

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE AMIANTO EM SOLO NO ENTORNO DE FÁBRICA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO A BASE DE FIBROCIMENTO, NO BAIRRO DA VÁRZEA, RECIFE (PE)

Filipe Rafael Ferreira dos Santos¹

João Adauto de Souza Neto^{1,2}

doi:10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v24n2p127-147

¹Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFPE, filipegeo@hotmail.com

²Departamento de Geologia, UFPE, adauto@ufpe.br

RESUMO

Amianto é o termo comercial dado a seis minerais de hábito fibroso que foram largamente utilizados pela indústria devido a sua alta resistência física e química, sendo eles: crisotila, amosita, crocidolita, antofilita, actinolita e tremolita. Porém estes minerais foram associados a várias doenças, inclusive câncer, naquelas pessoas expostas ambiental ou ocupacionalmente. O bairro da Várzea, na Zona Oeste do Recife, conta com uma fábrica de fibrocimento que utilizou amianto como matéria-prima durante o período de 1949 a 2002. Este trabalho teve como objetivo identificar e quantificar amianto no solo do entorno da fábrica, para que se avalie a possível relação com a mesma. Para tanto foram coletadas 18 amostras em locais próximos a esta fábrica, em estações de amostragem escolhidas estrategicamente com base na direção predominante dos ventos na área, visando se avaliar uma possível ligação com o transporte aéreo de partículas oriundas da fábrica. As amostras foram secas e calcinadas (extração de matéria orgânica), e nestas as fibras amiantíferas foram caracterizadas com o auxílio de lupa binocular, microscopia de luz polarizada (com uso de líquidos de imersão adequados) e microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de comprimento de onda acoplado (WDS). Foram encontradas fibras de amianto em quinze das dezoito amostras analisadas. Em todas estas o tipo de fibra encontrado foi crisotila, não apresentando teores de contaminação e uma provável relação com a atividade da fábrica e com aterramento de terrenos.

Palavras chaves: Amianto; solo; microscopia; identificação; Recife.

ABSTRACT

Asbestos is a commercial term given to six fibrous habit minerals that were broadly used by industry because of their high chemical and physical resistance. They are chrysotile, crocidolite, amosite, anthophyllite, actinolite and tremolite. However these minerals were associated to many diseases, including cancer, in those people exposed naturally or manufacturing it. Varzea neighborhood is located at west zone in Recife city has a fibrous cement factory that used asbestos like raw material through in period 1949-2002. The aim of this work was to identify and quantify the asbestos in soil possibly released by the factory. For this, eighteen soil samples were collected in sites near to the factory, sampling stations in strategically selected based on predominant wind direction in the area, aiming to assess a possible link with air transport of particles coming from the factory. The samples were dried and calcined (extraction of organic matter) and the asbestos these fibers were characterized with the aid of a magnifier, polarized light microscope and scanning electron microscopy wavelength dispersive spectrometry (WDS). Fifteen of the eighteen analyzed

samples showed the presence of asbestos fibers. In all these kinds of fiber chrysotile was found, with no significant levels of contamination and a possible relationship with factory activity and landfill.

Keywords: Asbestos; Soil; Identification; Microscopy; Recife.

INTRODUÇÃO

Amianto ou asbestos é um termo utilizado genérica e comercialmente para um grupo de minerais de hábito cristalino fibroso, correspondendo geologicamente a seis minerais compreendidos em dois grupos. O Grupo das serpentinas tem como único representante a crisotila, comercialmente conhecida como amianto branco. O Grupo dos anfibólios apresenta seis minerais constituintes, sendo eles: amosita (ou amianto marrom, que é uma variedade fibrosa da grunerita), crocidolita (ou amianto azul, variedade fibrosa da

riebeckita), antofilita, actinolita e tremolita. No quadro abaixo estão ilustrados em imagens os minerais comercialmente chamados de amianto, (Virta 2003) (Fig. 1).

O uso de amianto é conhecido desde a antiguidade. Porém contemporaneamente a partir da revolução industrial, a ciência e a indústria desenvolveram novas formas de uso para o amianto. Entretanto, estas novas formas ainda estão ligadas à alta resistência das fibras a vários processos físicos e químicos. Hoje estes minerais compõem mais de três mil produtos utilizados nas mais diversas áreas (Scliar 1998).

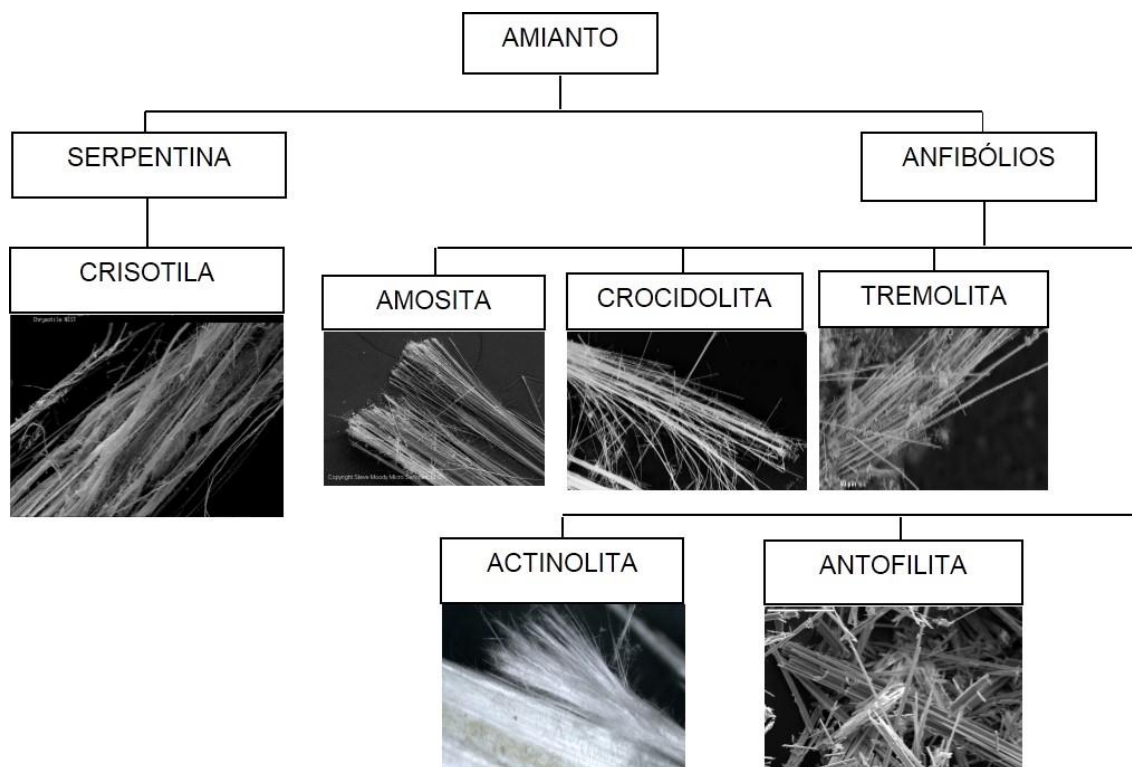


Figura 1 - Imagem dos diferentes tipos de amianto, feitas em MEV. Fonte: Adaptado de Virta (2001)

O fibrocimento é o mais importante produto a base de amianto utilizado no planeta, foi criado pelo austriaco Ludwig Hatschek em 1895. O fibrocimento é usado para construção de telhas onduladas, caixas d'água, canaletas, tubulações, pisos de passeio, vasos, estantes, prateleiras, entre outros (Oliveira 2010).

No momento que o amianto se apresentou como uma importante matéria-prima para diferentes ramos industriais, uma triste verdade passou a ser paulatinamente descortinada, que foi a sua associação ao câncer (de pulmão, na pleura (mesotelioma), de laringe, de esôfago e de faringe), além da asbestose (um tipo de pneumoconiose: doença provocada pela exposição crônica a poeiras no ambiente de trabalho). Desde o início do século vinte, levantamentos epidemiológicos comprovam que a exposição ocupacional (direta ou indireta), e ambiental, levaram pessoas à morte (Doll 1950, Murray 1990, Mendes 2001).

Devido a estas e outras relações etiológicas que foram evidenciadas e comprovadas, o IARC (Agência Internacional de Pesquisa Sobre o Câncer ligada a Organização Mundial de Saúde), classifica todos os tipos de fibras de amianto no Grupo 01 de carcinogenicidade, que diz respeito aos elementos que reúnem evidências suficientes para atestar sua relação

com o câncer em humanos. Com isto surgiu a necessidade do monitoramento do amianto em solo (IARC 1997).

O objetivo deste trabalho foi identificar e caracterizar a presença de fibras de amianto nas áreas circunvizinhas a uma fábrica de materiais de construção a base de fibrocimento. Estas fibras foram caracterizadas dentre os vários tipos de fibrominerais que existem, de acordo com as suas propriedades morfológicas, óticas e químicas. Para tanto utilizou-se lupa binocular, microscópio de luz polarizada (MLP) e microscópio eletrônico de varredura com espectrômetro de comprimento de onda acoplado (MEV-WDS).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A fábrica de materiais de fibrocimento, em torno da qual foram analisados os solos, localiza-se no bairro da Várzea, em Recife. O segundo maior da capital pernambucana, com uma área de 22,25 Km² e uma população de 70.453 habitantes, e portanto com densidade demográfica de 3.166 habitantes/Km². Com estes números, a Várzea é um bairro densamente povoado (Fig. 2).

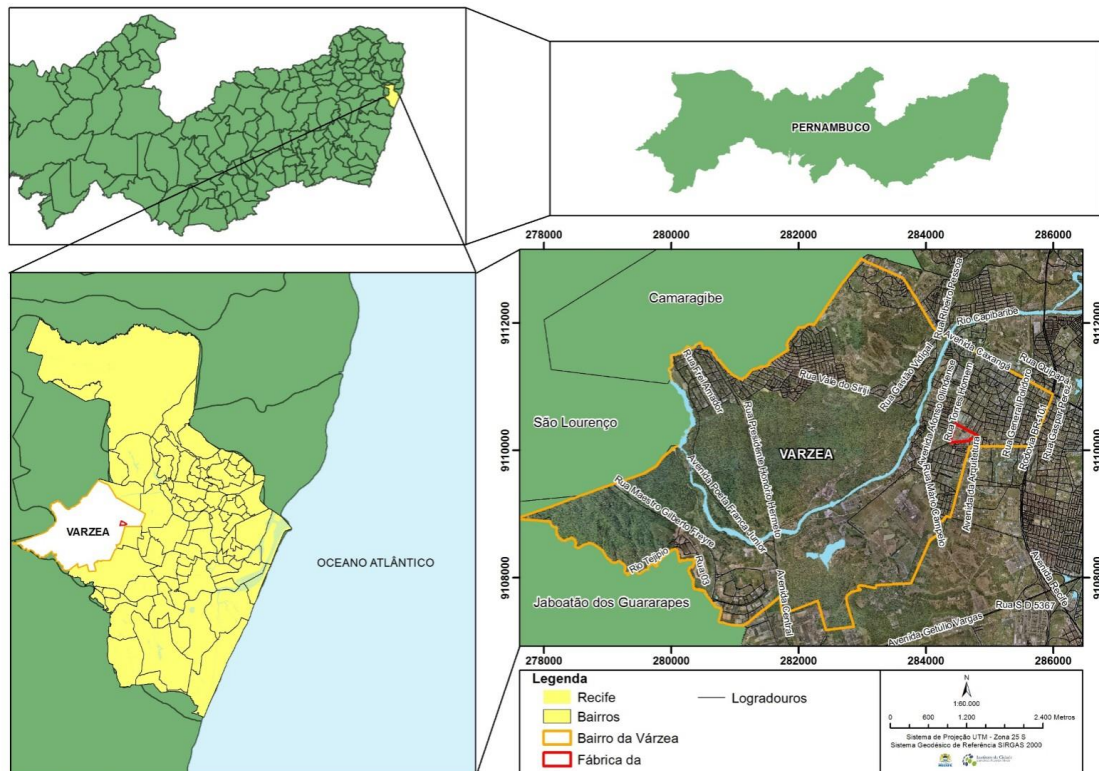


Figura 2 - Localização da área de estudo, com destaque para o bairro da Várzea.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método de análise está baseado no ASTM D7521-13 (*Standard Test Method for Determination of Asbestos in Soil*). Este método por sua vez usa para o tratamento de amostras e a análise qualitativa, o Método EPA 600/R-93/116 (*Method for the Determination of Asbestos in Bulk Building Materials*). A disposição espacial das estações de amostragem de solo foi previamente escolhida, tomando-se como base a direção preferencial dos ventos regionais. Isto porque os ventos constituiriam o meio dispersor das partículas amiantíferas oriundas da fábricas. Assim as estações de amostragem foram posicionadas à jusante da fábrica, e ao longo do vetor dos ventos predominantes (de SE para NW; detalhe no canto superior direito da Figura 3). Uma estação de controle (para obtenção de valores de

referência) foi amostrada em uma porção à montante da fábrica (Figura 3).

Nas estações de amostragem, foram escolhidas porções onde o solo se encontrasse melhor preservados, tendo em vista que toda área é bastante urbanizada. Para tanto, foram analisadas imagens de satélites do programa *Google Earth®* para se identificar residências com quintal tendo árvores frondosas (mais antigas), em torno da qual haveria a possibilidade de se amostrar os solos com estas características. E no local destes solos, foram feitas inspeções visuais com o intuito de se verificar porções que não tivessem sofrido movimentação. As estações amostradas foram devidamente localizadas com o uso de *GPS (modelo eTrex da Garmin®)*, gerando um mapa de estações de coleta visto na Figura 3.

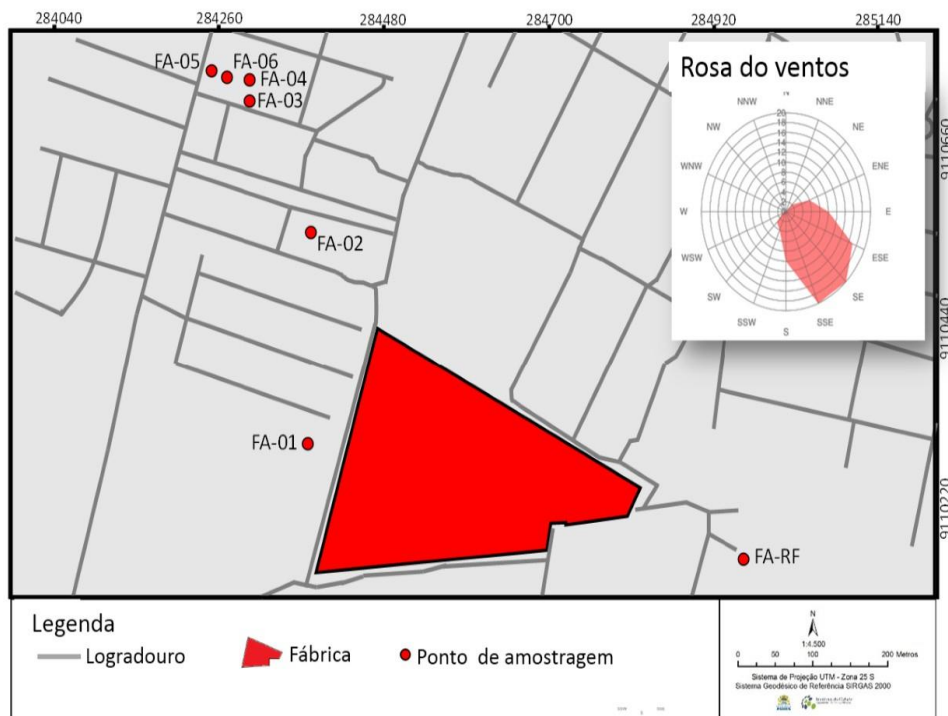


Figura 3 - Localização das estações de amostragem à montante da fábrica de materiais a base de fibrocimento e a jusante, estação de referência. Rosa dos ventos para o Recife canto direito superior.

Em cada estação, as amostras foram coletadas na porção superficial do solo e em três profundidades: nos primeiros 5 cm, no intervalo entre 5cm e 10cm, e entre 10cm e 15cm. A escavação para retirada dessas amostras foi feita utilizando-se um molde de 100cm² e com uma pá plástica. Dessa forma, cada uma das três amostras por estação, tem 500cm³ de volume, em atendimento ao método usado.

Em laboratório, as amostras foram pesadas em balança de precisão

(4 casas decimais), posteriormente secas em estufa sob uma temperatura de 60°C. Em seguida foram pesadas e a diferença de peso (antes e depois da estufa) foi usado para o cálculo da perda de umidade total (Perkins 1993).

Para diminuir a interferência da matéria orgânica na análises microscópicas, cada amostra foi colocada em cadinho e levada para uma mufla a temperatura de 450 °C (acima de 500 °C, pode haver a decomposição da crisotila), por 4 horas, segundo metodologia de (Perkins 1993).

Tabela 1 - Propriedades físicas e aparência das fibras de amianto						
TIPO DE AMIANTO	CRISOTILA	AMOSITA	CROCIDOLITA	TREMOLITA	ACTINOLITA	ANTOFILITA
Cor	Incolor Branca	Incolor Marrom	Azul	Incolor e branca a marrom claro	Cinza-esverdeada	Incolor e branca a marrom claro
Textura	Suaves e sedosas	Suaves ou ásperas. Haste de fibras paralelas	Suaves ou ásperas. Haste de fibras paralelas	Suaves ou ásperas. Haste de fibras paralelas	Suaves ou ásperas. Haste de fibras paralelas	Suaves ou ásperas. Haste de fibras paralelas
Aspecto	Fibras que se unem formando hastes muito finas	Fibras retilíneas fáceis de manipular	Fibras retilíneas fáceis de manipular	Fibras retilíneas fáceis de manipular	Fibras retilíneas fáceis de manipular	Fibras retilíneas fáceis de manipular
Brilho	Sedoso	Vítreo	Metálico	Vítreo	Vítreo	Vítreo

Fonte: Virta (2001).

Após serem retiradas da mufla, as amostras foram peneiradas a seco, utilizando-se um conjunto de peneiras de aço inox (19 mm, 2 mm, e 106 μ m, de aberturas), com bandeja de recolhimento de material no fundo (ASTM 2010).

Após esta última etapa de preparação, as amostras foram para a análises em lupa binocular (estereomicroscópio) e microscópio de luz polarizada (MLP).

A observação em lupa binocular é primeira e obrigatória etapa de observação para análise de fibras de amiantos, pois é nesta fase que se pode decidir quais as análises que serão feitas a posteriori. A lupa a ser utilizada deve ter possibilidade de aumentos entre 6x e 40x, de acordo com a metodologia adotada neste trabalho. Na análise foram selecionados materiais fibrosos de acordo com sua cor, textura, aspecto (morfologia) e brilho (Tabela 1).

Os materiais fibrosos selecionados na lupa foram colocados em lâmina de vidro, e em seguida

imersos em uma gota de líquido de imersão que apresentasse um índice de refração de acordo com as fibras selecionadas (Tabela 2).

Em seguida, as lâminas foram levadas ao microscópio de luz polarizada com o intuito de se observar as propriedades óticas do material fibroso sob luz plano-polarizada, sistema ortoscópico sem compensador e ortoscópico com compensador de vermelho de primeira ordem (placa de retardo de 550 nm). Todas as análises foram feitas com a temperatura do laboratório monitorada com o uso de termômetro, para que esta ficasse em 25 °C, que é aquela considerada ideal para o líquido de imersão usado (Perkins 1993). Todos os minerais amiantíferos são anisotrópicos, apresentando propriedades óticas diferentes em diferentes direções. Todos são biaxiais, tendo um índice de refração principal paralelo (ou sub- paralelo) ao comprimento da fibra, e dois outros índices de refração no plano

Tabela 2 - Tipo de amianto e o respectivo valor de índice de refração do líquido de imersão usado para análise	
Variedade de amianto	Valor do índice de refração dos líquidos de imersão
Crisotila	1.550
Amosita	1.670
Crocidolita	1.700
Antofilita	1.605
Actinolita	1.605
Tremolita	1.640

Fonte: ISO (2007)

Tabela 3 - Propriedades físicas e ópticas dos amiantos observadas em luz polarizada.

Fonte: Virta (2003).

Tipo de amianto	Morfologia	Cor	Índice de refração (n)		Birrefringência	Ângulo de Extinção	Sinal de alongação	Pleocroísmo
			α	γ				
Crisotila	Fibras onduladas. Feixes de fibras esmiuçadas na extremidade e dobras.	Incolor	1,493 - 1,560	1,517 - 1,562	0,002-0,014 Baixa	Paralela ao comprimento da fibra	Positivo	Não
Amosita	Fibras rígidas e retas.	Incolor a Marrom	1,635 - 1,696	1,655 - 1,729	0,020 - 0,033 Moderada	Paralela ao comprimento da fibra	Positivo	Não
Crocidolita	Fibras rígidas, retas, grossas e em pacotes.	Azul	1,654 - 1,701	1,668 - 1,717	0,014 - 0,016 Baixa	Paralela ao comprimento da fibra	Negativo	Sim
Antofilita	Fibras retas e feixes de fibras que mostram extremidades abertas.	Incolor a Marrom claro	1,596 - 1,652	1,615 - 1,676	0,019 - 0,024 Moderada	Paralela ao comprimento da fibra	Positivo	Não
Actinolita	Fibras retas e curvas ou feixes de fibras.	Verde	1,599 - 1,668	1,622 - 1,688	0,023 - 0,020 Moderada	Paralela ao comprimento da fibra	Positivo	Fraco a moderado
Tremolita	Fibras retas e curvas ou feixes de fibras..	Incolor	1,599 - 1,668	1,622 - 1,688	0,023 - 0,020 Moderada	Paralela ao comprimento da fibra	Positivo	Fraco a moderado

Em seguida foram selecionadas fibras de amianto para imageamento e análises químicas qualitativas no microscópio eletrônico de varredura com espectrômetro de

comprimento de onda (MEV-WDS) acoplado, no Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN) da UFPE. Este material foi selecionado através da observação em

lupa binocular, de forma que representassem as fibras analisadas por MLP. Em seguida, foram coladas em uma fita adesiva dupla-face de carbono e levadas ao equipamento de metalização, para que as fibras recebessem a deposição de uma delgada camada condutora de grafita, exigida para as análises no MEV-WDS.

A estimativa do teor de amianto nas amostras de solo foi feita baseada no Método EPA 600/R-93/116 e no Método CARB 435 (1991). Sendo assim, o material foi analisado em lupa para estimativa visual, e microscópio de luz polarizada (aumento de 100x) para contagem de pontos.

A estimativa visual é uma contagem semi-quantitativa que relaciona a distribuição de amianto e outros minerais na amostra com uma amostra de referência calibrada. Foram montadas três lâminas e feita uma varredura em cada uma para se estimar a proporção relativa de fibras e outros grãos. O limite de detecção deste método é de 1 % (NIOSH 1994c). Nos casos em que nenhuma fibra de amianto foi encontrada, o material foi avaliado como Sem Amianto (SA). Quando as amostras apresentavam uma proporção visualmente abaixo de 1 %, foram indicadas como <1 %, sendo analisadas posteriormente pelo método de contagem de pontos.

A contagem de pontos é um método estatístico utilizado pela U.S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*) para contagem de fibras em material de construção, sendo aplicado também para análise de solos. Para tal contagem, uma pequena porção do material fino do solo peneirado foi disposto sobre uma lâmina, sobre a qual foi depositado uma gota de óleo de imersão com

índice de refração conhecido, escolhido de acordo com o tipo de mineral revelado pela análise qualitativa feita anteriormente. A contagem é feita com uma ocular de retículo cruzado ou pontuado, superpondo o centro do retículo (mira), ou os pontos, a superfície da lâmina, sendo contados os pontos em duas categorias: fibras e não-amianto.

Durante a análise de contagem de pontos, quando o retículo cair sobre um espaço vazio, ele deve ser movido novamente para outro campo, não sendo os pontos vazios contabilizados como ponto válido. Se o retículo cair sobre uma fibra e um grão ao mesmo tempo, devem ser contabilizados os dois. Caso a mira caia sobre um feixe de fibra deve-se contar apenas como uma fibra (Perkins 1993).

A análise foi feita com a objetiva de 10x, nicóis cruzados e com a placa de retardo para vermelho de primeira ordem inserida, como a metodologia adotada indica ser preferível.

O método original da U.S. EPA propõe a contagem de quatrocentos pontos, com no máximo oito lâminas preparadas e cinquenta pontos contados em cada, ou no mínimo, duas lâminas com duzentos pontos contados em cada uma, tendo como limite de detecção 0,25% (uma fibra subposta). No entanto, neste trabalho foi adotada uma variação deste, o método CARB 435, onde a contagem é feita com mil pontos o que aumenta o limite de detecção para 0,1%. Utilizando-se desta forma de contagem foram preparadas dez lâminas por amostra com cem pontos contados em cada uma (California Environmental Protection Agency, 1991).

O percentual de amianto é calculado da seguinte maneira:

$$T.A = \left(\frac{a}{n} \right) \times 100$$

Onde:

T.A = Teor de amianto percentual no solo.

a = fibras contadas.

n = total de pontos (1000).

Se a = 0, nenhum amianto detectado.

Se a > 0, atribuir o valor mínimo de 0,1%.

Caso fibras fossem separadas para análise qualitativa na lupa, mas durante a contagem de pontos a mira do retículo não parasse sobre nenhuma fibra, foi atribuído metade do valor de limite de detecção do método, 0,05%. E, caso não sejam encontradas fibra durante o trabalho na lupa a amostra será determinada como não contém amianto (California Environmental Protection Agency, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise feita na fração fina das amostras resultou na observação de fibras que corresponderam características da crisotila na análise em lupa binocular (Fig. 4), que são principalmente fibras morfológicamente sedosas e brancas.

Com os resultados obtidos na análise em Lupa, foram

confeccionadas lâminas com as fibras separadas e imersas em líquido com índice de refração (1550 n) apropriado para o estudo de amianto crisotila em microscópio de luz polarizada.

As partículas analisadas apresentaram-se incolores sobre luz plano polarizada, porém apenas em poucas vezes foi possível se ver plenamente as partículas, pois o conteúdo de argila impregnava a superfície das mesmas. Só sendo possível a distinção observando-se alguns trechos limpos das partículas. Quanto ao pleocroísmo, nenhum dos materiais fibrosos selecionados apresentou mudança de coloração ao serem analisados. Fato este que excluiu a possibilidade de encontrar-se amianto crocidolita e antofilita. Quanto ao relevo este se apresentou muito baixo a inexistente (Fig. 5)

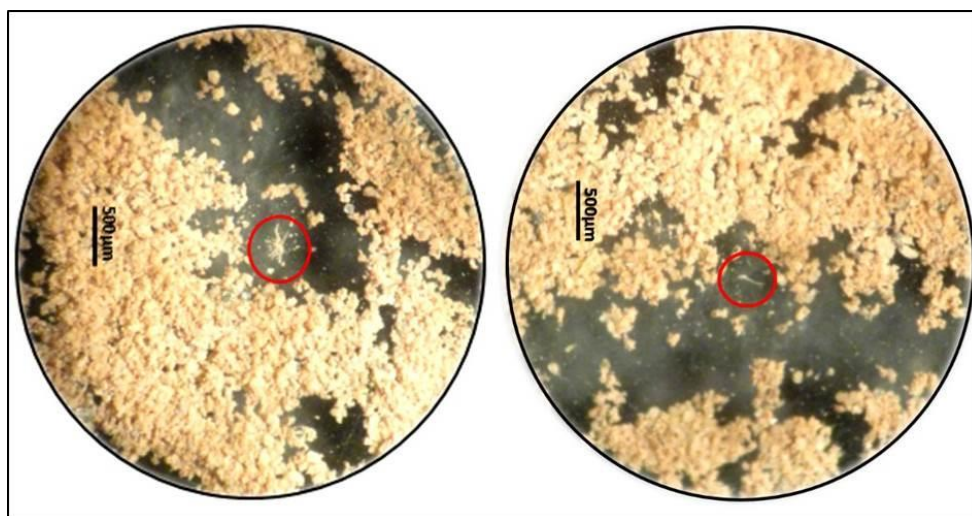


Figura 4 - Foto de fibra de amianto analisada em lupa, dentro do círculo vermelho.

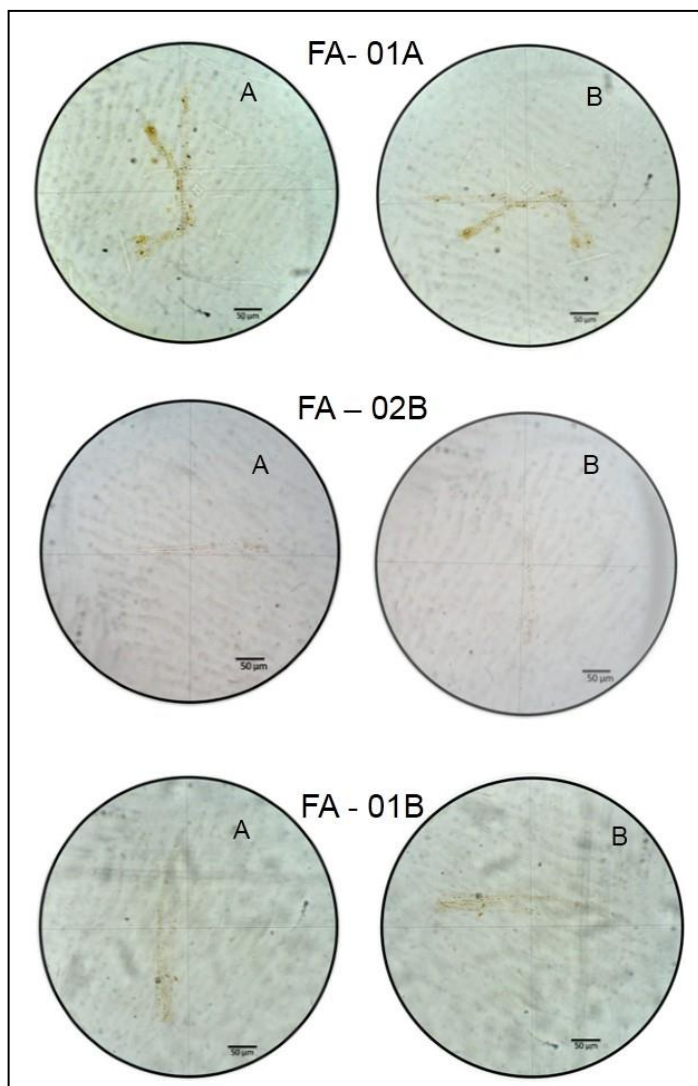


Figura 5 - Prancha com fibras sob Luz Plano Paralela, com aumento de 400x. Imagens A, fibras paralelas ao polarizador e imagens B, fibras perpendiculares ao polarizador (Amostras FA-01A, FA-01B e FA-02B).

Ao se analisar as fibras selecionadas sob nicóis cruzados, foi possível observar cores de

interferência de 1ª ordem (branco a cinza) e extinção paralela (Fig. 6).

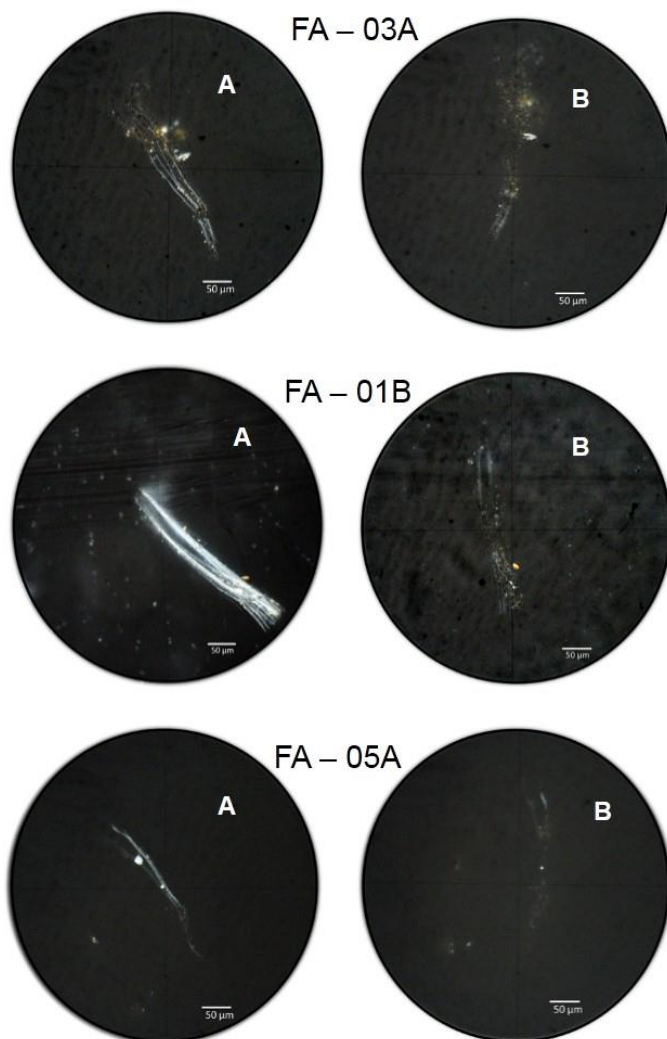


Figura 7: Prancha com fibras sob Nicóis Cruzados com aumento de 400X. Imagens A, fibras 45° do polarizador e imagens B, fibras perpendiculares ao polarizador (Amostras FA-03A, FA-01B e FA-05A).

A análise feita sob nicóis cruzados com a placa de retardo gerou

as imagens que estão dispostas na Figura 7.

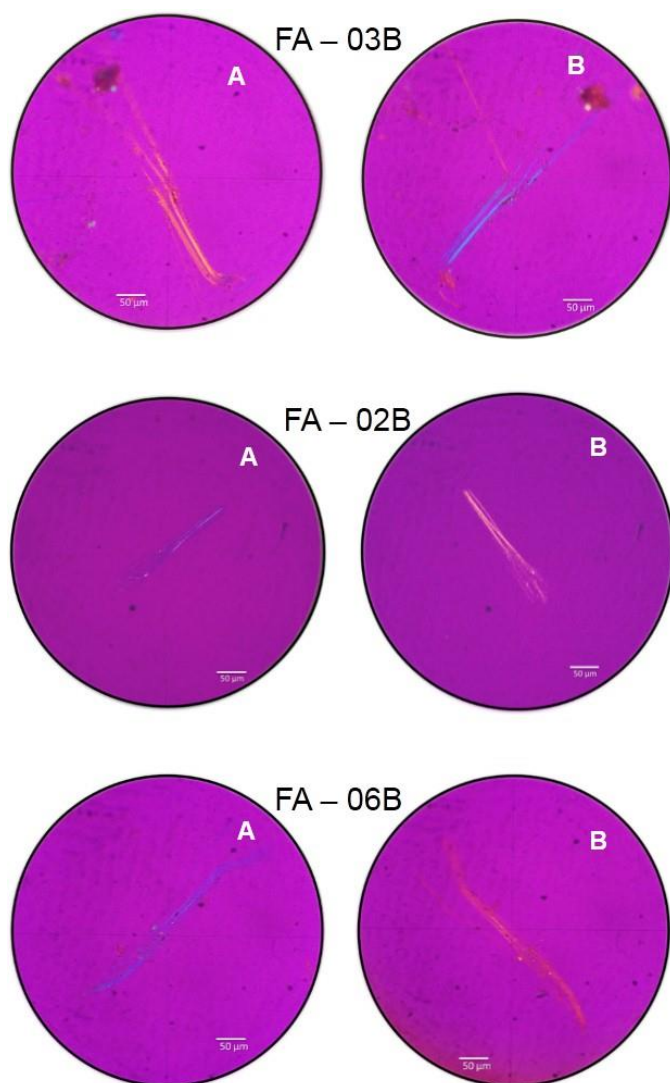


Figura 8 - Prancha com fibra sob nicóis cruzados com placa de retardo, com aumento de 400X. Imagens “A” fibras a 45° oeste do polarizador e imagens “B” fibras a 45° leste do polarizador. Amostras FA-06B, FA-03B, FA-02B.

Foram encontradas fibras amiantíferas em todos os níveis nas amostras FA-01, FA-02, FA-03, FA-04 e FA-05. Na estação de coleta de amostras FA-06 foram encontradas nos níveis A e B. No nível C desta amostra nenhuma fibra foi encontrada. Já na amostra de referência (FA-RF) não foram encontradas fibras no nível B e C. No nível A desta amostra só foi encontrada uma fibra.

A espécie de amianto, quando encontrada nas amostras de solo investigadas, de acordo com a

microscopia de luz polarizada, foram 100% de crisotila tendo em vista que todas as características analisadas apontam unidirecionalmente para esta variedade.

A análise das imagens feitas no MEV-WDS, as fibras demonstraram morfologia flexível e ondulada, além de apresentarem agregados de fibrilas bastante finas correspondendo às características do amianto crisotila (Fig. 8), que contrasta com as fibras pontiagudas e rígidas dos anfíólios.

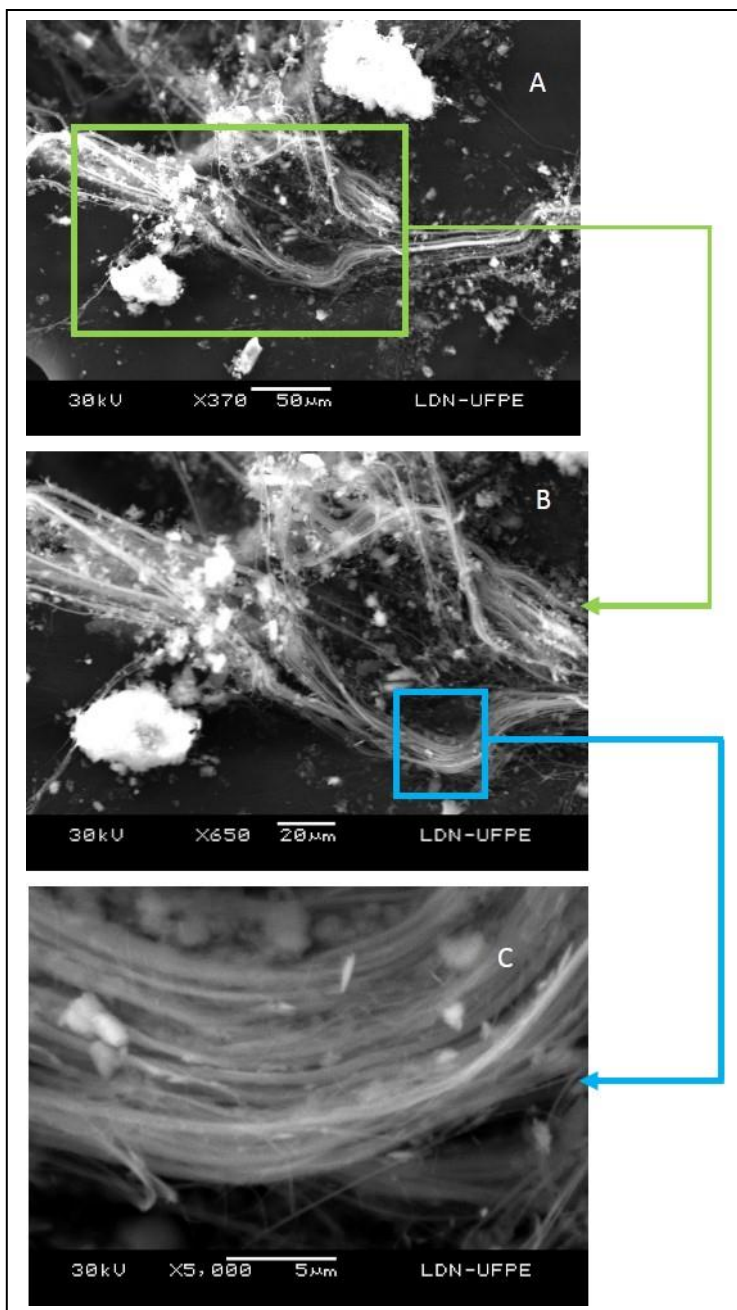


Figura 9 - Feixe de fibra de crisotila em MEV com aumento gradativo de “A” à “C”.

A análise química pontual feita no feixe de fibra, mostrou o pico referente ao Mg, em uma proporção relativamente elevada frente a do Si (Fig. 9). Este resultado é coerente com a composição química natural da crisotila, que apresenta a relação Mg:Si aproximada de 3:2. O Mg é componente maior da camada de brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) da estrutura química da crisotila. Já o pico de Al

mais proeminente deve-se provavelmente à substituição do Si^{+4} pelo Al^{+3} , na camada tetraédrica de sílica (Deer *et al.* 1977).

As análises revelaram ainda picos de $\text{Ti} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cr} > \text{Mn}$, próximos ao do Fe, e com intensidade relativamente menores (elementos traços), todos estes elementos estão evidenciados na Figura 9.

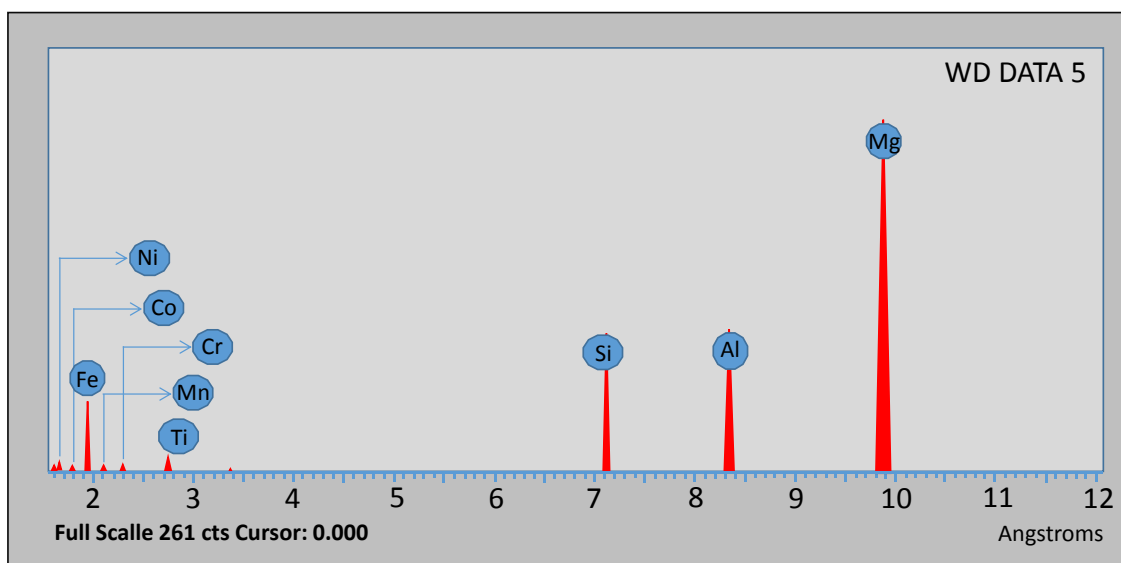


Figura 10 - Pico dos elementos referentes às fibras de crisotila analisadas por Espectrometria de comprimento de onda.

A composição ideal do amianto crisotila, como dito anteriormente, é $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, apresentando ainda concentrações de Ni, Cr, Mn e Co como elementos traço, em praticamente todas suas ocorrências (Cralley et al. 1968; Roy-Chowdhury et al. 1973; Lockwood 1974).

O níquel pode ocorrer principalmente na estrutura cristalina como substituições isomórficas. O Cr e Ni também pode ocorrer como contaminação da fração de magnetita que parece estar presente em todo o amianto crisotila (Spiel & Leineweber, 1969).

Esta composição está ligada ao processo de formação deste mineral, que provém do metamorfismo de rochas ultramáficas e máficas.

Mineralogicamente, são abundantes nos protólitos as olivinas, os piroxênios ricos em magnésio e os anfibólios. Estes minerais são primeiramente alterados pelo processo hidrotermal transformando-se em serpentinas pela hidratação da mineralogia original (DNPM, 2008).

Foram encontradas partículas metálicas contendo $\text{Ni} > \text{Cr} > \text{Fe}$, incrustadas nos feixes de fibras de crisotila. A possibilidade destas partículas advirem do manuseio da matéria-prima (rochas máfica-ultramáficas, que são naturalmente enriquecidas em Ni-Cr-Fe) na fábrica de materiais à base de fibrocimento investigada neste trabalho, não parece ser provável, uma vez que a matéria-prima não sofre fusão durante a produção do fibrocimento. No entanto, estas partículas podem se referir a uma série de possibilidades de origem, tais como: origem antropogênica, pois o níquel é utilizado na produção de aço inoxidável e existe neste bairro uma fábrica de materiais metálicos a base deste aço. Alternativamente, este metal pode ser oriundo do descarte no ambiente de material contendo este metal, diretamente por moradores, tendo em vista que o mesmo é utilizado em uma série de produtos (e.g. moeda). Outras possibilidades (e.g. origem extraterrestre) devem ainda ser levantadas e melhor avaliadas com mais detalhe.

Passando para a análise quantitativa por estimativa visual, foram fornecidos percentuais abaixo do limite de detecção estabelecido pela EPA para este método (1%), aferido de acordo com o material de

calibragem utilizado pelo método NIOSH. As amostras FA-06C, FA-RFB e FA-RFC não apresentaram fibras de amianto. A análise por contagem de pontos revelou os valores observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Análises quantitativas das fibras de amianto em solo por microscopia de luz polarizada (método de estimativa visual e contagem de pontos).

PONTO DE COLETA	AMOSTRAS	ESTIMATIVA VISUAL (%)	CONTAGEM DE PONTOS (%)
FA-01	FA-01A	< 1	0,5
	FA-01B	< 1	0,4
	FA-01C	< 1	0,1
FA-02	FA-02A	< 1	0,5
	FA-02B	< 1	0,1
FA-03	FA-03A	< 1	0,2
	FA-03B	< 1	0,2
FA-04	FA-04A	< 1	0,6
	FA-04B	< 1	0,4
	FA-04C	< 1	0,05
FA-05	FA-05A	< 1	0,05
	FA-05B	< 1	0,3
FA-06	FA-06A	< 1	0,05
	FA-06B	< 1	0,3
	FA-06C	NA	NA
FA-RF	FA-RFA	< 1	0,05
	FA-RFB	NA	NA
	FA-RFC	NA	NA

No que diz respeito a análise quantitativa por contagem de pontos, nenhuma das amostras analisadas nesta pesquisa alcançou o índice de 1%, estabelecido como limite de solo contaminado (NESHAP 1990). A maior parte (44% do total) ficou dentro da alíquota considerada como traço de amianto, que é o percentual entre 0,05% e 0,25%. Já em três amostras (16% do total) nenhuma espécie de amianto foi identificada. E 40% das amostras apresentaram baixos valores de amianto. Este fato demonstra a predominância de baixos níveis de amianto à jusante da fábrica (Tabela 4).

As amostras analisadas das estações de coleta situadas à jusante da fábrica apresentaram valores relativamente maiores do que a amostra da estação de referência. Nesta última, os teores de amianto foram praticamente inexistentes. Isto indica uma presença de amianto nos locais de amostragem à jusante da fábrica, e, portanto sob influência direta da dispersão atmosférica do material a partir da fábrica. Logo poderiam indicar uma contribuição da mesma para a ocorrência de amianto no solo.

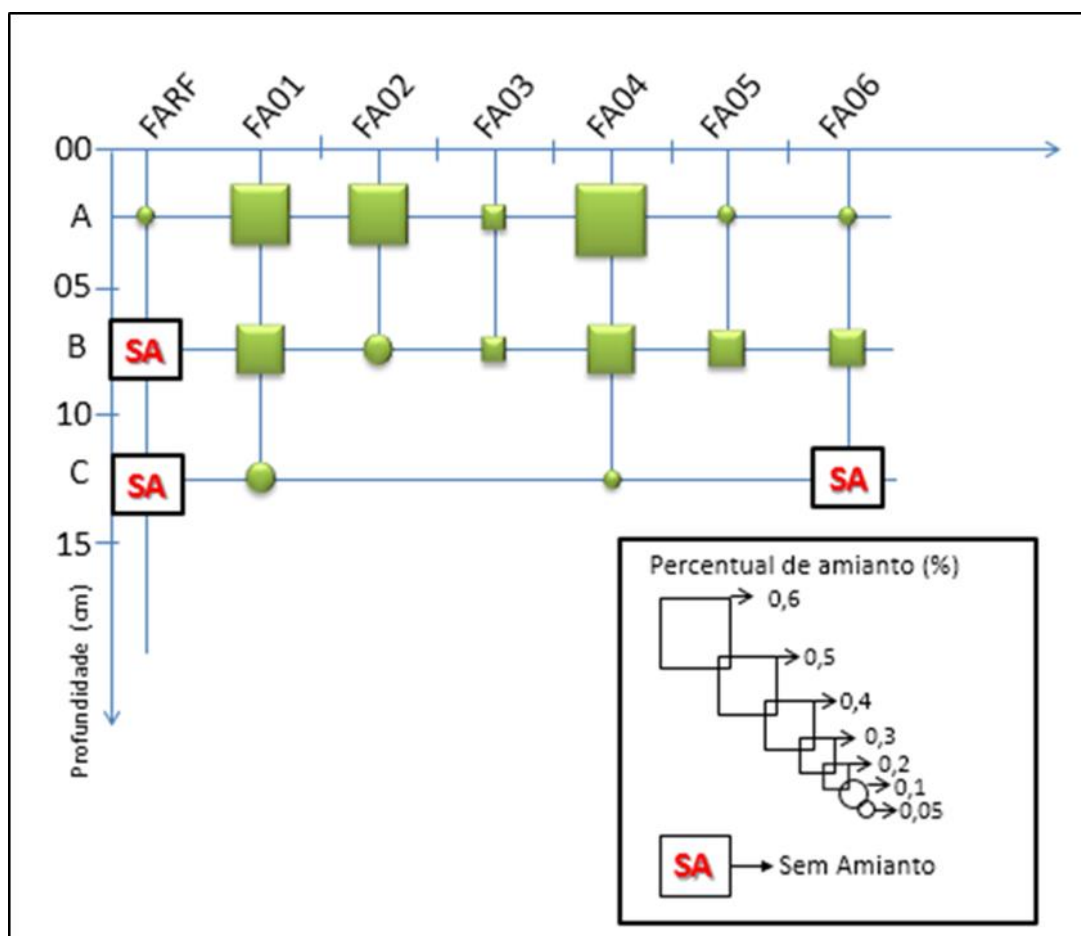


Figura 11: Teores de fibras de amianto por estações de amostragem e nos três níveis de profundidade do solo.

Por outro lado, não foi observado um padrão decrescente das quantidades de amianto nas amostras de solo coletadas à jusante da fábrica, à medida que a localização das estações se afastam da fábrica. E na verdade a distribuição espacial dos teores de amianto nas estações de amostragem de solo apresenta-se de forma aleatória (Fig. 10). Isto poderia corroborar com a ideia de uma contribuição de material amiantífero também oriundo de aterramento. Pois para uma contribuição mais efetiva da fábrica as estações de amostragem mais próximas da fábrica deveriam apresentar teores mais elevados de

fibras, fato este não observado na distribuição espacial dos teores.

Da mesma forma foram feitas análises na fração média do solo amostrado ($>106 \mu\text{m}$ e $<2 \text{ mm}$) buscando fibras de granulação maior. Nesta escala também foram encontradas agregados de fibras, mas que dada a granulação, provavelmente são ligados ao depósito de entulhos de construção sobre o solo (aterros).

A análise em lupa binocular revelou fibras de amianto emaranhadas, mas bastante curvilíneas e sedosas de coloração esbranquiçadas (Fig. 11).

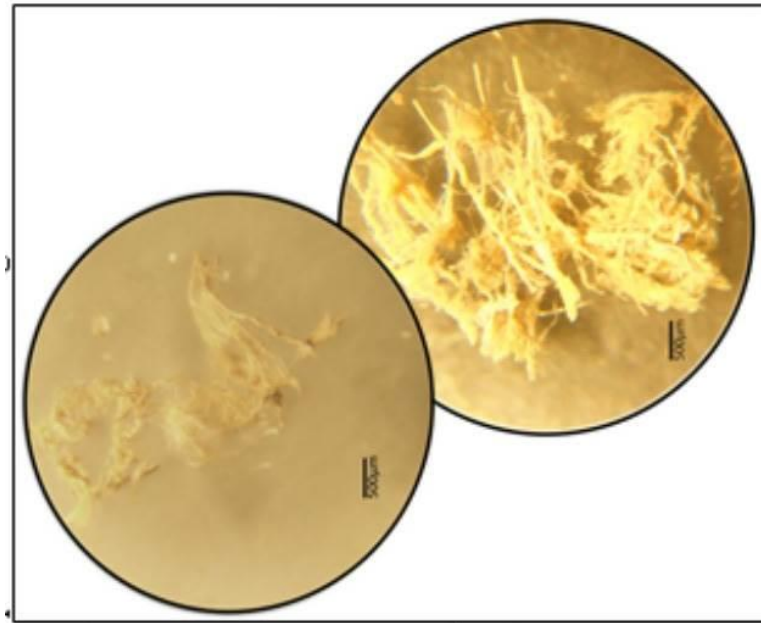


Figura 12 - Fotomicrografias em lupa binocular de fibras de amianto de granulação média (Amostra FA-03A e FA-04B).

Seguindo-se a mesma sequência de análises usada para o estudo da fração fina, foi feita a análise microscópica em luz plano

paralela. Estas análises geraram imagens representadas pelo visto na Figura 12.

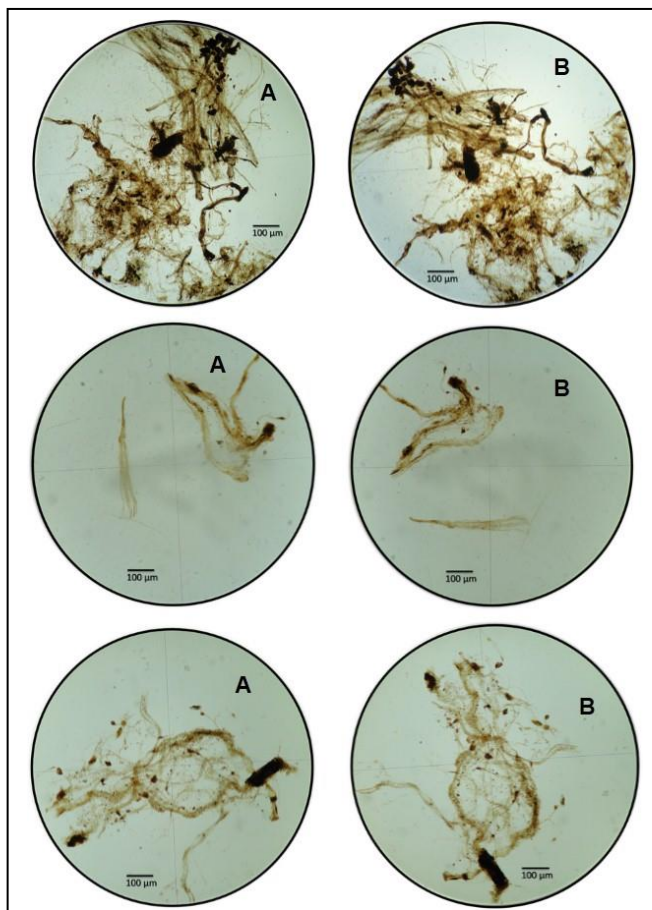


Figura 13- Prancha com fibras selecionadas na fração média sob Luz Plano Paralela, com aumento de 200x. Imagens A, fibras paralelas ao polarizador e imagens B, fibras perpendiculares ao polarizador (Amostras FA-01B, FA-04B e FA-05B).

As fibras analisadas por meio do sistema de luz plano-paralela apresentaram-se brancas a incolor, além de relevo baixo a inexistente, e como sendo não pleocróicas.

Já a análise microscópicas (nicóis cruzados) das fibras da fração

média (entre 106 μm e 2 mm) das amostras de solos selecionadas, revelaram cores de interferências de 1^a ordem e extinção paralela (Fig. 13). Estas análise quando feitas com a placa de retardo, geraram imagens que estão representadas na Figura 14.

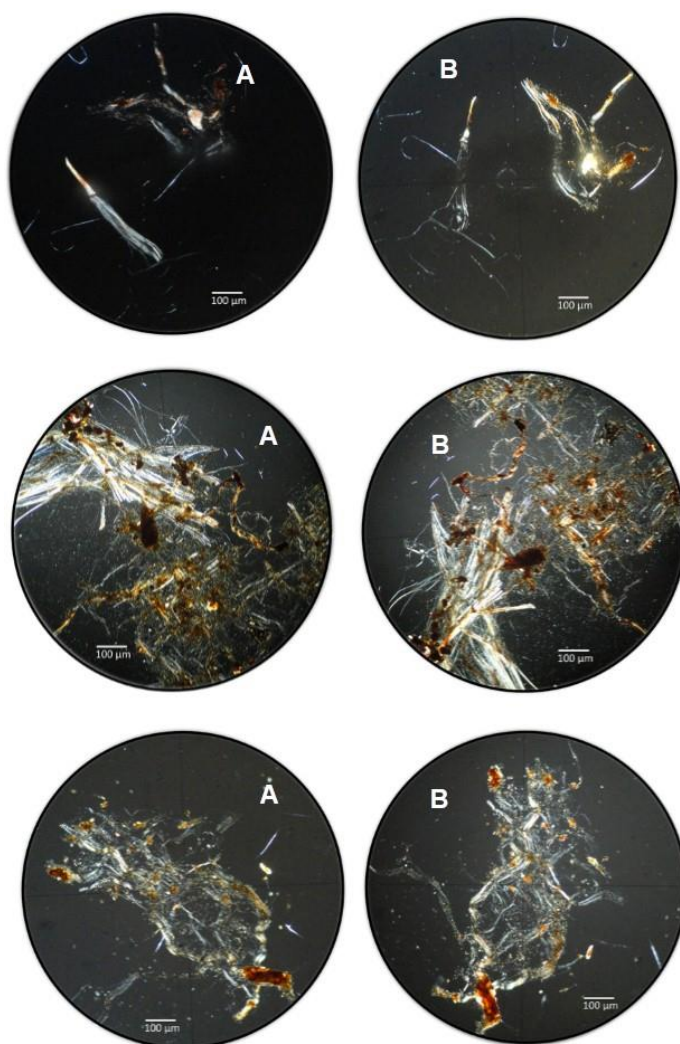


Figura 14 -Prancha com fibras da fração média sob Nicóis Cruzados com aumento de 200X. Imagens A, fibras 45° do polarizador e B, fibras perpendiculares ao polarizador (Amostras FA-01B, FA-04B e FA-05B).

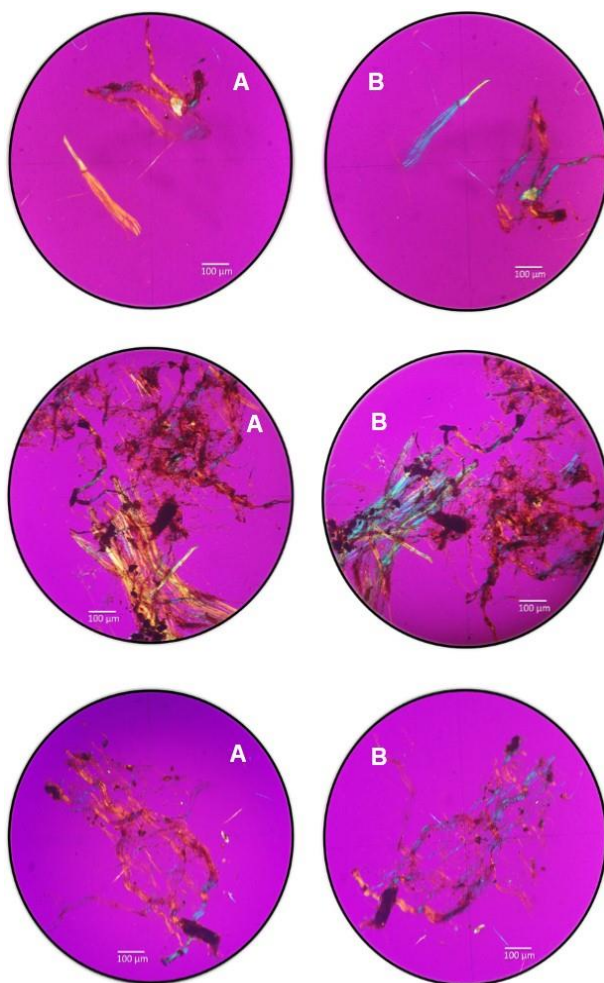


Figura 15: Prancha com fibra da fração média sob nicóis cruzados com placa de retardo, com aumento de 400X. Imagens “A” fibras a 45° oeste do polarizador e imagens “B” fibras a 45° leste do polarizador (Amostras FA-01B, FA-04B, FA-05B).

As fibras da fração média também apresentaram aspectos do amianto tipo crisotila. Este resultado é esperado, pois este fibromineral é mais largamente utilizado pelas fábricas de materiais de construção. Isto é uma observação importante sobre o tipo de amianto da área investigada, especificamente, pois como é sabido, outros estudos no Brasil mostram a possibilidade de existência de amianto anfibólico. Isto porque o Brasil também importou amianto deste tipo (crocidolita e amosita), da África do Sul (D’Arede 2007).

CONCLUSÕES

As análises qualitativas (lupa binocular, microscopia por luz polarizada e MEV-WDS) dos materiais fibrosos encontrados nas

amostras de solo complementam-se e comprovam a existência de fibras de amianto no solo da área investigada, caracterizando-as como crisotila. Fato este evidenciado pelo comportamento óptico nos diferentes sistemas utilizados no microscópio de luz polarizada, bem como pela morfologia dos agregados de fibras ondulados e flexíveis, nas frações fina e média das amostras.

Nas análises químicas das fibras analisadas feita por MEV-WDS, foram detectados os principais constituintes da composição da crisotila (Mg, Si, Al e Fe). Nesta análise também ficou evidenciada a presença de outros elementos químicos, em concentrações no nível de traço, comumente encontrados neste mineral: Ni, Cr, Mn e Co.

A análise quantitativa (estimativa visual e contagem de pontos), revelou teores de fibras amiantíferas nos solos da área investigada, relativamente maiores nas amostras providas de todas as estações de amostragem à jusante da fábrica de materiais de construção à base de fibrocimento amianto, em relação à estação de referência (240 m, à montante da fábrica). Nesta estação de referência (Estação FA-RF), os teores de amianto encontrados nas amostras de solo foram zero, exceto na camada mais superficial de solo, onde este teor tem valor mínimo (0,05%). Este fato indicaria a possibilidade de participação da fábrica como agente contaminante dos solos amostrados.

Por outro lado, feita a comparação entre os teores de amianto obtidos nesta pesquisa, com aqueles de oriundos de análises quantitativas do solo estabelecidos pelo *Asbestos National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants* (NESHAP), não se observa nenhum teor superior a 1% (técnica de contagem de pontos). Este é o valor considerado por este Regulamento Estadunidense como material que contém amianto. Assim sendo, os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram a não contaminação dos solos analisados da área.

Outro fator importante observado na área estudada é o grau relativamente intenso de aterramento dos quintais das casas, onde os moradores utilizaram materiais compostos a base de amianto (e.g. restos de telhas e de caixas d'água). Neste caso o material é relativamente mais grosso, mas que pode ocorrer associado ao amianto oriundo da fábrica (mais fino possível de ser transportado em suspensão).

A presença das fibras de amianto nas amostras de solos estudadas demonstra provavelmente

uma origem ligada à fábrica situada na área investigada. E pode demonstrar também a influência da movimentação, principalmente, de restos de telhas e caixas d'água a base de fibrocimento como aterro. Estes materiais todos misturados, juntamente com entulhos de construções e demolições usados como aterro, liberam fibras para o solo.

É importante se salientar que, apesar dos baixos teores registrados neste estudo, a própria IARC admite que não existe níveis seguros para a exposição ao amianto crisotila.

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials. 2010. *Standard Test Method for Determination of Asbestos in Soil*. ASTM D7521-13. Committee D22.
- California Environmental Protection Agency (1991). Air resources board. Method 435. Determination of Asbestos Content of Serpentine Aggregate.
- Cralley, L. J., Keenan, R. G., Kupel, R. E., Kinser, R. E. & Lynch, J. R. 1968. Characterization and solubility of metals associated with asbestos fibres. *American Ind. Hygiene Assoc. Journ.* (November), 569-73.
- D'Arede, C. de O. 2009. *O tempo das águas e dos ventos: significações do asbestos atribuídas as viúvas e ex-trabalhadores da Mina de São Félix, em Bom Jesus da Serra, Bahia, Brasil*. Dissertação - Mestrado em ambiente, saúde e trabalho. Faculdade de Medicina, UFBA; Salvador.
- Deer, W.A., Howff, R.A. e Zussman, J. *An introduction to the rock-forming minerals*. London, Longman. 528 p, 1977.

- DNPM. Crisotila. 2008. Disponível em: https://sistemas.dnmp.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4010. Acesso 03 de Abril de 2014.
- DOLL R. 1955. Mortality from lung cancer in asbestos workers. *Britanic Journal Industrials Medical*. Apr;12(2):81–86.
- IARC (International Agency for Research on Cancer), 1977. *Asbestos*. Lyon: IARC/World Health Organization.
- International Organization For Standardization, ISO. 2007. Bulk materials — — Part 1: Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials.
- Lockwood, T. H. 1974. The analysis of asbestos for trace metals. *Am. Ind. Hygiene Assoc. Journ.*, 35, 244-50.
- Mendes, R. 2001. Asbesto (amianto) e doença: revisão do conhecimento científico e fundamentação para uma urgente mudança da atual política brasileira sobre a questão. *Cad. Saúde Pública*, p.17(1); p.7-29, jan-fev.
- Murray, R. 1990. Asbestos: a chronology of its origins and health effects. *British Journal of Industrial Medicine*. Inglaterra, 47: 361-365.
- NESHAP. (1990). *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants; Asbestos NESHAP Revision, Final Rule*. Federal Register, 55(224):48405-48433. Tuesday, November 20.
- NIOSH. 1994c. Method 9002 'Asbestos (Bulk) by PLM', Issue 2 (8/15/94). In: *NIOSH Manual of Analytical Methods (Fourth Edition)*. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-154.
- Oliveira, A. B. de. 2010. *Melhoria do Processo Hatschek, por meio de tratamento de dados históricos, para fabricação de telhas onduladas*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. 100p.
- Perkins R. L; Harvey B. W. 1993. EPA/600/R-93/116. *Test Method. Method for the determination of asbestos in bulk building material*. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development Washington DC
- Roy-Chowdhury, A. K., Mooney, T. F. & Reeves, A. L. 1973. Trace metals in asbestos carcinogenesis. *Arch. Environ. Health*, 26: 253-5.
- Scliar, C. 1998. *Amianto: Mineral Mágico ou Maldito? Ecologia Humana e Disputa Político-Econômica*. Belo Horizonte: CDI. 158p.
- Spiel, S. & Leineweber, J. P. 1969. Asbestos minerals in modern technology. *Environmental Research*, 2, 166 201.
- Virta, R.L. 2003. Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses – U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Profiles – Asbestos 2002.