

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PAOLA DE PAULO ANDRADE DA SILVA

**POLUIÇÃO DIFUSA UMA POSSÍVEL CONTRIBUIÇÃO DAS FIBRAS DE
AMIANTO PRESENTES EM TELHAS DE FIBROCIMENTO**

CURITIBA

2023

PAOLA DE PAULO ANDRADE DA SILVA

**POLUIÇÃO DIFUSA UMA POSSÍVEL CONTRIBUIÇÃO DAS FIBRAS DE
AMIANTO PRESENTES EM TELHAS DE FIBROCIMENTO**

**Diffuse pollution possible contribution of asbestos fibers present in fiber
cement roofs**

Trabalho de conclusão de curso de mestrado
apresentado como requisito para a obtenção do título
de Mestra em Química, Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof^a Dr^a Danielle Caroline Schnitzler.

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba**



PAOLA DE PAULO ANDRADE DA SILVA

**POLUIÇÃO DIFUSA UMA POSSÍVEL CONTRIBUIÇÃO DAS FIBRAS DE AMIANTO PRESENTES EM
TELHAS DE FIBROCIMENTO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Química Analítica.

Data de aprovação: 05 de Julho de 2023

Dra. Danielle Caroline Schnitzler, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Erika Pereira Felix, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcio Fernando Bergamini, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 05/07/2023.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela oportunidade única de vivenciar esta jornada, a qual seria impossível de alcançar se acaso não estivesse amparada em Suas poderosas mãos.

Agradeço a toda minha família, em especial ao meu esposo Marcelo que me apoiou e não mediu esforços em todos os momentos na realização desta etapa. Ao meu filho amado Murilo pelo carinho e amor neste período. Aos meus pais Laertes e Lucia por me apoiarem e serem compreensíveis nesta fase em que estive ausente. As minhas queridas amigas Patricia e Noemi pelo incentivo diário durante esses anos.

Minha gratidão especial a Prof.^a Dr.^a Danielle Caroline Schnitzler, minha orientadora e, sobretudo uma querida e grande amiga, pela pessoa e profissional que é. Obrigada por sua dedicação, que a fez, por muitas vezes, deixar de lado seus momentos de descanso para me ajudar e orientar. Por todo conhecimento e ajuda durante realização deste estudo. Sem sua orientação, apoio e confiança, não somente neste trabalho, mas em todo caminho percorrido até aqui, nada disso seria possível.

Agradeço a todos os professores e colegas do laboratório Lemassa e em especial, ao meu companheiro de laboratório Lincoln, por toda paciência e contribuição nesses anos de mestrado.

Aos moradores do Assentamento Contestado que sempre nos receberam muito bem e permitiram que essa pesquisa fosse possível.

Agradeço também aos professores Dra. Erika Pereira Felix e Dr. Marcio Fernando Bergamini, membros da banca de Defesa do Mestrado, pelos conselhos, sugestões e interesse em contribuir para desenvolvimento deste projeto.

Agradeço todo o suporte fornecido pelas instituições UFPR, UTFPR, PPGQ, LEMASSA e ao LAMAQ.

Assim está escrito:

“Vós, servos, sujeitai-vos com todo o temor aos senhores, não somente aos bons e humanos, mas também aos maus.

Porque é coisa agradável, que alguém, por causa da consciência para com Deus, sofra agravos, padecendo injustamente.

Porque, que glória será essa, se, pecando, sois esbofeteados e sofreis? Mas se, fazendo o bem, sois afligidos e o sofreis, isso é agradável a Deus.

Porque para isto sois chamados; pois também Cristo padeceu por nós, deixando-nos o exemplo, para que sigais as suas pisadas.

O qual não cometeu pecado, nem na sua boca se achou engano.

O qual, quando o injuriavam, não injuriava, e quando padecia não ameaçava, mas entregava-se àquele que julga justamente;

Levando ele mesmo em seu corpo os nossos pecados sobre o madeiro, para que, mortos para os pecados, pudéssemos viver para a justiça; e pelas suas feridas fostes sarados.

Porque éreis como ovelhas desgarradas; mas agora tendes voltado ao Pastor e Bispo das vossas almas”.

1 Pedro 2:18-25

(BÍBLIA, 2023)

RESUMO

SILVA, Paola de Paulo Andrade da SILVA. **Poluição difusa: uma possível contribuição das fibras de amianto presentes em telhas de fibrocimento**. 2023. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

Os estudos sobre a periculosidade do uso do amianto se intensificaram a partir de 1991, culminando com a proibição do uso industrial de qualquer tipo de amianto. O Instituto Nacional de Câncer (INCA) classifica como altamente cancerígeno o contato com o amianto em face do desenvolvimento de patologias como asbestose, câncer de pulmão, mesotelioma, câncer de laringe, do trato digestivo e de ovário, espessamento na pleura e diafragma, derrames pleurais, placas pleurais e severos distúrbios respiratórios. Entretanto, uma das formas de fibras do amianto, a crisotila [$Mg_3(OH)_4Si_2O_5$], ainda é utilizada na produção de telhas de fibrocimento em todo o planeta. A contaminação do meio ambiente pelo amianto ainda é motivo de estudos. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo a análise da possível liberação de fibras de amianto no meio ambiente a partir de telhas de fibrocimento nas matrizes de água e Material Particulado. A degradação das telhas de fibrocimento com crisotila pode ocorrer de forma mecânica, química e biológica. Estudos mostram que a degradação das telhas por ação do tempo pode degradar a matriz do cimento e liberar fibras de crisotila no ambiente. Para identificar esse processo e averiguar a possibilidade de poluição difusa, foram recolhidas telhas de fibrocimento usadas. Foi montado um sistema de controle para a coleta de amostras de água e Material particulado e a metodologia NIOSH 7402 foi adaptada para esse procedimento. Para a coleta de amostras de água foi realizado lavagens com água ultrapura e chuva sintética. Para as amostras de material particulado foram realizados em dois ambientes (i) na Universidade, (ii) no Assentamento Contestado. As avaliações das amostras foram realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), por Espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDS) e Espectroscopia Infravermelha (FTIR). Os resultados indicam a existência de fibras da crisotila mostrando a influência da poluição difusa no ambiente.

Palavras-chave: poluição difusa, amianto, telha de fibrocimento, fibras de crisotila.

() Autorizo a disponibilização do seguinte correio eletrônico para contato:
paoladra8@gmail.com

ABSTRACT

SILVA, Paola de Paulo Andrade da. **Diffuse pollution: possible contribution of asbestos fibers present in fiber cement roofs**. 2023. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Título original: **Poluição difusa: Uma possível contribuição das fibras de amianto presentes em telhas de fibrocimento**.

The studies on the dangers of using asbestos intensified from 1991 onwards, culminating in the prohibition of the industrial use of any type of asbestos. The National Cancer Institute (INCA) classifies contact with asbestos as highly carcinogenic due to the development of pathologies such as asbestosis, lung cancer, mesothelioma, cancer of the larynx, digestive tract and ovary, thickening of the pleura and diaphragm, strokes pleural lesions, pleural plaques and severe respiratory disorders. However, one of the forms of asbestos fibers, chrysotile [$Mg_3(OH)_4Si_2O_5$], is still used in the production of fiber cement roofing tiles all over the planet. Contamination of the environment by asbestos is still the subject of studies. In this sense, the objective of the present study was the analysis of the possible release of asbestos fibers into the environment from fiber cement tiles in water and particulate matter matrices. Degradation of fiber cement tiles with chrysotile can occur mechanically, chemically and biologically. Studies show that the degradation of tiles by the action of time can degrade the cement matrix and release chrysotile fibers into the environment. To identify this process and investigate the possibility of diffuse pollution, used fiber cement tiles were collected. A control system was set up to collect samples of water and particulate matter and the NIOSH 7402 methodology was adapted for this procedure. For the collection of water samples, washings were performed with ultrapure water and acid rain. Samples of particulate matter were carried out in two environments (i) at the University, (ii) at the Contestado Settlement. Sample evaluations were performed by Scanning Electron Microscopy (SEM), energy dispersive X-ray analysis (EDS) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The results indicate the existence of chrysotile fibers showing the influence of diffuse pollution in the environment.

Keywords: diffuse pollution, asbestos, fiber cement roofs, chrysotile fibers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de Amianto	18
Figura 2 – Fibras de Amianto	19
Figura 3 – Reações químicas da Crisotila.....	21
Figura 4 – Imagem MEV de fibra de amosita em telha de fibrocimento com estado de conservação muito precário	29
Figura 5 – Imagem MEV de fibra fibras de crisotila desprendidas de uma telha de fibrocimento quase totalmente isenta de cimento com estado de conservação muito precário.....	30
Figura 6 – Imagem MEV de fibras de crisotila intimamente incluídas na matriz de cimento cujo estado de conservação da telha de fibrocimento era precário	30
Figura 7– Imagem MEV de fibras de crocidolita encontradas em telhas de fibrocimento de escolas em Roma	31
Figura 8 – Espectro FTIR de amostra eternit não tratada	32
Figura 9 – Imagens e EDS pontual do padrão de crisotila usada para fins comparativos	45
Figura 10 – Feixe de fibra de crisotila em MEV com aumento gradativo sendo (a) 370 vezes, (b) 650 vezes (campo ampliado na cor verde) e (c) 5.000 vezes (campo ampliado na cor azul)	46
Figura 11 – Espectrometria EDS da fibra de crisotila utilizada como padrão para o estudo.....	47
Figura 12 – Pico dos elementos referentes às fibras de crisotila analisadas por espectrometria de comprimento de onda	48
Figura 13 – FTIR da amostra de um padrão de crisotila fornecendo ênfase as ondas diferenciais da fibra de crisotila	49
Figura 14 – Imagem de MEV das amostras lavadas com água ultra pura (a) TB1PA, (b) TPSUPA, (c) TIPA, (d) TCPA.....	51
Figura 15 – Espectros de EDS das amostras lavadas com água ultrapura (a) TB1PA, (b) TPSUPA, (c) TIPA, (d) TCPA.....	51
Figura 16 – Espectros Infravermelho das amostras: padrão de crisotila, TB1PA, TPSUPA, TIPA e TCPA após a lavagem com água ultrapura	52
Figura 17 – Imagem MEV das amostras (a) TB1PS, (b) TPSUPS, (c) TIPS, (d) TCPS.....	53
Figura 18 – Espectros de EDS das amostras lavadas com chuva sintética (a) TB1PS, (b) TPSUPS, (c) TIPS, (d) TCPS.....	54
Figura 19 – Espectros Infravermelho das amostras TB1PS, padrão de crisotila, TPSUPS, TIPS e TCPS	55
Figura 20 – Imagem MEV das amostras (a) TB1PCM, (b) TPSUPCM, (c) TIPCM e (d) TCPCM	56
Figura 21 – Espectros de EDS das de coleta de água da chuva das telhas expostas no meio ambiente. (a) TIPCM e (b) TCPCM.....	57
Figura 22 – MEV para as amostras (a) TIPEMpart e (b) TCPEMpart	58
Figura 23 – EDS para as amostras TIPEMpart e TCPEMpart.....	58
Figura 24 – MEV para as amostras SSA, AS, TIPEMpart e TCPEMpart.....	59
Figura 25 – EDS para as amostras SSA, AS, TIPEMpart e TCPEMpart	60

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Lago Artificial Formado na Antiga Cava de Amianto	22
Fotografia 2 – Mercado de Peixe, localizado na cidade de Itapoá-SC	35
Fotografia 3 – Assentamento do Contestado, cidade da Lapa-PR	35
Fotografia 4 – Esquema do processo de lavagem da chuva sintética e chuva natural na telha de fibrocimento	37
Fotografia 5 – Membranas resultantes do processo de filtração	38
Fotografia 6 – Ilustração da montagem (a) estrutura protetora das amostras; (b) suporte da amostra de telha.....	40
Fotografia 7 – Instalação da caixa contendo amostra de telha (TIP) no assentamento Contestado onde (a) demonstração da estrutura da telha e (b) instalação completa do sistema para a coleta do material particulado	41
Fotografia 8 – Foto do aspirador portátil para a coleta do material	42
Fotografia 9 – Etapa 1 da Digestão Ácida das amostras (a) amostras transferidas para Beckers; (b) amostra aquecidas em chapa por 15 minutos; (c) amostra após a eliminação da fumaça castanha.	43
Fotografia 10 – Etapa 2 da Digestão Ácida das amostras sendo: (a) adição de 2mL de água e 3mL de 30% de H ₂ O ₂ e (b) volume final das amostras após processo de efervescência.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Amostras em Placas.....	36
Quadro 2 – Amostras/nomenclatura resultantes da lavagem com água ultrapura e chuva sintética.....	37
Quadro 3 – Identificação das Amostras	39
Quadro 4 – Bandas de absorção para diferentes tipos de amianto encontrado em telhas de fibrocimento	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREA	Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto
CME	Centro de Microscopia Eletrônica
CNPA	Comissão Nacional Permanente do Amianto
CNTI	Confederação Nacional dos Trabalhadores na Indústria
EDS	Espectroscopia de raios X por energia dispersiva
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ERM	Método Referência Europeu
FAP	Fator Acidentário de Prevenção
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
GT	Grupo de Trabalho
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IBC	Instituto Brasileiro do Crisotila
IMA	Instituto de Meio Ambiente
IMA	<i>International Mineralogical Association</i>
INCA	Instituto Nacional de Câncer
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IV	Espectroscopia Infravermelho
LEMASSA	Laboratório de Estudos em Matrizes Ambientais – Sedimento, Solo e Água
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial de Saúde
PR	Paraná
STF	Supremo Tribunal Federal
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
O	Oxigênio
Si	Silício
Cu	Cobre
Au	Ouro
C	Carbono
Fe	Ferro
H	Hidrogênio
Al	Alumínio
Co	Cobalto
F	Fluor
Na	Sódio
Ni	Níquel
Cr	Cromo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Amianto	17
2.1.1	Classificação	17
2.1.2	Características físicas e químicas da Crisotila	20
2.1.3	Estudos sobre a contaminação do amianto no Brasil	21
2.1.4	Legislação sobre o amianto no mundo e no Brasil	23
2.2	Telhas de fibrocimento produzidas com crisotila	26
2.2.1	Processo de fabricação	27
2.2.2	Estudos analíticos em telhas de fibrocimento	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	Limpeza de materiais	34
3.2	Seleção das telhas	34
3.3	Metodologia de avaliação das fibras de crisotila na água	36
3.3.1	Lavagem das telhas no laboratório	36
3.3.2	Coleta de água da chuva das telhas expostas no meio ambiente	38
3.4	Metodologia de Avaliação das fibras de crisotila no material particulado	39
3.4.1	Ensaio de Campo – Assentamento Contestado	39
3.5	Instrumentação	44
3.5.1	Caracterização por Espectroscopia Infravermelho	44
3.5.2	Caracterização e Quantificação por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) – EDS	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Caracterização do padrão das fibras de crisotila	45
4.1.1	Microscopia Eletrônica de Varredura Padrão Crisotila	45
4.1.2	Espectroscopia infravermelho do padrão de crisotila	49
4.2	Avaliação das fibras de crisotila na água	50
4.2.1	Lavagem de telhas no laboratório	50
4.2.1.1	<u>Amostras resultantes da aplicação de água ultrapura</u>	50
4.2.1.2	<u>Resultados da Coleta da água de chuva das telhas expostas ao meio ambiente</u>	56
4.3	Avaliação das fibras de crisotila no material particulado	57
4.3.1	Ensaio de Campo – Assentamento Contestado na região da Lapa	57

5 CONCLUSÕES.....	62
6 REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

O uso de amianto na fabricação de telhas era comum até meados do ano de 1991, quando se iniciou um estudo minucioso sobre a periculosidade do uso dessa fibra mineral para o organismo humano durante o processo fabril. Os estudos se intensificaram até culminar em 2017, segundo Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto (ABREA), com a proibição do uso industrial de qualquer tipo de amianto (ABREA, 2018).

Os efeitos da contaminação em humanos por amianto são elencados pelo Instituto Nacional de Câncer (INCA) como altamente cancerígeno, desenvolvendo patologias como asbestose, câncer de pulmão, mesotelioma, câncer de laringe, do trato digestivo e de ovário, espessamento na pleura e diafragma, derrames pleurais, placas pleurais e severos distúrbios respiratórios (INCA, 2021).

Os dados da Organização Mundial de Saúde (2017) afirmam categoricamente que todos os tipos de amianto provocam câncer:

O amianto (actinolite, amosite, antofilite, crisótilo, crocidolite e tremolite) foi classificado como agente cancerígeno para o ser humano pelo Centro Internacional de Investigação do Cancro. A exposição ao crisótilo, amosite e antofilite e às misturas que contenham crocidolite resulta em risco acrescido de contrair cancro do pulmão. Foram observados mesoteliomas após a exposição à crocidolite, amosite, tremolite e crisótilo no local de trabalho, bem como entre a população residente na proximidade de fábricas e minas de amianto e em pessoas que vivem com trabalhadores do amianto. (OMS, 2017, p. 3)

A afirmação da Organização Mundial da Saúde foi obtida através de estudos laboratoriais envolvendo análises ambientais do chão de fábrica, depósitos de descarte dos produtos com amianto e análise da presença do amianto livre na natureza (INCA, 2021).

Obviamente há um processo de degradação das telhas de fibrocimento, conhecidas comumente no Brasil como Eternit, as quais foram fabricadas com amianto, especificamente fibras de crisotila, até meados de 2017, gerando dúvidas quanto à possibilidade de contaminação do solo de áreas cobertas pelas telhas em ambiente doméstico. Estudos estes não informados ou efetuados pelo INCA, até o momento.

No presente estudo a fibra de amianto analisada é a crisotila, a qual é utilizada no processo fabril das telhas de fibrocimento devido as suas características físico-químicas. Neste contexto, o estudo tem por objetivo avaliar a possível existência de poluição difusa pela liberação de fibras de crisotila proveniente das telhas de fibrocimento.

Levando em consideração que o amianto foi considerado o “ouro branco” no final do século XIX em face de suas características de isolamento térmico e elevada resistência, substituindo de forma satisfatória o uso de materiais perigosos como “algodão silicatado”, utilizado pela Marinha Britânica para isolar as caldeiras. Com a revolução industrial passou a ser largamente utilizado pela indústria para a fabricação de equipamentos com maior resistência (SCLIAR, 1998 *apud* QUEIROGA *et al*, 2005).

Os habitantes da Finlândia, em épocas remotas, já usavam as fibras de amianto misturadas às argilas, na fabricação de vasos cerâmicos, tornando-os mais resistentes e duráveis ao fogo. No entanto, só em 1900, com a primeira patente europeia depositada pelo austríaco Ludwig Hatschek, para fabricação do fibrocimento, abre-se um grande campo de aplicação do amianto. **A concepção do fibrocimento é bastante simples e consiste na mistura de cimento e amianto (10%), para fabricação de telhas, tubos, divisórias etc.** (grifo nosso) (SCLIAR, 1998 *apud* QUEIROGA *et al*, 2005, p. 85).

Desde o século XX as indústrias utilizaram as vantagens do amianto na fabricação de produtos mais resistentes, fazendo com que toda residência tivesse acesso e fosse construída com materiais fabricados com amianto.

As características do amianto envolvem incombustibilidade, durabilidade, flexibilidade, indestrutibilidade, resistência, sedosidade, facilmente tecido e com boa qualidade de isolamento. Sua utilização foi ampla na substituição de vários produtos:

(...) foi utilizado principalmente na indústria da construção civil (pisos vinílicos, telhas, caixas d'água, divisórias, forros falsos, tubulações, vasos de decoração e para plantio e outros artefatos de cimento-amianto) e para isolamento acústico ou térmico. Foi empregado também em materiais de fricção nas guarnições de freios (lonas e pastilhas), em juntas, gaxetas e outros materiais de isolamento e vedação, revestimentos de discos de embreagem, tecidos para vestimentas e acessórios antichama ou calor, tintas, instrumentos de laboratórios e nas indústrias bélica, aeroespacial, petrolífera, têxtil, de papel e papelão, naval, de fundições, de produção de cloro-soda, entre outras aplicações. (INCA, 2021)

As telhas de fibrocimento com crisotila, devido as suas características de resistência, possuem degradação reduzida e assim, demoram a se degradar. Mas, a

degradação ocorre e é indicada pelo INCA como fator de contaminação humana. Razão pela qual, é justificável e emergencial a análise de ambientes domésticos, casas que possuem proteção de telhas com fibrocimento fabricadas com amianto, a fim de identificar a ocorrência de contaminação da água e do solo.

A possível restrição legal ao uso da fibra de crisotila é nova e ainda a indústria brasileira utiliza essa fibra mineral para a produção de telhas e outros produtos (OLIVEIRA, 2020; INCA, 2021; IBC, 2021). Portanto, pode-se inferir que as casas com telhas de fibrocimento fabricadas com amianto possuem o risco de contaminação por fibras de crisotila decorrente do processo degenerativo do produto (telha), incorrendo na possibilidade dos moradores se tornarem vítimas de câncer por exposição ao amianto.

O agravante no caso brasileiro se dá em virtude de um grande contingente populacional, oriundo das classes média e baixa, utilizar comumente as telhas de fibrocimento para recobrimento de suas casas ou áreas afins. Há o risco de ação da degradação ocasionando inevitavelmente, contaminação da água e do solo e em consequência, possível exposição e adoecimento dos moradores dessas áreas. Neste sentido, efetuar estudos para verificar a ocorrência da contaminação em matrizes ambientais levanta discussão sobre a possibilidade de erradicar do território brasileiro as telhas de fibrocimento com crisotila já comercializadas, incluindo as áreas de descarte, como lixões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados aspectos teóricos fundamentais para a presente pesquisa: o amianto – conceito e classificação, características físicas e químicas da crisotila, estudos sobre a contaminação do amianto no Brasil e legislação mundial e nacional sobre o amianto – e as telhas de fibrocimento produzidas com crisotila buscando enfatizar como a crisotila é utilizada nesse processo fabril.

2.1 Amianto

O amianto é definido, segundo Lemos e Gomes (2011, p. 29), como:

(I) Material silicato e fibroso, extraído da terra. Usado como material de construção (telhas e telhados), como material de isolamento e como proteção para bombeiros. O uso do amianto envolve altos riscos, em qualquer nível de exposição. (II) Silicato natural hidratado de cálcio e magnésio, de textura fibrosa, composta de fibras finíssimas e sedosas, em geral brancas e brilhantes, refratárias, com as quais se fabricam tecidos, placas, etc.

2.1.1 Classificação

O tetraedro de sílica (SiO_4)¹ é a unidade química básica de todos os minerais de silicato. O número de tetraedros na estrutura cristalina e como eles estão dispostos determinam como um mineral de silicato é classificado (IARC, 2012).

O nome amianto se deve às suas características de resistência, ou seja, palavra grega “*amianthus*” significando indestrutibilidade, igualmente é utilizado o termo asbesto (incombustível) como designação comercial (GOMES, 2011).

O amianto possui uma estrutura cristalina e uma composição química que se apresentam em diferentes tipos, cores e texturas. Essa fibra mineral se divide em dois grupos minerais denominados de serpentina e anfibólio. No grupo serpentina, tem-se uma única variedade fibrosa, denominada de amianto branco ou crisotila. No grupo anfibólio existem cinco variedades amianto azul ou crocidolita, amianto marrom ou

¹ Os silicatos são o maior e mais distribuído grupo de minerais na superfície da Terra. A unidade fundamental que os compõe são os tetraedros de sílica, SiO_4 , que são, junto com os óxidos, as unidades fundamentais que compõem a Terra. São os principais minerais formadores de rocha, compreendendo até 90% da composição da crosta terrestre. (USP, 2023)

amosita, tremolita, antofilita e actinolita, como é demonstrado na Figura 1 (QUEIROGA *et al*, 2005).

Figura 1 – Tipos de Amianto



Fonte: GDA (2021)

As diferenças entre as propriedades químicas e físicas das fibras de amianto são claras e facilmente identificadas. As fibras do grupo serpentina – a fibra de crisotila – possuem formas curvas, flexíveis e macias; sua estrutura é tubular. As fibras do grupo anfibólio – fibras de crocidolita, amosita, tremolita, antofilita e actinolita – possuem formas retas, duras, pontiagudas (crocidolita) e quebradiças (antofilita e tremolita); parecem lâminas estreitas com estruturas assimétricas quando comparadas as da crisotila (QUEIROGA *et al*, 2005; IPT, 2006).

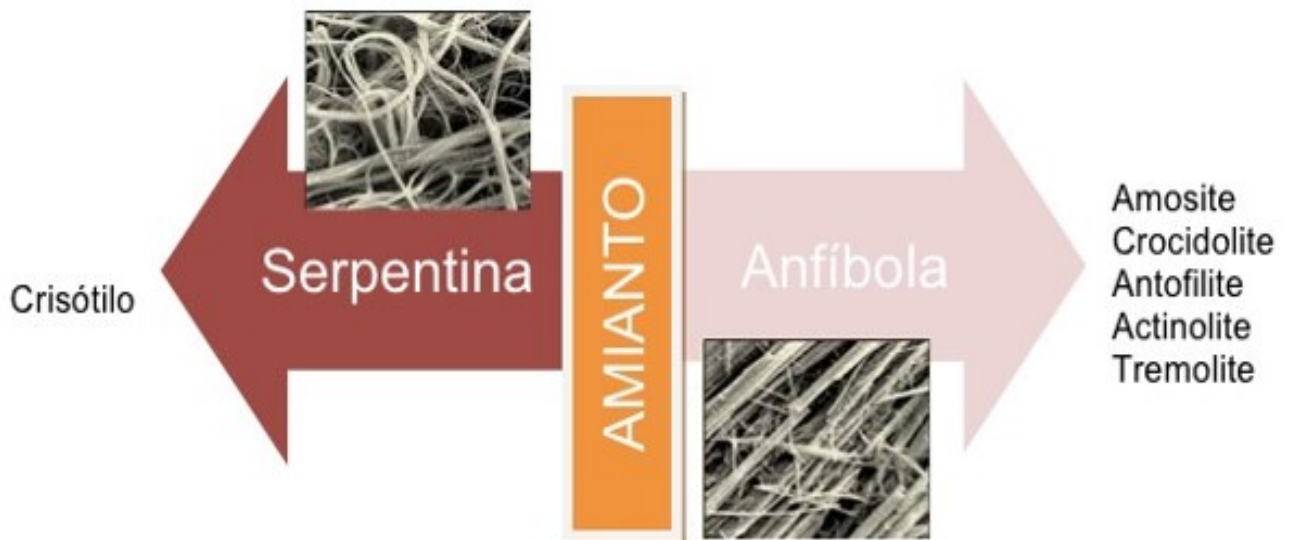
A estrutura dos minerais de silicato pode ser fibrosa ou não fibrosa. Os termos “amianto” ou “minerais asbestiformes” se referem apenas aos minerais de silicato que ocorrem em feixes polifilamentares e que são compostos por fibras extremamente flexíveis com um diâmetro relativamente pequeno e um comprimento grande. Esses feixes de fibras têm extremidades achatadas e as fibras são facilmente separadas umas das outras (IARC, 2012).

Minerais de amianto com cristais que crescem em duas ou três dimensões e que se dividem em fragmentos, ao invés de quebrar em fibrilas, são classificados como minerais de silicato com um hábito “não asbestiforme”. Esses minerais podem ter a mesma fórmula química da variedade “asbestiforme” (NIOSH, 2008 *apud* IARC, 2012).

Crisotila, lizardite e antigorite são os três principais minerais de silicato de serpentina. Destes, apenas o crisotila ocorre no hábito asbestiforme. Dos minerais de silicato anfibólio, amosita e crocidolita ocorrem apenas no hábito asbestiforme, enquanto tremolita, actinolita e antofilita ocorrem em hábitos asbestiformes e não asbestiformes, como é demonstrado na Figura 2 (USGS, 2001; HSE, 2005; NTP, 2005; IARC, 2012).

Historicamente, houve uma falta de consistência na nomenclatura do amianto, contribuindo para a incerteza na identificação específica de minerais de amianto relatados na literatura científica. A *International Mineralogical Association* (IMA) unificou a atual nomenclatura mineralógica em um único sistema em 1978. Esse sistema foi posteriormente modificado em 1997 (NIOSH, 2008; IARC, 2012).

Figura 2 – Fibras de Amianto



Fonte: SOSAMIANTO (2021)

A fórmula química básica do crisotila, silicato hidratado de magnésio, é $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. As fibras do anfibólio, por sua vez, são ricas em ferro e cálcio:

- Crocidolita: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeOSiO}_2$
- Amosita $\text{FeO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$
- Tremolita $\text{CaO} \cdot \text{MgOSiO}_2$
- Antofilita $(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$
- Actinolita $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Os silicatos de serpentina são classificados como “silicatos de folha” porque os tetraedros são dispostos para formar folhas. Os silicatos anfibólicos são classificados como “silicatos de cadeia” porque os tetraedros são dispostos para formar uma cadeia dupla de duas filas alinhadas lado a lado. O magnésio é coordenado com o átomo de oxigênio nos silicatos de serpentina. Em silicatos anfibólicos, elementos catiônicos como alumínio, cálcio, ferro, magnésio, potássio e sódio são ligados ao tetraedro. Os anfibólios distinguem-se uns dos outros pela sua composição química (IARC, 2012).

2.1.2 Características físicas e químicas da Crisotila

A crisotila é a fibra de amianto mais utilizada no setor industrial mundial, devido as suas características de resistência e flexibilidade. Os anfibólios, por sua vez, não são mais minerados em face do seu alto teor de toxicidade (FERREIRA FILHO e LINARES, 2009).

A crisotila $[\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$ se tornou então, o tipo de fibra do asbesto mais investigada, em face de seu amplo uso comercial. As pesquisas apresentaram resultados indicando que a crisotila combinada com a perda de água transforma-se em uma fase anidra (metacrisotila) em torno de $500\text{--}750^\circ\text{C}$ (com uma taxa máxima acima de 700°C). A recristalização rápida da fase anidra ocorre após este estágio acima de 800°C . O principal produto dessa transformação é a forsterita (Mg_2SiO_4) e a enstatita (MgSiO_3), esta última também pode ser formada em temperaturas mais altas. Ambos os minerais não possuem estrutura fibrosa e propriedades cancerígenas. As transformações são representadas na Figura 3 (IARC, 2012):

Figura 3 – Reações químicas da Crisotila



Fonte: IARC (2012)

2.1.3 Estudos sobre a contaminação do amianto no Brasil

Em 2007 a mídia e a sociedade pressionaram o legislativo, em especial a Câmara dos Deputados, para tomar uma atitude frente aos efeitos nocivos do amianto no Brasil. Deputados se reuniram e formaram um grupo de trabalho (GT) para estudar o problema, culminando com a visita a indústria, minas de amianto, órgãos públicos das localidades afetadas e o passivo ambiental do amianto (Avaré-SP e Casa Nova-Ba). Após três anos de estudos e visitas aos locais foi emitido um dossiê denominado “Dossiê Amianto Brasil”, cujo objetivo era analisar as implicações do uso do amianto no Brasil. A edição final do dossiê contém mais de 680 páginas abrangendo fotos e dados comprovando a falta de comprometimento das indústrias exploradoras de amianto com o meio ambiente. As fotos revelam a existência de vários depósitos a céu aberto contendo rejeitos de amianto, provocando riscos de contaminação da população e do meio ambiente (DUARTE, 2010).

No caso do passivo ambiental do local Bom Jesus da Serra, na Bahia, a dimensão da área degradada, envolvendo as operações de extração do amianto (cava, rejeitos, voçorocas, entre outros), foi estimada em 280 hectares. Foram 30 anos de exploração na área para posterior abandono da SAMA. Eis o relato dos deputados que visitaram o local:

O pó estava por toda parte. Seus efeitos na atmosfera eram mais persistentes ainda se considerarmos que a região é de caatinga, de seca e calor na maior parte do tempo, com uma vegetação arbórea dispersa, o que garantia a permanência da fibra no ar. (DUARTE, 2010, p. 457)

O problema do dossiê, apesar de se encontrar ricamente probatório em fotos, a descrição e análise dos locais não sofreu uma análise científica para a comprovação da contaminação por fibras apenas deduções comuns – achismos.

Sobre a contaminação da água o dossiê faz a seguinte constatação:

Em abril de 2008 o Instituto de Meio Ambiente, IMA, órgão da Secretaria de Meio Ambiente do Estado da Bahia, realizou duas análises da água do lago, concluindo que existe magnésio e cloreto além dos limites aceitos pela saúde, e coliformes fecais. A água “é considerada imprópria para o consumo humano”, frisou ao GT o diretor de fiscalização do IMA, Pedro Moreira. A população, no entanto, não foi alertada sobre isso. A água que ela bebe (além dos coliformes fecais e magnésio acima dos limites aceitos pela saúde) muito provavelmente contém amianto, uma vez que o caminhão-pipa transporta a água coletada por sucção (o turbilhonamento mistura águas de superfície com resíduos depositados no fundo do lago). Mas isso não parece preocupar alguns setores do Governo. O representante da Secretaria de Indústria e Comércio e Mineração da Bahia, André Bolinches, afirmou ao GT que... “A água não é problema; o problema é o pó. O único problema que pode advir da água, uma vez que o magnésio é laxante, é dor de barriga. É só a pessoa não beber demais. Tudo em demasia faz mal. Até água de coco”. Na verdade, o grau de contaminação da área e dos seus habitantes é uma incógnita. (DUARTE, 2010, p. 466)

Infelizmente, foi um total desperdício de oportunidade para um trabalho científico de qualidade sobre o assunto, bastava coletar amostras e enviar para um laboratório de qualidade. E mesmo na análise da água efetuada pelo Instituto do Meio Ambiente (IMA) não foi constatado amianto ou não foi efetuada uma análise criteriosa e específica sobre as fibras.

Fotografia 1 – Lago Artificial Formado na Antiga Cava de Amianto



Fonte: Duarte (2010, p. 460)

Obviamente o dossiê trouxe muitas informações e devido ao descaso das indústrias na recuperação do meio ambiente e aos casos de doenças ocupacionais dos trabalhadores das empresas exploradoras, ocorreram mudanças significativas na legislação brasileira.

Contudo, sobre a real ocorrência de contaminação do solo e da água por resíduos e pó de amianto nada foi conclusivo cientificamente. Tal fato deixou margem para a continuidade da exploração da crisotila no País.

2.1.4 Legislação sobre o amianto no mundo e no Brasil

Os primeiros casos de asbestose foram observados em 1900, mas somente em 1924, um médico inglês em autópsia, de uma operária de fábrica têxtil de amianto, observa extensos danos pulmonares decorrentes de sua atividade ocupacional. O termo asbestose começa a ser utilizado após publicação de relatório ocorrido em 1927 (ORACLE ASBESTOS, 2021).

Em 1901, pela Lei inglesa de Fábrica e Oficina, sobre “Indústrias Perigosas e Insalubres” relatava que “qualquer manufatura, maquinário, planta, processo ou descrição de trabalho manual, utilizado em fábricas ou oficinas, que seja perigoso ou prejudicial à saúde”. Os regulamentos da indústria de amianto de 1931 foram elaborados de acordo com a seção da referida lei, contudo, esta foi alterada de diversas maneiras até culminar com a introdução da Lei de Saúde e Segurança no Trabalho, ocorrida em 1974.

Em 1980 ocorreu na Inglaterra a proibição voluntária de importação do amianto azul (crocidolita) e do amianto marrom (amosita), considerando o branco (crisotila) como seguro. Alterações nos regulamentos de licenciamento do amianto em 1983, 1985, 1987 e 1988, exigem o uso de equipamentos de segurança para o trabalho com o amianto e a proibição do uso do amianto azul e marrom na confecção de produtos (tintas *spray*, por exemplo). Em decorrência, os produtos com amianto seguro foram introduzidos na tentativa de regular os produtos que continham amianto (ORACLE ASBESTOS, 2021).

Em 1990 ocorreu a limitação da emissão de amianto no ar, estabelecendo $0,1\text{mg}/\text{m}^3$ como limite para emissões em instalações industrial cuja produção envolvam o amianto. Em 1992 a 1998 ocorreram mais regulações voltadas para a segurança do trabalhador. Em 1999 iniciaram-se as proibições ao uso do crisotila:

qualquer produto que contenha a adição de crisotila como cimento-amianto, qualquer tábua, painel ou ladrilho, todo ou parte dele pintado com tinta contendo crisotila; qualquer placa de amianto, painel ou ladrilho revestido total ou parcialmente com acabamento texturado, gesso para fins decorativos contendo crisotila. No mesmo período, a Inglaterra proíbe a importação de lonas de freio contendo amianto (ORACLE ASBESTOS, 2021).

Em 2002, 2003 e 2006 ocorreram novas regulações para o uso amianto no ambiente de trabalho. A Organização Mundial de Saúde (OMS) introduziu um novo método para contagem de fibra de amianto, o qual não desconta as fibras como no antigo Método Referencia Europeu (ERM) – as fibras não são contadas se formarem partículas com mais de 3 micrômetros de largura. Ainda existem trabalhos licenciados para o uso do amianto desde que os funcionários possuam equipamentos de proteção especial e ocorra monitoramento do ar e exames médicos constantes (ORACLE ASBESTOS, 2021).

No Brasil, a Convenção n. 162 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) se tornou vigente a partir da publicação do Decreto Federal nº 126, trazendo normas de segurança para manipulação do amianto. Esse decreto foi revogado pelo Decreto 10.088/91 (FERIANI, 2021).

Na década de 1990, segundo Feriani (2021), foram elaboradas as seguintes medidas:

- 1991: Portaria MTE n. 01 alterando os “Limites de Tolerância para Poeiras Minerais”, disposto no Anexo 12 da Norma Regulamentadora nº 12.
- 1995: Lei Federal n. 9055 regendo a cadeia de produção do amianto e dos produtos que o contenham, incluindo as fibras naturais e artificiais, independente da origem utilizada para o mesmo fim.
- 1997: Decreto Federal n. 2350 regulamentando a Lei Federal nº 9055/95 e criando a Comissão Nacional Permanente do Amianto – CNPA, vinculada ao Ministério do Trabalho, cujo caráter é consultoria visando propor medidas relacionadas ao crisotila, e das demais fibras naturais e artificiais, a fim de garantir a segurança do trabalhador.

Na década de 2000 foram elencadas as seguintes diretrizes legais sobre o tema:

- 2009: Portaria nº 1644 veda ao Ministério da Saúde e aos seus órgãos vinculados, a utilização e a aquisição de produtos que contenham amianto em sua

composição. Também há a promulgação do Decreto Federal n. 6957 referindo-se à aplicação, acompanhamento e avaliação do Fator Acidentário de Prevenção – FAP (FERIANI, 2021).

O uso do amianto é legalmente restritivo em alguns Estados brasileiros como: Mato Grosso do Sul (Decreto Estadual 2210/01), Rio de Janeiro (Lei Estadual 3579/01), Pernambuco (Lei Estadual 12589/04), São Paulo (Lei Estadual 12684/07) e Minas Gerais (Lei 21114/13), todas elas publicadas no sentido de proibir o uso do material no território do respectivo Estado (FERIANI, 2021).

O Supremo Tribunal Federal (STF) intervem e nos anos 1990 proíbe a exploração de vários tipos de amianto, permitindo apenas o amianto tipo crisotila. Em 2017 decide pela completa abolição do uso da fibra de crisotila em todos os Estados brasileiros (OLIVEIRA, 2021).

Na tentativa de reverter a proibição iniciada em 1990, a Confederação Nacional dos Trabalhadores na Indústria (CNTI) ajuizou uma ação direta de inconstitucionalidade junto ao STF, da Lei Estadual 3579/01 do Rio de Janeiro, alegando que o uso do mesmo era permitido pela Lei Federal n. 9055/95 e várias normas estaduais invadiram a competência da União ao impor restrição maior (OLIVEIRA, 2021).

Em 2019 há a promulgação da Lei Estadual de Goiás 20.514/2019 liberando a mineração do crisotila para exportação, da qual emanava grandes recursos para o Estado. Em decorrência, a mina Cana Brava reativou as suas atividades, antes paralisadas pela decisão do STF de 2017.

E o embate entre as competências estadual e federal tem produzido no país complexa discussão devido as consequências econômicas de abolir a extração da crisotila em Minas Gerais.

Observa-se a inexistência de consenso quanto a real toxicidade do crisotila. Como salienta o IBC (2021): “Com o entendimento inicial da relação entre amianto e doença, pouca informação se dispunha quanto a se os dois diferentes grupos do mineral chamado amianto tinham potenciais iguais ou diferentes de causar doença.”

Vastos são os estudos indicando a geração de patologias associadas à inalação de asbestos como salienta o IARC (2012).

A exposição ao amianto está relacionada à ocorrência de diversas doenças. Ele é classificado como reconhecidamente cancerígeno para os seres humanos. **Não foram identificados níveis seguros para a exposição às suas fibras.** O intenso uso no Brasil exige que a recuperação do histórico de contato inclua todas as situações de trabalho, tanto as de contato direto com o minério em atividades industriais típicas - em geral com exposição de longa duração, como as de contato indireto, através de serviços de apoio, manutenção, limpeza, - em geral de baixa duração, mas sujeitas a altas concentrações de poeira; e **as exposições não ocupacionais, sejam elas indiretas ou ambientais.** (grifo nosso) (INCA, 2021)

É inegável e incontestável que as fibras de asbestos quando inaladas são prejudiciais a saúde. O problema é que a crisotila, amplamente utilizada na indústria mundial e principalmente nos países em desenvolvimento, não foi identificada cientificamente como nociva para o corpo humano, pois para tal se faz necessária uma autópsia no indivíduo com asbestose, efetuando-se análise microscópica do tecido pulmonar a fim de identificar as fibras de crisotila. Poucos estudos, principalmente na água e solo, falam em asbestose, identificando as fibras de anfíbolos, mas não a fibra de crisotila. Razão pela qual, o presente estudo, torna-se valioso para a comunidade científica, trazendo luz sobre a possível contaminação ambiental produzida pela deterioração das telhas de fibrocimento contendo crisotila.

2.2 Telhas de fibrocimento produzidas com crisotila

O fibrocimento é formado por uma matriz de cimento Portland – aglomerante hidráulico obtido a partir da moagem conjunta do clínquer (material sólido, granulado, constituído essencialmente de silicatos de cálcio hidratado (C-S-H) e pequena porcentagem de uma ou mais formas de sulfato de cálcio) – endurecido em água e reforçado com fibras inorgânicas ou orgânicas naturais ou sintéticas (IPT, 2006).

A matriz química do cimento Portland envolve 90% de silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_3 = \text{C}_3\text{S}$), silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$), aluminoferrita tetracálcica ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$) e sulfato de cálcio ($\text{CaO} \cdot \text{SO}_4$).

As fases do cimento Portland em contato com água, sofrem reações químicas em solução e no estado sólido, as quais constituem a chamada “pega” e endurecimento do cimento Portland hidratado. Nessas reações químicas formam-se compostos sólidos e cristalinos, com cristais de morfologia alongada ou acicular e lamelar; o entrecruzamento desses cristais, tridimensionalmente, gera uma resistência mecânica muito grande de compressão que permite obter boas propriedades ligantes em compósitos

como argamassas, concretos, cimento-amianto e outros produtos fabricados com cimento Portland (KIYOHARA, 1991, *apud* IPT, 2006, p. 10).

2.2.1 Processo de fabricação

A adição das fibras de crisotila, segundo o estudo comparativo de Savastano JR., Dantas, Agopyan (1994) *apud* IPT (2006), aumentava a resistência à tração de forma significativa quando comparada as demais fibras testadas. Isto se deve às características da estrutura fibrilada da crisotila, a qual aumenta a aderência com a matriz.

As fases de produção da telha envolvem, segundo o IBC (2021), as seguintes etapas:

- 1) Formação de Película: diluição da massa em grande quantidade de água, filtragem do material na máquina de formação, remoção do excesso de água e prensa sobre um cilindro formador. “A água resultante da filtragem da massa é enviada para funil, onde o material é reaproveitado mantendo um circuito fechado” (IBC, 2021).
- 2) Saída / Ondulação: uso do cilindro para enrolar o material de fibrocimento até atingir a espessura desejada.

Esse material que possui umidade em torno de 28% é enviado para o sistema automático de ondulação onde a manta é cortada nas medidas necessárias e compatíveis ao produto fabricado. Os retalhos que sobram do recorte das mantas de fibrocimento, ainda úmidas retornam para a máquina onde são dissolvidas no processo. (IBC, 2021)

- 3) Cura e Desenforme: os produtos ficam em moldes de ferro por aproximadamente 8 horas, posteriormente são separados dos moldes através de sistema automático, inspecionados e empilhados. A lubrificação dos moldes ocorre automaticamente a cada utilização.
- 4) Recuperação de Britagem: produtos defeituosos são recortados para medidas menores e a sobra é britado no moinho, retornando para o processo. Os produtos com defeitos e as sobras do processo são novamente britados e adicionados no ato da preparação da massa, no chamado “Rejeito Zero”. (IBC, 2021)

Nos estudos sobre a degradação das telhas de fibrocimento com crisotila, Sarkar, Joliqueur, Khorami (1987) *apud* IPT (2006, p.16), “mostraram que a causa primária de degradação e delaminação da telha de cimento-amianto é a formação de cristais de gipso, que é acompanhada de um aumento substancial de volume (expansão)”. A carbonatação, produtora dos cristais de calcita ou vaterita, é um mecanismo de degradação secundário.

A degradação das telhas de fibrocimento com crisotila pode ocorrer da seguinte forma:

- degradação mecânica: também chamada de quebra refletida pela baixa resistência ao impacto do cimento-amianto. “A quebra, quando não por impacto ou excesso de carga, pode ocorrer através da percolação de soluções químicas, que podem provocar a cristalização de minerais secundários, gerando expansão e tensões” (WOODS, 2000, *apud* IPT, 2006, p. 17).

- degradação química: possuem origem extrínseca (agente externo) ou intrínseca (alterações pervasivas). As alterações extrínsecas geralmente possuem características superficiais. As alterações intrínsecas podem “gerar descoloração, transformações mineralógicas com perda de resistência mecânica e erosão da superfície” (WOODS, 2000, *apud* IPT, 2006, p. 17). É possível ainda, sofrer ação de ácidos: quando os carbonatos e sulfatos de cálcio, subprodutos da matriz, são atacados por ácido sulfúrico e carbônico, gerando aumento da porosidade, fissuras dadas por tensões geradas por cristalização e remoção da matriz, liberando fibras de crisotila (SPURNY, 1988, *apud* IPT, 2006).

- degradação biológica: desenvolve-se quando os produtos se encontram à sombra de árvores, estando sujeitos ao crescimento de fungos, musgos e algas estimulando assim, a deterioração, o manchamento da superfície e o aparecimento de outras espécies mais deletérias (WOODS, 2000, *apud* IPT, 2006). Os “ácidos orgânicos, apesar de mais fracos que os inorgânicos, podem ser tão deletério quanto estes para as fibras” (IPT, 2006, p. 17).

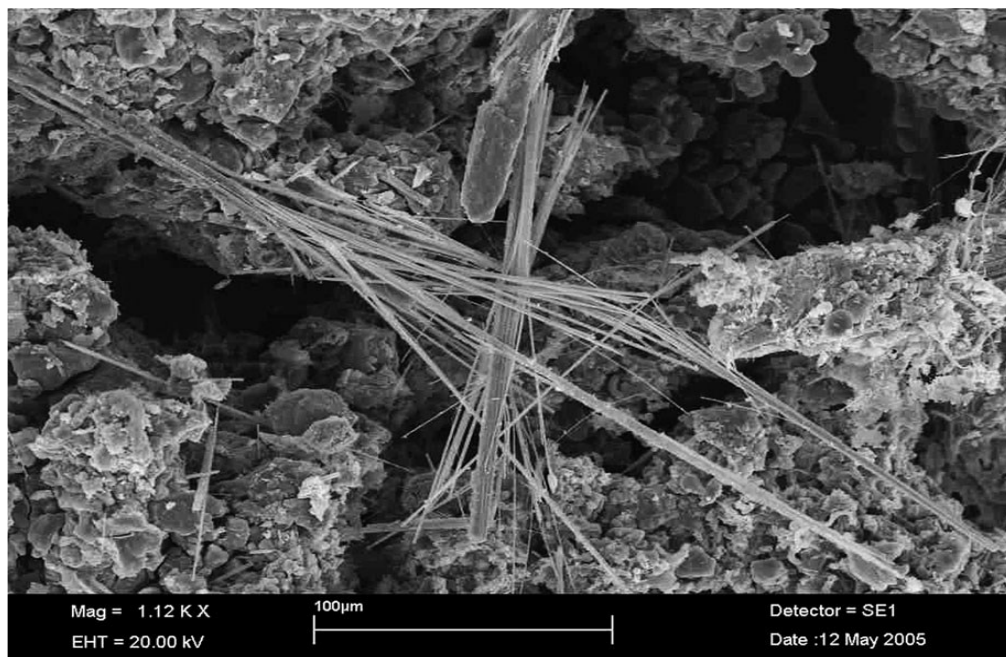
A matriz do cimento pode alterar-se para uma fina camada de gipso, que posteriormente **pode ser dissolvida e lavada pela chuva ácida, liberando as fibras de amianto antes inseridas na matriz. A quantidade de fibras longas liberadas para o ambiente varia em função da poluição do local: aqueles mais poluídos geram uma maior taxa de degradação do produto.** (grifo nosso) (IPT, 2006, p. 17)

Compreende-se, a partir dos estudos efetuados que as fibras de crisotila fornecem forte aderência à matriz cimentícia da telha de fibrocimento e que estas, em ambiente com processos de degradação podem se desprender da matriz. E tal ocorrência pode contaminar o ambiente.

2.2.2 Estudos analíticos em telhas de fibrocimento

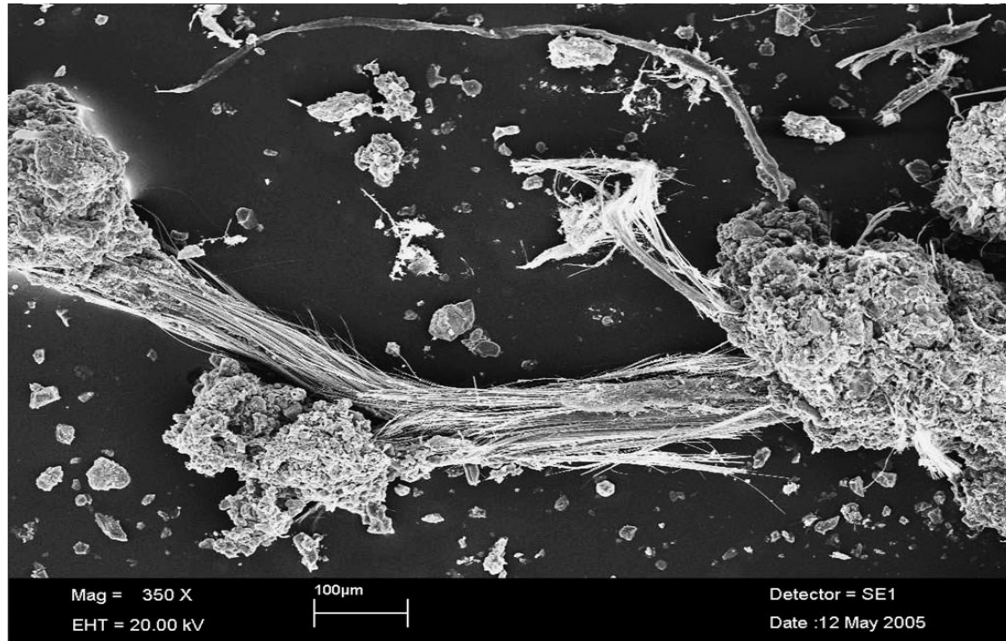
Os estudos de Campopiano *et al* (2009) e (2021) efetuados na cidade de Roma em telhas de fibrocimento e demais materiais de telhados contendo asbestos fornecem MEVs importantes a serem consideradas, as quais são apresentadas nas Figuras 4,5,6 e 7.

Figura 4 – Imagem MEV de fibra de amosita em telha de fibrocimento com estado de conservação muito precário



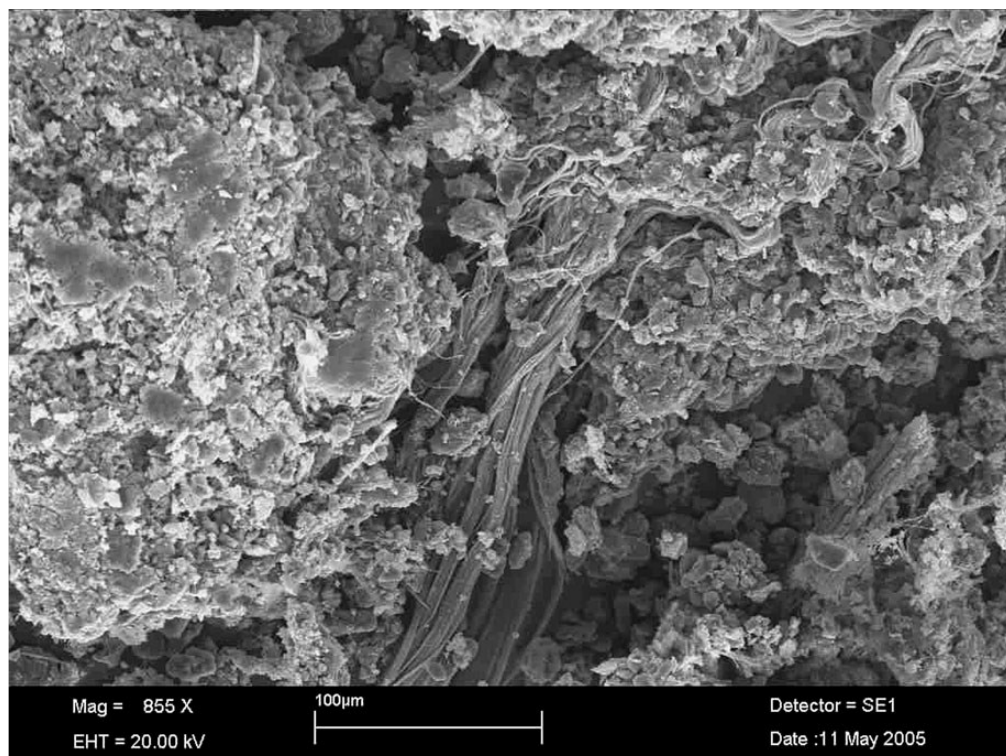
Fonte: Campopiano *et al* (2009, p. 634)

Figura 5 – Imagem MEV de fibra fibras de crisotila desprendidas de uma telha de fibrocimento quase totalmente isenta de cimento com estado de conservação muito precário



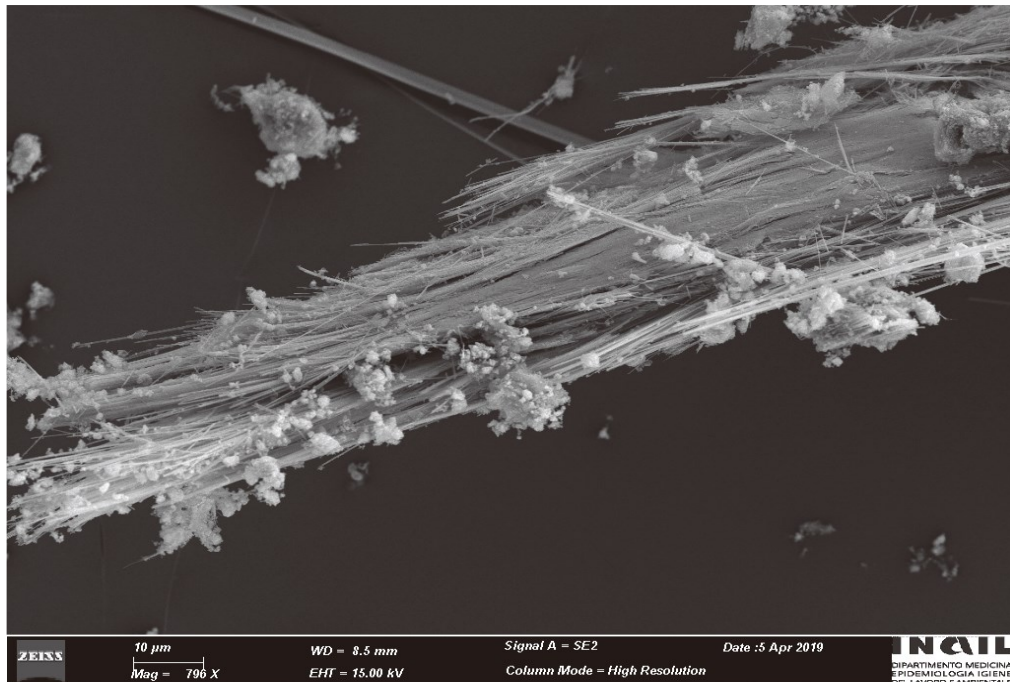
Fonte: Campopiano *et al* (2009, p. 635)

Figura 6 – Imagem MEV de fibras de crisotila intimamente incluídas na matriz de cimento cujo estado de conservação da telha de fibrocimento era precário



Fonte: Campopiano *et al* (2009, p. 636)

Figura 7– Imagem MEV de fibras de crocidolita encontradas em telhas de fibrocimento de escolas em Roma



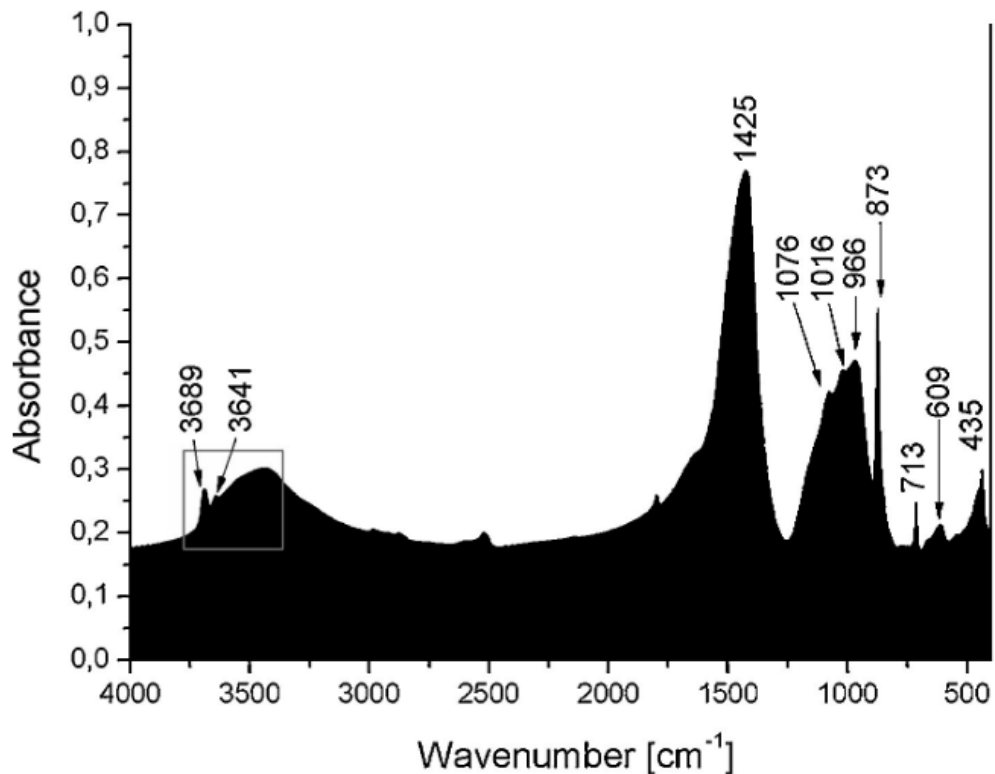
Fonte: Campopiano et al (2021, p. 27)

A conclusão de Campopiano *et al* (2009) com as telhas de fibrocimento é que mesmo em estado avançado de deterioração não é observada uma liberação significativa de fibras de amianto. Entretanto, salientam que devido a elevada quantidade de fibras de amianto encontrada nas telhas de fibrocimento pesquisadas demonstra a existência de uma liberação lenta e contínua de fibras, a qual, afirmam os autores acarretaria maior problema devido a receptação destas fibras no ambiente. Importante também salientar a existências de outras fibras de asbestos nas telhas de fibrocimento como amosita e crocidolita.

No estudo de Iwaszko (2019) com telhas de fibrocimento contendo amianto, os principais componentes do cristal eram portlandita e/ou calcita e variados tipos de minerais de amianto, ou seja, crisotila e crocidolita, dependendo da amostra contendo amianto analisada. Para identificar a crisotila, as bandas de absorção no Infravermelho localizadas em cerca de $3689\text{--}3692\text{ cm}^{-1}$ e $607\text{--}609\text{ cm}^{-1}$ são as mais comumente usadas. No caso dessas bandas, não há efeito de sobreposição de bandas de crisotila com bandas de absorção de outros componentes do material, o que dificultaria a identificação. Na maioria das vezes, no entanto, a banda localizada em 3691 cm^{-1} é usada para identificar o crisotila.

A Figura 8 mostra o espectro FTIR da telha Eternit pesquisada por Iwaszko (2019), demonstrando as características essenciais do espectro infravermelho da fibra de crisotila que é a presença de bandas de absorção dupla, mais forte em 3689 cm^{-1} (estiramento Mg-OH externo em fase) e mais fraco em 3641 cm^{-1} (Mg interno em fase -OH estiramento). Estas bandas são devidas a vibrações de estiramento da ligação O single. Em seguida, há bandas triplete características de crisotila centradas em 1076 cm^{-1} , 1016 cm^{-1} e 966 cm^{-1} devido à vibração de estiramento Si-O-Si. A banda de crisotila localizada em 609 cm^{-1} pode ser atribuída à vibração interna do Mg-OH.

Figura 8 – Espectro FTIR de amostra eternit não tratada



Fonte: Iwaszko (2019)

A Figura 8 mostra o espectro FTIR da eternit pesquisada por Iwaszko (2019), demonstrando as características essenciais do espectro infravermelho do crisotila que é a presença de bandas de absorção dupla de crisotila, mais forte em 3689 cm^{-1} (estiramento Mg-OH externo em fase) e mais fraco em 3641 cm^{-1} (Mg interno em fase -OH estiramento). Estas bandas são devidas a vibrações de estiramento da ligação O single. Em seguida, há bandas triplas características de crisotila centradas em

1076 cm^{-1} , 1016 cm^{-1} e 966 cm^{-1} devido à vibração de estiramento Si–O–Si. A banda de crisotila localizada em 609 cm^{-1} pode ser atribuída à vibração interna do Mg–OH.

Para comprovar a liberação de fibras de amianto no meio ambiente a partir de telhas de fibrocimento nas matrizes de água e de material particulado², as amostras serão avaliadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia Infravermelho (IV), comprovando-se assim, a existência de poluição difusa das fibras de crisotila.

² Material particulado é definido como um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. (CETESB, 2023)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são abordados os materiais e métodos utilizados para a pesquisa laboratorial.

3.1 Limpeza de materiais

As vidrarias utilizadas foram previamente lavadas com detergente e posteriormente, colocadas em banho de ácido nítrico 10% por no mínimo 12 horas. Na sequência, efetuou-se uma tripla lavagem com água ultrapura (marca Millipore, modelo Direct-Q8UV) e uma lavagem com acetona. A secagem foi realizada na estufa (marca SP Labor, modelo SP – 100/150) em temperatura de 60°C. O armazenamento foi realizado em sacos plásticos limpos e fechados com elásticos. As membranas de acetato de celulose de porosidade de 0,45 µm foram lavadas com água ultrapura e manipuladas apenas por uma pinça de metal, previamente limpa. A secagem das membranas foi realizada em estufa com temperatura de 30°C e em seguida, foram armazenadas em porta amostras de plástico, previamente higienizados.

3.2 Seleção das telhas

O critério de escolha das amostras levou em consideração o tempo, desgaste, anuência do proprietário do local e tipo de ambiente (litoral e região agrícola), fatores estes que podem apresentar influência sobre a liberação da fibra de crisotila por degradação e poluição ambiental. Em decorrência, foram escolhidas e coletadas amostras dos seguintes locais:

- 1) Região Litorânea: telha coletada do estabelecimento comercial “Mercado dos Pescadores da Praia de Itapema do Norte”, previamente retirada do telhado, localizado na cidade de Itapoá, Estado de Santa Catarina. A telha coletada estava em uso por aproximadamente 20 anos, Fotografia 2.

Fotografia 2 – Mercado de Peixe, localizado na cidade de Itapoá-SC



Fonte: Autoria Própria (2021)

- 2) Região Agrícola: telha coletada no assentamento do Contestado, localizado na cidade da Lapa, Estado do Paraná. A telha coletada possui aproximadamente 20 anos de uso e foi retirada do telhado de uma instalação local (Fotografia 3).

Fotografia 3 – Assentamento do Contestado, cidade da Lapa-PR



(a) Placa do assentamento ocupado em 1999; **(b)** Escola Municipal/Colégio Estadual do Campo Contestado.

Fonte: Autoria Própria (2021)

As telhas foram coletadas em dois ambientes distintos (no litoral e em uma região agrícola), visando avaliar possíveis diferenças entre ambientes.

As telhas selecionadas foram mantidas na forma de placa com dimensão média de 0,3 m² para posterior lavagem e análise das fibras de crisotila, como é descrito a seguir no quadro 1:

Quadro 1 – Amostras em Placas

N° da Amostra	Telha Placa
TB1P	Telha branco 1 Placa
TPSUP	Telha padrão sem uso
TIP	Telha Itapoá
TCP	Telha Contestado

Fonte: Aatoria Própria (2021)

A amostra TB1P (Telha Branco 1 Placa) foi adquirida no comércio e não possui fibras de crisotila em sua fabricação. A telha TPSUP (Telha Padrão Sem Uso Placa), também adquirida no comércio, contendo em sua fabricação fibras de crisotila.

3.3 Metodologia de avaliação das fibras de crisotila na água

Apresentação das lavagens efetuadas nas telhas pesquisadas.

3.3.1 Lavagem das telhas no laboratório

As amostras TB1P (Telha Branco 1 placa); TPSUP (Telha padrão sem uso placa); TIP (Telha Itapoá placa); TCP (Telha Contestado placa) foram então submetidas no laboratório a dois procedimentos de lavagem com água ultrapura e chuva sintética. Neste procedimento o que diferencia é o pH.

Esse procedimento foi feito por cinco lavagens consecutivas. Cada uma das lavagens foi submetida à filtração em membrana para a coleta das possíveis fibras de crisotila. Esse processo de filtração resultou em várias membranas de uma mesma amostra. Isso ocorreu devido a saturação e necessidade de troca por uma nova membrana. Dependendo da amostra isso ocorreu até 20 vezes. As membranas após a filtração foram armazenadas em local reservado até o momento da análise.

Para a preparação de um litro de chuva sintética, utilizou-se a metodologia proposta por Davis (2001): 18 μmol de HNO_3 , 18 μmol de H_2SO_4 , 23 μmol NaCl , NH_4OH 6 mol L^{-1} . Foram efetuadas medições de pH na mistura preparada para atingir o pH 5,5 – considerado o pH de chuva de caráter ácido – utilizando-se uma solução de hidróxido de amônio para o ajuste. Após o preparo da chuva sintética as amostras foram acondicionadas em uma bandeja plástica, previamente limpa, em ângulo de inclinação de aproximadamente 30° (Fotografia 4). O volume utilizado para a lavagem

foi de 500 mL, derramando o líquido de forma constante e no mesmo sentido no recipiente onde estava a placa da telha selecionada.

Fotografia 4 – Esquema do processo de lavagem da chuva sintética e chuva natural na telha de fibrocimento



Fonte: Autoria Própria (2021)

Após a lavagem, o líquido foi recolhido e filtrado, com auxílio de uma bomba de vácuo (marca Tecnal, modelo TE – 0581) em membrana de acetato de celulose de tamanho 0,45 μm de porosidade. As membranas foram acondicionadas em porta amostras, identificadas e armazenadas em local seco. O mesmo procedimento de lavagem foi realizado aspergindo a água ultrapura.

No quadro 2 tem-se as amostras obtidas por esse procedimento.

Quadro 2 – Amostras/nomenclatura resultantes da lavagem com água ultrapura e chuva sintética

Telhas no formato de placa	Telhas no formato de placa lavada com água ultrapura (A)	Telhas no formato de placa lavada com chuva sintética (S)
TB1P	TB1PA	TB1PS
TPSUP	TPSUPA	TPSUPS
TIP	TIPA	TIPS
TCP	TCPA	TCPS

Fonte: Autoria Própria (2021)

3.3.2 Coleta de água da chuva das telhas expostas no meio ambiente

Após o estudo de lavagem das telhas no laboratório, as amostras TB1P (Telha Branco 1 placa), TPSUP (Telha padrão sem uso placa), TIP (Telha Itapoá Placa) e TCP (Telha Contestado Placa) foram expostas ao ambiente. Neste sentido, as telhas foram acondicionadas em caixas plásticas distintas e após eventos de precipitação/chuva foram coletadas em frascos plásticos. Esse procedimento foi realizado em etapas diferentes abrangendo período de chuva do ano de 2021 e lavagem chuva sintética efetuada no ano de 2022.

Após a precipitação pluviométrica, a água da chuva foi recolhida em frascos plásticos e em seguida foi realizada a filtração em membrana de acetato de celulose de porosidade 0,45 μm (previamente limpa). Após a filtração, as membranas contendo as amostras, como demonstrado na Fotografia 5, foram guardadas em dessecador até o momento das análises instrumentais. O número elevado de membranas é decorrente da presença de material particulado, oriundo das chuvas. Neste sentido foi necessário repetir o processo de filtração, para uma mesma amostra, para que a membrana não se rompesse.

Fotografia 5 – Membranas resultantes do processo de filtragem



Fonte: Autoria Própria (2022)

As amostras resultantes do processo de filtração geraram as amostras TB1PCM (Telha Branco Placa Caixa Meio Ambiente); TPSUPPCM (Telha Padrão Sem Uso Placa Caixa Meio Ambiente); TIPPCM (Telha Itapoá Placa Caixa Meio Ambiente); TCPCM (Telha Contestado Placa Caixa Meio Ambiente) as quais foram enviadas para análise instrumental, as quais são demonstradas no Quadro 3.

Quadro 3 – Identificação das Amostras

Telha no formato de placa	Telha no formato de placa colocada em caixa plástica e exposta no meio ambiente (CM)
TB1P	TB1PCM
TPSUP	TPSUPPCM
TIP	TIPPCM
TCP	TCPCM

Fonte: Autoria Própria (2021)

3.4 Metodologia de Avaliação das fibras de crisotila no material particulado

O procedimento para avaliar as fibras no material particulado depositado foi realizado no Assentamento Contestado localizado no município da Lapa, no Estado do Paraná.

3.4.1 Ensaio de Campo – Assentamento Contestado

O assentamento Contestado, localizado a aproximadamente 62,3 quilômetros do centro da cidade de Curitiba, dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana foi o local escolhido para colocar as telhas e propicia um ambiente livre de atividades antrópicas, as quais podem provocar a contaminação do solo, comuns em grandes centros urbanos.

O Assentamento Contestado – assim conhecido em homenagem às famílias de trabalhadores rurais que lutaram na Guerra do Contestado que ocorreu entre os anos de 1912 a 1916 - foi conquistado através da luta do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST, organização existente desde 1984) no dia 7 de fevereiro de 1999, quando 52 famílias da região de Curitiba, Balsa Nova, Lapa e outras regiões do Paraná ocuparam a antiga Fazenda Santa Amélia em um processo pacífico que reivindicou a terra para a reforma agrária, beneficiando inicialmente 108 famílias (GALVÃO; ROSAS; RAMOS,

2016; RAMOS; ROSAS, 2017; SANTOS, 2015). A fazenda pertencia ao grupo Incepa, empresa produtora de cerâmica que havia adquirido o local como área de reflorestamento para produção de lenha, principalmente de eucaliptos, para a queima durante o processo de secagem da cerâmica produzida. Com as inovações tecnológicas, o interesse pela matéria prima da madeira como lenha passou a ser ultrapassada, permanecendo durante muitos anos uma região improdutiva. O Assentamento foi liberado pelo INCRA em 29/11/2000. Atualmente, a comunidade do Assentamento Contestado é formada por pelo menos 156 famílias. (MORRO, 2021, p. 41)

Para a coleta do material particulado foi confeccionada uma estrutura protetora no formato de caixa, conforme Fotografia 6 (a), utilizando-se ripas de madeira, sem fundo, laterais e a parte superior foi fechada com tela mosquiteiro fuzil com dimensões de furo de 1,5 x 1,5 milímetros e grossura do fio de 22 micras. As medidas da estrutura são 2m x 2m x 0,90m, 30 cm de comprimento. Na Fotografia 6 (b) tem-se o suporte da amostra de telha.

Fotografia 6 – Ilustração da montagem (a) estrutura protetora das amostras; (b) suporte da amostra de telha



Fonte: Autoria Própria (2021)

A área de instalação no Assentamento Contestado foi previamente limpa e roçada, sendo delimitada em 4m² de área total. Para a instalação do suporte da telha foi utilizado o trado holandês para fazer a perfuração do solo de aproximadamente 25 cm de profundidade, totalizando quatro orifícios. Para instalação da caixa foi utilizado à cavadeira articulada para escavar quatro buracos com 50 cm de profundidade. Para

facilitar a coleta da possível fibra de crisotila foi colocada uma lona plástica, no solo da caixa e do suporte da telha, conforme Fotografia 7.

Fotografia 7 – Instalação da caixa contendo amostra de telha (TIP) no assentamento Contestado onde (a) demonstração da estrutura da telha e (b) instalação completa do sistema para a coleta do material particulado



Fonte: Autoria Própria (2021)

Após 15 dias foi efetuada uma coleta do material particulado contido no interior da caixa e depositado na superfície da lona. Essa coleta foi realizada com auxílio de um aspirador de pó portátil, marca *wordshop*, linha Premium, modelo 2021 e capacidade 5 L.

O local de armazenamento do aspirador foi previamente limpo em banho ácido. As especificações técnicas do equipamento envolvem tensão de entrada de DC 5V 1-2A, cor preta, confeccionado em material plástico, potência de saída de 120W, sucção de vácuo de 6000Pa, dimensões de 16,5 x 14,5 x 4cm, capacidade da bateria para 2000mAh, tempo de trabalho de cerca de 30 minutos, tempo de carregamento de cerca de 2-3 horas e capacidade de armazenamento de poeira de 0,5L. Na Fotografia 8 tem-se uma imagem do aspirador portátil.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório. No laboratório foram pesadas em balança analítica e acondicionadas em placas de petri previamente limpas para posterior tratamento de digestão e análise instrumental.

Fotografia 8 – Foto do aspirador portátil para a coleta do material



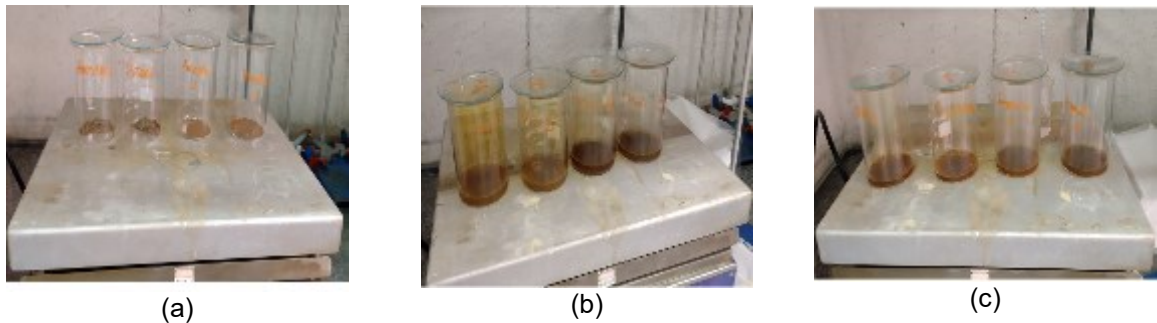
Fonte: Aatoria Própria (2021)

As amostras de material particulado provenientes do Assentamento Contestado também foram submetidas ao procedimento de digestão ácida baseado no método 3050B da *Environmental Protection Agency* (EPA), consistindo nas seguintes etapas:

1ª ETAPA: as amostras, SSA (Solo Sem Amianto) a qual contem solo sem exposição à telhas de fibrocimento, SA (Solo contendo um padrão de Amianto) onde ocorreu a exposição à crisotila e TIPEMpart (material particulado coletado no ambiente teste da telha de Itapoá), TCPEMpart (material particulado coletado no ambiente teste da telha de Contestado). Todas as amostras coletadas foram transferidas para um Becker de 50 mL, e submetidas a um refluxo ácido de 10 mL de HNO₃ concentrado e coberta com vidro de relógio. Em seguida foi aquecida em chapa à 95°C por 15 minutos sem ebulição. Após esse procedimento foi resfriada em banho de gelo por 5 minutos e adicionado 5 mL de HNO₃, foi recolocado o vidro de relógio e foi levado para chapa de aquecimento por um período de 30 minutos. Esse procedimento ocorreu por cinco vezes até eliminação da fumaça castanha, produzida pela presença de óxidos oriundos de minérios existentes no solo.

Na Fotografia 9 tem-se a demonstração da primeira etapa com os béqueres provenientes da amostra TIPEMpart.

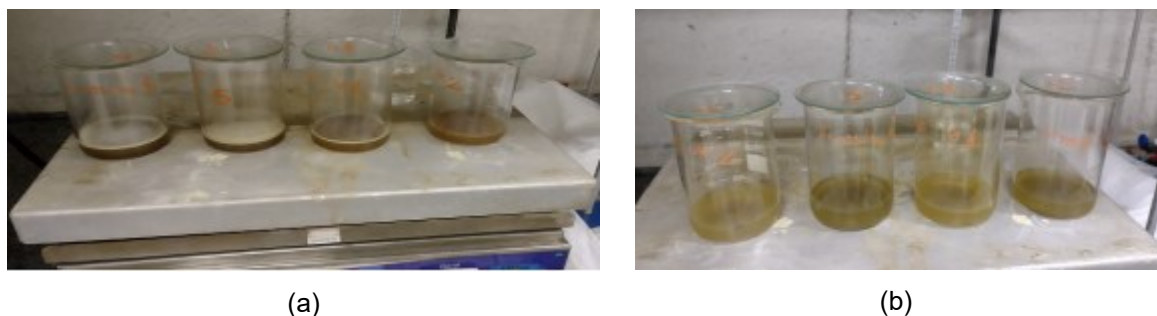
Fotografia 9 – Etapa 1 da Digestão Ácida das amostras (a) amostras transferidas para Beckers; (b) amostra aquecidas em chapa por 15 minutos; (c) amostra após a eliminação da fumaça castanha



Fonte: Aatoria Própria (2021)

2ª ETAPA: Após a primeira etapa de digestão ter sido concluída e a amostra foi resfriada e em seguida foram adicionados 2 mL de água e 3 mL de 30% H_2O_2 . O recipiente foi coberto com um vidro de relógio e levado para a chapa de aquecimento para iniciar a reação. Foi aquecido até o momento em que a efervescência diminuiu e a amostra foi resfriada por 5 minutos. Em seguida adicionou-se lentamente 10 mL de H_2O_2 30%. Continuou-se a adição de H_2O_2 em alíquotas de 1 mL, com aquecimento até a efervescência, totalizando 10 mL adicionados. As amostras permaneceram na chapa de aquecimento à 95°C por 2 horas, até que o volume reduziu para aproximadamente 5 mL. Na Fotografia 10 tem-se a demonstração do processo.

Fotografia 10 – Etapa 2 da Digestão Ácida das amostras sendo: (a) adição de 2mL de água e 3mL de 30% de H_2O_2 e (b) volume final das amostras após processo de efervescência



Fonte: Aatoria Própria (2021)

3ª ETAPA: Após resfriamento. As partículas do digerido foram removidas por filtração em membrana 0,45 μm de acetato de celulose.

As amostras SSA, SA, TIPEMpart e TCPEMpart foram enviadas ao laboratório para as caracterizações instrumentais.

3.5 Instrumentação

Neste capítulo são apresentados os processos de caracterização da Espectroscopia Infravermelho e da Microscopia Eletrônica de Varredura.

3.5.1 Caracterização por Espectroscopia Infravermelho

As amostras foram submetidas a Espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (IVTF) mediante aplicação do espectrômetro FTIR Varian, modelo 640 - IR. As medidas serão realizadas na região de 4000 a 400 cm^{-1} .

3.5.2 Caracterização e Quantificação por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) – EDS

As medidas de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas em um equipamento JEOL JSM 6360 LV operando em vácuo de 10^{-4} Pa e uma potência de feixe de 3 a 20 keV, com resolução de 3 nm permitindo magnificações de até 300 mil vezes.

O processo de avaliação química foi realizado por meio do sistema de análise química EDS com a utilização do *software* AZ Tech (Advanced) com detetor tipo SDD de 80 mm^2 .

De acordo com a metodologia utilizada pelo Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da Universidade Federal do Paraná, as amostras enviadas foram alocadas em suportes de alumínio (31,8 mm de diâmetro e 10 mm de altura) e fixadas com auxílio de fita dupla-face de carbono. Posteriormente, foram recobertas e metalizadas com ouro. O objetivo do recobrimento com ouro é fazer com que as amostras se tornem condutoras, gerando assim, imagens com boa resolução no MEV.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no processo laboratorial, bem como, a discussão entre os resultados obtidos e o material científico existente.

4.1 Caracterização do padrão das fibras de crisotila

Aqui são apresentados os padrões das fibras de crisotila na Microscopia Eletrônica e na Espectroscopia infravermelho.

4.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura Padrão Crisotila

Para avaliação e caracterização das amostras foi feita a comparação morfológica e estrutural com uma amostra de amianto em estado bruto denominado padrão de crisotila (SAMA7ML).

Figura 9 – Imagens e EDS pontual do padrão de crisotila usada para fins comparativos

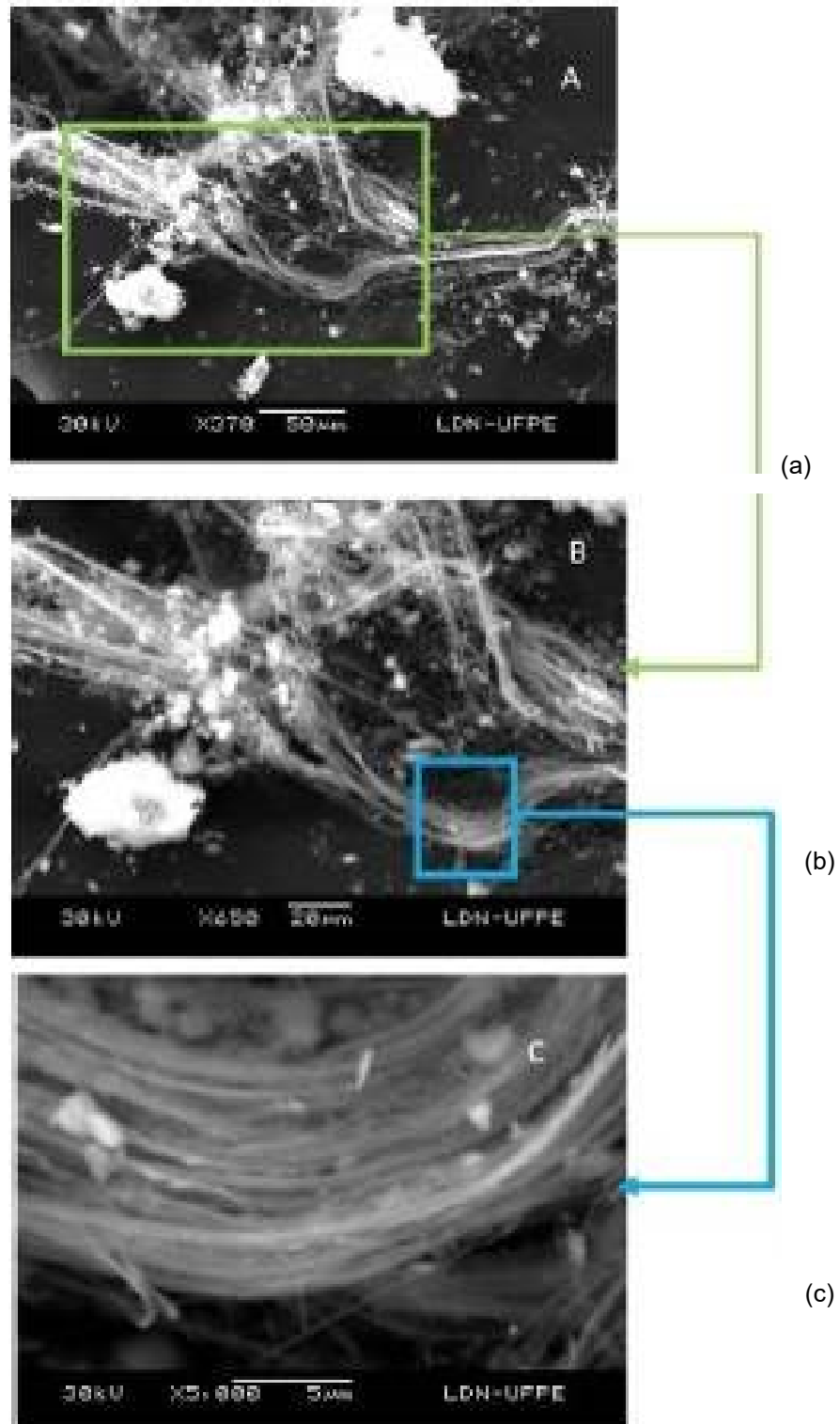


Fonte: Autoria Própria (2021)

Na Figura 9 tem-se a imagem do padrão de amianto obtido por microscopia eletrônica de varredura. O padrão da fibra do tipo serpentina, crisotila, encontrado na MEV mostra fibras finas emaranhadas, curvilíneas, estrutura tubular simétrica com aparência flexível e dúctil. (SCHNITZLER, FELIX e BARBOSA, 2017, p. 27)

O mesmo padrão morfológico e estrutural foi encontrado em uma amostra obtida no trabalho de Santos e Neto (2014), como demonstra a Figura 10.

Figura 10 – Feixe de fibra de crisotila em MEV com aumento gradativo sendo (a) 370 vezes, (b) 650 vezes (campo ampliado na cor verde) e (c) 5.000 vezes (campo ampliado na cor azul)



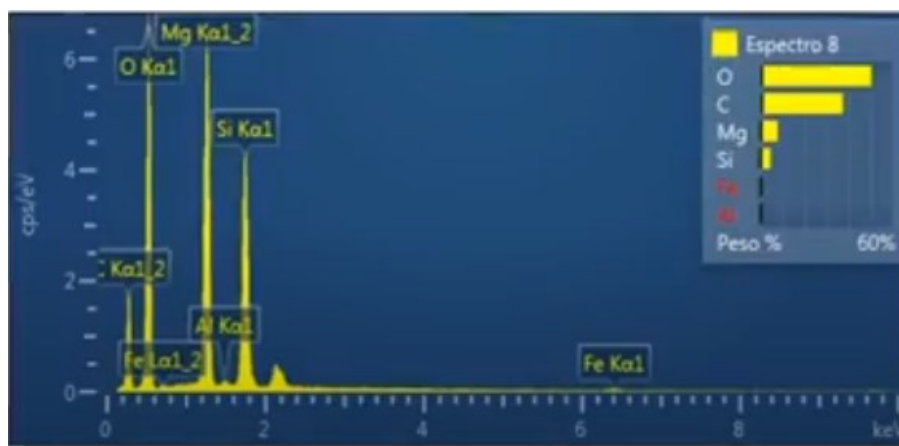
Fonte: Santos & Neto (2014, p. 139)

É possível observar na Figura 10 que as fibras demonstraram morfologia flexível e ondulada, além de apresentarem agregados de fibrilas bastante finas correspondendo às características do amianto crisotila, contrastando com as fibras pontiagudas e rígidas dos anfibólios como demonstrado na Figura 7.

Segundo Zuccheatti (1998) a estrutura cristalina da crisotila é tubular devido ao enrolamento das camadas octaédricas $[Mg(OH)_2]$ e as tetraédricas $[(Si_2O_4)]$ que têm diferentes dimensões cristalográficas na composição da cela unitária estrutural: $a=5,4 \text{ \AA}$ e $b=9,3 \text{ \AA}$ (brucita) e $a=5,0 \text{ \AA}$ e $b=8,7 \text{ \AA}$ (sílica). Isso produz um desemparelhamento entre as camadas de magnésio e sílica. Essa tensão provoca um enrolamento das camadas, num fenômeno conhecido como serpentinização, dando origem a uma fibrila de geometria tubular. Portanto, as superfícies internas e externas da crisotila são compostas de camadas de $[Mg(OH)_2]$ e $[(Si_2O_4)]$, respectivamente. Da justaposição de 8 a 12 camadas, obtém-se uma fibrila, com diâmetro externo de 15 a 50 nm e 7 nm interno aproximadamente. A estrutura tubular é geralmente oca podendo estar preenchida por material não cristalino.

Na Figura 11 tem-se o espectro de EDS para o padrão crisotila. É possível notar uma proporção elevada de magnésio, frente ao do silício. Este resultado é coerente com a composição natural da crisotila.

Figura 11 – Espectrometria EDS da fibra de crisotila utilizada como padrão para o estudo

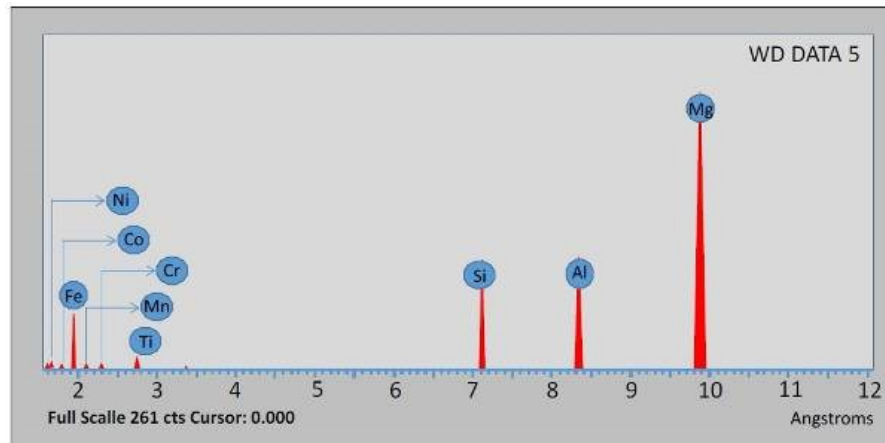


Fonte: Autoria Própria (2021)

A fórmula média da crisotila é $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ e em termos de fórmula centesimal pode-se expressar o teor de magnésio como 26,3% e o do silício 18,1%; lembrando que como é um produto de extração mineral, é comum ter variações e vir

acompanhada de outros compostos, dependendo da origem de extração (SANTOS e NETO, 2014).

Figura 12 – Pico dos elementos referentes às fibras de crisotila analisadas por espectrometria de comprimento de onda



Fonte: Santos & Neto (2014, p. 140)

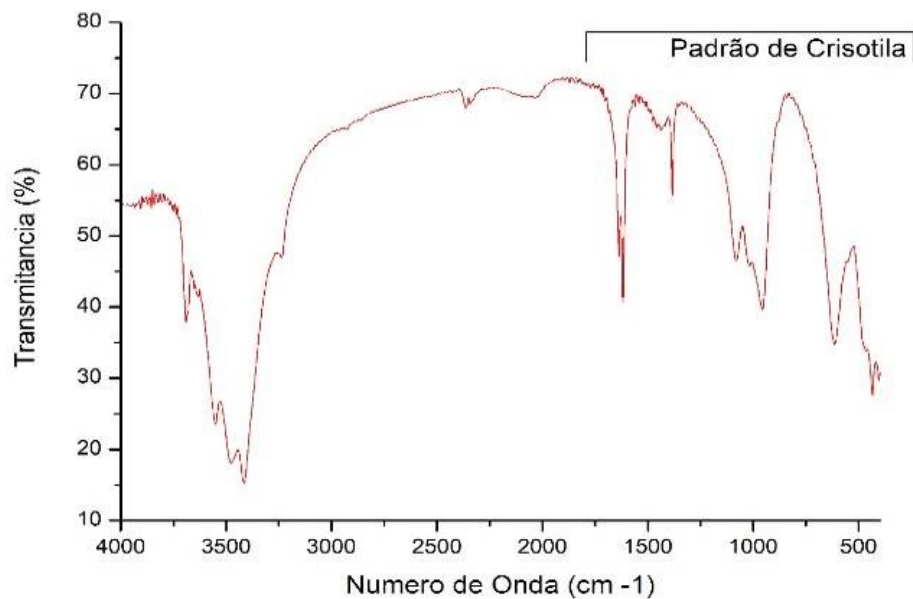
Na Figura 12 é possível ver um espectro da fibra de crisotila onde se verifica traços de outros elementos, como carbono e ferro com intensidades relativamente menores apresentados em uma amostra de fibrocimento obtida nos estudos de Santos e Neto (2014). Importa salientar a possibilidade de encontrar traços de ouro devido ao preparo de amostras para a microscopia eletrônica de varredura.

A análise química pontual feita no feixe de fibra, demonstrado na Figura 22 mostra o pico referente ao Mg, em uma proporção relativamente elevada frente a do Si. 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 ($Mg(OH)_2$) 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 citado por SANTOS e NETO, 2014, p. 139).

4.1.2 Espectroscopia infravermelho do padrão de crisotila

Na Figura 13 tem-se o espectro infravermelho do padrão de crisotila utilizado, onde há picos em 434 cm^{-1} referente a ligação Mg-OH e entre $1200\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ referente as vibrações do Si-O. Resultado este que corrobora com os achados de Accardo *et al* (2013).

Figura 13 – FTIR da amostra de um padrão de crisotila fornecendo ênfase as ondas diferenciais da fibra de crisotila



Fonte: Autoria Própria (2021)

No estudo de Accardo *et al* (2013), foi encontrado forte absorção na banda de $1200\text{-}900\text{ cm}^{-1}$, devido à vibração de estiramento de Si-O e em $600\text{-}900\text{ cm}^{-1}$, devido à vibração da cadeia de silicato, ao estiramento de metal-oxigênio e Si-O vibração de flexão. Vibrações de estiramento O-H dão picos distintos na região de $3600\text{-}3700\text{ cm}^{-1}$. Além disso, as frequências de flexão O-H situam-se na região de $950\text{-}600\text{ cm}^{-1}$. A absorbância linear (a seguir, sempre referida como a altura do pico), ou a área, de picos de absorção fortes, chamados, por isso, de picos “analíticos”, pode ser usada para quantificar o peso do amianto, expresso em microgramas ou em concentração peso por peso (p/p) ou em concentração massa por massa (m/m). Os picos analíticos para diferentes tipos de amianto são relatados no Quadro 4. A crisotila mostra picos duplos de O-H mais fortes em cerca de 3685 cm^{-1} e mais fracos em 3655 cm^{-1} .

Quadro 4 – Bandas de absorção para diferentes tipos de amianto encontrado em telhas de fibrocimento

Tipo de Asbestos	Banda analítica (1) (cm⁻¹)	Banda analítica (2) (cm⁻¹)	Banda analítica (3) (cm⁻¹)	Banda analítica (4) (cm⁻¹)
Crisotila	3697–3686–3650–3640	1078–1020–960	654–615–605–550–481–450–440–432	400–305
Amosita	3656–3640–3618	1128–1082–996–981	775–750–703–638–528–498–481–440	385
Crocidolita	3636–3620–3610	1143–1110–939–897	778–775–770–725–694–668–636–630–540–504–495–450	320

Fonte: Accardo *et al* (2013, p. 460)

No estudo de Accardo *et al* (2013), a análise da crisotila apresenta picos de absorção de duplete característicos em 3688 cm⁻¹ e 3645 cm⁻¹ de crisotila, outros picos são atribuídos ao C–O (2924–2854 cm⁻¹; 2400–2200 cm⁻¹ e 1720 cm⁻¹), Si–O–Si (1090–1000 cm⁻¹) e S–O (1200–650 cm⁻¹) grupos químicos presentes no composto que constitui a matriz de cimento na qual o amianto está embutido.

4.2 Avaliação das fibras crisotila na água

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos da lavagem das telhas no laboratório (água ultrapura e chuva sintética) e chuva natural.

4.2.1 Lavagem de telhas no laboratório

As amostras obtidas através do processo de lavagem com água ultrapura e chuva sintética resultaram nas seguintes amostras:

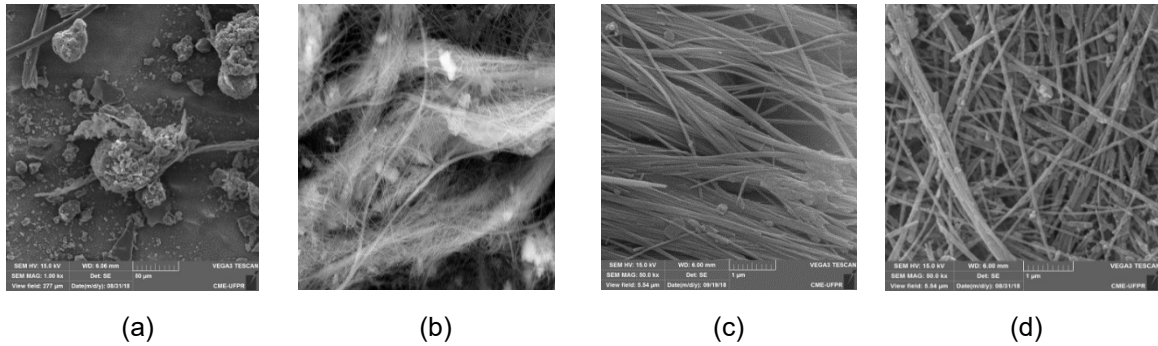
- Aplicação de água ultrapura: TB1PA, TPSUPA, TIPA e T CPA
- Aplicação de chuva sintética: TB1PS, TPSUPS, TIPS e TCPS.

4.2.1.1 Amostras resultantes da aplicação de água ultrapura

Na Figura 14 são apresentadas imagens das amostras TB1PA não tem fibra, TPSUPA, TIPA e T CPA apresentando uma elevada quantidade de fibras não sendo possível quantificar o número de fibras que foram retiradas após a lavagem. As

imagens das fibras foram muito semelhantes das obtidas para o padrão de crisotila conforme demonstrado na Figura 9.

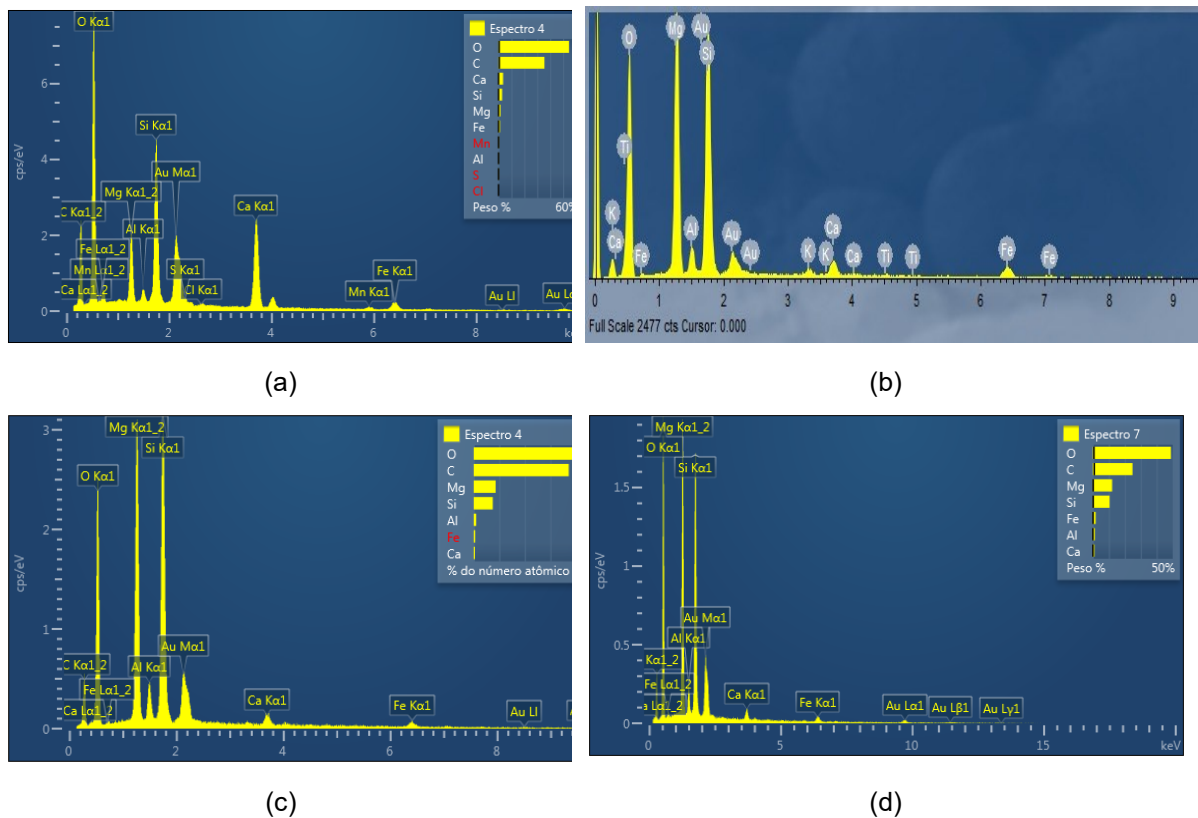
Figura 14 – Imagem de MEV das amostras lavadas com água ultra pura (a) TB1PA, (b) TPSUPA, (c) TIPA, (d) TCPA



Fonte: Autoria Própria (2022)

Considerando os espectros de EDS, apresentados na Figura 15, nota-se que:

Figura 15 – Espectros de EDS das amostras lavadas com água ultrapura (a) TB1PA, (b) TPSUPA, (c) TIPA, (d) TCPA



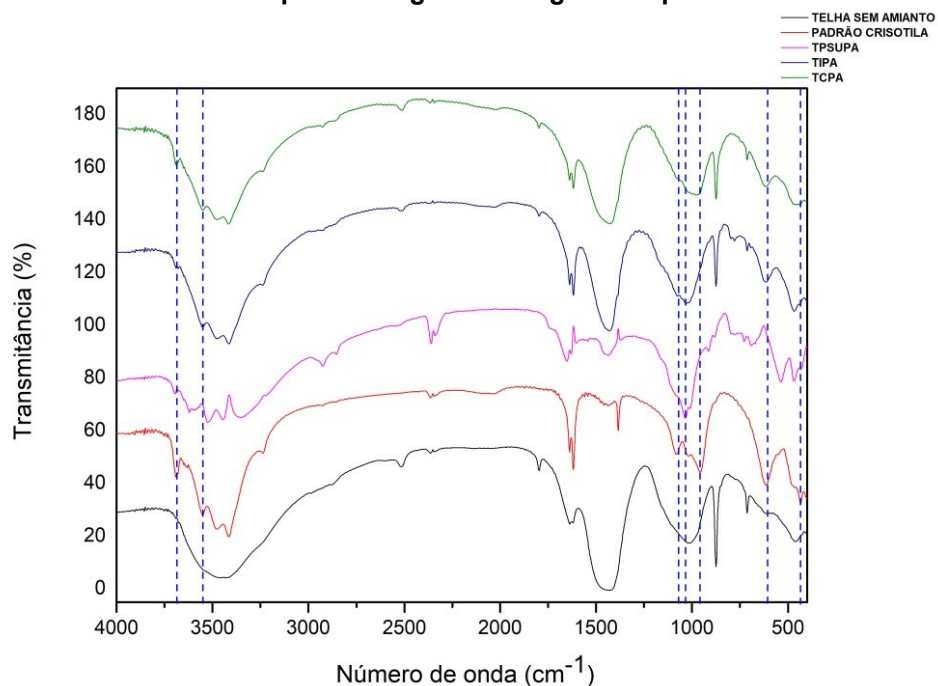
Fonte: Autoria Própria (2022)

O EDS das amostras TPSUPA, TIPA e TCPA apresentaram os picos de C, O, Si, Al, Ca, Fe e Mg. Os picos de Mg e Si são proporcionais ao padrão de crisotila, conforme Figura 11, indicando que as fibras são similares à crisotila cuja fórmula molecular é $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. O que diferencia são os percentuais de Mg e Si devido aos constituintes cimentícios e aditivos presentes nestas amostras.

Outro aspecto a ser destacado é a presença das fibras em um ambiente orgânico. Neste caso as amostras estão suportadas numa membrana de acetato de celulose e o feixe de elétrons proveniente da técnica de EDS atravessa por completo as amostras. A presença dos picos de carbono e oxigênio são características da amostra bem como das membranas.

Na Figura 16 tem-se os espectros Infravermelho das amostras, padrão de crisotila, TB1PA, TPSUPA, TIPA e TCPA após a lavagem com água ultrapura.

Figura 16 – Espectros Infravermelho das amostras: padrão de crisotila, TB1PA, TPSUPA, TIPA e TCPA após a lavagem com água ultrapura



Fonte: Autoria Própria (2022)

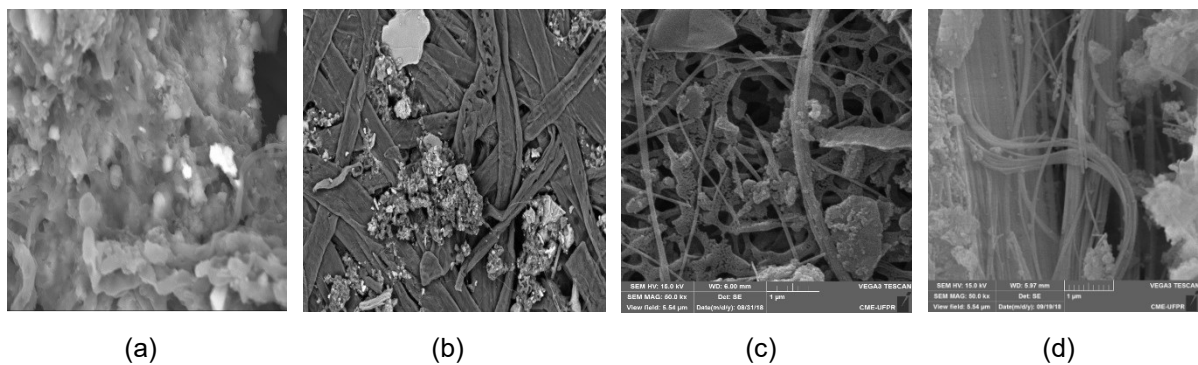
Ao realizar uma comparação das amostras resultantes da lavagem com água ultrapura nas telhas TPSUPA, TIPA e TCPA, observou-se que essas continham bandas coincidentes com as analíticas do espectro do padrão de crisotila, sendo essas marcadas pela linha tracejada em azul e descritas por Accardo *et al* (2013).

Concomitantemente, essas amostras foram comparadas com os padrões obtidos a partir das telhas TPSUP e TB1P.

A amostra sem amianto não demonstrou resultados similares aos picos da crisotila, ou seja, picos duplos de O–H mais fortes em cerca de 3685 cm^{-1} e mais fracos em 3655 cm^{-1} . Uma ampla banda de flexão O–H está presente em 605 cm^{-1} , vibração de estiramento Si–O em 1069 , 1033 e 959 cm^{-1} , e bandas evidentes em cerca de 606 , 434 e 300 cm^{-1} podem ser atribuídas a frequência de flexão Mg–OH.

A outra parte das amostras das telhas foi submetida à lavagem com chuva sintética. Neste sentido a Figura 26 apresenta as imagens das amostras TB1P, TPSUP, TIPS, TCPS.

Figura 17 – Imagem MEV das amostras (a) TB1PS, (b) TPSUPS, (c) TIPS, (d) TCPS

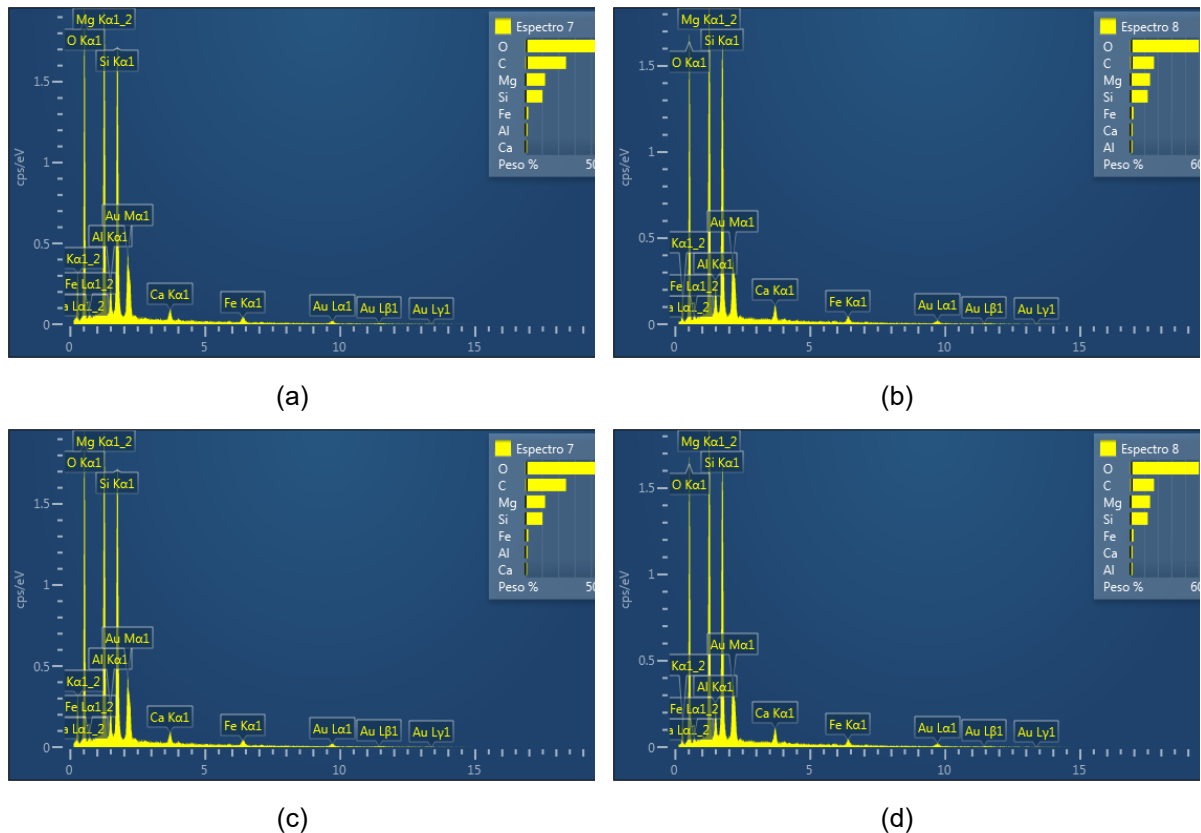


Fonte: Autoria Própria (2022)

Nota-se que após a lavagem várias fibras foram deslocadas não sendo possível quantificar. Na Figura 17 apresenta-se as imagens das amostras TB1PS, TPSUPS, TIPS e TCPS. A amostra (a) TB1PS não apresenta traços de fibras, mas as amostras TPSUPS, TIPS e TCPS ao serem lavadas com chuva sintética apresentaram uma elevada quantidade de fibras não sendo possível quantificar o número de fibras que foram retiradas após a lavagem. Em (b) nota-se que a morfologia das fibras demonstra-se menos flexível e ondulada, além de apresentarem agregados de fibrilas bastante espessos. Em (c) é possível observar várias fibras que sugerem a morfologia de gravetos. Já em (d) também nota-se a presença das fibras apresentando longos feixes curvilíneos e longos simultaneamente.

As fibras mostradas na Figura 17 foram avaliadas pontualmente por EDS e o resultado encontra-se mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Espectros de EDS das amostras lavadas com chuva sintética (a) TB1PS, (b) TPSUPS, (c) TIPS, (d) TCPS



Fonte: Autoria Própria (2022)

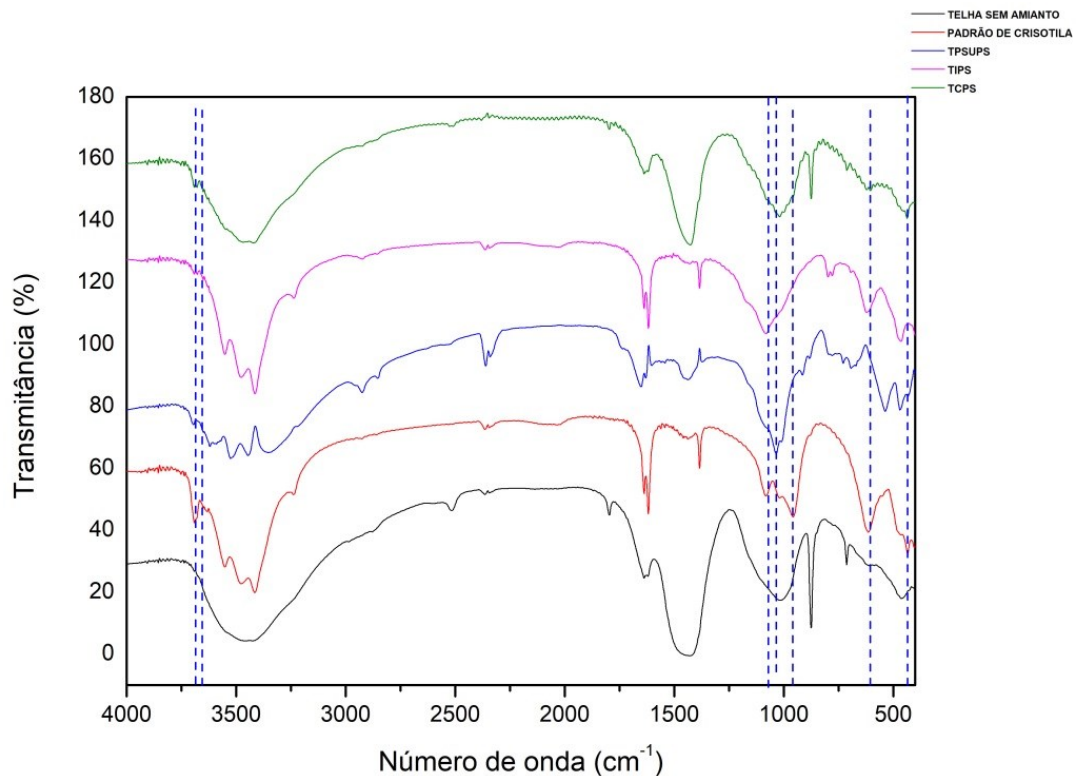
O EDS das amostras TIPS e TCPS apresentaram os picos de C, O, Si, Al, Ca, Fe e Mg. Os picos de Mg e Si são proporcionais ao padrão de crisotila, conforme Figuras 21 e 22, indicando que as fibras são similares à crisotila cuja fórmula molecular é $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. O que diferencia é as proporções de Mg e Si devido aos constituintes cimentícios e aditivos presentes nestas amostras.

Outro aspecto a ser destacado é a presença das fibras em um ambiente orgânico. Neste caso as amostras estão suportadas numa membrana de acetato de celulose e o feixe de elétrons proveniente da técnica de EDS atravessa por completo as amostras. Assim a presença dos picos de carbono e oxigênio é característica da amostra bem como das membranas.

Foi possível também identificar a presença das fibras de crisotila pela espectroscopia infravermelho.

Na Figura 19 tem-se os espectros Infravermelho das amostras de telha após a lavagem com chuva sintética.

Figura 19 – Espectros Infravermelho das amostras TB1PS, padrão de crisotila, TPSUPS, TIPS e TCPS



Fonte: Autoria Própria (2022)

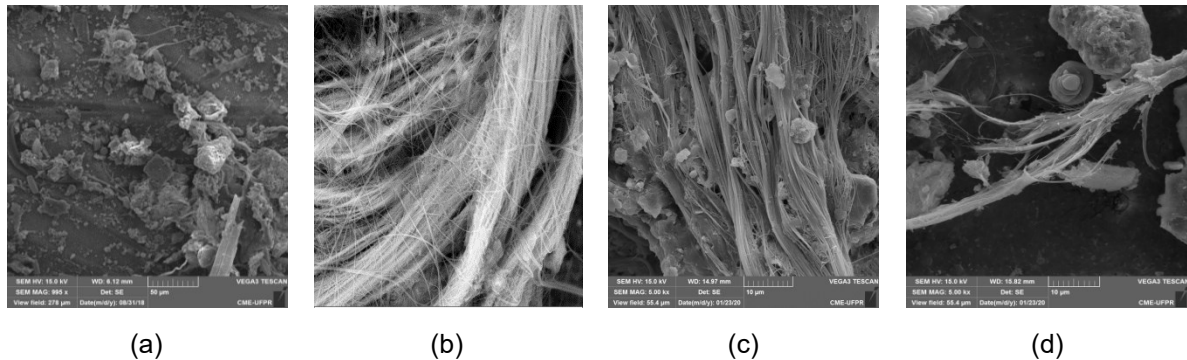
Assim como na Figura 16, as amostras resultantes das lavagens com chuva sintética foram comparadas com as bandas características do padrão de crisotila (tracejada em azul), demonstram coincidência com as bandas do padrão crisotila exceto a telha sem amianto (TB1PS).

Desta forma, pode-se chegar a seguinte conclusão parcial que independentemente, as telhas lavadas com água ultrapura e chuva sintética apresentaram resultados semelhantes, ou seja, o pH da água não interferiu na retirada das fibras de crisotila das amostras das telhas e ao mesmo tempo foi possível observar a liberação de várias fibras, não sendo possível quantificar. Dentro deste contexto, foi dada continuidade ao trabalho considerando a água de chuva proveniente do meio ambiente. Isso foi considerado, para verificar se os resultados obtidos em laboratório seriam semelhantes.

4.2.1.2 Resultados da Coleta de água de Chuva das Telhas expostas ao meio Ambiente

Na Figura 20 é possível observar as imagens de MEV das amostras: TB1PCM, TPSUPCM, TIPCM e TCPCM.

Figura 20 – Imagem MEV das amostras (a) TB1PCM, (b) TPSUPCM, (c) TIPCM e (d) TCPCM

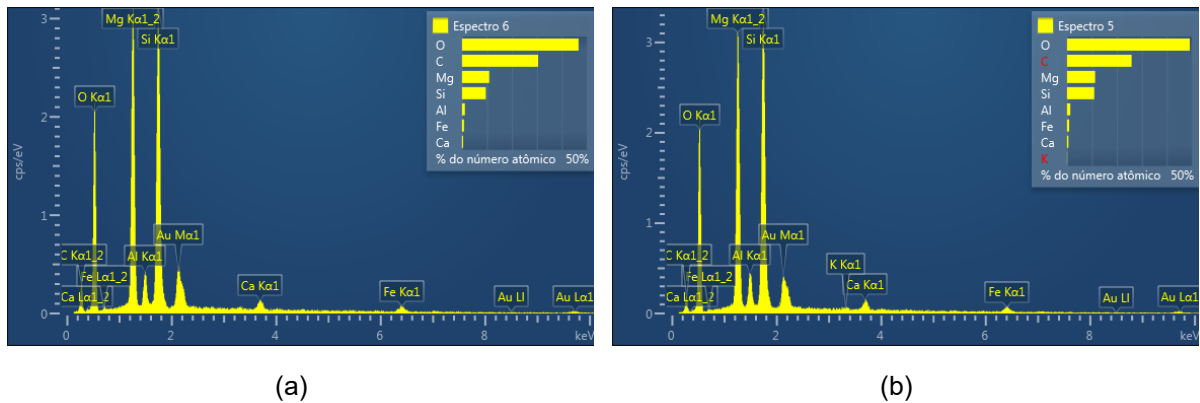


Fonte: Autoria Própria (2022)

Em (a) a amostra não contém fibras de crisotila. Isso era esperado, pois esta telha não é formada por fibras de crisotila. Já em (b), (c) e (d) nota-se a presença de fibras próximas às características da fibra de crisotila, conforme Figura 19. Nas amostras as fibras são encontradas em pequenos feixes, isso bem visualizado na imagem (c) da amostra TIPCM. Essa telha coletada possui em torno de 30 anos, quanto maior a idade do material, maior sua degradação e conseqüentemente maior a sua liberação de fibras. Isso pode evidenciar que as telhas TPSUPCM e TCPCM, apesar de ambas liberaram as fibras, qualitativamente observou-se menores quantidades.

Para confirmar a presença das fibras de crisotila, foi realizado o EDS pontual. Na Figura 21 tem-se os seguintes espectros: (a) eTIPCM e (b) TCPCM.

Figura 21 – Espectros de EDS das de coleta de água da chuva das telhas expostas no meio ambiente. (a) TIPCM e (b) TCPCM.



Fonte: Autoria Própria (2022)

O EDS das amostras TIPCM e TCPCM apresentaram os picos de C, O, Si, Al, Ca, Fe e Mg característicos das fibras de crisotila, conforme apresentado na Figura 21 (padrão de crisotila).

Como nova conclusão parcial é possível dizer que as amostras de água de chuva coletada no meio ambiente apresentaram resultados semelhantes aos obtidos na lavagem das telhas no laboratório, evidenciando o que já era esperado, ao chover as telhas contendo amianto do tipo crisotila liberam as fibras.

Neste sentido, como foi encontrado as fibras de crisotila na água de chuva, acredita-se que pode ser também encontrado esse tipo de material em outras matrizes ambientais, tais como no material particulado.

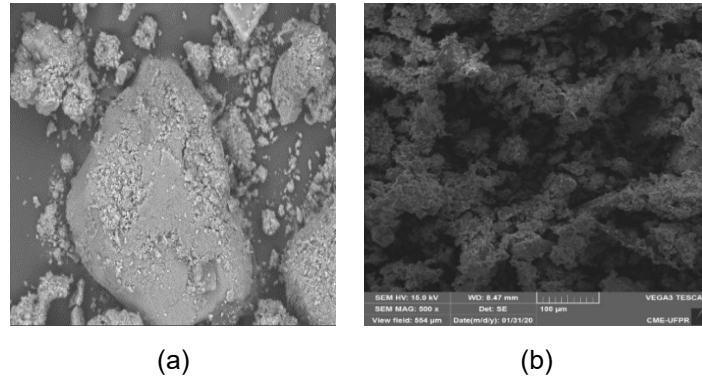
4.3 Avaliação das fibras de crisotila no material particulado

Neste capítulo são demonstrados os resultados laboratoriais da análise do material particulado coletado.

4.3.1 Ensaios de Campo – Assentamento Contestado na região da Lapa

Na Figura 22 é possível observar as imagens de MEV das amostras: TIPEMpart e TCPEMpart.

Figura 22 – MEV para as amostras (a) TIPEMpart e (b) TCPEMpart

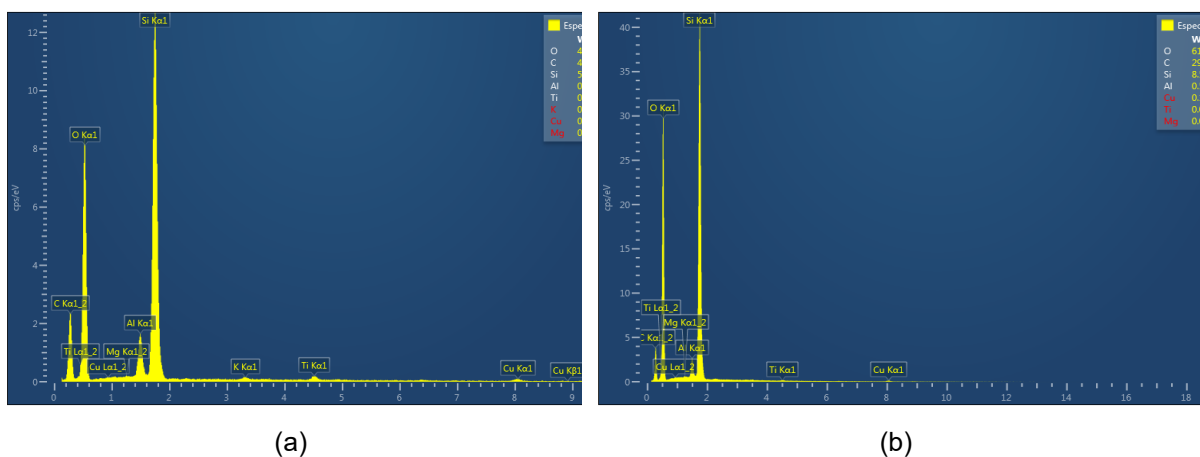


Fonte: Autoria Própria (2022)

Como é possível observar na Figura 22 as fibras encontradas nas amostras TIPEMpart e TCPEMpart, sendo que em (a) uma estrutura aglomerada que demonstra diferenças morfológicas distintas daquelas imagens que apresentam fibras de crisotila, era esperado visualizar em (b) as fibras de crisotila, pois como verificado anteriormente, em diferentes condições a telha TPSUP e liberou fibras de crisotila. No entanto, não foi possível identifica-las porque o material particulado pode ter recoberto estas fibras sugerindo coincidência com o padrão crisotila apresentado na Figura 9.

Na Figura 23 tem-se o EDS para as amostras TIPEMpart e TCPEMpart.

Figura 23 – EDS para as amostras TIPEMpart e TCPEMpart

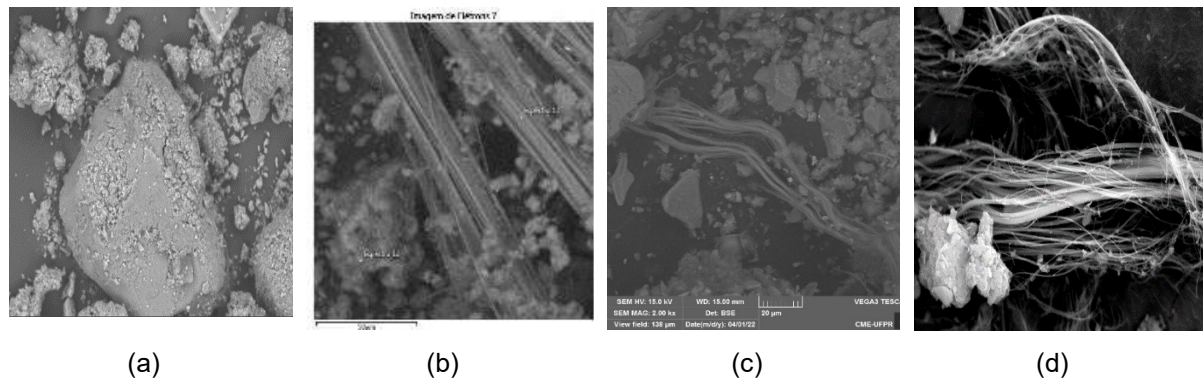


Fonte: Autoria Própria (2023)

Como pode ser observado na Figura 23 existem picos característicos da fibra de crisotila, conforme padrão de EDS descrito na Figura 11. O fato do magnésio, não aparecer é explicado pelo fato das amostras terem sofrido o processo de extração/digestão ácida pelo método 3050B da EPA.

Para efeito de caracterização das fibras de crisotila, foi realizada uma extração ácida e as imagens de MEV são apresentadas. Analisando as amostras SSA, AS em comparação as amostras do material particulado, pode-se evidenciar o demonstrado na Figura 24, obtido após os procedimentos de extração ácida das amostras SSA, AS, TPEMpart e TCPEMpart.

Figura 24 – MEV para as amostras SSA, AS, TPEMpart e TCPEMpart

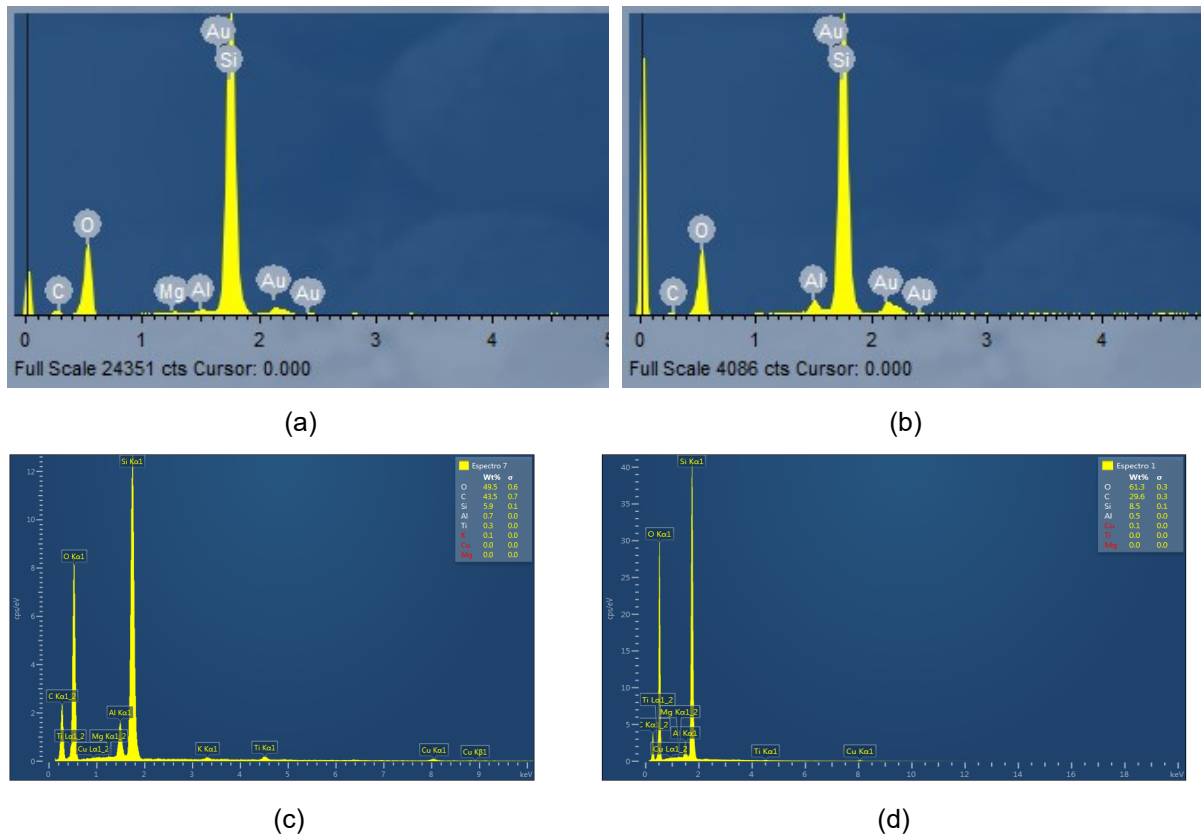


Fonte: Autoria Própria (2023)

Nota-se em (a) na amostra de solo sem amianto, uma estrutura predominante porosa característico de solo, observa-se ao redor da estrutura de macroporos, uma estrutura fechada, com características de grão em relação ao agregado, caracterizando os microporos. Já em (b) encontra-se a amostra (SA), um solo preparado contendo o padrão de amianto onde é possível observar fibras longas filamentosas. Em (c) é possível visualizar fibras em um meio contendo aglomerados e em (d) nota-se várias fibras longas e curvilíneas, ambas oriundas das amostras de material particulado. Neste sentido, é possível dizer que a metodologia de extração ácida foi eficiente para a demonstração da presença das fibras e o material particulado é principalmente formado por solo.

Na Figura 25, tem-se o EDS para as amostras SSA, AS, TPEMpart e TCPEMpart.

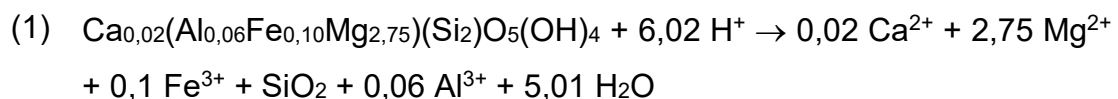
Figura 25 – EDS para as amostras SSA, AS, TIPEMpart e TCPEMpart



Fonte: Autoria Própria (2023)

Na Figura 25 em (a) é possível verificar picos de ouro e silício em (b), (c) e (d) nota-se picos característicos da fibra de crisotila, conforme padrão de EDS descrito na Figura 11. No entanto, observa-se que o pico de magnésio, não aparece no EDS em (b), (c) e (d), devido ao processo de extração/digestão ácida pelo método 3050B da EPA.

A constante adição de ácido à fibra de crisotila confere mudanças estruturais a mesma (ROZALEN; HUERTAS, 2013), segundo a equação:



A presença dos metais de Ca, Al, e Fe na equação se deve a contaminação da fibra de crisotila que tem como fórmula média: $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$. O ataque ácido à fibra promove um desligamento do átomo de magnésio presente na superfície mais externa

da estrutura da fibra da cadeia de silicatos, sendo então, removido por reação ácido/base carregado pela água na etapa de filtração, na forma de nitratos (devido ao uso de HNO_3) (LUYS et al., 1982; ROZALEN e HUERTAS, 2013; SPASIANO; PIROZZI, 2017).

5 CONCLUSÕES

Primeiramente independentemente da metodologia de avaliação, seja em água ou no material particulado nota-se a presença das fibras de crisotila. As telhas submetidas a lavagens com chuva sintética e água ultrapura não demonstraram diferença significativa entre as lavagens, ao contrário, as amostras se mostraram similares no tocante a degradação provocada pela chuva sintética e água ultrapura na telha de fibrocimento. Portanto, pode-se afirmar, pelo ocorrido, que a ação da lavagem por água ultrapura e chuva sintética foram idênticas e em consequência, afirma-se que a degradação provocada pela chuva sintética e água ultrapura promovem a liberação de fibras de crisotila no ambiente. Tal assertiva é contrária à conclusão e orientação sustentada pelo IPT, no qual se afirma que somente a ação da chuva sintética promove a liberação de fibras de crisotila no ambiente.

O método de preparo das amostras de material particulado foi distinto do preparo das amostras em água e material particulado. A metodologia de extração foi eficiente para a identificação qualitativa das fibras. Outro fator importante observado é de que a digestão ácida realizada nesse estudo facilitou a identificação morfológica das fibras.

O continuísmo da exploração desse mineral, o qual ainda é utilizado na fabricação de vários materiais, corre-se o risco de liberar fibras provenientes de produtos de fibrocimento gerando a contaminação de longo prazo em um grande número de pessoas. Afinal, esses produtos utilizados possuem como característica a resistência e indestrutibilidade, ao mesmo tempo em que são adquiridos por um baixo custo, tornando-os atrativos e facilmente adquiridos pela população de baixo poder aquisitivo.

6 REFERÊNCIAS

- ABREA. **Banimento do amianto representa um marco importante na qualidade de vida do trabalhador no Brasil**. 16/01/2018. Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto. Disponível em: <https://www.abrea.org.br/not%C3%ADcias/publica%C3%A7%C3%B5es/193-banimento-do-amianto-representa-um-marco-importante-na-qualidade-de-vida-do-trabalhador-no-brasil.html>. Acesso em: 01 jun. 2021.
- ACCARDO, Grazia; COLANGELO, Francesco; D'ANGELO, Raffaele; STEFANO, Luca de. Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy for the Determination of Asbestos Species in Bulk Building Materials. **Materials**, December, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263024435>.
- AGUIAR, Letícia Magalhães. Caracterização de diferentes solos por meio da espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier. (Dissertação), UFPR, Mestrado em Química, 2015, 41f. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15304/3/PB_DAQUI_2015_1_11.pdf. Acesso em: 09 nov. 2022.
- CAMPBELL, Neil; D'ARCY, Brian; FROST, Allan; NOVOTNY, Vladimir ; SANSOM, Anne. **Diffuse Pollution: An Introduction**. London: IWA Publishing, 2005.
- CAMPOPIANO, Antonella *et al.* Risk Assessment of the Decay of Asbestos Cement Roofs. **Ann. Occup. Hyg.**, Vol. 53, No. 6, pp. 627–638, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/annweh/article-abstract/53/6/627/175330>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- CAMPOPIANO, Antonella *et al.* Asbestos containing materials in schools of Rome and surrounding area (Italy). **Industrial Health**, september 27, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/354887064>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- CETEM. **Exploração de amianto em Minaçu (GO) afeta moradores e meio ambiente**. 05/06/2013. Disponível em: <http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=142>. Acesso em: 03 jun. 2021.
- CETEM. **Rochas e minerais industriais**. 2005. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1040/3/04.AMIANTO%20ok.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2021.
- CETESB. **Qualidade do Ar**. Poluentes. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/#:~:text=Sob%20a%20denomina%C3%A7%C3%A3o%20geral%20de,causa%20de%20seu%20pequeno%20tamanho>. Acesso em: 29 jun. 2023.
- DUARTE, Edson. **Dossiê Amianto Brasil**. Brasília: 2010. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=6D7A48F5E37BF9E0890451F24A3A6917.node1?codteor=769516&filename=REL+1/2010+CMADS. Acesso em: 15 abr. 2022.

EPA. **Method 3050B (SW-846)**: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2022.

FERIANI, Rafaela. O uso de amianto na indústria e a legislação brasileira. **Amblegis**, 25/05/2021. Disponível em: <https://amblegis.com.br/legislacao/o-uso-de-amianto-na-industria-e-a-legislacao-brasileira/>. Acesso em: 03 jun. 2021.

FERREIRA FILHO, Osvaldo Barbosa e LINARES, William Bretas. Crisotila. *In*: RODRIGUES, Antonio Fernando da Silva (Coord.). **Economia Mineral do Brasil**. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília: DNPM, 2009, p. 655-679.

GARSDALE, M. Mine production of asbestos - leading countries 2010-2020. **Statista**. 16/02/2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/264923/world-mine-production-of-asbestos/>. Acesso em: 03 jun. 2021.

GDA. **¿Qué es el amianto?** Gestión del Amianto (GDA). Disponível em: <https://gestiondelamianto.com/que-es-amianto-asbestos-tipos/>. Acesso em: 19 mai. 2021.

ROZALEN, M.; HUERTAS, F. J. Comparative effect of chrysotile leaching in nitric, sulfuric and oxalic acids at room temperature. **Chemical Geology**, v. 352, p. 134-142, 2013.

IARC. **Arsenic, Metals, Fibres and Dusts**. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304374/>. Acesso em: 02 jun. 2021.

IBC. **Cadeia Produtiva do Amianto**. Disponível em: <http://www.ibcbrasil.org.br/home>. Acesso em: 03 jun. 2021.

ICA. **Rotterdam Convention - COP-9 Meeting**. 2019. ICA. Disponível em: https://chrysotileassociation.com/data/ICA_Rotterdam-Convention_2019-COP9_v5.pdf. Acesso em: 03 jun. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Amianto**. Causas e Prevenção. 08/04/2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/amianto>. Acesso em: 19 mai. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Amianto**. Causas e Prevenção. 20/08/2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/amianto>. Acesso em: 30 nov. 2021.

IPT. **Estudo das alterações das telhas de cimento-amianto ao longo do uso, pela exposição à intempéries**. Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura, Laboratório de Materiais de Construção Civil, 2006. Disponível em: <https://gestiondelamianto.com/que-es-amianto-asbestos-tipos/>. Acesso em: 19 mai. 2021.

IWASZKO, Józef. Making asbestos-cement products safe using heat treatment. *Case Studies in Construction Materials*, Volume 10, June 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509519300026#fig0050>. Acesso em: 26 out. 2022.

LEMOS, Carlos Fernando & GOMES, Juliana Jéssica. **Glossário de Meio Ambiente**. As palavras mais usadas em estudos ambientais. Santa Catarina: Clube de Autores, 2011.

MORRO, Fernanda Gonçalves. **Avaliação de agrotóxicos em amostras de solo e de morango de sistemas de produção agrícola convencional e agroecológico**. 113 f. Dissertação, Programa de Pósgraduação em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

OLIVEIRA, Rafael. Amianto em Goiás: entenda a disputa jurídica. **G1**, 23/11/2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2020/11/23/amianto-em-goias-entenda-a-disputa-juridica.ghtml>. Acesso em: 03 jun. 2021

ORACLE ASBESTOS. **History of asbestos Law & Regulations**. Oracle Solutions. Disponível em: <https://www.oracleasbestos.com/what-is-asbestos/asbestos-regulations/a-complete-guide-to-the-history-of-asbestos-law-and-regulations/>. Acesso em: 03 jun. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Amianto Crisótilo**. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2017. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/143649/9789248564819-por.pdf?sequence=17>. Acesso em: 19 mai. 2021.

QUEIROGA, Normando Claudino Moreira de; PAMPLONA, Renato Ivo; LINARES, William Bretas; LUZ, Adão Benvindo da; PONTES, Ivan Falcão. Amianto. **Rochas e Minerais Industriais**, CETEM/2005. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1040/3/04.AMIANTO%20ok.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2021.

SAMA. **Amianto Crisotila**. 2021. Disponível em: <https://www.sama.com.br/#>. Acesso em: 03 jun. 2021.

SANTOS, Filipe Rafael Ferreira dos; NETO, João Adauto de Souza. 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). **Estudos Geológicos** vol. 24(2) 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276426580_Identificacao_e_Quantificacao_de_Amianto_em_Solo_no_Entorno_de_Fabrica_de_Materiais_de_Construcao_a_Base_de_Fibrocimento_no_Bairro_da_Varzea_Recife_PE. Acesso em: 03 ago. 2022.

SPASIANO, D. e PIROZZI, F. Treatments of asbestos containing wastes. **J Environ Manage**. 2017 dec 15;204(pt 1):82-91.

SOS AMIANTO. **O Amianto**. Disponível em: <https://sosamianto.pt/amianto>. Acesso em: 19 mai. 2021.

SOTORRIVA, Ellen Mayara; GARCIAS, Carlos Mello. Poluição difusa urbana por compostos inorgânicos: avaliação da contribuição dos componentes do amianto presente nas telhas de fibrocimento e nos freios de veículos. **Ambient. constr.** 11 (3), Set 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000300007>. Acesso em: 02 jun. 2021.

USP. **Silicatos**. Geociências. Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/minerais/silicatos/#:~:text=S%C3%A3o%20os%20principais%20minerais%20formadores,fundamentais%20que%20comp%C3%B5em%20a%20Terra>. Acesso em: 20 ago. 2023.