelo procedimento de comparações múltiplas de Tukey, foi identificada

**Tabela 2** - Resultados das comparações das médias do índice de exposição em relação aos desfechos no grupo completo e no subgrupo de casos *borderline*.

Diagnóstico por métodos de imagem	Média do índice nos não casos (N)	Média do índice nos casos (N)	Valor-p
Grupo completo (N=140)			
Silicose ao RX	65,92 (57)	81,54 (83)	0,008
Tuberculose ao RX	71,93 (115)	90,12 (25)	0,016
Enfisema ao RX	70,77 (120)	101,65 (20)	<0,001
Subgrupo <i>borderline</i> (N=69)			
Silicose ao RX	65,92 (57)	73,38 (12)	0,455
Silicose à TCAR	66,00 (59)	74,40 (10)	0,434
Tuberculose ao RX	67,69 (61)	63,56 (8)	0,727
Tuberculose à TCAR	68,14 (58)	62,36 (11)	0,576
Enfisema ao RX	66,83 (65)	73,50 (4)	0,681
Enfisema à TCAR	65,46 (49)	71,53 (20)	0,467

RX: Radiografia; TCAR: Tomografia computadorizada de alta resolução

diferença significativa apenas entre as categorias 0 para 3 e 1 para 3 (Figura 2B).

Ainda para o grupo completo, também foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as médias do índice em relação aos diagnósticos de enfisema (Figura 2C) e tuberculose (Figura 2D); ( $p < 0,001$  e  $p = 0,016$ , respectivamente).

No subgrupo constituído pelos casos *borderline*, as comparações das médias do índice de exposição à sílica entre casos e não casos de silicose, cujos diagnósticos foram obtidos por RX e por TCAR (Figura 3A e 3B), não evidenciaram diferença esta-

tisticamente significativa ( $p = 0,455$  e  $p = 0,434$ , respectivamente).

Também a comparação das médias do índice de exposição entre casos e não casos dos desfechos secundários, cujos diagnósticos foram feitos por RX, não foi significativa, conforme as Figuras 3C e 3D ( $p = 0,681$  e  $p = 0,727$ ). Posteriormente, comparou-se a diferença desses mesmos desfechos com diagnósticos obtidos pela TCAR, instrumento teoricamente mais sensível, porém permanecendo não significativa a diferença em relação ao índice de exposição ( $p = 0,467$  e  $p = 0,576$ , respectivamente).

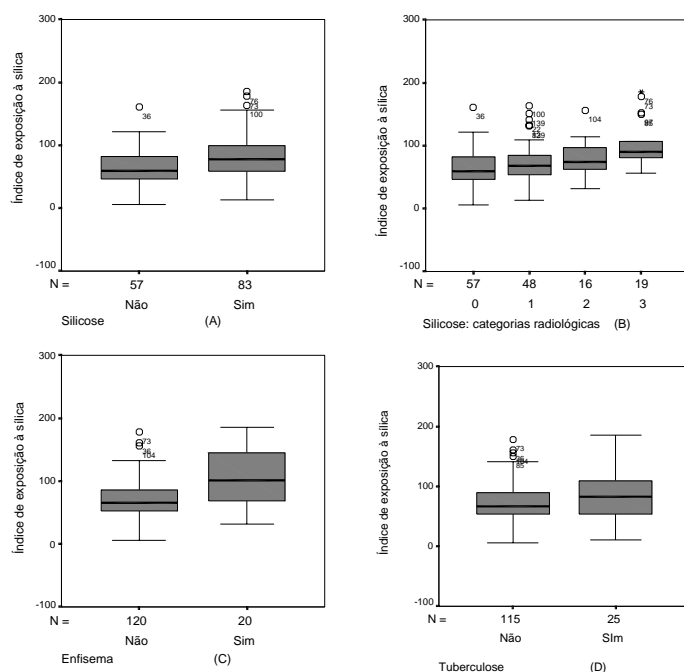
A Tabela 2 resume os resultados das comparações das médias do índice de exposição em relação aos desfechos estudados no grupo completo e no subgrupo de casos *borderline*.

A curva ROC foi utilizada para validação indireta do índice. A linha diagonal que divide a área em duas metades (0,50), mostra o nível no qual não há discriminação de diagnósticos. No grupo completo, cujos diagnósticos de silicose foram obtidos por RX, a área sob a curva foi de 0,633. Restringindo-se à análise do subgrupo de casos *borderline*, cujos diagnósticos de silicose foram obtidos por meio de RX, a área sob a curva foi de 0,596. Considerando-se os diagnósticos de silicose por TCAR, a área sob a curva foi de 0,604.

## DISCUSSÃO

O índice de exposição à sílica apresentou um poder discriminatório de razoável a bom quanto à ocorrência da silicose, conforme evidenciado pela curva ROC<sup>23</sup> aplicada ao grupo completo.

No entanto, no subgrupo de casos



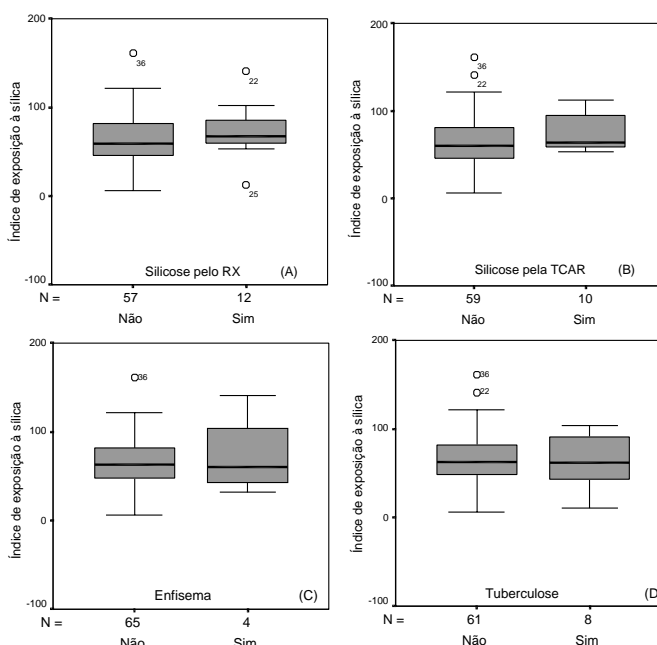
**Figura 2** - Box-plot do índice de exposição à sílica nos 140 pacientes classificados através do RX de tórax entre casos de silicose ( $\geq 1/0$ ) e não casos (0/0 e 0/1) em A; nas quatro categorias radiológicas da silicose (0, 1, 2, 3) em B; e de acordo com a presença ou não de sinais de enfisema pulmonar ao RX de tórax em C; e de acordo com a presença ou não do diagnóstico de Tuberculose pulmonar (história e/ou seqüelas típicas ao RX de tórax) em D.

*borderline* de silicose, o índice não se mostrou suficientemente discriminativo para diferenciar casos de não casos, com diagnósticos obtidos por meio de RX. Considerando-se o uso da TCAR, método teoricamente mais acurado que o RX para detecção precoce de imagens, o poder discriminatório foi ligeiramente melhor, porém ainda não satisfatório. Não foi encontrado nenhum artigo que tenha se proposto a estudar índices de exposição apenas em casos *borderline*, para fins de comparação. É possível que os dados utilizados para a construção do índice não sejam suficientemente acurados para discriminar os níveis de exposição no grupo *borderline*, que é um grupo mais homogêneo que o grupo completo.

O índice não pretende captar todos os determinantes envolvidos na exposição à sílica, nem tampouco aborda os mecanismos de deposição e *clearance* pulmonar. De fato, existem outros fatores de risco que devem ser levados em conta para a ocorrência de silicose, tais como susceptibilidade individual, fatores genéticos, além de detalhes da exposição à sílica não captados pelo índice. Além disso, não foram levados em consideração fatores além da exposição efetiva à sílica, como o período total de permanência da sílica nos pulmões, nem o período de afastamento da exposição ou período de latência, que podem ter influência na ocorrência de silicose.<sup>15,18</sup> Tais fatores serão analisados em outro estudo.

Reconhece-se que as “medidas resumo” em geral são sujeitas a imperfeições, especialmente quando feitas de modo retrospectivo pelos dados obtidos da história ocupacional. Entretanto, o índice proposto pretende, de modo simples, resumir e estimar a exposição à sílica baseada em informações recuperáveis pela anamnese. A exposição assim sintetizada poderá ser relacionada aos desfechos principais e, eventualmente, colaborar na condução dos casos.

Ao contrário dos índices tradicionais de exposição à sílica, que são elaborados a partir de medidas quantitativas diretas ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) trabalhadas de diversas formas,<sup>3,10,13,17,18</sup> a proposta deste índice foi transformar estas quantificações ambientais em escores, de modo a tornar sua aplicação mais próxima da prática clínica. Dessa forma, com dados possíveis de se obter pela anamnese ocupacional, pode-se localizar em quais classes o paciente se enquadra e proceder o cálculo do índice, o que, de certa forma, simplifica a abordagem. Poucos autores utilizaram este tipo de estimati-



**Figura 3** - Box-plot do índice de exposição à sílica no subgrupo de 69 pacientes divididos entre casos de silicose (RX=1/0) e não casos (RX= 0/0 e 0/1) em A; entre casos de silicose (TCAR classificada como categoria 1) e não casos (TCAR classificada como 0) em B; distribuídos de acordo com a presença ou não de sinais de enfisema pulmonar ao RX de tórax em C; distribuídos de acordo com a presença ou não do diagnóstico de Tuberculose pulmonar (história e/ou seqüelas típicas ao RX de tórax) em D.

va em classes ou escores para comparação com desfechos relacionados à exposição.<sup>22</sup>

Esta forma de avaliação pode ainda ser utilizada, com as devidas adaptações e criação de escores próprios, em outros ramos de atividade profissional nos quais exista exposição à sílica ou a outro elemento.

Deve ainda ser considerado que, como se trata de uma medida cumulativa, foi pressuposto que os componentes de intensidade e duração da exposição tenham comportamentos semelhantes, o que pode nem sempre ocorrer. Estudo recente<sup>3</sup> mostrou que grandes intensidades de exposição, ainda que por curtos períodos, são mais importantes que exposições prolongadas em concentrações menores.

A literatura mostra que a ocorrência de tuberculose pulmonar é muito maior em portadores de silicose que em expostos à sílica não portadores da doença. A exposição à sílica, mesmo sem evidências da presença de silicose, é um fator de risco para o desenvolvimento de tuberculose pulmonar, inclusive com gradiente dose-resposta em relação à magnitude da exposição à sílica.<sup>5,9</sup> O mesmo ocorre em relação ao enfisema pulmonar, porém sofrendo influência do tabagismo.<sup>11</sup>

Quando se analisou o grupo completo (n=140), consideraram-se os diagnósticos de tuberculose e enfisema fundamentados apenas em achados radiológicos, tendo em vista que nem todos foram submetidos à TCAR. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em relação ao índice entre casos e não casos de tais desfechos.

Porém, como o presente estudo refere-se a um grupo com diagnóstico prévio de silicose a ser confirmado em processo pericial, pode-se supor que a tuberculose tenha sido um dos principais diagnósticos confundidores. Dessa forma, acredita-se que alguns dos expostos não portadores de silicose tenham entrado no processo judicial pôr terem apresentado tuberculose no passado, tida como silicose naquela ocasião. Assim, a associação entre exposição à sílica e tuberculose pode ter sido subestimada, especialmente no subgrupo de *borderline*, devido a um “excesso” de tuberculose nos não portadores de silicose, por sua vez menos expostos à sílica. É possível que o mesmo tenha acontecido em relação ao enfisema. Tal fato talvez possa ser uma das explicações da ausência de diferença das médias do índice de exposição em relação à presença dos desfechos secundários no subgrupo de casos *borderline* de silicose. Nesses casos, foram encontrados inclusive valores ligeiramen-

te mais altos nas médias do índice dentre os não portadores de tuberculose.

Concluindo, embora seja possível construir um indicador-síntese de exposição à sílica a partir da história ocupacional, os presentes achados sugerem que seriam necessárias informações mais detalhadas sobre a exposição para melhorar o poder discriminatório. Seria necessário incorporar outros elementos, como os clínicos e funcionais, para melhor entendimento do índice nos casos *borderline* da doença.

## AGRADECIMENTOS

À equipe da Mineração Anglo-Gold, em especial aos Srs. Hermano Gomes Machado, Cristovão Chiaradia e Marcelo Lopez e ao Sr. Lênio Servio Amaral da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro), pela contribuição na atribuição dos escores de exposição às minas e funções; aos radiologistas Dr. Cid Sérgio Ferreira, Dra. Maria Luíza Bernardes, Dr. Jorge Issamu Kavakama e Dra. Thaís Abreu de Castro, pela leitura das radiografias e tomografias; ao Dr. Eduardo Algranti, da Fundacentro, pelo apoio técnico científico durante a realização do trabalho.

## REFERÊNCIAS

1. Algranti E, De Capitani EM, Carneiro APS, Saldiva PHN. Patologia respiratória relacionada com o trabalho. In: Mendes R, editor. Patologia do trabalho. 2ª ed. Rio de Janeiro: Atheneu; 2003. p. 1329-97.
2. Begin R, Ostiguy G, Fillion R, Colman N. Computed tomography scan in early detection of silicosis. *Am Rev Respir Dis* 1991;144(3 Pt 1):697-705.
3. Buchanan D, Miller BG, Soutar CA. Quantitative relations between exposure to respirable quartz and risk of silicosis. *Occup Environ Med* 2003;60(3):159-64.
4. Carneiro APS, Siqueira AL, Algranti E, Ferreira CS, Kavakama JI, Bernardes ML, et al. Estudo comparativo entre tomografia computadorizada de alta resolução e radiografia de tórax no diagnóstico da silicose em casos incipientes. *J Pneumol* 2001;27(4):199-205.
5. Cowie RL. The epidemiology of tuberculosis in gold miners with silicosis. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;150(5 Pt 1):1460-2.
6. Fraser RS, Muller NL, Colman N, Paré PD. Diagnosis of diseases of the chest. 4th ed. Philadelphia (PA): Saunders; 1999. Chronic obstructive pulmonary disease. v. 3, p. 2168-263.
7. Fraser RS, Muller NL, Colman N, Paré PD. Diagnosis of diseases of the chest. 4th ed. Philadelphia (PA): Saunders; 1999. Mycobacteria. v. 2, p. 799-873.
8. Gevenois PA, Sergeant G, De Maertelaer V, Gouat F, Yernault JC, De Vuyst P. Micronodules and emphysema in coal mine dust or silica exposure: relation with lung function. *Eur Respir J* 1998;12(5):1020-4.
9. Hnizdo E, Murray J. Risk of pulmonary tuberculosis relative to silicosis and exposure to silica dust in South African gold miners. *Occup Environ Med* 1998;55(7):496-502.
10. Hnizdo E, Sluis-Cremer GK. Risk of silicosis in a cohort of white South African gold miners. *Am J Ind Med* 1993;24(4):447-57.
11. Hnizdo E, Sluis-Cremer GK, Abramowitz JA. Emphysema type in relation to silica dust exposure in South African gold miners. *Am Rev Respir Dis* 1991;143(6):1241-7.
12. Hnizdo E, Vallyathan V. Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust: a review of epidemiological and pathological evidence. *Occup Environ Med* 2003;60(4):237-43.



13. Hughes JM, Weill H, Rando RJ, Shi R, McDonald AD, McDonald JC. Cohort mortality study of north american industrial sand workers II: case-referent analysis of lung cancer and silicosis deaths. *Ann Occup Hyg* 2001;45(3):201-7.
14. International Labour Office. Guidelines for use of ILO international classification of radiographs of pneumoconioses. Geneva; 1980. (Occupational Safety and Health Series, 22).
15. Kreiss K, Zhen B. Risk of silicosis in a Colorado mining community. *Am J Ind Med* 1996;30(5):529-39.
16. Mannetje A, Steenland K, Attfield M, Boffetta P, Checkoway H, DeKlerk N, et al. Exposure response analysis and risk assessment for silica and silicosis mortality in a pooled analysis of six cohorts. *Occup Environ Med* 2002;59(11):723-8.
17. Mannetje A, Steenland K, Checkoway H, Koskela RS, Koponen M, Attfield M, et al. Development of quantitative exposure data for a pooled exposure-response analysis of 10 silica cohorts. *Am J Ind Med* 2002;42(2):73-86.
18. Rosenman KD, Reilly MJ, Rice C, Hertzberg V, Tseng CY, Anderson HA. Silicosis among foundry workers: implication for the need to revise the OSHA standard. *Am J Epidemiol* 1996;144(9):890-900.
19. Rosner B. Fundamentals of biostatistics. 4<sup>th</sup> ed. New York (NY): Duxbury; 1995.
20. Steenland K, Mannetje A, Boffetta P, Stayner L, Attfield M, Chen J, et al. Pooled exposure-response analyses and risk assessment for lung cancer in 10 cohorts of silica-exposed workers: an IARC multicentre study. *Cancer Causes Control* 2001;12(9):773-84.
21. Talini D, Paggiaro PL, Falaschi F, Battolla L, Carrara M, Petrozzino M, et al. Chest radiography and high resolution computed tomography in the evaluation of workers exposed to silica dust: relation with functional findings. *Occup Environ Med* 1995;52(4):262-7.
22. Tjoe Nij E, Burdorf A, Parker J, Attfield M, Duijvenbooden C, Heederik D. Radiographic abnormalities among construction workers exposed to quartz containing dust. *Occup Environ Med* 2003;60(6):410-7.
23. Zhou XH, Obuchowski NA, McLish D K. Statistical methods in diagnostic medicine. New York (NY): Wiley; 2002.