

Avaliação de Risco de Câncer Associado ao Amianto após o Atentado ao World Trade Center em 11 de Setembro

Robert P. Nolan, PhD
Malcolm Ross, PhD
Gordon L. Nord, PhD
Charles W. Axten, PhD
Jeffrey P. Osleeb, PhD
Stanislav G. Dornin, MD, DSc
Bertram Preço, PhD
Richard Wilson, DPhil

Objetivo: Procuramos estimar o risco de câncer associado ao amianto para os residentes da região sul de Manhattan, atribuível ao amianto lançado no ar após o atentado ao World Trade Center (WTC) de Nova York, em 11 de Setembro. **Métodos:** A exposição foi estimada a partir de dados disponíveis e projeções válidas baseadas nestes dados. O risco de câncer foi avaliado por meio de um modelo de risco, que diferencia os tipos de fibra de amianto, e o modelo da Agência de Proteção Ambiental Americana dos Estados Unidos (EPA), que não diferencia os tipos de fibra de amianto e combina o risco de mesotelioma e o risco de câncer de pulmão. **Resultados:** O limite superior de número de casos esperados de câncer associado ao amianto é menor que um caso, durante a expectativa de vida da população, segundo o modelo de risco específico para tipos de fibra; e 12 casos de câncer relacionado ao amianto, segundo o modelo de risco da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. **Conclusões:** O risco de câncer associado à exposição ao amianto resultante do colapso do WTC para os residentes da região sul de Manhattan é desprezível. (J Occup Environ Med. 2005;47:817-825)

Após a atrocidade que destruiu o World Trade Center de Nova York (WTC), ocorrida em 11 de setembro,

levantaram-se questões sobre o risco de câncer associado ao amianto em função da poeira inalada. A primeira nuvem de poeira deu origem a uma concentração extremamente alta de partículas aéreas, que foi breve, mas inesquecível. Vinte e quatro horas depois, a concentração de poeira no ar era apreciavelmente menor, mas permanecia a dúvida de até que ponto a exposição ao amianto estaria acima dos valores normais durante os 10 meses necessários à remoção de 1,5 tonelada de escombros resultantes do colapso dos edifícios. Este artigo irá estimar o risco de desenvolvimento de câncer de pulmão e mesotelioma em função da exposição ao amianto, incluindo sua incerteza, através das seguintes questões: Quais eram o(s) tipo(s) de fibra de amianto e sua(s) concentração(ões) no ar? Quando foi que os níveis de partículas aéreas de amianto no ambiente pós-11 de setembro retornaram aos níveis históricos da cidade de Nova York? Qual é a incidência provável de câncer associado ao amianto em consequência desta exposição?

O monitoramento do amianto no ar realizado pela EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) após o atentado não se baseou em parâmetros de saúde ou na aquisição de dados para avaliação de risco. Pouca ou nenhuma atenção foi dada à realização do tipo de amostragem do ar necessário à condução de uma avaliação moderna do risco de câncer associado ao amianto para o atentado de 11 de setembro.

Origem da Nuvem de Poeira

O exterior do WTC era constituído de aço, sendo que não se utilizou alvenaria. Portanto, os pisos de concreto (3.716 m² ou 40.000 pés² por piso), material de proteção ao fogo (5.000 toneladas), material de isolamento e divisórias de gesso foram as principais fontes da poeira resultante.^{2,3} Duas fotografias tiradas a 7 milhas (aproximadamente 11 km) de distância, durante os primeiros 8 minutos, revelaram a rapidez com que a pressão de ar gerada pelo colapso da torre levantou a nuvem de poeira. A nuvem atingiu tal altura que nenhum arranha-céu na vizinhança do WTC,

Do Centro de Estudos Aplicados de Ciências Ambientais e da Terra da Escola de Pós-Graduação e Centro Universitário da City University of New York, Nova York; Centro Federal de Controle Sanitário e Controle Epidemiológico, Ministério de Saúde Pública, Moscou, Federação Russa; Price Associates, Inc, White Plains, New York; e Departamento de Física e Centro para Análise de Risco, Universidade de Harvard, 9 Oxford Street Rear, Cambridge, Massachusetts.

Financiado com verbas para Tecnologia Avançada da Educação Superior do Estado de NY e da Fundação Internacional de Pesquisa Ambiental da cidade de Nova York.

Endereço atual de Jeffrey P. Osleeb: Departamento de Geografia, Universidade de Connecticut, 215 Glenbrook Road, Unit 4148, Storrs, CT 06269-4148.

Endereço para correspondência: Dr R. P. Nolan, Center for Applied Studies of the Environmental & Earth and Environmental Sciences of the Graduate School and University Center of the City University of New York, 365 Fifth Avenue, New York, NY 10016; E-mail: rnolan@gc.cuny.edu.

Copyright © do American College of Occupational and Environmental Medicine

DOI: 10.1097/01.jom.0000167273.17109.6d

muitos com altura superior a 244 m, ficou visível. No nível da rua, a poeira movia-se como uma parede de cinza vulcânica (Fig. 1A-C). Cinco horas depois, a poeira já tinha se dissipado suficientemente para que a silhueta dos edifícios da cidade ficasse parcialmente visível, agora sem duas de suas torres mais altas (Fig. 2).

Obviamente houve mistura de partículas dentro na nuvem, o que indica que a poeira assentada nos 6 dias seguintes ao atentado, o período deste estudo, seria representativa da composição presente na nuvem de poeira. Uma de nossas hipóteses importantes é a consideração de que a amostragem realizada é de fato representativa. No dia seguinte ao colapso do WTC, a concentração da poeira circulante no ar era apreciavelmente menor, mas ainda permanecia acima dos valores normais. A remoção de 1,5 milhão de toneladas de escombros exigiu 20 a 30 mil caçambas e demorou 10 meses. A movimentação de equipamento pesado e outros veículos poderia ter promovido uma nova indução da poeira assentada contendo amianto, apesar dos esforços de contenção da poeira, como manter as ruas molhadas e a utilização de caminhões com equipamento de aspiração (Fig. 3). Se a exposição tivesse permanecido elevada por um período mais longo, contrariando nossa análise de amianto no ar, o esperado seria um aumento no risco de câncer associado ao amianto.

Materiais e Métodos

Seis amostras representativas da poeira assentada foram coletadas pelo menos 6 dias após o 11 de setembro (locais apresentados na Fig. 4) e foram analisadas para presença de minerais de amianto utilizando-se Difração de Raio-X (XRD), Microscopia Óptica com Luz Polarizada (PLM) e Microscopia Eletrônica Analítica (ATEM). Durante o mês de outubro, amostras volumosas de ar externo foram coletadas em um local na região sul de Manhattan. Estas amostras foram preparadas por transferência direta para análise por microscopia eletrônica (ATEM).⁴ Amostras de ar históricas, coletadas em Nova York e na cidade mineradora de amianto crisotila, Asbest City, na Federação Russa, foram utilizadas como índices de controle baixo e alto, respectivamente.^{5,6}

Resultados

Poeira Assentada

Os padrões de difração do pó da poeira assentada indicaram a presença de três fases cristalinas principais: gipsita, calcita, e quartzo, que são consistentes com a composição conhecida dos materiais de construção do WTC.^{2,3} Além disso, cada padrão de difração foi examinado à procura de picos mais intensos dos minerais do amianto. Não foi encontrado nenhum, indicando que se o amianto estava presente, corresponderia a menos de 1% por massa. Nenhum mineral de amianto foi visualizado através de PLM em nenhuma das amostras de poeira, o que reduziu o limite da concentração de amianto para menos de 0,1% por volume. A análise ATEM não acusou amianto anfíbio de nenhum tipo, mas traços de crisotila estavam presentes em seis das amostras de poeira assentada.

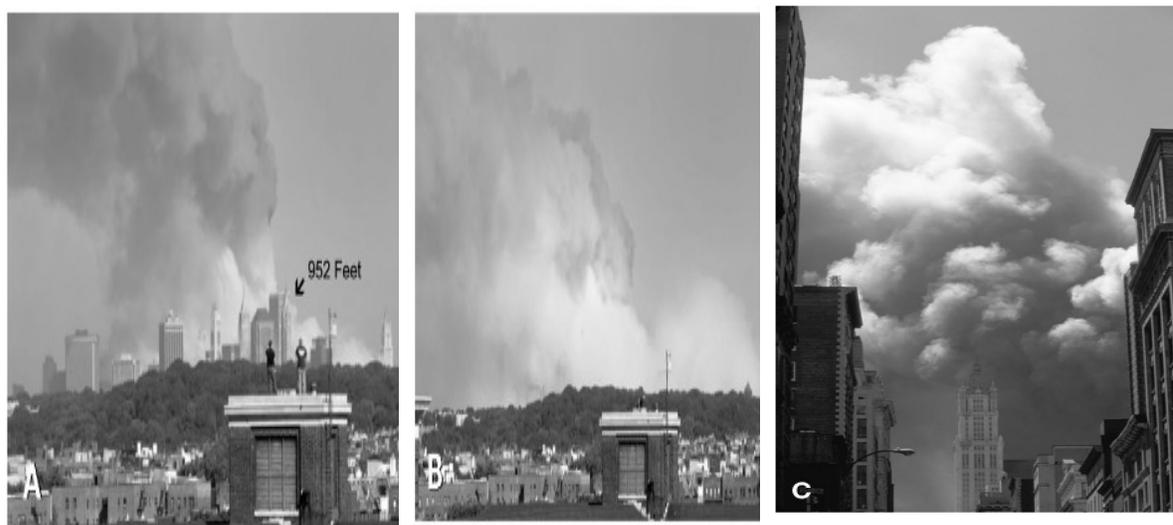


Fig. 1. (A) Um minuto e meio após o colapso da Torre Sul, a poeira de material de construção de cor clara tornou-se mais visível e ascendeu rapidamente a alturas superiores ao prédio mais alto da região sul de Manhattan. (B) Com 8 minutos, a linha do horizonte desapareceu na nuvem de poeira. (C) A nuvem de poeira movimentando-se em zonas bastante definidas ao redor do Edifício Woolworth, na Broadway



Fig. 2. Cinco horas após o colapso da primeira torre, a linha do horizonte ficou parcialmente visível.



Fig. 3. Caminhões na Rua Chambers aguardando para coletar os escombros do WTC durante a primeira semana de outubro de 2001. Note que as ruas em volta do WTC foram mantidas úmidas para conter a poeira.

Estima-se que a concentração de amianto crisotila na poeira assentada seja menor que 0,01% por volume. A composição da poeira assentada é uma orientação para entender a exposição ao amianto no ar, que serve como base para a avaliação de risco.

Todas as amostras de poeira assentada apresentaram composição semelhante e as três fases cristalinas principais (quartzo, gipsita e calcita) identificadas pelas análises XRD e PLM também foram encontradas com a ATEM. Cada amostra continha traços de amianto crisotila, consistente com relatos descrevendo o uso de amianto no WTC.⁷

Concentração de Amianto no Ar Após 11 de setembro

As partículas aéreas foram coletadas em 6 filtros de membrana por um período de 3 semanas em outubro, para determinar o tipo e a concentração de amianto presente. Todas as amostras pós-11 de setembro foram coletadas em um único local durante o dia e a noite, porque o programa de remoção de escombros do WTC realizava tarefas diferentes a noite e a movimentação das partículas aéreas é afetada por mudanças de temperatura devido à luz solar (Fig. 4). Foram coletadas amostras de áreas externas aos prédios para determinar se os aumentos mensuráveis na concentração de amianto no ar poderiam estar associados à poeira residual da imensa nuvem de poeira contendo traços de amianto crisotila, e com o processo de remoção dos escombros.

Todo material particulado de 11.244 a 14.293 ml de ar foi examinado nas seis amostras com um aumento de 20.000X via ATEM. Este procedimento é o método mais sensível para a detecção de amianto no ar; a preparação de transferência direta do filtro de ar causa mudanças mínimas na distribuição por tamanho e qualquer fibra de amianto presente torna-se visível sob estas condições. Retirando-se amostras com volumes de ar maiores do que o usual para os testes e examinando-se uma extensão maior do filtro, a sensibilidade foi de ~10 vezes superior àquela normalmente adotada para monitorar amianto no ar em avaliações de risco para ambiente não profissional, e 25 vezes mais sensível do que o estipulado na Lei de Resposta Emergencial ao Perigo Representado pelo Amianto (AHERA - Asbestos Hazard Emergency Response Act) adotado pela EPA.^{1,5} Nenhuma fibra de amianto foi encontrada em 73.475ml de ar externo examinado (Tabela 1). Para os cálculos de exposição a seguir, utilizamos os 95% superiores do limite de confiança apresentado na Tabela 1, que seria o limite superior para a real concentração de amianto no ar baseado nas medições realizadas. A concentração de amianto ao ar livre na região sul de Manhattan, 26 dias após o 11 de setembro, foi aproximadamente 500 vezes inferior à concentração do ar ambiente em uma comunidade de mineração de crisotila, e situou-se na extremidade inferior dos níveis normais registrados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (Fig. 5).^{6,8}

Avaliação da Exposição Acumulada ao Amianto Associada ao 11 de setembro

Uma avaliação moderna de riscos de câncer associado ao amianto utiliza informações sobre o tipo de amianto e a exposição acumulada, que representa a intensidade e duração da exposição normalmente expressa em fibras por mililitro multiplicado pelos anos de exposição (f/ml x anos). As amostras de ar externo na cidade de Nova York antes do 11 de setembro foram sistematicamente inferiores a 0,0008 f/ml para todos os tipos de fibra de amianto medindo $\geq 5 \mu\text{m}$ (Figs. 5 e 6).⁵ Devido à inexistência de amianto anfíbio na poeira assentada, considerou-

se apenas o amianto crisotila na discussão do limite superior (resultados semelhantes relacionados à presença de tipos de fibras de amianto foram relatados por outros).⁹

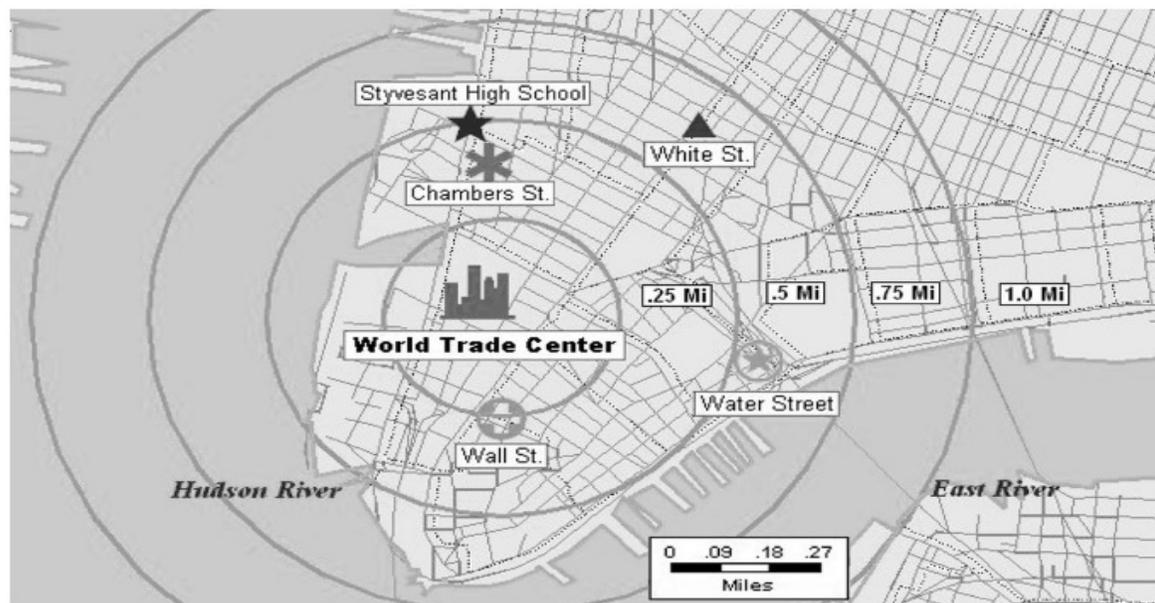


Fig. 4. A área em destaque da região sul de Manhattan tem 57.511 residentes de acordo com o Censo de 2.000 e para fins desta avaliação de risco foi usada como população geral. Foram coletadas três amostras de poeira assentada na área da Escola Secundária de Stuyvesant na Rodovia Westside (★), uma amostra de um automóvel na Rua Chambers (*), uma de um furgão na Rua White (▲) e uma amostra a sudeste do WTC (:). As seis amostras de ar ambiente foram coletadas na Rua Water (⊙) próximo à ponte de Brooklyn.

Até onde se sabe, não há nenhum relato de dados de amostragem do ar para a nuvem de poeira inicial, em 11 de setembro, além de ser questionável se tal aerossol denso poderia ter sido analisado em relação ao tipo e concentração de amianto respirável, de forma a fornecer resultados significativos. Considerando a quantidade mínima de amianto crisotila na poeira assentada, estima-se que a concentração máxima de amianto no ar seja de 50 f/ml, com fibras medindo $\geq 5 \mu\text{m}$. Utilizar a análise da poeira assentada para determinar qual o potencial de estas fibras de amianto serem respiráveis quando presentes no ar, e em qual concentração, é algo problemático. A hipótese de exposição elevada é semelhante às exposições históricas relatadas em ambientes não controlados de minas e processadoras de amianto crisotila, onde o minério contém um mínimo de 2 a 4% de amianto - 100 vezes mais do que na poeira gerada pelas Torres Gêmeas. Esta, portanto, seria uma hipótese pessimista e nós a tomamos como um limite superior (Fig. 5).¹⁰

TABELA 1

Resultados da Análise via ATEM de Seis Amostras de Ar Externo Coletadas na Rua Water em Outubro de 2001

Data	Amianto		Volume de Ar Analisado (ml)	Sensibilidade Fibra/ml	Amianto Crisotila
	>5 μm	<5 μm			Total em Suspensão
					Concentrações 95% LSC* Fibra/ml
08/10/01	0	0	11,244	0.00009	0.00027
09/10/01	0	0	11,319	0.00009	0.00026
10/10/01	0	0	11,371	0.000088	0.00026
21/10/01	0	0	13,530	0.000074	0.00022
25/10/01	0	0	11,718	0.000085	0.00026
30/10/01	0	0	14,293	0.00007	0.00021
Consolidação	0	0	73,475	0.00001	0.00004

Apesar de não encontrarmos amianto em nenhuma das amostras, para os cálculos utilizamos a distribuição de Poisson o 95º percentil superior, que representa 3 fibras em cada caso. Este 95º percentil superior da medição consolidada ou 0,00004 f/ml foi utilizado na avaliação de risco para podermos verificar se o nível de fibras de amianto em suspensão tinha voltado aos níveis de base 27 dias após o 11 de setembro.

*Limite Superior de Confiança.

Fotografias tiradas aproximadamente 5 horas após o colapso da primeira torre indicam que a poeira em suspensão assentou-se rapidamente (Fig. 2). Considerou-se que a concentração de amianto crisotila no ar diminuiu em 50 vezes durante as 5 horas iniciais, até níveis de não mais do que 1 f/ml com fibras de $\geq 5 \mu\text{m}$ de comprimento. Em seguida, considerou-se que a concentração diminuiu linearmente até chegar aos níveis normais quando fizemos a primeira coleta de ar 26,4 dias depois, em 8 de outubro (Fig. 1, Fig. 6). Como existe a probabilidade de que esta diminuição tenha sido exponencial, nossa hipótese de que houve uma diminuição linear é conservadora.

A EPA começou a coletar amostras de ar em 15 de setembro e continuou este trabalho até 8 de outubro, totalizando 8.870 amostras de ar da região sul de Manhattan após o 11 de setembro, para análise por ATEM.¹¹ Vinte e duas amostras de ar (0,24%) excederam o limite AHERA aceitável de 70 estruturas por milímetro quadrado (S/mm^2), com comprimento superior ou igual a $0,5 \mu m$. As amostras que excederam o padrão da AHERA foram coletadas principalmente no perímetro do Ponto Zero e no aterro em Staten Island. O limite imposto pela AHERA não é um parâmetro de saúde. Na verdade, trata-se do limite superior de contaminação por amianto do filtro coletor. Baseando-se na área do filtro examinada para presença de fibras e o volume de amostra de ar exigido pelo protocolo da AHERA, o valor $70 S/mm^2$ corresponde a aproximadamente $0,02 S/ml \geq 0,5 \mu m$ de comprimento. Nem todas as estruturas são fibras e o número S/ml será sempre igual ou maior do que o número f/ml . Portanto quando o valor S/mm^2 for convertido em f/ml , os valores de exposição representam os limites superiores.

As primeiras amostras de ar coletadas após o 11 de setembro (pela EPA, em 15 de setembro) correspondem a $0,038 f/ml$ e $0,048 f/ml$. Dez outras amostras de ar (intervalo de $0,021-0,164 f/ml$, média de $0,04 f/ml \geq 5 \mu m$ de comprimento para todas as 12 amostras de ar) ficaram acima de $0,02 f/ml$ antes de coletarmos nossa primeira amostra, em 8 de outubro. Embora as amostras de ar tenham uso restrito para avaliação de risco, que exige que se determine o número e tipos de fibras de amianto com $\geq 5 \mu m$ de comprimento, é interessante constatar que a quantidade total de fibras presentes esteja abaixo do que foi considerado para a fração de comprimento $\geq 5 \mu m$.

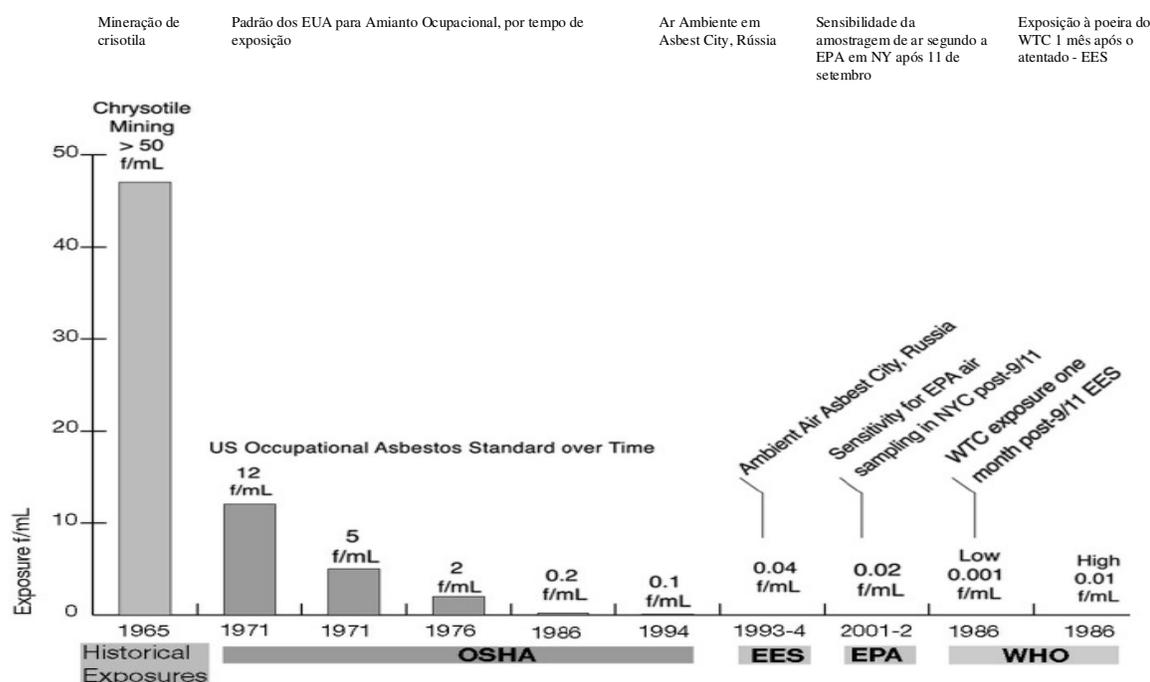


Fig. 5. Comparação da exposição ao amianto no colapso do complexo WTC com dados históricos, permissíveis e anteriores à exposição ao amianto. Note-se que a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA) não estabelece a concentração real de asbesto no ar, mas apenas relata a quantidade de estruturas por unidade de área do filtro coletor (o EPA f/ml acima é uma estimativa). A EPA não define "estrutura" como nenhum dos seis tipos regulamentados de amianto. Portanto, o tipo de fibra não é conhecido. Ciências Ambientais e da Terra (EES) constatou que as concentrações históricas de amianto no ar na cidade de Nova York não eram diferentes daquelas medidas 26 dias após 11 de setembro.

Em nossa estimativa de exposição, consideramos uma exposição média de $0,5 f/ml$ de amianto crisotila com $\geq 5 \mu m$ de comprimento para o período de 26,4 dias desde a limpeza inicial da poeira pesada em suspensão, 5 horas após a colisão, até que o nível inicial tivesse sido restabelecido em 8 de outubro. A média das 12 maiores concentrações relatadas pela EPA durante aquele período, $0,04 f/ml \geq 5 \mu m$ de comprimento, tem ordem de grandeza inferior à hipótese levantada neste estudo e seria ainda mais baixa se o comprimento da fibra fosse levado em consideração. No que concerne o período inicial de exposição de 5 horas, consideramos o que provavelmente seria a estimativa mais pessimista para exposição, antes do restabelecimento dos níveis de base, em 8 de outubro.

Nossa estimativa para o aumento incremental, baseado no episódio de 11 de setembro, na exposição ambiente ao amianto para um residente típico da região sul de Manhattan tem por base a análise da poeira assentada e da amostragem de ar. O objetivo era avaliar a elevação incremental do risco de câncer associada a esta exposição através da aplicação de modelos quantitativos de avaliação de risco. Calculamos dois índices de exposição: exposição acumulada no tempo de vida a ser utilizada em modelos de risco para câncer de pulmão e mesotelioma, desenvolvidos por Hodgson e Darnton,¹² e a exposição diária média no tempo de vida (lifetime average daily exposure - LADE), para ser usada com o modelo de risco agregado da EPA para câncer de pulmão e mesotelioma.¹³

Os níveis de exposição presumidos desde 11 de setembro até a coleta de nossa primeira amostra em 8 de outubro encontram-se representados no gráfico da Fig. 6. Calculamos a seguir a exposição cumulativa para este período:

Apesar de o nível inicial de 50 f/ml ter caído até aproximadamente 1 f/ml durante as primeiras 5 horas após o colapso da primeira torre, em 11 de setembro, nossa estimativa é o limite superior das exposições, ao estabelecer o valor de 50 f/ml durante este intervalo de 5 horas:

$$50 \text{ f/mL} [5 \text{ horas}/(24 \text{ horas/d} \times 365 \text{ dias/ano})] = 0,029 \text{ f/ml} - \text{anos};$$

para os 26,4 dias seguintes, nossa estimativa é a seguinte:

$$(1,0 \text{ f/ml} - 0,0004 \text{ f/ml})/2 \times (26,4 \text{ dias}/365 \text{ dias/ano}) = 0,036 \text{ f/ml} - \text{anos}$$

A exposição acumulada total é a soma das exposições para estes dois períodos, como se segue:

$$\text{Total da Exposição Ambiental Cumulativa ao Amianto Crisotila} = 0,065 \text{ f/ml} \times \text{anos}$$

Qualquer indivíduo não exposto à nuvem de poeira das 5 horas iniciais em 11 de setembro, submeteu-se a menos da metade da exposição ambiental cumulativa ao amianto crisotila. Devido à ausência de fibras de amianto em todas as amostras de ar, o limite superior de confiança de 95% para as amostras combinadas, 0,00004 f/ml, foi utilizado como concentração normal de fibras de amianto.

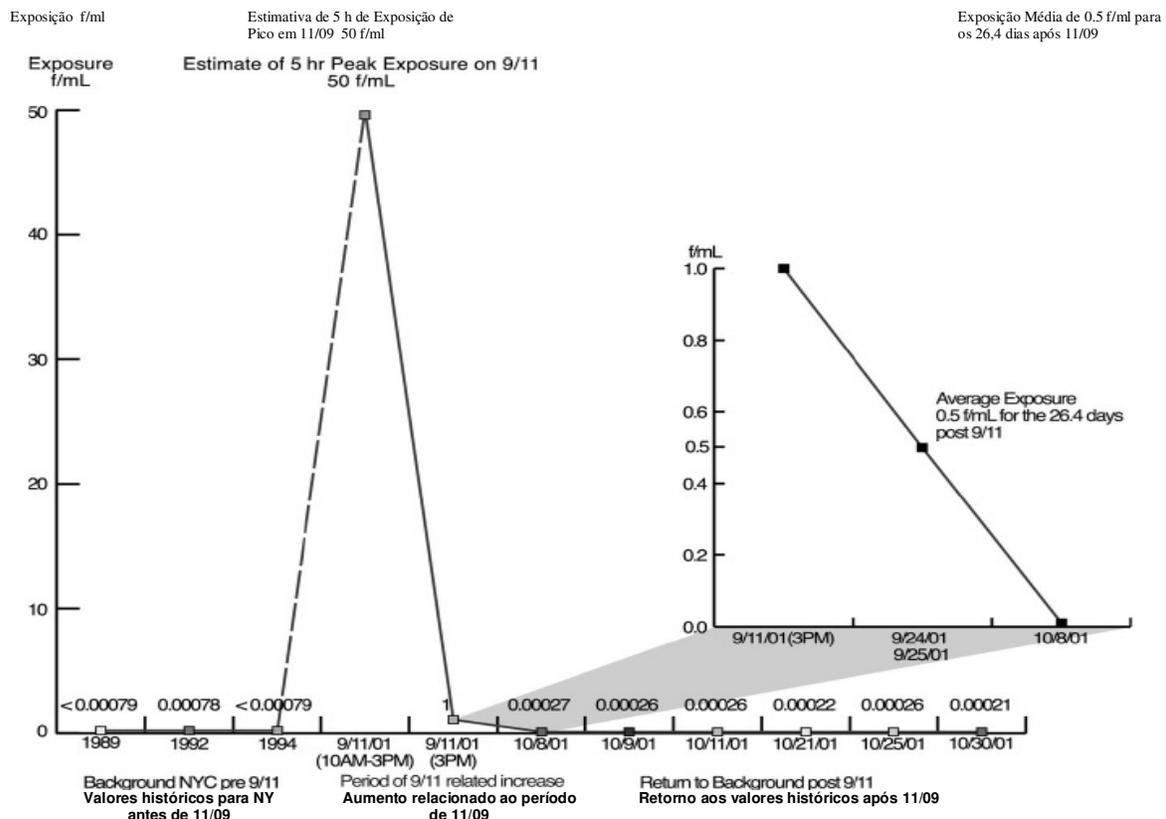


Fig. 6. Estimativas da exposição ao amianto crisotila para a população em geral em virtude da poeira levantada quando as Torres Gêmeas desmoronaram e enquanto a concentração de asbesto no ar estava elevada. A melhor estimativa da exposição máxima acumulada ao amianto crisotila, para a população em geral da região sul de Manhattan durante o período pós-11 de setembro e antes do retorno ao valor histórico, é 0,064f/ml × anos.

Os modelos de risco que utilizamos foram baseados em dados de exposição ocupacional. Portanto, devemos expressar novamente nossas estimativas de exposição ambiental contínua como exposições ocupacionais equivalentes. As exposições ocupacionais ocorrem ao longo de 250 dias ao ano, 8 horas por dia. A exposição ambiental ocorre ao longo de 365 dias por ano, 24 horas por dia. Portanto, ao multiplicar exposições contínuas pela razão $(365 \text{ dias/ano} \times 24 \text{ horas/d}) / (250 \text{ dias} \text{ úteis/ano} \times 8 \text{ horas/d}) = 4,38$ nos dá a exposição ocupacional equivalente. A exposição ocupacional equivalente associada aos eventos de 11 de setembro é 4,38 vezes superior à exposição ambiental, ou 0,28 f/ml - anos. A exposição média diária no tempo de vida (lifetime average daily exposure - LADE), índice de exposição utilizado no modelo EPA de risco agregado de câncer para amianto, é uma medida de exposição para todos os dias do ano, 24 horas por dia. A LADE, portanto, é a exposição ambiental

calculada acima, 0,065 f/ml - anos, dividida por 70 anos, o tempo de vida que a EPA considera para avaliação de risco. A LADE para a exposição de 11 de setembro é 0,0009 f/ml (= 0,065/70).

Avaliação de Risco para Câncer Associado ao Amianto

A quantidade de mesoteliomas relacionados ao amianto (O_M) depende do tipo de amianto ao qual o indivíduo está exposto, da exposição cumulativa e da idade na qual a exposição ocorreu pela primeira vez¹² e pode ser calculada da seguinte forma:

$$OM = \frac{R_M \times E_{CA} \times T_{pop}}{100} \quad (1)$$

Onde R_M é o risco de mesotelioma como percentual do total da mortalidade esperada. O R_M utilizado, 0,001, é obtido da Tabela 1 de Hodgson e Darnton¹² (ajustada para 30 anos de idade na primeira exposição) e superestima o risco de amianto crisotila, já que houve também exposição ao amianto anfíbólio nas coortes usadas para definir o valor de R_M . A exposição ocupacional, que presume 8 horas/dia durante 250 dias por ano serviu como base. E_{CA} é a exposição ambiental acumulada ao amianto crisotila (que se presume contínua), com 0,065 f/ml × anos que é multiplicado por 4,38 para a exposição ocupacional equivalente 0,28 f/ml × anos (Fig. 6). T_{pop} é a população exposta total ajustada para a região sul de Manhattan. A população total é de 57.514 residentes, segundo o Censo de 2000 dos Estados Unidos (ver Fig. 4 para a área incluída). Multiplicando-se T_{pop} por 0,47 ajusta-se a idade da primeira exposição para a idade média de 38 anos dos residentes da região sul de Manhattan.¹² A T_{pop} usada no cálculo é $57.514 \times 0,47 \times 27.302$.

Cálculo para O_M :

$O_M = 0,08$ caso de mesotelioma devido à exposição de 11 de setembro ao amianto crisotila. O risco de mesotelioma para a vida toda é $O_M/O_{pop} = 1,39 \times 10^{-6}$.

Para uma dada exposição acumulada ao amianto, o risco de se desenvolver câncer de pulmão aumentará como um percentual do risco existente para câncer de pulmão na população. Presumiremos que, em média, 8% dos fumantes irão desenvolver câncer de pulmão, 90% dos casos de câncer de pulmão são diagnosticados em fumantes e 25% dos residentes da região sul de Manhattan fumavam. O risco de câncer de pulmão aumenta linearmente com exposição cumulativa ao amianto conforme esta relação:

$$Obs_L = Exp_L + \frac{R_L \times E_{CA} \times Exp_L}{100} \quad (2)$$

Desejamos calcular o aumento no número observado de casos de câncer de pulmão (Obs_L) causado por exposição ao amianto crisotila. Exp_L é a expectativa de óbitos por câncer de pulmão, 1.278, dentre os 57.514 residente desta região de Manhattan. Esta expectativa é determinada quando resolvemos as equações que refletem a relação entre o percentual de fumantes que desenvolvem câncer de pulmão e o percentual de casos de câncer de pulmão entre fumantes. Especificamente, $0,9 \times (\text{qtd. de casos de câncer de pulmão}) = 0,08 \times (\text{qtd. de fumantes}) = 0,08 \times 0,25 \times 57.514/0,9 = 1.278$.

R_L é o risco de câncer de pulmão expresso como um percentual dos óbitos causados por câncer de pulmão por f/ml × anos de exposição ao amianto. O R_L utilizado é 0,062 obtido da Tabela 2 de Hodgson e Darnton¹² e é específico para amianto crisotila. E_{CA} é a exposição ambiental cumulativa para amianto crisotila (presumivelmente contínua) sendo que 0,065 f/ml × anos é convertido para a exposição ocupacional equivalente de 0,28 f/ml × anos (Fig. 6). Usando estes valores $Obs_L = 0,22$ e com o risco relativo de câncer de pulmão associado aos eventos de 11 de setembro temos $Obs_L/Exp_L = 1,7 \times 10^{-4}$.

O modelo para risco agregado de câncer da Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) não diferencia os tipos de fibra de amianto. O risco para a soma de câncer de pulmão e mesotelioma é calculado como $0,23 \times LADE$, onde o incremento do LADE para os eventos de 11 de setembro é 0,0009 f/ml. O risco de câncer é $2,1 \times 10^{-4}$, que equivale a 12 casos de câncer a mais, para a população da região sul de Manhattan.

Discussão

Os ataques ao WTC de NY e a queda de ambas as torres criaram uma onda de pressão que dispersou uma enorme quantidade de poeira contendo amianto no ar exterior da região sul de Manhattan (Figs. 1 e 2). Nossas análises de amostras de poeira assentada por XRD, PLM e ATEM indicam que dentre os seis tipos de fibras de

amianto regulamentadas, estavam presentes somente fibras de amianto crisotila. A concentração de amianto crisotila era menor que 0,01% por volume. Apesar de a estimativa de concentração de amianto transportado pelo ar logo após o 11 de setembro ter limitações, sem dúvidas estava acima do valor histórico no ar por algum tempo.^{9, 11} O potencial para uma incidência aumentada de câncer relacionado ao amianto, a partir de exposições relacionadas ao 11 de setembro depende principalmente de dois fatores: tipo(s) de fibra de amianto e exposição cumulativa ao amianto. Para o mesotelioma, a idade na primeira exposição é um importante fator adicional. Para o câncer de pulmão, a sinergia entre o amianto e o cigarro pode ser importante, mas apenas em exposições cumulativas ao amianto mais altas do que aquelas associadas ao 11 de setembro (Fig. 7).

Esta avaliação de risco faz duas suposições fundamentais sobre a carcinogenicidade do amianto crisotila. Primeiro, supõe-se que, segundo Hodgson e Darnton,¹² o crisotila é um indutor menos potente de mesotelioma e câncer no pulmão do que a amosita ou a crocidolita. Segundo, supõe-se que em doses baixas existe uma dose-resposta linear. Nossa abordagem era interpolar linearmente o risco aumentado de exposições cumulativas altas, para as quais existe um risco conhecido de câncer relacionado ao amianto, para exposições muito baixas. Estudos epidemiológicos de alguns trabalhadores expostos a baixas concentrações de crisotila, não encontraram risco aumentado de câncer no pulmão apesar dos funcionários serem fumantes.¹⁴ Indicar a dose-resposta pode ser sublinear e este é um motivo adicional de por que nossas estimativas são apenas um limite superior. A média de idade dos moradores da região sul de Manhattan na época da exposição era de 38 anos de idade. Aplicando os ajustes indicados,¹² calculamos os riscos de mesotelioma associados à maior exposição ao amianto no ambiente, resultante dos eventos de 11 de setembro, como $1,39 \times 10^{-6}$.

Para uma exposição cumulativa ao amianto de $0,28 \text{ f/ml} \times \text{anos}$, o aumento em casos de mesotelioma para os 57.514 residente desta região de Manhattan seria menor que 1 caso (o número esperado de casos é igual a 0,08). A probabilidade de que mais de um caso possa vir a ocorrer é menor que 0,01. O mesotelioma é um tumor muito raro e estima-se que sua taxa de histórica ocorrência seja de $3,6 \times 10^{-4}$; portanto, em uma população de 57.514 pessoas, a quantidade histórica esperada de casos de mesotelioma é de 21.¹⁵ O aumento relacionado ao evento de 11 de setembro é menor que 1% da taxa histórica e não pode ser observado utilizando-se métodos epidemiológicos. Mesmo que o evento de 11 de setembro tenha causado um caso de câncer relacionado ao amianto, nenhum patologista conseguiria diferenciá-lo dentre os casos que fazem parte da taxa histórica.

Se a exposição tivesse sido ao amianto crocidolita, o risco de mesotelioma seria quase 500 vezes maior.¹² Isto justifica nossa afirmação de que é importante determinar quais são os tipos de fibras de amianto. Já foi demonstrado que a exposição ambiental ao amianto crocidolita e tremolita em suspensão no ar aumenta o risco de mesotelioma onde estereis de mineração e jazidas a céu aberto foram usados na construção de estradas de terra ou em materiais de construção,¹⁶ ao passo que há muito pouca evidência epidemiológica demonstrando ocorrências semelhantes de mesoteliomas não ocupacionais em comunidades que se ocupam da mineração de crisotila.⁶ Estas comunidades têm sofrido, nos últimos 100 anos, exposições cumulativas muito maiores para o amianto crisotila do que a região sul de Manhattan após o 11 de setembro, sem que haja evidências convincentes de mesoteliomas relacionados ao crisotila encontrado no meio ambiente.⁶

O risco de câncer do pulmão resultante da exposição ao amianto é modelado como um aumento, quando comparado ao risco histórico de câncer do pulmão. Se toda a população fumasse cigarros, aproximadamente um caso de câncer de pulmão relacionado a amianto seria esperado. Se ninguém fumasse, o risco de câncer no pulmão seria 10 vezes menor. Se a taxa de fumantes entre os residentes da região sul de Manhattan for aproximadamente 25%, poderíamos esperar 1.278 casos de câncer de pulmão nesta população (1.150 casos em fumantes).¹⁷⁻¹⁹ O modelo projeta um risco relativo de câncer de pulmão associado à exposição aumentada ao amianto a partir dos eventos de 11 de setembro igual a $1,7 \times 10^{-4}$.¹² O número esperado de câncer de pulmão é 0,22 e a probabilidade de ocorrer mais de um caso é de aproximadamente 0,02. Se ocorresse um caso adicional, relacionado ao 11 de setembro, ele seria indistinguível dentre os 1.278 casos de câncer no pulmão normalmente encontráveis nesta população. Neste nível muito baixo de exposição cumulativa ao amianto, a sinergia com o tabagismo é expressa somente como uma diferença entre fumantes e não fumantes no coeficiente de risco linear presumido (Fig. 7).

Com base nos resultados apresentados acima, concluímos que a exposição ao amianto no ar ambiente após a queda das torres do WTC, resultou em apenas um aumento insignificante no risco de câncer para residentes da região sul de Manhattan. Os suportes críticos desta conclusão são (1) presumir que as partículas de poeira da amostra são representativas da poeira gerada pelo colapso das torres, em termos de espaço e tempo; (2) identificar o tipo de fibra de amianto como crisotila; (3) dispender recursos suficientes na coleta e análise de amostras de ar para produzir estimativas precisas de concentrações de amianto em suspensão e estabelecer o retorno às taxas históricas após o 11 de setembro; e (4) avaliar os riscos de mesotelioma e câncer de pulmão separadamente, ao invés de um agregado dos casos de câncer relacionados ao amianto. A diferenciação do mesotelioma do câncer de pulmão e do amianto crisotila de outros tipos de fibras de amianto é essencial para cálculos significativos de riscos.

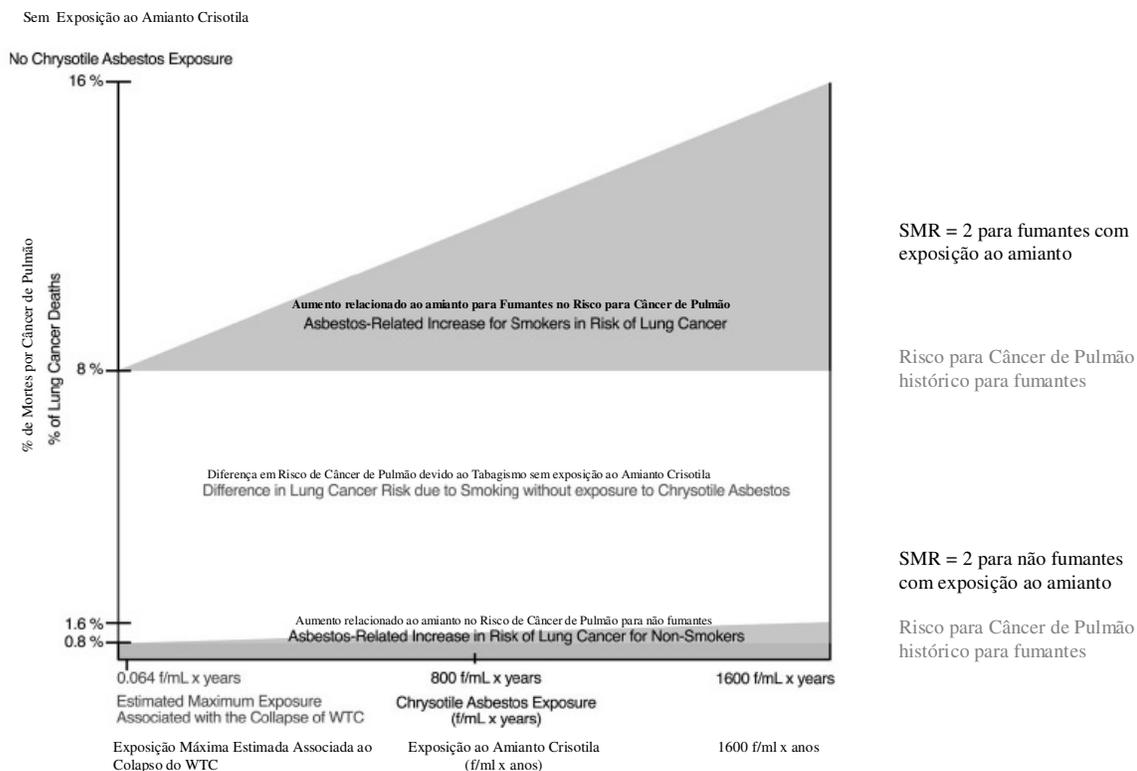


Fig. 7. Comparação do risco de câncer de pulmão para não fumantes e fumantes como função da exposição ao amianto crisotila.

O modelo de risco agregado da EPA não diferencia os tipos de fibras e combina o mesotelioma e o câncer de pulmão. O modelo agregado da EPA indica um risco de câncer igual a $2,1 \times 10^{-4}$, que é equivalente a um excesso de 12 casos de câncer, para o aumento da exposição ao amianto no ambiente após o 11 de setembro, na região sul de Manhattan. Camus e colaboradores avaliaram os dois componentes do modelo de risco agregado da EPA, o modelo para câncer de pulmão e o modelo para mesotelioma.^{20, 21} Eles descobriram que o modelo de câncer de pulmão e o modelo de mesotelioma exageraram substancialmente o risco, quando compararam aos casos reais nas áreas de exposição ao crisotila ambiental no Canadá.

TABELA 2.

Número Esperado de Mesotelioma Resultantes da Exposição ao Amianto Causada pelos Eventos de 11/09 com Base em Duas Avaliações de Risco da EPA^(22, 23)

Fator de Potência para Mesotelioma “Todos os Tipos de Fibra são Iguais” da EPA: ($K_M = 1 \times 10^{-8}$)⁽²²⁾

	Região sul de Manhattan Exposição ao Amianto Resultante de 11/09	Risco de Mesotelioma durante a vida por Exposição ao Amianto de 0,01 f/ml por um ano (por 100.000 pessoas)	Risco de Mesotelioma durante a vida por Exposição ao Amianto da Região sul de Manhattan Resultante de 11/09 (por 100.000 pessoas)	Número de Residentes	Número de Casos de Mesotelioma Esperados
Homens					
Idade					
0	0,065	11,2	72,6	265	0,2
10	0,065	7	45,4	3.342	1,5
20	0,065	4,1	26,6	4.473	1,2
30	0,065	2,1	13,6	5.846	0,8
50	0,065	0,3	1,9	15.317	0,3
Total				29.242	4,0
Mulheres					
Idade					
0		14,6	94,6	256	0,2
10		9,4	60,9	3.231	2,0
20		5,6	36,3	4.324	1,6
30		3,1	20,1	5.652	1,1
50		0,6	3,9	14.809	0,6
Total				28.272	5,5

Número Total de Casos de Mesotelioma Esperados = 9,5

Fator de Potência de Mesotelioma para Amianto Crisotila ($K_M = 4 \times 10^{-10}$)⁽²³⁾

	Região sul de Manhattan Exposição ao Amianto Resultante de 11/09	Risco de Mesotelioma durante a vida por Exposição ao Amianto de 0,01 f/ml por um ano (por 100.000 pessoas)	Risco de Mesotelioma durante a vida por Exposição ao Amianto na Região sul de Manhattan Resultante de 11/09 (por 100.000 pessoas)	Número de Residentes	Número de Casos de Mesotelioma Esperados
Homens					
Idade					
0	0,065	0,45	2,9	265	0,0
10	0,065	0,28	1,8	3.342	0,1
20	0,065	0,16	1,1	4.473	0,0
30	0,065	0,08	0,5	5.846	0,0
50	0,065	0,01	0,1	15.317	0,0
Total				29.242	0,2
Mulheres					
Idade					
0		0,58	3,8	256	0,0
10		0,38	2,4	3.231	0,1
20		0,22	1,5	4.324	0,1
30		0,12	0,8	5.652	0,0
50		0,02	0,2	14.809	0,0
Total				28.272	0,2
Número Total de Casos de Mesotelioma Esperados = 0,4					

Para melhor demonstrar a importância da diferenciação entre os tipos de fibras, aplicamos o modelo mesotelioma utilizado pela EPA para as exposições na região sul de Manhattan, mas incorporamos um fator de potência específico para o crisotila ao invés do fator de potência da EPA que trata todos os tipos de fibra da mesma forma. O fator de potência do crisotila (K_m) para mesotelioma desenvolvido na pesquisa realizada para a EPA²² é 4×10^{-10} , o fator de potência para qualquer tipo de fibra (K_m) da EPA para mesotelioma é 1×10^{-8} .²³ Projetamos o número de casos de mesotelioma esperados utilizando o modelo de risco de mesotelioma da EPA (Tabela da EPA 6-3²³), ajustado para refletir uma exposição contínua média de 0,065 f/ml para 1 ano, e a distribuição por idade da população desta região de Manhattan. Com o fator de potência para todos os tipos de tipo de fibra EPA para mesotelioma, a expectativa é de 9,5 casos de mesotelioma advindos das exposições ao amianto resultantes, após os eventos de 11 de setembro. Com o fator de potência para crisotila, a expectativa é de 0,4 casos de mesotelioma (Tabela 2).

Os estudos realizados por Camus e seus colaboradores e nossas análises do modelo de mesotelioma da EPA descrito acima, apoiam também nossas estimativas de menos de um caso de mesotelioma esperado e menos de um caso de câncer de pulmão esperado. A diferença entre as estimativas da EPA e nossas estimativas é o tipo de fibra de amianto, que é, claramente, um fator de risco importante para mesotelioma. Estimativas recentes das potências relativas para mesotelioma são 500:100:1 para a crocidolita, amosita e crisotila, respectivamente,¹² e 750:1 para fibras de anfíbio (amosita e crocidolita) vs. fibras de crisotila.²² Ao calcular a média do risco do mesotelioma para os três tipos de fibra de amianto diferentes, a EPA exagera substancialmente o risco de mesotelioma para crisotila, que é o tipo mais comum e menos potente dos três tipos de fibra de amianto.

Conclusão

Este relatório mostrou que os riscos de desenvolver câncer *a partir das exposições aos amianto* durante e após a queda das torres do World Trade Center é insignificante; não realizamos estimativas do risco da inalação de material particulado fino.

Agradecimentos

Queremos agradecer os Drs. Arthur M. Raiva, J.B.L. Gee, e E.E. McConnell por suas sugestões úteis que contribuíram para melhorar este relatório. Os autores também gostariam de agradecer Jesse W. Liss por sua ajuda inestimável em coletar as amostras de ar, Barbara G. Mensch, Robert Essel NYC/Corbis e John Ricasoli pelas fotografias e Angelina Nikolova pelos gráficos.

Referências

1. Office of Inspector General. Evaluation Report on EPA's Response to the World Trade Center Collapse: Challenges, Successes and Areas of Improvement. Report No. 2003-P-00012, August 21, 2003. Available from: URL: <http://www.epa.gov/oigearth/index.htm>; Internet; accessed April 22, 2005.
2. Reitz WB, Nicholson WJ, Holaday DA, Selikoff IJ. Application of sprayed inorganic fiber containing asbestos: occupational health hazard. *Am Indust Hyg Assn J.* 1972;33:178–191.
3. Federal Emergency Management Agency (FEMA) 2002 World Trade Center Building Performance Study Data Collection, Preliminary Observations and Recommendations, FEMA 402/May 2002. Federal Insurance and Mitigation Administration, Washington, DC and FEMA Region II, New York Available from: URL: <http://www.fema.gov/library/wtcstudy.shtm>; Internet; accessed April 22, 2005.
4. ISO 10312 International Standard Ambient Air— Determination of Asbestos Fibers— Direct Transfer. Transmission Electron Microscopy Method, 1995.
5. Nolan RP, Langer AM. Concentration and type of asbestos fibers in air inside buildings In: Nolan RP, Langer AM, Ross M, Wicks FJ & Martin RF, eds. *The Health Effects of Chrysotile Asbestos: Contribution of Science to Risk-Management Decisions*. Ottawa, Canada: Canadian Mineralogist, Spec Publ 5; 2001:39–51.
6. Shcherbakov SV, Kashansky S, Domnin SG, et al. The health effects of mining and milling chrysotile: The Russian experience. In: Nolan RP, Langer AM, Ross M, Wicks FJ, Martin RF, eds. *The Health Effects of Chrysotile Asbestos: Contribution of Science to Risk-Management Decisions*. Ottawa, Canada: Canadian Mineralogist, Spec Publ 5; 2001:187–198.
7. Langer AM, Morse RG. The World Trade Center catastrophe: was the type of spray proofing a factor in the collapse of the towers? *Indoor Built Environ.* 2001; 10:350–360.
8. World Health Organization (1986) International Programme on Chemical Safety (IPCS), Environmental Health Criteria 203, Chrysotile Asbestos. Available from URL: http://www.who.int/docs/ehc_203.htm.
9. NYC Department of Health and US Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Final Report of the Public Health Investigations to Assess Potential Exposure to Airborne and Settled Surface Dust in Residential Areas of Lower Manhattan September, 2002:20.
10. Gibbs GW, DuToit RS. Environmental data in mining. In: *Biological Effects of Asbestos*. Geneva: IARC Publication No. 8; 1973:311–320.
11. US-Environmental Protection Agency Exposure and Human Health Evaluation of Airborne Pollution from the World Trade Center Disaster. External Review Draft, October, 2002.
12. Hodgson JT, Darnton A. The quantitative risk of mesothelioma and lung cancer in relationship to asbestos exposure. *Ann Occup Hyg.* 2000;44:565–601.
13. Asbestos File in EPA's Intergrate Risk Information System (IRIS) Available for <http://www.epa.gov/iris/subst/0371.htm>; Internet; accessed April 22, 2005.
14. Gibbs GW. Health effect associated with mining and milling chrysotile asbestos in Quebec and the role of tremolite. In: Nolan RP, Langer AM, Ross M, Wicks FJ, Martin RF, eds. *The Health Effects of Chrysotile Asbestos: Contribution of Science to Risk-Management Decisions*. Ottawa, Canada: Canadian Mineralogist, Spec Publ 5; 2001:165–175.
15. Price B, Ware A. Mesothelioma trends in the United States: an update based on SEER data for 1973 through 2003. *Am J Epidemiol.* 2004;159:107–112.
16. Browne K, Wagner JC. Environmental exposure to amphibole-asbestos and mesothelioma. In: Nolan RP, Langer AM, Ross M, Wicks FJ, Martin RF, eds. *The Health Effects of Chrysotile Asbestos: Contribution of Science to Risk-Management Decisions* Ottawa, Canada: Canadian Mineralogist, Spec Publ 5; 2001: 21–28.
17. Doll R, Peto R. The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. *J Natl Cancer Inst.* 1981;66:1191–1380.
18. Zang EA, Wynder EL. Smoking trends in the United States between 1969 and 1995 based on patients hospitalized with nonsmoking related disease. *Prev Med.* 1998; 27:854–861.
19. Wilson R, Crouch EAC. Risk-benefit analysis. Cambridge, MA: Harvard University Press; 2001:230–231.
20. Camus M, Siemiatycki J, Case BW, Desy M, Richardson L, Campbell S. Risk of mesothelioma among women living near chrysotile mines versus US EPA Asbestos Risk Model: Preliminary Findings. *Ann Occup Hyg.* 2002;46: 95–98.
21. Camus M, Siemiatycki J, Meek B. Nonoccupational exposure to chrysotile asbestos and the risk of lung cancer. *N Engl J Med.* 1998;338:1565–1571.
22. Final Draft: Technical Support Document for a Protocol to Assess Asbestos-Related Risk. EPA 9345.4-06, October 2003.
23. Airborne Asbestos Health Assessment Update 1986. EPA/600/8-84/003F