

CELIA SAYAMA

**MINERAIS DE AMIANTO NA REDE VIÁRIA DE PIÊN-PR  
PROVENIENTES DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS**

**CURITIBA  
2011**

**CELIA SAYAMA**

**MINERAIS DE AMIANTO NA REDE VIÁRIA DE PIÊN-PR  
PROVENIENTES DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre.  
Curso de Pós-Graduação em Geologia,  
Departamento de Geologia,  
Setor de Ciências da Terra,  
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani  
Co-orientador: Prof. Dr. José Manoel dos Reis  
Neto

**CURITIBA  
2011**

---

S274m

Sayama, Célia

Minerais de amianto na rede viária de Piên-PR provenientes de rochas ultramáficas/ Célia Sayama. – Curitiba, 2011.

91 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2011.

Orientador: Luiz Eduardo Mantovani – Co-orientador: José Manoel dos Reis Neto.

Bibliografia: p. 84-91.

1. Rochas ígneas. 2. Serpentina (Mineralogia). 3. Asbestos - Efeito fisiológico. 4. Estradas - Piên (PR). I. Universidade Federal do Paraná. II. Mantovani, Luiz Eduardo. III. Reis Neto, José Manoel dos. IV. Título.

CDD: 552.1

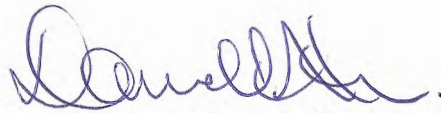
---

# TERMO DE APROVAÇÃO

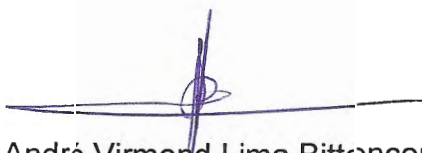
## CÉLIA SAYAMA

*"MINERAIS DE AMIANTO NA REDE VIÁRIA DE PIÊN-PR PROVENIENTES DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS".*

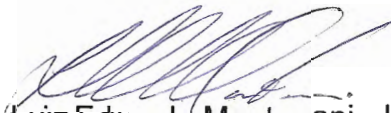
Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada por:



Prof. Dr. Daniel Atencio - USP



Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt – UFPR



Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani - UFPR  
Presidente

Curitiba, 24 de maio de 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela expressão máxima de amor e a minha família por ser a canalização desse amor.

Ao Departamento e ao Curso de Pós-Graduação de geologia da UFPR, uma instituição do qual me orgulho em ter sido aluna.

Ao professor Dr. José Manoel dos Reis Neto, que refletiu sobre a problemática do tema de pesquisa, cultivou e desenvolveu a idéia por vários anos e me entregou de presente este tema, além de me encorajar a continuar quando por algumas vezes havia desistido.

Ao professor Dr. Luiz Eduardo Mantovani, pelo otimismo que manteve nas nossas conversas e pela oportunidade que me concedeu em ser sua orientada.

Ao Dr. José Eduardo Gardolinski, do LAMIR, pelo apoio no campo, no laboratório e na interpretação de técnicas analíticas de FRX e ATG. Igualmente ao geólogo do LAMIR, Rodrigo Secchi, pelas incontáveis vezes que, com paciência e bom humor me auxiliou no DRX e lâminas petrográficas.

A todos do LAMIR, em especial “seu” Carlos, que me ensinou a preparar as amostras e tantas lições de vida me passou enquanto as preparávamos, à Elisiane, Evelyn, Francieli, Sueli, Clarice e Áurea e demais mestrandos e doutorandos, pela amizade, apoio e carinho.

Ao professor Ricardo Henrique Moreton Godoi, na parte de aerossóis, pela enriquecedora experiência e aprendizado neste tema tão novo para nós geólogos. Ao professor Dr. René Van Grieken por disponibilizar a estrutura do laboratório da Universidade da Antuérpia/Bélgica e realizar as análises de fluorescência de raios-X e microscopia eletrônica; à Yaroslava Makaroska, pelo processamento das análises dos aerossóis, à Bálint Alföldy, pela análise de deposição pulmonar e ao formando de Eng. Ambiental Sérgio Gonçalves pelo apoio no processamento das diversas planilhas de resultados dos aerossóis.

Ao Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR e em especial à Rosângela, Regina e Fernando, que foram excepcionais no apoio à técnica analítica do MEV/EDS.

À minha amiga geógrafa Michela Cavilha pela elaboração dos mapas.

Às Sras Vera (Supermercado Muziol) e Ângela (Comercial São Jorge) pela disponibilização de espaço físico e o uso da eletricidade para a coleta de aerossóis.

*Dedico ao meu marido Manuh Reis e a minha filha  
Leticia Sayuri*

## RESUMO

Na região de Piên, município situado 80 km ao sul de Curitiba, no Paraná, rochas ultramáficas são utilizadas como fonte de saibro para revestimento primário de estradas, devido à predominância e ao baixo custo de desmonte dessa rocha. O serpentinito, rocha ultramáfica rica em serpentina, pode apresentar em sua composição o mineral crisotila, do grupo dos minerais de amianto ou asbesto. Amianto ou asbesto são nomes comerciais dados a uma fibra de origem mineral, presentes em rochas ígneas e metamórficas.

Em geral, os depósitos de amianto podem ocorrer em pequenos veios em rochas, que podem graduar de forma fibrosa, acicular e prismático. O componente asbestiforme deste material, quando não perturbado pela atividade humana, é freqüentemente chamado de Ocorrência Natural de Amianto (*Naturally Occuring Asbestos* - NOA em inglês). NOA refere-se ao amianto que ocorre como componente mineral em algumas rochas, solos, sedimentos ou nas águas, como resultado de processos geológicos naturais. O termo NOA também pode ser aplicado ao amianto que foi transportado pelo intemperismo natural por processos de erosão, no ar, solo, sedimento ou água.

Os resultados das análises das rochas, do saibro e da poeira gerada pela movimentação do tráfego rodoviário em Piên revelaram a presença de fibras respiráveis de asbesto do grupo das serpentinas (crisotila). Adicionalmente, amostras de aerossóis foram coletadas durante duas semanas e analisadas por microsonda eletrônica e por fluorescência de raios X, a fim de investigar a composição elementar de partículas individuais e totais. A partir dos resultados da composição, abundância e geometria das partículas, foi realizado um cálculo de simulação de deposição pulmonar das partículas de interesse (agrupamento MgOx), compatível com os minerais de serpentina fibrosos. O resultado forneceu informações de probabilidade de deposição nos diversos níveis das vias aéreas, como extratorácico, traqueobrônquica, acinar e alveolar.

## ABSTRACT

In the countryside region of Piên, municipality located 80 km south of Curitiba, Parana, in the southern region of Brazil, ultramafic rocks are used for road paving because of its dominance and low cost of commercial exploitation of this rock. The ultramafic rock rich in serpentine, called serpentinite, may present the mineral chrysotile in its composition, which belongs to the asbestos minerals group. Asbestos is a commercial name given to a fibrous compound with a mineral origin present in igneous and metamorphic rocks.

In general, mineral deposits of asbestos may occur in small veins present in rocks, which can gradate from fibrous, acicular e prismatic forms. The asbestiform component in this material, when not disturbed by human activity, is called a Natural Occurrence of Asbestos (NOA).

NOA refers to asbestos which occur as a mineral component in some rocks, soils, sediments or waters, as a result of natural geological processes. The term NOA can also be applied to asbestos which has been transported by natural weathering processes of erosion, in the air, soil, sediment or water.

The results of rock, gravel and dust analysis generated by the movement of road traffic in Piên revealed the presence of breathable fibers of asbestos from the serpentine group (chrysotile). Additionally, aerosol samples were collected during two weeks and analyzed by electron microprobe and x-ray fluorescence in order to investigate the elemental composition of individual and whole particles. The calculation made for simulating lung deposition, was accomplished from the particles of interest (grouping MgOx), compatible with the fibrous serpentine minerals. The variables used were composition, abundance and geometry of the particles. The results provided information of deposition probability at different levels of the airways, such as extrathoracic, tracheobronchial, acinar and alveolar.

# SUMÁRIO

Pág.

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVO GERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS DE AMIANTO	3
3.1.1	MINERAIS DO GRUPO DAS SERPENTINAS	6
3.1.2	MINERAIS DO SUPERGRUPO DOS ANFIBÓLIOS	7
3.2	PRODUÇÃO E CONSUMO DE AMIANTO	8
3.3	AMIANTO E SAÚDE	10
3.3.1	EXPOSIÇÃO A POEIRAS DE AMIANTO	10
3.3.2	DOENÇAS ATRIBUÍDAS À EXPOSIÇÃO DA POEIRA DE AMIANTO	14
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
4.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	18
4.2	ASPECTOS GEOGRÁFICOS DA ÁREA DE TRABALHO	20
4.3	ASPECTOS GEOLÓGICOS DA REGIÃO DE PIÊN	24
5	MÉTODOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS ANALÍTICAS EMPREGADAS	31
5.1	TESTES ANALÍTICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE POLIMORFOS DE SERPENTINA	31
5.1.1	DIFRAÇÃO DE RAIOS X	34
5.1.2	FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X	36
5.1.3	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV/EDS)	38
5.2	LEVANTAMENTO DE CAMPO	41
5.2.1	AMOSTRAGEM DE ROCHAS	42
5.2.2	AMOSTRAGEM DE SAIBRO (REVESTIMENTO PRIMÁRIO DE ESTRADAS)	43
5.2.3	AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO	46
5.2.3.1	AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO TOTAL	48
5.2.3.2	AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO INDIVIDUAL	49

5.3	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS	52
5.4	ANÁLISES MINERALÓGICAS	53
5.4.1	PETROGRAFIA	53
5.4.2	MINERALOGIA	53
5.5	ANÁLISES QUÍMICAS	53
5.5.1	AMOSTRAS DE SAIBRO E ROCHAS	53
5.5.2	AMOSTRAS DE MATERIAL PARTICULADO TOTAL	54
5.6	ANÁLISES MORFOLÓGICAS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV/EDS)	54
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
6.1	PETROGRAFIA DAS ROCHAS ULTRAMÁFICAS	55
6.2	ANÁLISES MINERALÓGICAS	55
6.3	ANÁLISES QUÍMICAS	64
6.4	ANÁLISES MORFOLÓGICAS	65
6.5	ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO (MP) TOTAL	70
6.5.1	FATOR DE ENRIQUECIMENTO	72
6.6	ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO (MP) INDIVIDUAL	74
6.6.1	ANÁLISE DOS AGRUPAMENTOS (CLUSTERS)	75
6.7	SIMULAÇÃO DE DEPOSIÇÃO PULMONAR	79
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 1 – PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DOS MINERAIS E FIBRAS DE AMIANTO/ ASBESTO	5
TABELA 2 – PRODUÇÃO ANUAL DE (%) DE AMIANTO / ASBESTO	9
TABELA 3 – USOS E DESTINAÇÃO DO AMIANTO BENEFICIADO	9
TABELA 4 – CONSUMO INTERNO DE AMIANTO (%)	10
TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA POR ANO E MÁXIMA EM 24 H	21
TABELA 6 – POPULAÇÃO TOTAL E ACIMA DE 60 ANOS DE PIÊN E MUNICÍPIOS CIRCUNVIZINHOS	23
TABELA 7 – AMOSTRAS PURAS DE CRISOTILA UTILIZADAS NOS TESTES METODOLÓGICOS	34
TABELA 8 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA (ANÁLISE QUANTITATIVA) DO AMIANTO CRISOTILA	37
TABELA 9 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA (ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA) DE AMIANTO CRISOTILA	37
TABELA 10 – DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE ROCHAS	43
TABELA 11 – DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE MATERIAL DE REVESTIMENTO PRIMÁRIO	43
TABELA 12 – MATERIAL DE ANÁLISE RETIDO NAS DIFERENTES MALHAS	46
TABELA 13 – ESTÁGIOS E TAMANHOS DAS PARTÍCULAS CAPTURADAS NO AMOSTRADOR <i>MAY IMPACTOR</i>	50
TABELA 14 – ANÁLISE QUANTITATIVA DAS AMOSTRAS DE MATERIAL DE REVESTIMENTO E ROCHA	65
TABELA 15 – MÉDIA DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS ENCONTRADOS (NG.M-3) NAS AMOSTRAS ANALISADAS POR FRX	71
TABELA 16 – ABUNDÂNCIA DE TIPOS DE PARTÍCULAS OBTIDAS PELO AMOSTRADOR <i>MAY IMPACTOR</i> NA REGIÃO DE PIÊN	77

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS À ÁREA DE ESTUDO	19
FIGURA 2 – PRECIPITAÇÃO X TEMPERATURA, NA REGIÃO DA LAPA, DE 1989-2008	21
FIGURA 3 – PERCENTUAL DE INTERNAÇÕES (A) E DE MORTALIDADE (B) NA POPULAÇÃO COM 60 ANOS E MAIS, POR PROBLEMAS RESPIRATÓRIOS	24
FIGURA 4 – MAPA GEOLÓGICO DO EMBASAMENTO CRISTALINO, NO ESTADO DO PARANÁ E LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DA ÁREA DE ESTUDO	25
FIGURA 5 – MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA REGIÃO DE PIÊN	27
FIGURA 6 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DE CRISOTILA DO BRASIL, CANADÁ E RÚSSIA	35
FIGURA 7 – AMOSTRA DE CRISOTILA PROVENIENTE DA MINA DE CANA BRAVA	38
FIGURA 8 – AMOSTRA DE CRISOTILA, PROVENIENTE DA RÚSSIA, COM AUMENTO DE 200X (A); 1.000X (B) E 2.000X (C)	39
FIGURA 9 – AMOSTRA DE CRISOTILA, PROVENIENTE DE CANADÁ, COM AUMENTO DE 200X (A); 1.000X (B) E 2.000X (C)	39
FIGURA 10 – RESULTADOS DO MEV / EDS – AMOSTRAS DE CRISOTILA BRASIL	40
FIGURA 11 – RESULTADOS DO MEV / EDS – AMOSTRAS DE CRISOTILA RÚSSIA	40
FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS	41
FIGURA 13 – LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO AMOSTRADOR 01 EM CAMPINA DOS CRISPINS	47
FIGURA 14 – LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO AMOSTRADOR 02 EM CAMPINA DOS MAIAS	47
FIGURA 15 – SUPORTE DOS FILTROS DE NUCLEOPORE®	48
FIGURA 16 – ESQUEMA DEMONSTRATIVO DE UM AMOSTRADOR INERCIAL DO TIPO CASCATA <i>MAY IMPACTOR</i>	50
FIGURA 17 – RESULTADO DIFRATOGRAMA AMOSTRA 158/06 A	59
FIGURA 18 – RESULTADO DIFRATOGRAMA AMOSTRA 158/06 B	60
FIGURA 19 – RESULTADO DIFRATOGRAMA AMOSTRA 158/06 C	61
FIGURA 20 – RESULTADO DIFRATOGRAMA AMOSTRA 158/06 D	62
FIGURA 21 – RESULTADO DIFRATOGRAMA AMOSTRA 158/06 E	63
FIGURA 22 – RESULTADO DIFRATOGRAMA AMOSTRA CSP03 (TALCOXISTO)	63

FIGURA 23 – ASPECTO GERAL DOS FEIXES DE FIBRAS DA CRISOTILA SOB MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDUTA – AUMENTO DE X200	66
FIGURA 24 – DETALHE DO EMARANHADO DE FEIXES DE FIBRAS DE CRISOTILA AUMENTO DE X400	66
FIGURA 25 – “MASSA” DE CRISOTILA OBSERVADA POR MEV – AUMENTO DE X1000	67
FIGURA 26 – DETALHE DOS FEIXES DESFIADOS DO MINERAL CRISOTILA, ASSOCIADA A MICROGRÃOS DE COMPOSIÇÕES DIVERSAS – AUMENTO DE X2000	67
FIGURA 27 – DETALHAMENTO ( AUMENTO DE X6000 ) DO MINERAL CRISOTILA POR MEV, MOSTRANDO ALGUMAS FIBRAS FLEXÍVEIS E EM GERAL MUITO DESFIADAS, PRODUZINDO FIBRILAS MENORES	68
FIGURA 28 – DETALHE DA IMAGEM ANTERIOR, COM MINERAL CRISOTILA E MICROGRÃOS ASSOCIADOS – AUMENTO DE X10.000	68
FIGURA 29 – RESULTADOS DO MEV / EDS DE AMOSTRA DE PIÊN – PICOS DE DIFRAÇÃO APONTAM A COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DA CRISOTILA SI-O-MG	69
FIGURA 30 – RESULTADOS DO MEV / EDS DE AMOSTRA DE PIÊN, COM PICOS DE DIFRAÇÃO APONTAM A COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DA CRISOTILA SI-O-MG E OUTROS MICROGRÃOS ASSOCIADOS (C0, N)	69
FIGURA 31 – RESULTADOS DO MEV / EDS DE AMOSTRA DE PIÊN E OUTROS MICROGRÃOS ASSOCIADOS	70
FIGURA 32 – CONCENTRAÇÃO ELEMENTAR MÉDIA NAS AMOSTRAS DE CAMPINA DOS CRISPINS X CAMPINA DOS MAIAS	72
FIGURA 33 – FATOR DE ENRIQUECIMENTO NO SOLO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NAS AMOSTRAS DE CAMPINA DOS CRISPINS E CAMPINA DOS MAIAS, REFERENCIADOS AO ELEMENTO AL	74
FIGURA 34 – NÚMERO TOTAL DE PARTÍCULAS POR AMOSTRA E A DISTRIBUIÇÃO POR TAMANHO	76
FIGURA 35 – PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS (MATERIAIS PARTICULADOS) ANALISADOS EM MEV - IDENTIFICAÇÃO DO MINERAL DE CRISOTILA	78
FIGURA 36 – RESULTADOS DO MEV/EDS – AMOSTRAS DE AEROSSÓIS DA REDE VIÁRIA DE PIÊN	79
FIGURA 37 – DEPOSIÇÃO DAS PARTÍCULAS (A) POR NÚMERO DE BIFURCAÇÃO DA REGIÃO PULMONAR E (B) PELA MORFOLOGIA DAS ESTRUTURAS ALVEOLARES	81

## LISTA DE FOTOS

Pág.

FOTO 1 – AMOSTRA DE (A) AMIANTO CRISOTILA PURA; (B) CRISOTILA PURA	33
FOTO 2 – PEDREIRA DA PREFEITURA (A) EM CAMPINA DOS CRISPINS E PEDREIRA EM ATIVIDADE (B) EM CAMPINA DOS MAIAS	42
FOTO 3 – MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO APÓS MOVIMENTAÇÃO DE VEÍCULOS	44
FOTO 4 – MATERIAL DE REVESTIMENTO PRIMÁRIO PROVENIENTE DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS, UTILIZADAS PARA PAVIMENTAÇÃO DA ZONA URBANA DE PIÊN	44
FOTO 5 – COLETA DE AMOSTRA DO MATERIAL UTILIZADO NA PAVIMENTAÇÃO DAS ESTRADAS	45
FOTO 6 – UTILIZAÇÃO DE SAIBRO DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS COMO REVESTIMENTO DA ESTRADA	45
FOTO 7 – AMOSTRADOR DE MATERIAL PARTICULADO TOTAL (A) EM CAMPINA DOS CRISPINS; (B) EM CAMPINA DOS MAIAS	48
FOTO 8 – AMOSTRADOR <i>MAY IMPACTOR</i>	49
FOTO 9 – AMOSTRADOR <i>MAY IMPACTOR</i> INSTALADO NO PONTO 01 (CAMPINA DOS CRISPINS)	52
FOTO 10 – FOTOGRAFIAS DE AMOSTRAS COLETADAS	57
FOTO 11 – MICROFOTOGRAFIAS DAS SEÇÕES DELGADAS ANALISADAS	58

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de recursos naturais na área da construção civil e pavimentação de estradas secundárias normalmente ocorrem sem a realização de análises consistentes sobre as conseqüências para a saúde da população, expressas em termos de produção e de possíveis contaminações. É fato que o subsolo é fonte de matéria prima importante nas atividades de engenharia civil e de transportes, todavia a sua utilização levanta a necessidade de um estudo sistemático da sua composição, uma vez que o tamanho e os tipos de partículas geradas na suspensão do material extraído de uma região e/ou depositado em outra influenciam a concentração das partículas no ambiente e, por conseqüência, os efeitos locais e globais.

O Município de Piên, localizado a 80 km ao sul de Curitiba/PR, utiliza rochas ultramáficas como fonte de saibro para revestimento primário de estradas secundárias e acessos, devido à predominância e ao baixo custo de desmonte dessa rocha.

O saibro utilizado na rede viária de Piên é retirado de pedreiras, prática que remonta há mais de 100 anos, nos arredores da cidade, a partir de lavra a céu aberto, e vem despertando interesse para novos usos na área de construção civil e viária.

Geologicamente a região é constituída por rochas granulíticas do Terreno Gnáissico - Granulítico do Paraná e Santa Catarina (TGG), Suíte Máfica-Ultramáfica Piên (SMUP), Cinturão Granítico Piên-Mandirituba (CGPM), Granito Palermo, Granito Agudos do Sul e o Granito Rio Negro.

Dentre as rochas ultramáficas, predominam os serpentinitos, com ocorrências menores de peridotitos e piroxenitos, também serpentinizados. O serpentinito, rocha ultramáfica rica em serpentina, apresenta em sua composição o mineral crisotila, pertencente ao grupo dos minerais de amianto ou asbesto.

A identificação da mineralogia, morfologia, quimismo e formas de ocorrência de minerais fibrosos do grupo da serpentina ocorrentes nas rochas ultramáficas de Piên e, por conseguinte, nos materiais utilizados na

pavimentação das estradas locais, constituem a finalidade desta pesquisa, desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação do Curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Identificar a tipologia de minerais do grupo do amianto na rede viária do município de Piên, proveniente da utilização de rochas ultramáficas como revestimento primário de estradas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Descrever as características petrográficas das rochas ultramáficas presentes na área de estudo, comparando-as com avaliações anteriores descritas na bibliografia;
- Determinar a mineralogia, morfologia, quimismo dos minerais de hábito fibroso, compatíveis com o grupo do amianto ocorrentes no material de revestimento das estradas, provenientes de rochas ultramáficas da região de Piên; e,
- Analisar o material particulado, quantificando os tipos e concentrações dos aerossóis.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS DE AMIANTO

Amianto ou asbesto são nomes comerciais dados a uma fibra de origem mineral, derivada de rochas ígneas ultramáficas e metamórficas. O nome asbesto, de origem grega, significa “incombustível” e é utilizado em países anglosaxões; o nome amianto é de origem latina, *amianthus* significando puro, sem sujidade, sem mácula, incorruptível e é mais utilizado em países de língua neolatina. É uma fibra extremamente resistente, sendo uma designação comercial genérica para a variedade fibrosa de seis minerais metamórficos, que ocorrem naturalmente e são utilizados em vários produtos comerciais. Suas propriedades incluem a grande flexibilidade e resistência química, térmica e elétrica, razão pela qual são utilizadas desde os primórdios da civilização, quando o homem primitivo as adicionava à argila na produção das primeiras tigelas refratárias.

As rochas que contêm minerais de amianto, ricas em magnésio (e muitas vezes também ricas em ferro) são produtos de alteração por processos geológicos metamórficos; incluindo alterações de rochas ultramáficas e rochas metamorfizadas ricas em dolomita.

Em geral, os depósitos de amianto são relativamente raros e, normalmente, constituem um pequeno volume do corpo total da rocha (MEEKER, 2008), muito mais comum é o material que pode estar presente em pequenos veios e de qualidade que podem gradar de: asbestiforme - fibroso - acicular - prismático. O componente asbestiforme deste material, quando não perturbado pela atividade humana, é frequentemente chamado de Ocorrência Natural de Amianto. (*Naturally Occuring Asbestos* - NOA em inglês). O NOA refere-se ao amianto que ocorre como componente mineral menos importante em algumas rochas, solos, sedimentos ou nas águas, como resultado de processos geológicos naturais. O termo NOA também pode ser aplicado ao amianto que foi transportado pelo intemperismo natural por processos de erosão, no ar, solo, sedimento ou água. (VAN GOSEN, 2006, MEEKER, 2008).

Não estão incluídos nesta definição os materiais processados comercialmente que contêm amianto, como os materiais de isolamento e proteção contra incêndios em edifícios ou em alguns tipos de pastilhas de freio de automóveis, além de solos, sedimentos ou águas contaminadas pelo amianto comercialmente processados.

Os minerais asbestiformes pertencem a dois grupos: a crisotila, que corresponde a mais de 95% da produção mundial de asbesto e o Supergrupo dos anfibólios – riebeckita (crocidolita ou asbesto azul), grunerita (amosita), antofilita, tremolita e actinolita.

A crisotila tende a ter fibras muito finas, usualmente são longas e flexíveis, antes do beneficiamento. As fibras de amianto anfibólio, no entanto, podem conter uma grande variedade de tamanhos, de muito longa e fina, grossa, relativamente curta, e quebradiça. Uma grande variedade de tamanhos e formas de fibras de amianto anfibólio pode ocorrer em conjunto e com intercrescimento em escala microscópica (MEEKER, 2008). Além das fibras de anfibólio que se encaixam na definição comercial do amianto anfibólio, outros tipos de partículas também podem ocorrer misturados na escala microscópica. Esses outros tipos de partículas possuem frequentemente, hábitos fibrosos (não asbestiformes), aciculares (em forma de agulha) e prismáticos (prisma). Não são definidos limites distintos entre esses tipos de partículas - muitas vezes mostram uma gradação de um para o outro na mesma amostra ou material. Além disso, não há um consenso entre os pesquisadores na área do amianto sobre como distinguir estes tipos de partículas em uma amostra mista e, mais importante, a relação desse diferentes tipos de partículas com a toxicidade (saúde humana). Estas questões foram recentemente levantadas a respeito de uma Área com Ocorrência Natural de Amianto (NOA) em El Dorado Hills, California (EPA, 2008; MEEKER, 2006, MEEKER, 2008).

OLIVEIRA (1996) sintetizou as diferenças fundamentais entre as fibras de anfibólio e as de crisotila: a crisotila é excessivamente pequena na seção transversal (180Å a 300Å) e tem estrutura tubular, enquanto os anfibólios são muito maiores na seção transversal, parecendo lâminas estreitas, e suas fibras

são menos simétricas que às de crisotila. Em geral, os anfibólios são duros, ásperos e elásticos e não tão flexíveis e dúcteis como a crisotila.

BIONDI (1986) destaca que as características físicas mais importantes dos minerais de asbestos / amianto são o comprimento das fibras, a tecelagem, a resistência a ácidos e álcalis, o conteúdo da magnetita, as impurezas, a flexibilidade e a resistência ao calor.

Na TABELA 1 são apresentadas as características químicas e as propriedades das diferentes variedades de minerais de asbestos / amianto.

**TABELA 1 – Propriedades químicas e físicas dos minerais de asbesto / amianto**

PROPRIEDADE	MINERAL					
	Crisotila	Antofilita	Grunerita	Riebeckita Asbestiforme	Tremolita Asbestiforme	Actinolita Asbestiforme
Grupo	Serpentina	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio
Fórmula Química (Teórica)	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	$Mg_7(Si_8O_{22})(OH)_2$	$Mg_7(Si_8O_{22})(OH)_2$	$Na_2Fe^{2+}_3Fe^{3+}_2(Si_8O_{22})(OH)_2$	$Ca_2(Mg_5Si_8O_{22})(OH)_2$	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Estrutura	Bastante fibrosa/ fibras finas fáceis de separar	Lamelar-fibrosa e asbestiforme	Lamelar-fibrosa e asbestiforme	Fibrosa e associada a rochas ferruginosas	Longa-prismática em agregados fibrosos	Reticulados de cristais prismáticos e fibras
Associação mineralógica	Serpentinitos e calcários em contato com rxs básicas	Xistos e gnaisses	Xistos	Xistos e rxs metamórficas ferruginosas	Dolomitas e rxs magnesianas	Metamorfismo de contato
Origem	Serpentinização	Metamorfismo usualmente sobre olivina	Metamorfismo	Metamorfismo regional	Metamorfismo	Metamorfismo de contato
Veios	<i>Fiber cross e slip</i>	<i>Slip, fibra-mass</i> entrelaçadas e orientadas	<i>Fiber cross</i>	<i>Cross</i>	<i>Slip e mass</i>	<i>Slip ou mass</i>
Composição	Silicato de magnésio	Silicato de Mg com Fe	Silicato de Fe e Mg. Conteúdo ferrífero maior que o da antofilita	Silicato de Na e Fe com alguma água	Silicato de Ca e Mg com alguma água	Ca-Mg-Fe Silicato, água até 5%
Hábito	Fibrosa a asbestiforme	Prismática lamelar a fibrosa	Prismática lamelar a fibrosa	Fibrosa	Longa e fina, colunar a fibrosa	Longa e fina, colunar e fibrosa
Sistema cristalino	Monoclínico pseudo-ortorrômbico	Ortorrômbico	Monoclínico	Monoclínico	Monoclínico	Monoclínico
Cor	Branca-cinza-verde-amarelada	Verde clara, marron, cinzenta a verde	Cinza a marron	Azul	Cinza-claro, esverdeada, amarelada, azulada	Esverdeada
Brilho	Sedoso	Sedoso	Vítreo a nacarado	Sedoso e pálido	Sedoso	Sedoso
Dureza	2,5-4,0	5,5-6,0	5,5-6,0	4	5,5	+ 6

PROPRIEDADE	MINERAL					
	Crisotila	Antofilita	Grunerita	Riebeckita Asbestiforme	Tremolita Asbestiforme	Actinolita Asbestiforme
Peso específico	2,4-2,6	2,85-3,1	3,1-3,25	3,2-3,3	2,0-3,2	3,0-3,2
Clivagem	010 perfeita	110 perfeita	110 perfeita	110 perfeita	010 perfeita	110 perfeita
Propriedades ópticas	Biaxial positiva, extinção paralela	Biaxial positiva, extinção paralela	Biaxial positiva, extinção paralela	Biaxial = extinção inclinada	Biaxial negativa, extinção inclinada	Biaxial negativa, extinção paralela
Índice de refração	1,51-1,55	± 1,61	± 1,64	1,7 pleocróico	± 1,61	± 1,63, fracamente pleocróico
Comprimento das fibras	Curta a longa	Curta	Variável a pol. a 11 pol	Curta a longa	Curta a longa	Curta a longa
Aspecto	Macio a áspero.	Áspero	Grosseiro e pouco flexível	Macio a áspero	Geralmente áspero	Áspero

Fonte: Adaptado de Oliveira, 1996 / Biondi, 1986

### 3.1.1 Minerais do Grupo das Serpentinhas

A classificação dos minerais do grupo das serpentinas foi proposta em 1956 por WHITTAKER E ZUSSMAN, baseada nos diferentes arranjos estruturais das camadas tetraédricas-octaédricas: crisotila em camadas cilíndricas, antigorita em camadas onduladas e lizardita em camadas planas (MELLINI, 1982). Segundo DEER, et. al. (2000), os minerais principais do grupo das serpentinas têm uma composição química aproximada  $H_4Mg_3Si_2O_9$  e nos exemplares naturais verifica-se a existência de uma substituição comparativamente pequena de outros íons. Pode conter quantidades menores de outros elementos como o cromo, manganês, cobalto e níquel.

As serpentinas são típicos minerais de rochas metamórficas, formadas a partir de hidrotermalismo, comumente associadas a talco, magnetita e cromita.

Quando as serpentinas se formam nas rochas peridotíticas a maior parte do ferro presente na olivina ou no piroxênio original, é incorporado na magnetita ou hematita e não entra na composição da serpentina. Aquecendo-se a serpentina ao ar, em temperatura de  $600^0$  C, forma-se a olivina (DEER, et al., 2000):



A crisotila é o mineral do grupo das serpentinas melhor conhecido, sendo um silicato hidratado de magnésio, ocorre freqüentemente em veios de fibras sedosas e é a fonte mais importante de asbestos comerciais. Resiste ao calor e caracteriza-se por ser facilmente tecida. Um quilograma de fibra pode produzir até 20 mil metros de fio.

As fibras de crisotila estão geralmente alinhadas quase perpendicularmente ao alinhamento dos filões, nesse caso são denominadas por *fiber cross*. As fibras que ocorrem dispostas segundo filões são denominadas por *fiber slip* e seu comprimento varia de menos de 1 até 40 mm. A história geológica dos dois tipos de fibras é completamente diferente e segundo OLIVEIRA (1996), na mina de Cana Brava, as fibras *slip* correspondem às estrias de atrito, enquanto as fibras *cross* são resultado de cristalização por tração, onde ambas podem ter se formado na mesma época, porém sob condições tectônicas distintas.

### 3.1.2 Minerais do Supergrupo dos Anfibólios

A classificação dos minerais de anfibólios (que se enquadram como minerais de amianto) pode ser baseada na composição química ou cristaloquímica; em propriedades ópticas e outras propriedades determinativas, a exemplo da difração de raios X, todavia, as propriedades ópticas e, principalmente a difração, não permitem diferenciar os minerais de um mesmo grupo, necessitando normalmente usar mais de uma técnica analítica para a classificação.

A riebeckita (silicato hidratado de ferro e magnésio) é conhecida comercialmente como “amianto azul”. Apresenta-se na forma de fibras retas e longas, cor azul intensa, baixa fusibilidade e alta resistência aos ácidos.

A antofilita (silicato hidratado de ferro e magnésio) apresenta-se na forma de fibras normalmente fracas e curtas, com alta resistência ao calor, aos ácidos e às substâncias químicas em geral, aparecendo nas minas de talco, como mineral acessório. Os principais depósitos encontram-se na Finlândia e no Brasil (Jiramataia, Alagoas). A Finlândia, que foi o maior produtor mundial

de antofilita, desativou a extração desta variedade de asbesto em 1975. A jazida de antofilita em Alagoas encontra-se atualmente inativa.

A grunerita-cummingtonita (silicato hidratado de ferro e magnésio) apresenta fibras brilhantes e retas, com excelente resistência térmica e mecânica, e elevada elasticidade. As principais minas encontram-se na África do Sul (Northern Transvaal), mas a mineração desta variedade de amianto foi encerrada naquele país.

A tremolita (silicato hidratado de ferro, magnésio e cálcio) apresenta-se na forma de fibras longas e sedosas, com pouca resistência à tração. É encontrada nos depósitos de crisotila, talco e dos outros minerais fibrosos de anfibólio.

A actinolita (silicato hidratado de ferro, magnésio e cálcio) é quase desconhecida na esfera comercial, por causa da escassez de ocorrências na forma fibrosa. As fibras são comumente quebradiças, estando presentes em pequena quantidade nos depósitos de amosita, e menos freqüentemente, nos depósitos de crisotila, talco e vermiculita.

### 3.2 PRODUÇÃO E CONSUMO DE AMIANTO

A produção mundial de amianto, até 2007, era de  $2.332 \times 10^3$  t, segundo dados do DNPM/ DIDEM. Dos cerca de 40 países que têm reservas naturais de crisotila, 25 fazem a extração e cerca de sete são responsáveis por cerca de 95% da produção mundial: Canadá (Quebec, British Columbia e Newfoundland), Rússia (Montes Urais), Brasil (Canabrava, Goiás), Cazaquistão, China (Província de Szchwan), Zimbábue e África do Sul. (MENDES, 2000; DNPM, 2007).

A SAMA, única produtora de amianto na América Latina, possui uma jazida (Cana Brava), localizada no Município de Minaçu – GO.

Segundo dados estatísticos disponibilizados pelo DNPM / DIDEM (2007), até o ano de 2005 o Brasil produziu anualmente cerca de 200 mil toneladas do produto, exportando 60% de sua fabricação para países em desenvolvimento, como México, Tailândia, Colômbia e China. Para efeito

comparativo, na TABELA 2 apresenta-se a média da produção mundial de amianto (no mesmo período) e a situação no Brasil no setor.

**TABELA 2 – Produção anual (%) de amianto / asbesto**

<b>PAÍS</b>	<b>(%)</b>
Rússia	39,7
China	17,2
Cazaquistão	15
Canadá	10,3
<b>Brasil</b>	<b>9,7</b>
Zimbábue	4,7
Outros	3,4
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Fonte: DNPM / DIDEM, 2007

Os principais usos e destinos da produção e uso do amianto beneficiado são apresentados na TABELA 3.

**TABELA 3 – Uso e destinação do amianto beneficiado**

<b>USOS/DESTINO</b>	<b>PATICIPAÇÃO %</b>
Artefatos de Fibrocimento	98,21
Fabricação de Peças para Freios	1,05
Tecidos Especiais	0,57
Outros Produtos Químicos	0,11
Papel e Celulose	0,03
<b>TOTAL</b>	<b>99,97</b>

Fonte: DNPM/DIDEM (2007)

Em relação ao consumo interno brasileiro, a participação dos principais compradores de amianto está equacionada pelos Estados do Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Goiás, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia, Santa Catarina e Alagoas, com uma participação bem menos expressiva (TABELA 4).

**TABELA 4 – Consumo interno de amianto (%)**

<b>ESTADO</b>	<b>%</b>
Paraná	9,77
São Paulo	8,57
Rio de Janeiro	7,51
Goiás	6,57
Rio Grande do Sul	2,86
Minas Gerais	2,44
Bahia	2,25
Santa Catarina	0,79
Alagoas	0,02

Fonte: DNPM 2007

### 3.3 AMIANTO E SAÚDE

#### 3.3.1 Exposição a Poeiras de Amianto

O contato com poeiras minerais pode causar uma ampla gama de problemas de saúde. Estas exposições podem ser devido às condições locais, tais como as poeiras geradas pela mineração em lavra a céu aberto.

O amianto é constituído por fibras extremamente finas e longas facilmente separáveis umas das outras com tendência a produzir partículas inaláveis (aerossóis) que flutuam no ar e aderem às roupas. Em função dessas características, a exposição prolongada ao material pode produzir graves problemas de saúde, que surgem quando as fibras se dispersam no ar e são inaladas. Devido ao tamanho das fibras, os pulmões não conseguem expelir-las (TOXICOLOGY, 2001).

A exposição ocupacional cumulativa à poeira contendo amianto pode levar ao desenvolvimento de asbestose, tipo de pneumoconiose provocada pela deposição de partículas inaláveis de amianto nos pulmões. A doença é progressiva e irreversível e o tempo de latência é superior a 10 anos, podendo manifestar-se vários anos após o início da exposição, mesmo depois de cessada a exposição (MENDES, 2000).

Fibras respiráveis são aquelas de tamanho suficiente para penetrar profundamente no tecido pulmonar. Nem todas as fibras ou partículas de amianto são de tamanho respirável. No entanto, feixes de fibras maiores continuarão a gerar fibras respiráveis, quando perturbados. A quantidade de fibras respiráveis que podem ser liberadas no ar e se tornar um perigo de inalação depende de muitos fatores, incluindo o tipo de fibra ou de amianto, o tipo de solo ou de agregados, teor de umidade do solo ou agregado, a umidade do ar e outros. Portanto, qualquer determinação confiável do risco real por medição direta da quantidade de fibras no solo é extremamente difícil (MEEKER, 2008).

As exposições ao amianto podem ocorrer de forma ocupacional ou ambiental. Trabalhadores com alta probabilidade de exposição ocupacional são aqueles ligados à indústria naval, isolamento térmico e acústico e caldeiraria. Com moderada probabilidade encontram-se os mecânicos, eletricitas, chapeiros, soldadores, marinheiros e operários da construção civil. No caso da exposição ambiental, existem três categorias: natural, industrial e passiva. Em todos os casos o risco consiste na inalação do material particulado presente no ar:

1. Por poluição emitida por fonte natural (NOA – *Naturally Occuring Asbestos*): ocorre em regiões onde o solo contém fibras de amianto cujas partículas podem ser inaladas;
2. Por poluição emitida por fonte industrial: as minas de amianto e a indústria de transformação do mineral são o principal foco.
3. Por poluição emitida pelo amianto colocado nas construções: a degradação natural dos materiais libera no ar partículas de amianto: é a chamada exposição passiva.

Estudos realizados pelo grupo de pesquisa do Prof. Marc Schenker relacionou os perigos ligados à proximidade de residências com depósitos rochosos ultramáficos (principal fonte de minerais de amianto), evidenciaram o fato de que viver próximo a fontes naturais de amianto pode levar ao risco do desenvolvimento de um mesotelioma maligno. A pesquisa realizou um estudo

comparativo de 2908 casos de mesotelioma, declarados entre 1988 e 1997 junto ao *California Cancer Registry*, utilizando as cartas geológicas da *Division of Mines and Geology* (DMG), recenseando os depósitos ultramáficos principalmente concentrados ao Norte e ao centro do Estado (Sierra Nevada, Coast Ranges e Klamath Mountains).

Sob as condições dessa região, a probabilidade de um indivíduo, conforme os estudos realizados, desenvolver um mesotelioma maligno é diretamente proporcional à distância entre sua residência e uma fonte de amianto natural. As chances diminuem de 6,3%, a cada dez quilômetros, até atingir o valor marginal de um caso para cada 100.000 indivíduos. A título de controle, um número igual de casos de câncer pancreático (independente do amianto) foi analisado, sem que os cientistas tivessem encontrado qualquer ligação. O prof. Marc Schenker reportou que o risco devido à exposição natural diária ao material fibroso, mesmo que fraca, é real e não deve de forma alguma ser negligenciado.

Um estudo da composição da poeira no Distrito de Mata dos Palmitos, Ouro Preto/MG (BEZERRA *et al.* 2003), entre artesãos em pedra-sabão, que trabalhavam em produção de base familiar, revelou a presença de fibras respiráveis de asbesto do grupo dos anfibólios (tremolita-actinolita). Dentre as técnicas de identificação adotadas, a Microscopia Eletrônica de Varredura de poeira respirável e total confirmou que a poeira coletada era constituída basicamente de partículas de talco na forma de escamas, e entre as mesmas, a presença de fibras de asbesto. Os resultados do estudo sugeriram a ocorrência de talco-asbestose entre os artesãos em pedra-sabão.

Para minimizar a exposição das fibras de anfibólio no ambiente, o CETEM (Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência e Tecnologia) desenvolveu, em parceria com a SAMA (única empresa de mineração de amianto em funcionamento no Brasil, em Minaçu/Goiás), equipamentos para produção a úmido, cessando a fonte de poeiras minerais, e iria construir com a Prefeitura de Ouro Preto, uma Unidade-Piloto, inserindo tecnologias sociais limpas melhorando o meio ambiente da região e a qualidade de vida da comunidade (SILVA *et al.* 2009).

A poeira de amianto também foi objeto de estudo após o atentado de 11 de setembro de 2001 no *World Trade Center* (WTC). Apenas cinco dias após o colapso das torres, cientistas americanos (SWAYZE *et al*, 2006) realizaram 34 coletas de poeira e detritos em um raio de 1 km da área afetada, para avaliar os perigos potenciais da poeira do amianto que se estabeleceu ao longo da ilha de Manhattan. Análises de difração de raios X das amostras detectaram baixas concentrações de serpentina, incluindo a crisotila, em cerca de dois terços das amostras de poeira, com concentrações iguais ou abaixo de 1% em peso. As principais fontes possíveis mapeadas de amianto dos edifícios que desmoronaram na WTC foram: revestimentos à prova de fogo pulverizados sobre as vigas de aço, utilizados na parte inferior dos pisos e no poço do elevador (utilizados até o 38º andar das torres); pisos de vinil; isolamento em tubulações e caldeiras.

Com relação aos solos derivados de rochas ultramáficas compostas por serpentinitos, a própria evolução geoquímica de alteração do perfil do solo tende a alterar esses minerais magnesianos, tornando os minerais de serpentinas raras no solo. Solos derivados de serpentinitos foram estudados em detalhe por meio de descrições macro e micromorfológicas, análises granulométricas, químicas e por mineralogia de raios X e microanálises das seções delgadas por sistema com detector de raios X por dispersão de energia (EDS) acoplado a um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), das frações argila e silte por VIDAL-TORRADO *et. al*, 2006, em ambiente tropical úmido no sudoeste de Minas Gerais, na zona do *Greenstone belt* do Morro de Ferro.

Os autores mencionam que, embora situados num clima que favoreça o rápido intemperismo, do ponto de vista morfológico e mineralógico, esses solos mostraram-se similares aos solos derivados de rochas serpentinizadas das regiões subtropicais e temperadas. A composição mineralógica da fração argila do solo foi descrita como uma mescla de: (a) minerais herdados da rocha, como o talco, a clorita e, em menor quantidade, a tremolita; (b) minerais de transformação direta, por rearranjo estrutural, como os interestratificados clorita-vermiculita, cloritaesmeclita, a vermiculita e a esmeclita e (c) minerais neoformados por dissolução-precipitação, como a caulinita e os óxidos de Fe

(hematita e goethita). Embora abundantes nas rochas, as serpentinas são raras no solo. A rocha é rica em Mg e este se perde, juntamente com o Ca e o Si, de forma intensa nas primeiras fases de alteração, do solo. O acúmulo relativo de elementos menos móveis como o Al e o Fe, também é evidente e alguns minerais de Fe mais resistentes ao intemperismo (magnetita) aparecem tanto na rocha como no solo (VIDAL-TORRADO *et al*, 2006).

### 3.3.2 Doenças atribuídas à exposição da poeira de amianto

No âmbito do Ministério da Saúde e do Ministério da Previdência Social, as principais doenças relacionadas ao trabalho com amianto estão listadas, respectivamente, na Portaria No. 1.339/GM, de 18/11/1999 e no Decreto no. 3.048, de 6/5/1999 (atualizado pelo Decreto No. 6.957, de 9/9/2009): neoplasia maligna do estômago; neoplasia maligna da laringe; neoplasia maligna dos brônquios e do pulmão; mesotelioma de pleura; mesotelioma do peritônio; mesotelioma do pericárdio; placas epicárdicas ou pericárdicas; asbestose e placas pleurais.

Estes decretos e portarias, que regulamentam dispositivos legais da Saúde e da Previdência, aplicam-se ao campo da Saúde dos Trabalhadores: orientando os procedimentos de estabelecimento denexo causal (trabalho x doença); disciplinando as obrigações dos empregadores e de quem faz o diagnóstico a notificar as autoridades públicas; favorecendo os trabalhadores segurados pelo INSS ao exercício dos direitos previdenciários, como a proteção social enquanto houver incapacidade laborativa, estabilidade de 1 ano após afastamentos do trabalho superiores a 15 dias (entre outros direitos); e, favorecendo outros mecanismos compensatórios na esfera da responsabilidade civil e criminal.

Por outro lado, tanto as pneumoconioses (nelas incluída a asbestose), como o Câncer Relacionado ao Trabalho (nele incluído o Mesotelioma e o câncer de pulmão, entre outros) constam da Portaria do Ministério da Saúde GM/MS 777, de 28/4/2004, que obriga e regulamenta os procedimentos de notificação dos agravos à saúde relacionados ao trabalho, ao SINAN.

Quase todas as pessoas são expostas ao amianto, mas a maioria não adoece em consequência de exposição eventual. O fator preponderante é o tempo à exposição (exposição ocupacional ou contato ambiental substancial). O tempo de latência varia, sendo atribuída uma média entre as principais doenças (MENDES, 2001):

- Lesões pleurais benignas: 15-20 anos
- Asbestose: >10 anos
- Câncer de pulmão: >30 anos
- Mesotelioma: 30-40 anos

Em função do longo período de latência das doenças relacionadas ao amianto, ou seja, a longa distância entre a exposição ocupacional e o aparecimento das doenças, muitas empresas não tomam medidas de segurança ocupacional e de saúde aos trabalhadores, mesmo quando já se sabia dos efeitos nocivos das fibras à saúde, acarretando em continuidade do uso do amianto no mundo todo. A demora no reconhecimento das doenças associadas aos minerais de amianto decorreu de vários fatores:

- Desconhecimento da patogênese;
- Tempo de latência prolongado;
- Poucos sintomas clínicos nas fases iniciais das doenças;
- Complicações cardio-pulmonares apenas nas fases avançadas das doenças;
- No caso de neoplasias, controvérsias entre a relação nexó-causal.

A Organização Internacional do Trabalho (OIT), do qual o Brasil é signatário, publicou a Convenção 162, em 24 de junho de 1986, ou “Convênio sobre o asbesto, 1986”, que trata de um conjunto de regulamentações para o uso do amianto nas áreas de mineração, nas indústrias de processamento e transformação do minério.

No Brasil, em 1991, o Ministério do Trabalho Brasileiro publicou a Portaria nº 1, onde determina:

- Proibição do uso de amianto do tipo anfíbolio e de produtos que o contenham;
- Proibição e a pulverização (spray) de qualquer amianto;
- Proibição do trabalho de menores de 18 anos nas áreas de produção;
- Exigência que as empresas elaborem normas de procedimento para situações de emergência e que só possam comprar a matéria-prima de empresas cadastradas no Ministério do Trabalho;
- Que as fibras de amianto e seus produtos sejam rotulados e acompanhados de "instruções de uso", com informações sobre os riscos para a saúde, doenças relacionadas e medidas de proteção e controle;
- Fixa o limite de tolerância para fibras respiráveis em 2 fibras/cm<sup>3</sup>;
- Exigência de avaliação ambiental a cada seis meses e a divulgação dos resultados para conhecimento dos funcionários;
- O fornecimento de equipamentos de proteção individual (EPIs), bem como roupa de trabalho que deve ser trocada duas vezes por semana e lavada sob responsabilidade da empresa;
- Instalação de vestiários duplos, separando roupas de trabalho das comuns de passeio;
- Que os trabalhadores expostos devem receber treinamento anual sobre os riscos e as medidas de proteção e controle;
- Que os trabalhadores devem ser submetidos a exames médicos, incluindo raios X e espirometria, além da avaliação clínica, na admissão, periodicamente e pós-demissionais por até 30 anos, em periodicidade determinada pelo tempo de exposição: anual para os que se expuseram mais de 20 anos; a cada dois anos, entre 12 e 20 anos; a cada 3 anos, abaixo de 12 anos;

- Que sejam monitorados os resíduos da fibra nos ambientes e destinados sem colocar em risco à saúde dos trabalhadores e da população em geral.

A primeira referência no Brasil sobre as doenças relacionadas ao asbesto está registrada no Boletim número 98, do DNPM, publicado em 1956, sob o título Higiene das Minas – Asbestose, monografia elaborada pelos médicos Carlos Martins Teixeira e Manoel Moreira. Trata-se de estudo realizado nas minas de asbesto da FAMA (Eternit), no Município de Nova Lima, Minas Gerais e na usina de beneficiamento do minério. Após efetuarem minucioso estudo clínico e radiológico de oitenta trabalhadores, os autores identificaram seis casos de fibrose nas bases pulmonares, compatíveis com formas iniciais de asbestose (MENDES, 2001).

No mundo todo 52 países proíbem o uso do amianto. Vários outros países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil, ainda permitem o uso controlado do amianto crisotila, porém o Critério de Saúde Ambiental 203 do Programa de Segurança Química da Organização Mundial da Saúde de 1998 concluiu que “nenhum limite de tolerância foi identificado para os agentes carcinogênicos”; recomendando sempre que possível a substituição dos materiais de crisotila.

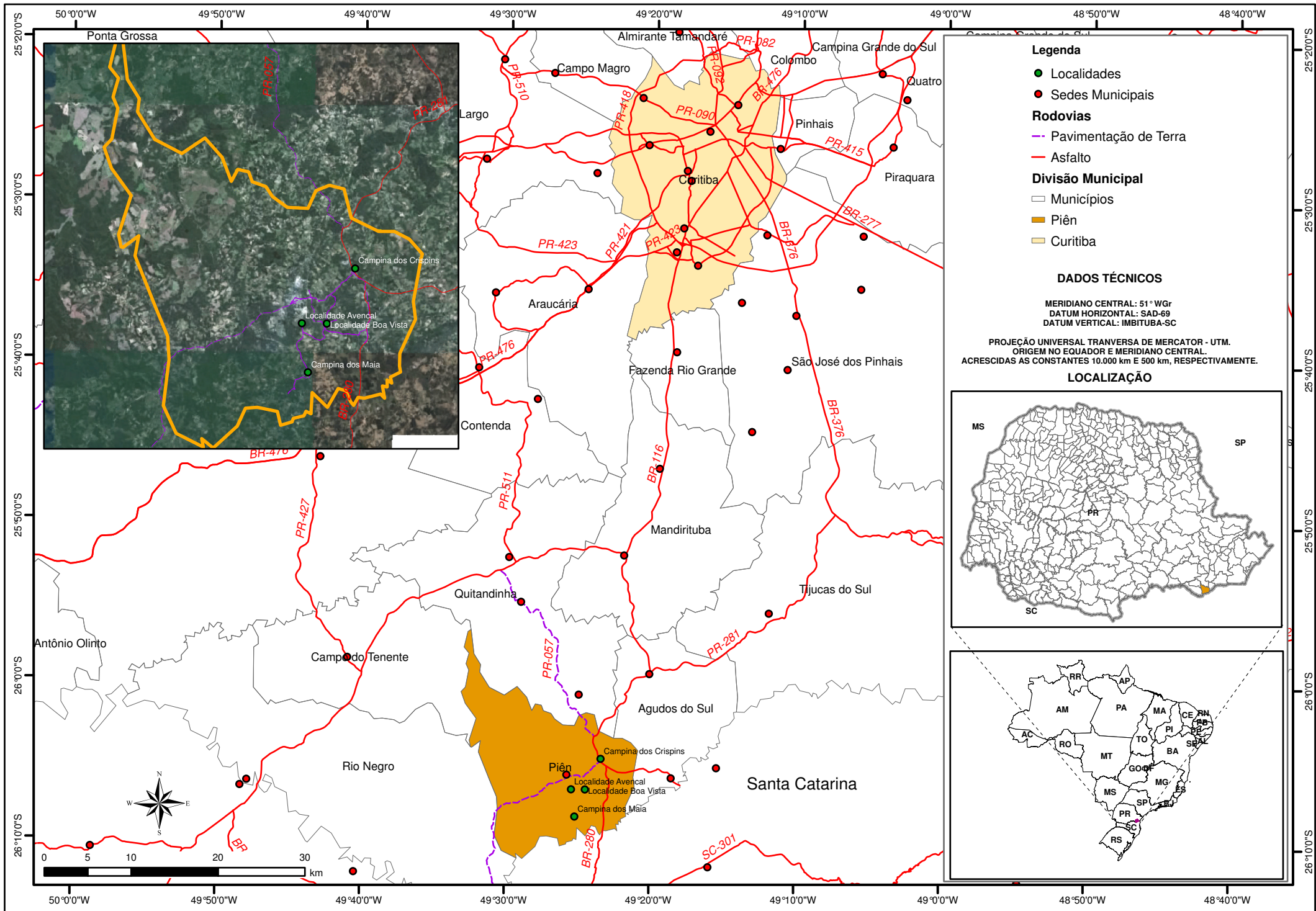
No Brasil 7 Estados proibiram o uso do amianto: Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Pernambuco, São Paulo e Mato Grosso do Sul (sendo que nos dois últimos Estados as leis foram revogadas pelo Supremo Tribunal Federal-STF por inconstitucionalidade), Mato Grosso e Pará (não sancionadas pelos governadores).

## **4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

O trabalho foi realizado no Município de Piên, região metropolitana de Curitiba, PR. O acesso à Piên, a partir de Curitiba, por via rodoviária pode ser feito de duas formas (FIGURA 1):

- A partir da BR 116, sentido sul até o município de Mandirituba, percorre-se cerca de 55 km até encontrar a PR 419 e posteriormente a PR 281;
- A partir da BR 376, sentido sul até o município de Tijucas do Sul, tomando-se a PR 281 em Agudos do Sul, percorrendo-se cerca de 30 km até a chegada ao município de Piên.



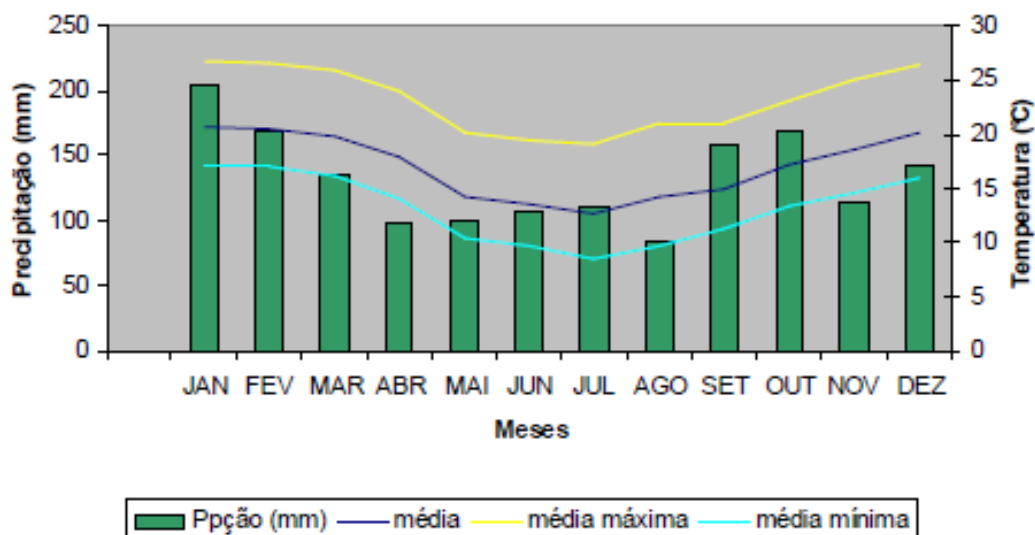
**FIGURA 1 - Localização e acessos à área de estudo**

## 4.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS DA ÁREA DE TRABALHO

O município situa-se geograficamente na Latitude 26°09'S / Longitude 49°42'W e em altitude de 805m (na sede do município), no extremo meridional do denominado 1º Planalto Paranaense. O relevo apresenta-se suave ondulado localmente passando a ondulado e áreas planas comparecem nas calhas aluviais. Entre os principais acidentes geográficos destacam-se os seguintes rios: Lageado (limite com o município de Rio Negro); Vermelhinho (limite com o município de Quitandinha); Branco (limite com o município de Agudos do Sul); e Rio Negro (limite com o município de Campo Alegre e São Bento do Sul).

O clima subtropical de altitude recebe forte influência oceânica comum às demais áreas dos 1º Planalto. Um estudo de impacto ambiental realizado em 2009 para instalação de uma usina termelétrica à biomassa (LCB CONSULTORIA, 2009), em Agudos do Sul, forneceu uma base importante de dados meteorológicos da região de trabalho, considerando a proximidade dos municípios de Piên e Agudos do Sul.

Dados contidos da Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (Lat. 25°47' S / Long. 49°46'W / Alt. 910m), na Lapa, relativamente próximo ao município de Piên apontam que no período de 1989 a 2008, a região da Lapa apresentou uma temperatura média de 17°C, sendo 20,7°C no mês mais quente (janeiro) e 12,7°C no mês mais frio (julho). No mesmo período, a região apresentou um índice pluviométrico mensal de 203,2 mm no mês de janeiro, mais chuvoso e 83,3 mm no mês de agosto, correspondente ao mês com a menor precipitação (FIGURA 2).



**FIGURA 2 - Precipitação x temperatura, na região da Lapa, de 1989-2008**

Fonte: dados da Estação Meteorológica do IAPAR / Fonte: LCB Consultoria de Projetos, 2009

A distribuição das chuvas durante o ano, pelos dados compilados na Estação Meteorológica do IAPAR na Lapa (cujas informações foram estendidas para Piên e municípios circunvizinhos, em função da proximidade geográfica) é apresentada na TABELA 5. A relevância do conhecimento da distribuição do número médio de dias chuvosos na região consiste na avaliação dos processos geradores de poluição do ar, em função da exposição de materiais utilizados como revestimento primário na rede viária de Piên. A água é o principal agente capaz de remover gases e partículas em suspensão na atmosfera.

**TABELA 5 – Distribuição da precipitação pluviométrica por ano e máxima em 24 h**

MÊS	MÁXIMA 24 h	ANO	DIAS DE CHUVA
Jan	105,8	2003	17
Fev	82	1996	15
Mar	74	2006	13
Abr	78,1	1998	9
Mai	121,6	1992	9
Jun	98	1991	10
Jul	88,2	1995	9
Ago	65,7	1990	8
Set	69,3	2002	12
Out	88,9	2005	14
Nov	70,5	1994	12
Dez	68,8	2007	13
<b>TOTAL</b>			<b>140</b>

Fonte: dados da Estação Meteorológica do IAPAR. / LCB Consultoria de Projetos, 2009

Os meses de menor precipitação pluviométrica são de abril a agosto, com média de 9 dias de chuva. A umidade relativa do ar da região oscila entre 84-85% (janeiro e junho) a 77-79% (agosto, novembro e dezembro). Os meses de menor umidade relativa do ar correspondem aos meses de estiagem e no inverno, que também são os mais secos do ano (IAPAR, LCB, 2009).

Outro fator importante na avaliação da poeira contida no ar é a direção e velocidade dos ventos, constante o ano inteiro para a região de estudo, oscilando entre 2,3 e 3,1 m/s a média mensal no período. O mês de maio é o que possui a menor média histórica, de 2,3 m/s, enquanto a maior média, de 3,1 m/s, é para os meses setembro e novembro. A direção predominante é leste, com influências das massas de ar vindas do oceano em direção ao continente durante a maior parte do ano (IAPAR, LCB, 2009).

Períodos secos mais prolongados podem promover o ressecamento do revestimento viário e facilitar o levantamento de poeira ao longo das estradas. Conforme constatado em campo, após um ou dois dias sem chuva o revestimento já se torna suficientemente desidratado para promover sua mobilização, mantendo-se em suspensão no ar por longos períodos, ainda que sob reduzidas velocidades de vento (i.e.  $\leq 2$  m/s).

Segundo censo IBGE 2009, o município possui área de 255 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 11.813 habitantes, correspondendo a uma densidade populacional de 46,3hab./km<sup>2</sup>. A densidade da população rural é relativamente alta (56%), considerando que muitas pessoas da área rural têm ocupações urbano-industriais os deslocamentos são bastante freqüentes.

A história de Piên está ligada diretamente a abertura da Estrada da Mata que se efetivou a partir do século XVIII. Foi esta via de comunicação quem trouxe o povoamento para a região sudeste do Estado do Paraná. A Estrada da Mata era um trecho do caminho de Sorocaba, compreendido entre Viamão, no Rio Grande do Sul e a cidade de Sorocaba, no Estado de São Paulo. Às margens desta estrada foram surgindo inúmeros pousos, que serviam de abrigo para os tropeiros e de pasto para o rebanho, que se refazia dos longos trechos percorridos. Com o passar do tempo, formou-se um

pequeno povoado; em 28 de março de 1890 foi criado o Distrito Policial de Piên; em 1905 a localidade foi elevada à categoria de Distrito Administrativo e Judiciário, e em 25 de janeiro de 1961 foi criado o município de Piên, ocorrendo seu desmembrando do município de Rio Negro (FERREIRA, 1996, citado em <http://pt.wikipedia.org>).

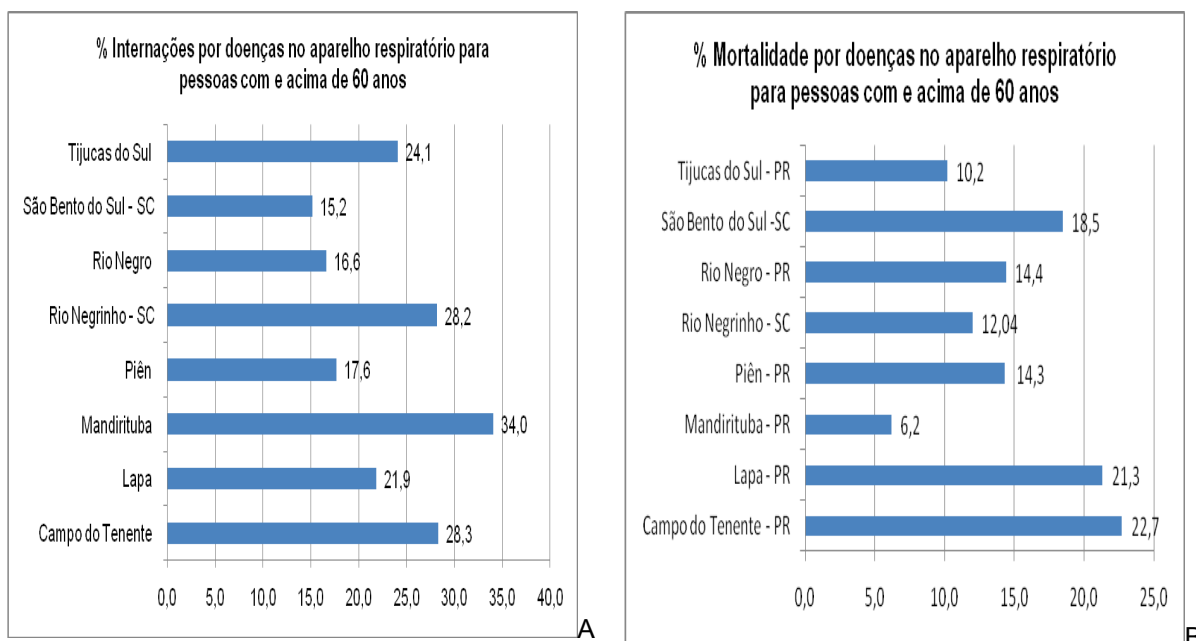
Considerando a ocupação humana secular da região, foram analisados dados do DATASUS<sup>1</sup> do município de Piên e municípios circunvizinhos (Tijucas do Sul, Lapa, Mandirituba, Rio Negro, Campo do Tenente, São Bento do Sul e Rio Negrinho, esses dois últimos pertencentes ao Estado de Santa Catarina). Os gráficos comparativos entre o percentual de internações por doenças no aparelho respiratório e o percentual de mortalidade entre a população com 60 anos de idade ou mais, para o ano de 2008 (FIGURA 3) em relação a população total e a população acima de 60 anos (TABELA 6), mostram não haver uma anormalidade no município de Piên em relação às doenças pulmonares.

**TABELA 6– População total e acima de 60 anos de Piên e municípios circunvizinhos**

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>POPULAÇÃO TOTAL</b>	<b>POPULAÇÃO ≥60 ANOS</b>
Campo do Tenente	6.717	512
Lapa	42.936	4.325
Mandirituba	21.896	2.107
Piên	11.813	892
Rio Negro	31.191	3.166
São Bento do Sul - SC	76.512	5.766
Rio Negrinho - SC	44.634	3.363
Tijucas do Sul	13.761	1.509

Fonte: IBGE, DATASUS, 2010

<sup>1</sup> Órgão da Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa do Ministério da Saúde com a responsabilidade de coletar, processar e disseminar informações sobre saúde.



**FIGURA 3 – Percentual de internações (A) e de mortalidade (B) na população com 60 anos e mais, por problemas respiratórios**

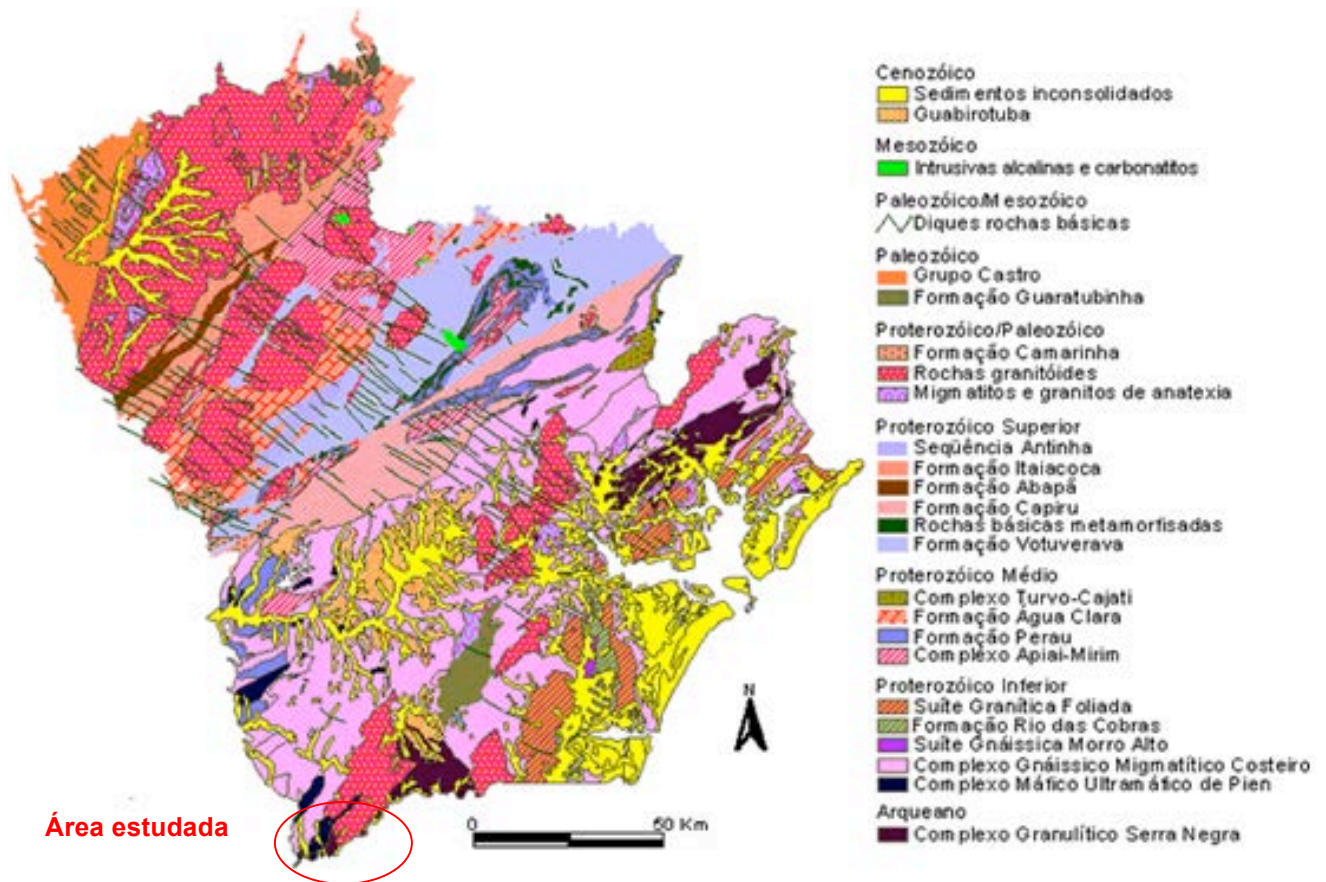
Fonte: DATASUS, 2010.

Por outro lado, existe um percentual de óbitos por causas mal definidas (entre 5 a 10%) de 2002 a 2008, nos municípios pesquisados, cujas causas poderiam ser melhor investigadas, neste caso, com a incorporação da poeira proveniente das estradas como um fator que pode ser listado entre as suas fontes, destacando-se o fato de que o tempo de latência das pneumoconioses, como a asbestose e outras doenças relacionadas à exposição da poeira de amianto, variam de 15 a 40 anos.

#### 4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA REGIÃO DE PIÊN

Na região que abrange o município de Piên ocorrem rochas máficas e ultramáficas em forma de corpos lentiformes (HARARA, 1996), cujos litotipos predominantes são principalmente serpentinitos (FIGURA 4). Subordinadamente ocorrem xistos magnesianos, hazburgitos serpentinizados, metaortopiroxenitos e metagabronoritos. As relações de contatos desses corpos com as encaixantes são essencialmente tectônicas e estão fortemente deformados, apresentando um caráter brechóide-milonítico (HARARA, 1996).

Segundo CPRM (2010 A) ocorrem dunitos, peridotitos, olivina websterito, olivina piroxenito e talco xisto, metamorizados em fácies anfibolito, metaultramáfica. 631 Ma U-Pb.



**FIGURA 4 – Mapa Geológico do Embasamento Cristalino, no Estado do Paraná e Localização Aproximada da área de estudo**

Fonte: MINEROPAR

As rochas da suíte máfica e ultramáfica são distribuídas entre os granitóides miloníticos e os gnaisses-anfibolitos granulíticos, posicionados ao longo e próximo da Zona de Cisalhamento Piên (HARARA, 1996), cujas principais ocorrências na área de estudo são:

- *Campina dos Crispins*: Corpo alongado na direção aproximada N45-50E, alojado entre os granitóides e os gnaisses anfibolítico-granulíticos, apresentando comprimento aproximado de 6 km e largura variável entre 0,2 e 1,5 km;

- *Campina dos Maias*: Ocorre em meio aos gnaisses anfibolito-granulíticos, próximos à Zona de Cisalhamento Piên, com direção aproximada E-W, com comprimento aproximado de 5 km e largura variável de 0,5 a 3 km. Ocorrem ainda lentes estreitas, dispersas e entremeadas aos gnaisses anfibolito-granulíticos, com comprimento máximo de 1 km e corpos de dimensões menores, entre dois corpos principais.

São comuns também enclaves, em forma de lentes ou blocos de dimensões variáveis, de centimétricas a métricas, distribuídos internamente, tanto nos granitóides miloníticos, como no Maciço Granítico Agudos do Sul. Segundo CPRM (2010 B) essas litologias integram o Complexo Máfico-Ultramáfico de Piên de idade ediacarana do Neoproterozóico, com idade máxima de 630Ma e mínima de 542,1 Ma. O conjunto corresponde a seqüências vulcânicas komatiíticas, associadas a talcoxistos, anfibolitos, cherts.

Na FIGURA 5 apresenta-se o mapa simplificado da região de Piên, mostrando a geometria dos corpos máficos-ultramáficos de Campina dos Crispins e Campina dos Maias.

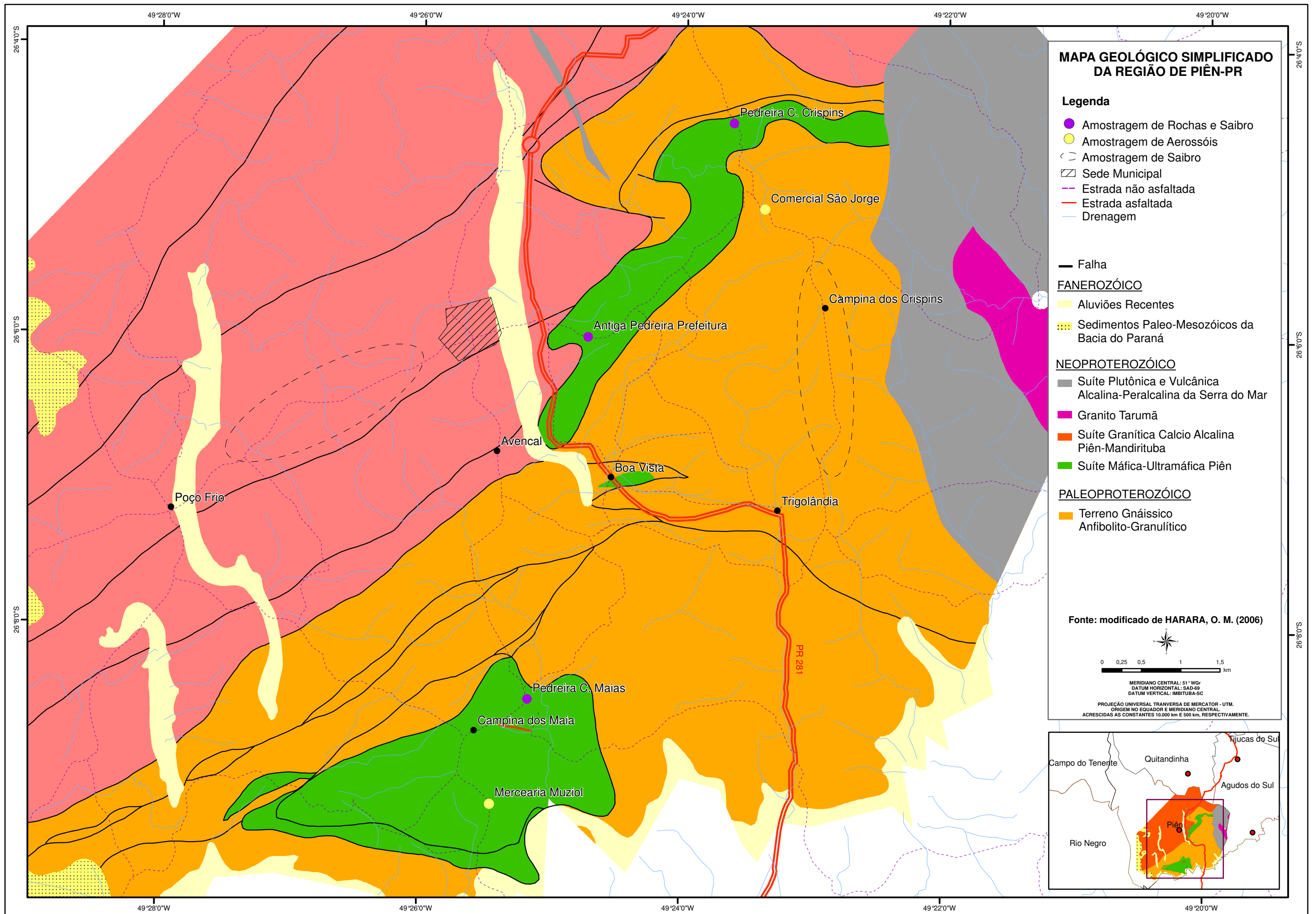


FIGURA 5 – Mapa geológico simplificado da região de Piên

HARARA (1996) identificou nos corpos ultramáficos de Campina dos Crispins e Campina dos Maias, rochas com composições variáveis entre metadunitos e meta-harsburgitos serpentinizados, de coloração cinza escuro, granulação fina, constituídas predominantemente por olivina (forsterita), serpentina, ortopiroxênio (enstatita), clinopiroxênio (diopsídio-augita), espinélio (hercynita) e opacos. Carbonato, tremolita, talco e clorita são minerais secundários. GIRARDI (1974) realizou análises por Difração de Raios X (DRX), Análise Térmica Diferencial (ATD) e métodos de dissolução seletiva, identificando o tipo de serpentina mais comum das rochas ultramáficas desta região, a lizardita e subordinadamente antigorita. HARARA (1996) descreve nos serpentinitos, vênulas milimétricas a centimétricas preenchidas por serpentina que a nível macro e microscópico, formam um sistema complexo de fraturas em rede, cortando desordenadamente a foliação principal da rocha. Em Campina dos Crispins foi descrita uma foliação secundária que corta obliquamente a foliação principal e/ou bandamento. Essa foliação foi caracterizada pela orientação da serpentina em planos irregulares do tipo *flaser*.

Os metapiroxênios são rochas de granulação fina a média por vezes grossa, de coloração cinza a cinza escuro, compostas principalmente por ortopiroxênio (enstatita), clinopiroxênio (diopsídio-augita), olivina (forsterita) e serpentina. Em proporções menores ocorrem espinélios, opacos, anfibólios (pargasita-hornblenda), talco, tremolita, carbonato e clorita. Quando serpentinizados, a proporção de serpentina alcança nessas rochas 15 a 20% de volume (HARARA, 1996). Quando intensamente deformados, desenvolvem uma foliação cataclástica-milonítica, caracterizada pelo intenso fraturamento e tritramento desordenado dos cristais de piroxênio e da olivina, com os planos preenchidos principalmente por serpentina, talco e carbonato.

As rochas gabróicas apresentam composições variáveis entre gabronoritos, olivina-gabronoritos, ortopiroxênio-norito, noritos e espinélio-gabronoritos, concentrando-se preferencialmente no corpo de Campina dos Maias. As relações destes corpos com as encaixantes ultramáficas, são pouco conhecidas, podendo representar intrusões em forma de diques e/ou

intercalações com os litotipos ultramáficos (HARARA, 1996). São constituídas por ortopiroxênio (enstatita), clinopiroxênio (diopsídio-augita), anfibólio (pargasita-hornblenda), plagioclásio (andesina-labradorita), espinélio e, em menores proporções, serpentina, clorita, talco, epidoto, opacos e carbonatos. Essas rochas, quando deformadas, apresentam estrutura milonítica, paralela a subparalela e por vezes, oblíqua ao bandamento mencionado e caracterizada pela orientação de planos preenchidos por serpentina, bem como, dos minerais constituintes triturados e alongados.

Os xistos magnesianos são representados principalmente por talco xisto, talco-serpentina xisto, serpentina-talco xisto e subordinadamente clorita-talco-tremolita xisto. A mineralogia principal é a base de talco (50 – 90%), tremolita (10-30%), clorita (10-40%), serpentina (5-20%) e opacos (0-5%). Ocorrem intercalados aos serpentinitos e concentram-se preferencialmente ao longo da borda meridional do corpo de Campina dos Maias e, em menor proporção, nas bordas do corpo de Campina dos Crispins (HARARA, 1996).

CASTRO E REIS NETO (1993) descreveram para a região 29 amostras de lâminas petrográficas e identificaram três agrupamentos de rochas, baseados em características petrográficas:

- (I) é representado por rochas compostas basicamente por plagioclásio (anortita 25-35%), granada e piroxênios com elevado grau de anfibolitização e cloritização, sendo a textura granular com contatos poligonizados;
- (II) engloba rochas de composição máfico-ultramáfica, representada por rochas de composição dunítica a gabro-norítica, sendo que, onde a serpentinização, associada à principal foliação presente nessas rochas, não se implantou, a textura predominante é a granular com contatos poligonizados;
- (III) rochas de composição gabróica, apresentando características distintas dos dois grupos anteriores. Na classificação de Streckeisen (1976) proposta pelos autores, a maioria das rochas descritas posicionaram-se composicionalmente próximo aos limites dos campos presentes nos

diagramas, assim os autores utilizaram da seguinte premissa para a classificação das rochas: uma rocha cuja composição modal encontra-se em um ponto próximo ao limite dos campos olivina-ortopiroxenito e olivina-websterito recebeu a seguinte denominação: pargasita-espinélio-olivina-ortopiroxenito / olivina-websterito (a mineralogia restante da rocha em % aumentando em direção ao nome da rocha).

Nas rochas pertencentes ao agrupamento (II), de composição máfico-ultramáfica, nos locais onde não ocorreu forte serpentinização, é possível identificar uma associação mineralógica-textural: opx + espinélio (presente como integrante do arcabouço geral da rocha) e sob a forma de cristais inclusos em cristais de opx (sob a forma de “vermiculas” e inclusões de forma aproximadamente circulares) + cpx (em menor quantidade) e plagioclásio (nas rochas de composição norítica / gabro-norítica), sempre em textura granular com contatos poligonizados (Castro e Reis Neto, 1993).

## 5 MÉTODOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS ANALÍTICAS

### 5.1 TESTES ANALÍTICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE POLIMORFOS DOS MINERAIS DE SERPENTINA

Na primeira fase dos trabalhos, foram realizados levantamentos bibliográficos de técnicas analíticas empregadas na identificação de minerais fibrosos, especialmente de serpentinas, além de uma análise geológica regional de Piên, visando reconhecer as áreas onde a literatura descreve a predominância de rochas que contêm minerais fibrosos (serpentinitos). Estudos bibliográficos foram realizados também visando o levantamento de trabalhos sobre amianto (uso e propriedades), serpentinas e a interação com a saúde.

No desenvolvimento inicial da pesquisa ficou evidenciada pela leitura de trabalhos anteriores, a dificuldade na identificação em escala meso e microscópica de politipos dos minerais de serpentina, que no caso da crisotila, possui dois polimorfos: a lizardita e antigorita.

SWAYZE *et al.* (2006) realizaram análises de difração de raios X para identificar minerais de amianto em poeiras e detritos oriundos da queda das torres gêmeas do World Trade Center, após o atentado de 11 de setembro de 2001. Os autores realizaram as análises espectroscópicas em um laboratório de alta eficiência em filtragem de material particulado (*High Efficiency Particulate Air filter - HEPA*) através de um dispositivo de análise espectral *Analytical Spectral Devices (ASD) Full Range Spectrometer®* na faixa de comprimento de onda 0,35-2,5  $\mu\text{m}$ , usando uma lâmpada de halogênio para iluminação e um painel *Spectralon®* para referência. As amostras foram colocadas sobre um papel branco e em seguida misturadas com uma espátula e na sequência foram dispostas em pilhas planas com cerca de 1 cm de espessura. Ao misturar as amostras, tomou-se o cuidado de não classificar e orientar as partículas, fator que poderia ter ocorrido durante o transporte das amostras. Considerando que o equipamento detecta apenas poucos milímetros

abaixo da pilha de pó, dez espectros da pilha foram medidos, usando um tempo de integração de seis segundos para cada espectro e em seguida cada amostra foi misturada novamente para expor os materiais não medidos na superfície da pilha. Este método permitiu caracterizar espectralmente cerca de 40 - 60% do volume total da amostra.

Para melhor limitar a abundância e a resolução espectral de amianto crisotila no pó, foram preparadas misturas de poeira e crisotila puras. Quantidades conhecidas de uma crisotila bem caracterizada e finamente triturada (padrão 23 do NIOSH - Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional) foram adicionadas a um grupo de amostras para criar misturas com 0,25, 0,5, 1,0, 2,5 e 5,0% de crisotila em peso. Essas misturas foram então medidas para proporcionar uma série de espectros para serem comparados com os das amostras de poeira.

Os resultados mostraram que na resolução espectral mais grosseira do dispositivo de análise espectrométrica, a crisotila tem duas absorções fortes em 1,385 e 2,323  $\mu\text{m}$  devido ao primeiro estiramento da hidroxila (OH) seguido de uma banda de combinação Mg-OH. Mesmo que a absorção da crisotila seja mais forte em 2,323  $\mu\text{m}$ , a sua posição de comprimento de onda é firmado entre absorções fortes em CH 2,307 e 2,343  $\mu\text{m}$  e coincide com absorção de 2,317  $\mu\text{m}$  de concreto pulverizado, que tende a mascarar a presença de crisotila em amostras de poeira em níveis abaixo de ~1% em peso em espectros de laboratório.

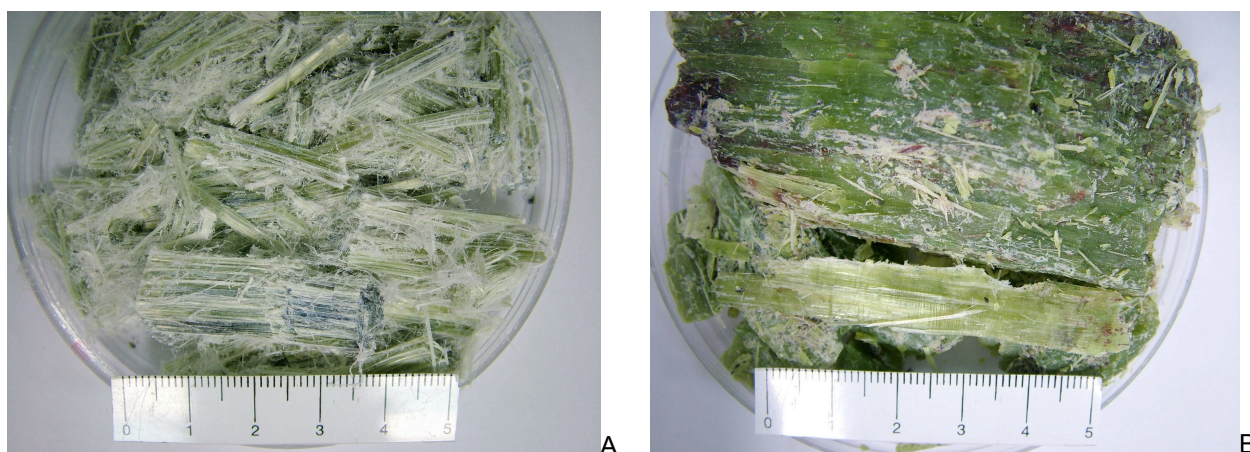
A fraca absorção do espectro da crisotila em 1,385  $\mu\text{m}$  ocorreu em uma região espectral relativamente menos desordenada, proporcionando um meio de estimar o teor de crisotila. No entanto, em concentrações inferiores a 0,5% em peso de crisotila, a característica de absorção de 1,385  $\mu\text{m}$  não pode ser diferenciada de uma característica de absorção semelhante da lizardita (polimorfo não-asbestiforme de serpentina) nesse equipamento.

Para a técnica de difração de raios X, foram divididas alíquotas de 3 gramas de amostras, pulverizadas com um almofariz em partículas de cerca de 50 a 150  $\mu\text{m}$ . Cerca de um grama de cada amostra foi acondicionado em um

porta-amostras de alumínio e analisado em um equipamento Scintag X-1 Automated Diffractometer®, utilizando a radiação Cu-K $\alpha$ . Os resultados de DRX das amostras detectaram baixas concentrações de minerais de serpentina, incluindo o amianto crisotila, em cerca de dois terços das amostras de poeira, com concentrações iguais ou abaixo de 1% em peso.

Considerando a necessidade de conhecer as técnicas analíticas que permitissem a identificação da crisotila e seus polimorfos, foram realizados alguns testes analíticos no LAMIR/UFPR, na fase anterior ao levantamento de campo.

Amostras de amianto comercial do Canadá e Rússia, existentes no acervo técnico de amostras do LAMIR, além de amostras de amianto crisotila e lizardita pura do Brasil, cedidas pelo prof. Dr. João Carlos Biondi, do depto de geologia da UFPR, foram submetidas a algumas técnicas analíticas, visando o conhecimento inicial desse mineral. Os resultados das análises dessas amostras foram posteriormente comparados com os resultados das análises as amostras da área de estudo, buscando-se ainda o referencial bibliográfico como suporte técnico para a identificação mineralógica da crisotila a partir da combinação de várias técnicas analíticas descritas (TABELA 7, FOTO 1).



**FOTO 1 – Amostra de (A) Amianto Crisotila Pura; (B) Crisotila Pura**

Fonte: Amostras cedidas pelo prof. Biondi da Mina de Cana Brava – Minaçu

**TABELA 7 – Amostras puras de crisotila utilizadas nos testes metodológicos**

Nº	DESCRIÇÃO	TÉCNICA ANALÍTICA REALIZADA
19409A*	Crisotila Brasil	DRX, FRX, MEV/EDS
19409B*	Crisotila Rússia	DRX, FRX, MEV/EDS
19409C*	Crisotila Rússia	DRX, FRX, MEV/EDS
19409D*	Crisotila Canadá	DRX, FRX, MEV/EDS
33609 I**	Lizardita Brasil	DRX

DRX – Difractometria de Raios X

FRX – Fluorescência de Raios X

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura / EDS

\* amostras existentes no acervo de amostras do LAMIR/ UFPR

\*\* amostra cedida pelo prof. Biondi da Mina de Cana Brava – Minaçu.

### 5.1.1 Difração de Raios X (DRX)

A técnica de difração de raios X é utilizada na determinação de fases cristalinas em diferentes tipos de materiais. Isto é possível porque na maioria dos cristais, os átomos estão ordenados em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios X. Ao incidir um feixe de raios X sobre um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes na estrutura, gerando o fenômeno da difração.

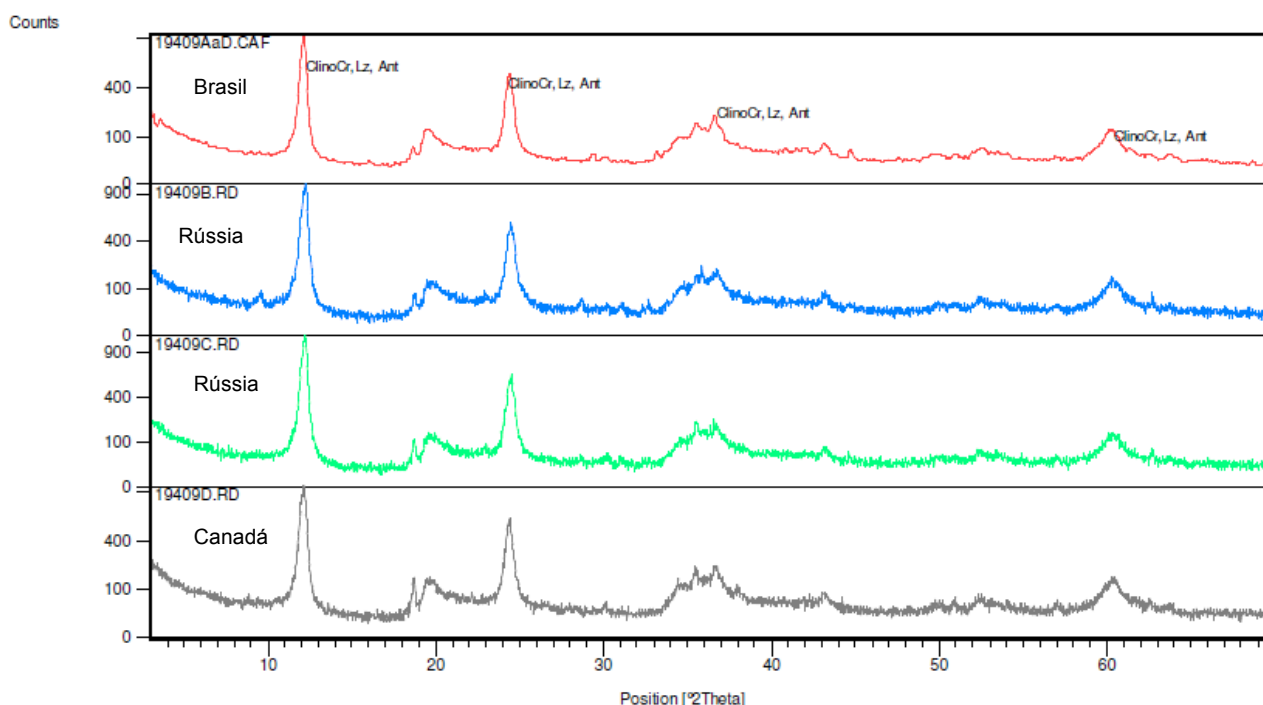
Na etapa experimental, foi utilizada a técnica analítica de difração de raios X, em amostras de amianto crisotila pura oriundas do Canadá, Rússia e Brasil, e nas amostras de saibro coletadas nas estradas de Piên/PR. Após a etapa de preparação das amostras, o pó resultante de cada amostra seca foi prensado em suporte de cavidade e submetido à análise por difratometria de raios X, em modo  $\theta/2\theta$ , entre 04 e 70° no Difrátometro de Raios X modelo PW-1830, marca PHILIPS ANALITICAL do LAMIR/UFPR, com radiação Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ).

Algumas amostras não apresentaram bons resultados na análise difratométrica, quando prensadas no porta-amostra, nesse sentido, o método de preparação foi modificado, onde as amostras foram preparadas em meio líquido, com água destilada e colocadas em provetas de 50 cm de altura até a sedimentação do material. Após a sedimentação, o material foi precipitado em

lâminas de vidro, e posto para secar, sendo submetidos posteriormente às análises difratométricas.

Na interpretação dos difratogramas, foi utilizado o arquivo eletrônico do *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* – JCPDS.

Os resultados das análises de difração (FIGURA 6) apresentados nas amostras 194A (crisotila brasileira); 194B/C (crisotila russa), 194D (crisotila canadense) apresentaram compatibilidade para crisotila, lizardita e antigorita, com os picos principais em 7,2 Å; 3,6 Å, embora em escala mesoscópica, as amostras puras possam ser identificadas como crisotila .



**FIGURA 6 – Gráfico Comparativo dos Difratogramas das Amostras de Crisotila do Brasil, Canadá e Rússia**

A técnica de DRX, considerada relativamente de baixo custo e simples, pode ser utilizada para determinação do grupo mineral das serpentinas ou a mistura de proporções dos polimorfos numa mesma amostra, porém não foi possível diferenciar os polítipos presentes.

### 5.1.2 Fluorescência de Raios X (FRX)

A técnica analítica de Fluorescência de Raios X (FRX) é uma técnica analítica multielementar, que possibilita a determinação da composição química de amostras sólidas. Esta técnica baseia-se na separação e detecção de raios X característicos emitidos pelos elementos constituintes da amostra quando irradiados com um feixe de raios x primário, produzido pelo equipamento.

A possibilidade de se poder determinar tanto macro elementos como Ca e K, como elementos traços, como Cu e Pb, ou também de elementos não-metais como S torna esta técnica de grande importância na análise multielementar em amostras de mesma matriz. Outra característica de relevante importância é que esta é uma técnica não-destrutiva, assim, a amostra depois de analisada pode ser arquivada para futuras análises, tornando este método ideal para análises periódicas em monitoramentos.

As amostras de amianto crisotila puras foram submetidas às análises químicas, a partir da técnica de espectrometria de raios X, gerando dois tipos resultados fornecidos pelos programas analíticos existentes no LAMIR:

1. Análise Quantitativa para determinação dos 10 óxidos maiores:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Foi realizado também o ensaio de perda ao fogo, que consiste na calcinação da amostra a  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  por 2 horas, gerando a variação da massa presente, que é avaliada juntamente com os 10 óxidos maiores (TABELA 8);
2. Análise Semiquantitativa: baseada em modelagem matemática, avalia a presença de todos os elementos presentes na amostra, até o limite de detecção do equipamento. Fornece uma noção aproximada da composição da amostra (TABELA 9).

Os resultados gerados na análise química quantitativa e na semiquantitativa mostram teores muito próximos entre as amostras apresentadas. A análise semiquantitativa mostra também que não há grande variação química relacionada aos elementos traços presentes nas amostras.

**TABELA 8 – Composição química (análise quantitativa) do amianto crisotila**

<b>ÓXIDO (%)</b>	<b>AMOSTRAS</b>			
	<b>194/09A</b>	<b>194/09B</b>	<b>194/09C</b>	<b>194/09D</b>
<b>CaO</b>	0,59	0,63	0,45	0,27
<b>MgO</b>	40,08	40,23	40,36	40,36
<b>SiO<sub>2</sub></b>	38,65	39,96	39,29	39,89
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,91	0,6	0,46	0,33
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5,33	4,06	4,54	4,78
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,02	0,02	0,02	0,04
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,02	0,01	0,01	0
<b>MnO</b>	0,06	0,08	0,07	0,08
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,02	0,01	0,01	0,02
<b>K<sub>2</sub>O</b>	-	0	-	0,07

**TABELA 9 – Composição química (análise semiquantitativa) de amianto crisotila**

<b>ÓXIDO (%)</b>	<b>AMOSTRAS</b>			
	<b>SQ19409A</b>	<b>SQ19409B</b>	<b>SQ19409C</b>	<b>SQ19409D</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	43,74	45,24	45,07	45,35
<b>MgO</b>	34,9	33,67	33,36	34,41
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,83	4,31	5,03	4,76
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,03	0,88	0,62	0,44
<b>CaO</b>	0,48	0,52	0,36	0,21
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,21	0,14	0,17	0,09
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,17	0,08	0,11	0,04
<b>NiO</b>	0,15	0,14	0,15	0,08
<b>MnO</b>	0,06	0,11	0,09	0,1
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,03	0,01	0,02	n.d
<b>CO<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Cl</b>	n.d	0,08	0,07	0,03
<b>K<sub>2</sub>O</b>	n.d	n.d	n.d	0,06
<b>P.F.</b>	14,39	14,81	14,95	14,42

P.F.: Perda ao Fogo

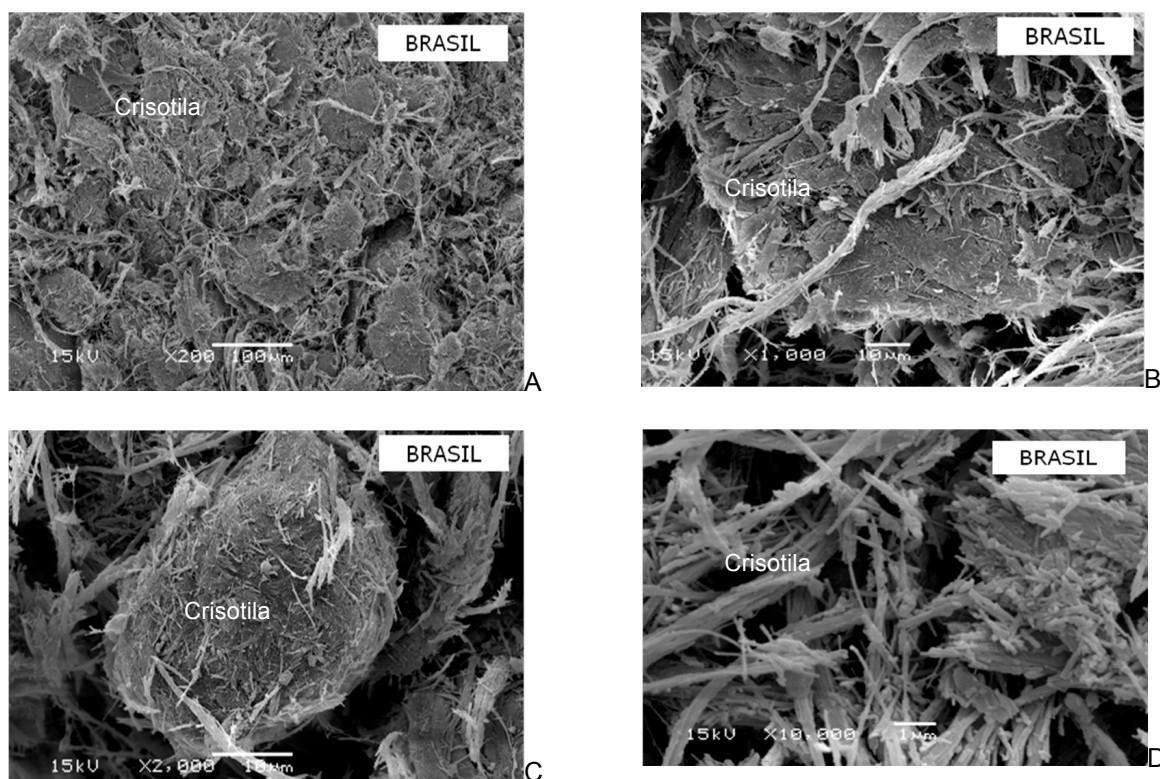
n.d.: Não Detectado

Os resultados apresentados pela técnica de fluorescência de raios X demonstram a presença significativa de óxidos de Mg, Fe, bem como a presença de traços de Cr, Ti e Ca, que podem indicar uma associação mineralógica de minerais máficos.

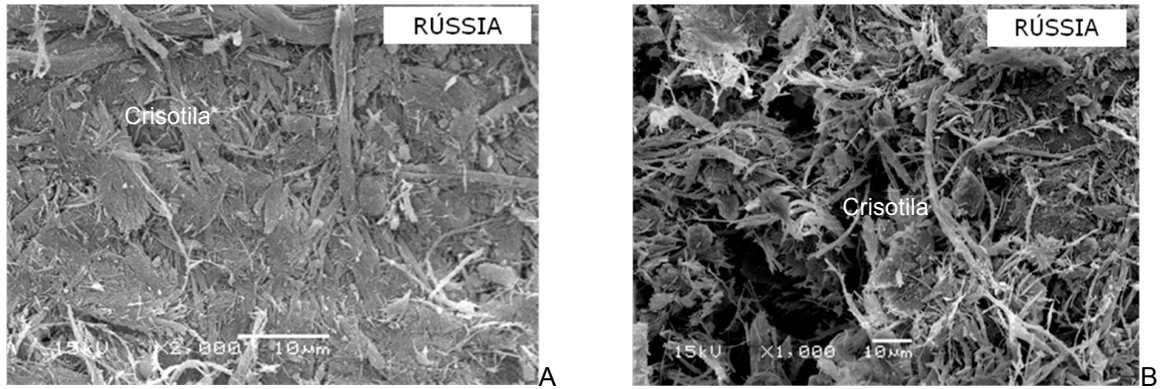
### 5.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)

A microscopia eletrônica de varredura acompanhada da espectrometria a dispersão de energia (EDS) é um método usado principalmente para a análise não-destrutiva de amostras sólidas. Este método permite uma avaliação precisa da composição de amostras em um intervalo bastante abrangente na escala de observação, variando da ordem de grandeza do milímetro ao nanômetro. O MEV deve ser utilizado juntamente com o EDS para analisar de forma elementar as fases observadas para facilitar sua identificação.

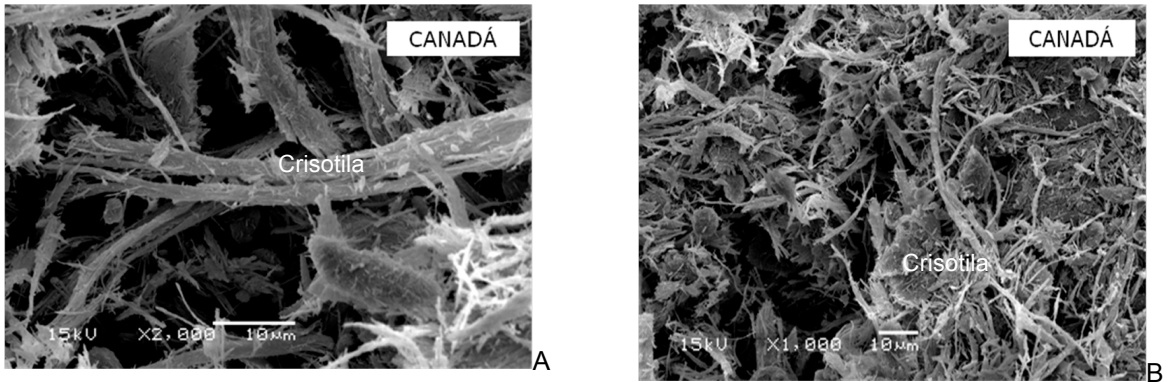
Nas amostras apresentadas nas FIGURAS 7 a 9, em diferentes escalas, com aumento de 200x (A); 1.000x (B), 2.000x (C) e 10.000x (D), quanto maior a aproximação da amostra, melhor é possível observar a morfologia caracteristicamente fibrilar da crisotila. As fibras apresentam pontas desfiadas e, quando observadas em maior detalhe (FIGURA 9A), verifica-se que ela pode se desmembrar em fibras cada vez menores.



**FIGURA 7 – Amostra de crisotila proveniente da mina de Cana Brava**



**FIGURA 8 – Amostra de crisotila, proveniente da Rússia, com aumento de 200x (A); 1.000x (B) e 2.000x (C)**



**FIGURA 9 – Amostra de crisotila, proveniente de Canadá, com aumento de 200x (A); 1.000x (B) e 2.000x (C)**

Através da análise por dispersão de energia (EDS) das amostras de crisotila, determinou-se a composição elementar desse mineral, onde é possível observar os espectros de Mg e Si (FIGURAS 10 e 11).

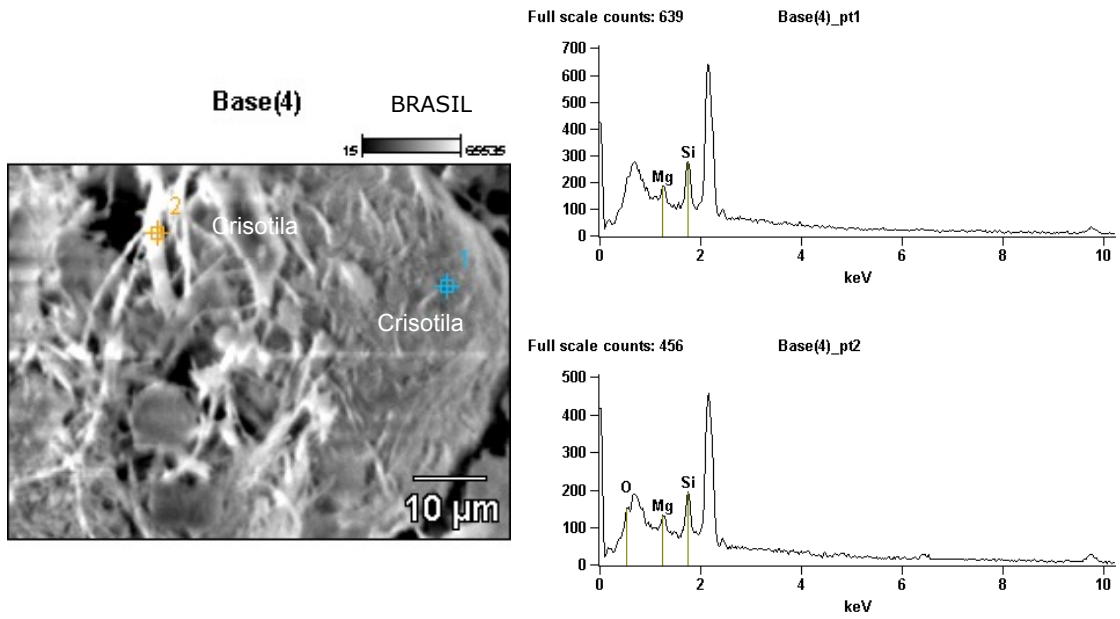


FIGURA 10 – Resultados do MEV / EDS – amostras de crisotila Brasil

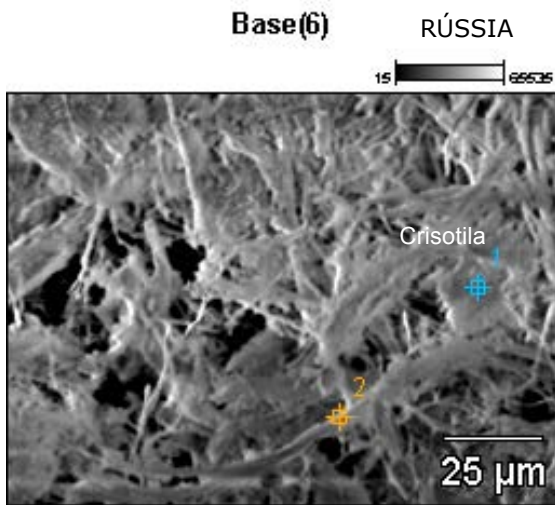


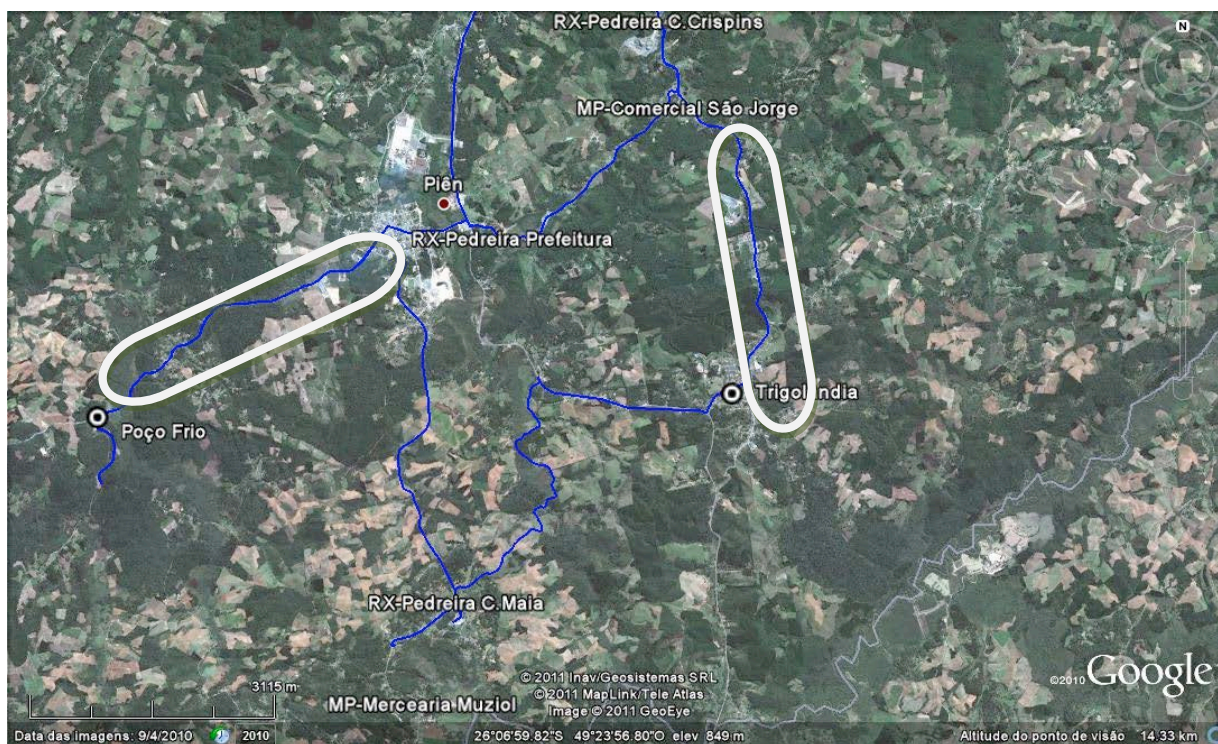
FIGURA 11 – Resultados do MEV / EDS – amostras de crisotila Rússia

## 5.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento de campo teve como objetivo o reconhecimento da área e a coleta de amostras. Os materiais estudados foram:

1. Rochas de três pedreiras (uma pedreira inativa da prefeitura de Piên, na entrada para Campina dos Crispins e duas pedreiras em atividade a primeira situada em Campina dos Crispins e a segunda em Campina dos Maias);
2. O revestimento primário (saibro) utilizado nas estradas rurais; e,
3. A poeira em suspensão do tráfego rodoviário nas estradas rurais.

Foram realizadas três campanhas de amostragens, em três períodos diferentes (2006, 2009 e 2010), entre duas localidades da zona rural de Piên, denominadas por Campina dos Crispins e Campina dos Maias (FIGURA 12).



**FIGURA 12 – Localização das Amostragens Realizadas**

**Legenda:**

RX - Amostragem de Rochas

MP – Amostragem de Material Particulado

Em azul: estradas secundárias com revestimento de saibro de ultramáficas

Círculo branco: amostragem de saibro

### 5.2.1 Amostragem de Rochas

Foram coletadas em abril de 2006 e abril de 2009 amostras de rochas nas pedreiras: da prefeitura (FOTO 2A), que está inativa e situa-se na entrada da localidade de Campina dos Crispins e em duas pedreiras em atividade (FOTO 2B - TABELA 10).

As rochas ultramáficas observadas apresentavam-se friáveis em determinadas porções das pedreiras, especialmente aquela de Campina dos Crispins, considerando os extensos e sucessivos falhamentos ocorridos na região, favorecendo de forma natural a desagregação e o desmonte dessas rochas com equipamentos de baixo custo. A pedreira da prefeitura foi explorada por muitos anos como área de empréstimo para fornecimento desse material friável (saibro), como revestimento primário das estradas do município. No caso de Piên, as rochas que possuem essas características de saibro são as rochas ultramáficas.



**FOTO 2 – Pedreira da Prefeitura (A) em Campina dos Crispins e Pedreira em atividade (B) em Campina dos Maias**

**TABELA 10 – Descrição dos pontos de coleta de rochas**

AMOSTRA	COORD.X	COORD.Y	DESCRIÇÃO
PME04A RX	659.195	7.112.498	Pedreira em atividade (Campina dos Crispins). Bloco de rochas ultramáficas com níveis de serpentinas.
CSP 01 RX	658.773	7.112.260	Antiga Pedreira da Prefeitura – rocha com foliação marcante, dada pela orientação das serpentinas, em <i>cross fiber</i> , além de serpentina presente nas microfaturas da rocha.
CSP 02 RX	659.195	7.112.498	Pedreira em atividade (Campina dos Crispins) Rocha sedosa muito fina. Talcoxisto?
CSP 03 RX	657.993	7.107.655	Pedreira em atividade (Campina dos Maias) Rocha granulometria muito fina, presença de filossilicatos submilimétricos orientados. Xisto?

### 5.2.2 Amostragem de Saibro (Revestimento Primário de Estradas)

As amostras de saibro foram coletadas na estrada de acesso entre a sede municipal de Piên e a localidade de Poço Frio e entre as localidades de Campina dos Crispins e Trigolândia (TABELA 11).

**TABELA 11 – Descrição dos pontos de coleta de material de revestimento primário**

AMOSTRA	COORD.X	COORD.Y	DESCRIÇÃO
PME01	656.564	7.111.873	Material de revestimento primário coletado em estrada. Material polimítico com seixos de ultramáficas e de granito calcio –alcalino
PME02	653.487	7.109.240	Material de revestimento primário de estrada com predominância de seixos de ultramáficas. O leito da estrada é de cor marrom-claro, o saibro é uma camada fina superficial. Coletado na estrada após a localidade de Poço Frio, em direção a Campina dos Maias.
PME03	658.772	7.112.265	Campina dos Crispins – Antiga Pedreira da Prefeitura. Cascalho com quase totalidade de ultramáficas
PME04B (gretas)	659.195	7.112.498	Pedreira em atividade (Campina dos Crispins).. Presença de poças de água ressecadas gerando “gretas de contração” de material fino

A coleta desse material de revestimento primário foi realizada no mês de abril, época de baixa precipitação pluviométrica. Nesse contexto, foi possível observar, a partir da movimentação de caminhões e veículos de

passeio nas estradas, a geração de material particulado em suspensão (FOTO 3) sobre o material de revestimento de saibro, dada a sua baixa granulometria.



**FOTO 3 – Material particulado em suspensão após movimentação de veículos**

O saibro utilizado nas estradas rurais é também utilizado para revestir as ruas de bairros urbanos de Piên (FOTO 4).



**FOTO 4 – Material de revestimento primário proveniente de rochas ultramáficas, utilizadas para pavimentação da zona urbana de Piên**

Na FOTO 5A pode-se observar o material de revestimento (saibro). Na FOTO 5B, observa-se em detalhe o mesmo material, fotografado após um dia de chuva e posterior a exposição ao sol. Após a chuva, o material fino e úmido assenta-se sobre a superfície irregular da estrada e depois de seco pela exposição ao ar, é carregado naturalmente pela movimentação dos ventos ou pelo movimento do tráfego rodoviário.



A



B

**FOTO 5 – Coleta de amostra do material utilizado na pavimentação das estradas**

Regularmente a prefeitura realiza a manutenção da estrada de acesso principal, utilizando as mesmas rochas ultramáficas como saibro (FOTO 6 A).

Na FOTO 6 B observa-se indicativo de coloração de um solo da região, não derivado de rocha ultramáfica.



A



B

**FOTO 6 – Utilização de saibro de rochas ultramáficas como revestimento da estrada**

Após coletadas, as amostras de saibro foram submetidas a um processo de peneiramento manual (análise granulométrica) com peneiras da Série Tyler, que consistem de uma série de peneiras com malhas progressivamente menores, onde cada uma retém uma parte da amostra. O procedimento de peneiramento seguiu a rotina utilizada nos procedimentos do LAMIR – UFPR. Na TABELA 12 são apresentadas as malhas utilizadas no

peneiramento das amostras e em parênteses, o correspondente em mm de abertura de cada peneira.

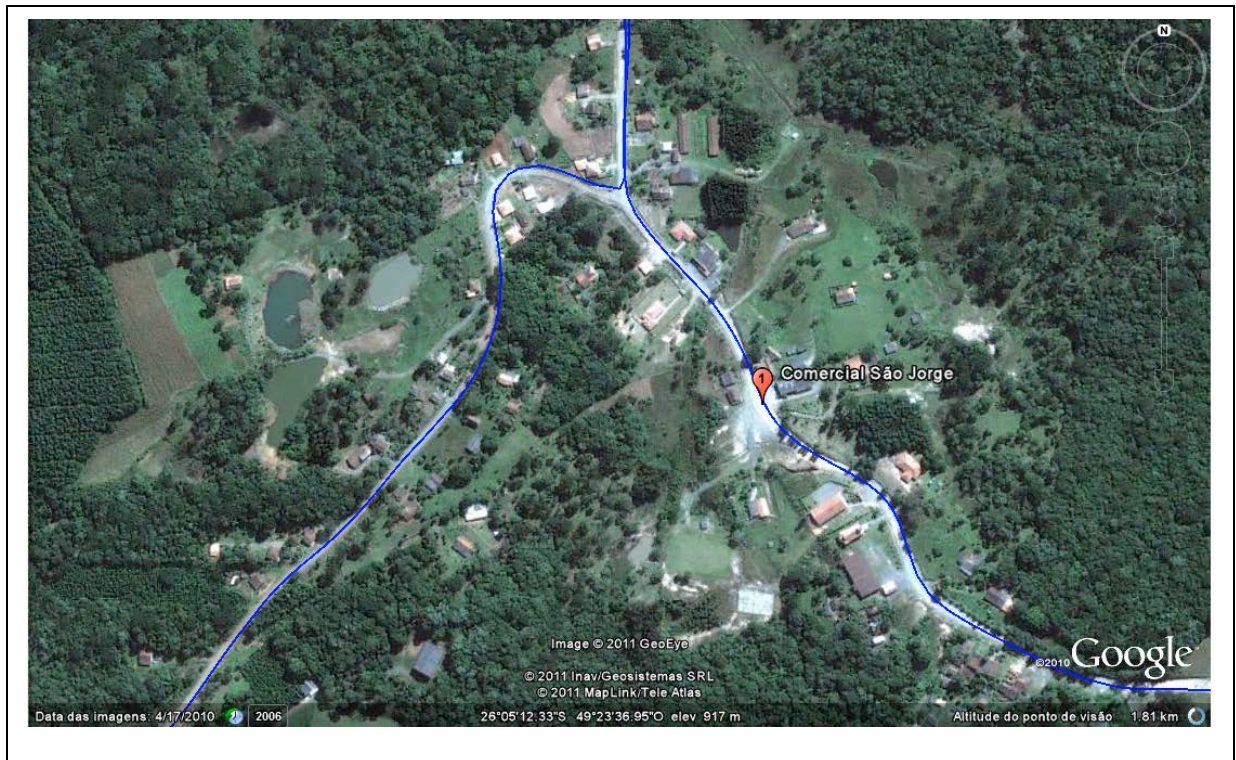
**TABELA 12 - Material de análise retido nas diferentes malhas**

AMOSTRA	Nº LAMIR	Abertura da peneira (Série Tyler)				
		80 mesh (0,175 mm)	170 mesh (0,088 mm)	250 mesh (0,063 mm)	325 mesh (0,044 mm)	<325 mesh (<0,044 mm)
PME 01	158/06 A	A1	A2	A3	A4	A5
PME 02	158/06 B	B1	B2	B3	B4	B5
PME 03	158/06 C	C1	C2	C3	C4	C5
PME 04 A	158/06 D	Amostra de rocha				
PME 04 B	158/06 E	E1	E2	E3	E4	E5

### 5.2.3 Amostragem de Material Particulado

Considerando a possibilidade de existência de fibras respiráveis presentes nas estradas de Piên, amostras de aerossóis ou material particulado (abaixo de 10  $\mu\text{m}$ ) foram coletadas em dois pontos comerciais nas comunidades de Campina dos Crispins e Campina dos Maias.

A escolha dos locais de amostragem foi definida em função dos seguintes critérios: (1) representatividade em relação à fonte emissora, (2) suporte elétrico, (3) segurança contra roubo e vandalismo. Foram escolhidos dois locais que atenderam aos critérios acima definidos, Campina dos Crispins (local: em frente ao Comercial São Jorge, coord. 661.026E e 7.113.881N, FIGURA 13) e Campina dos Maias (em frente a Mercearia Muziol, coord. 657.509 E e 7.106.322 N, FIGURA 14), distantes aproximadamente 12 km, ambos vilas rurais situadas respectivamente a leste e ao sul da sede municipal de Piên.



**FIGURA 13 – Localização da instalação do amostrador 01 em Campina dos Crispins**

Fonte: Google Earth, 2010



**FIGURA 14 – Localização da instalação do amostrador 02 em Campina dos Maias**

Fonte: Google Earth, 2010

### 5.2.3.1 Amostragem de material particulado total

Para a coleta de material particulado total, foram colocados filtros de policarbonato Nucleopore®, com tamanho de poros de 0,4 µm de diâmetro sobre unidades de filtragem (FIGURA 15 e FOTO 7), que realiza a coleta do material particulado por impactação inerte. O suporte com o filtro foi então conectado a uma bomba de vácuo acoplada a um medidor de fluxo. Utilizou-se um fluxo de ar de 35 L.min<sup>-1</sup> durante o período de 24 horas.



**FIGURA 15 – Suporte dos filtros de Nucleopore®**

Fonte: AVIGO JUNIOR, 2008



**FOTO 7 – Amostrador de material particulado total (A) em Campina dos Crispins; (B) em Campina dos Maiais**

O período de amostragem ocorreu entre 19 a 28 de janeiro de 2010, sendo que os filtros eram trocados todos os dias pela manhã. Após a amostragem os filtros foram recolhidos e armazenados imediatamente dentro de embalagem própria e colocados dentro do dessecador. Foram realizadas 9 amostragens de aerossóis, com a obtenção de 18 filtros de Nucleopore®.

#### 5.2.3.2 Amostragem de material particulado individual

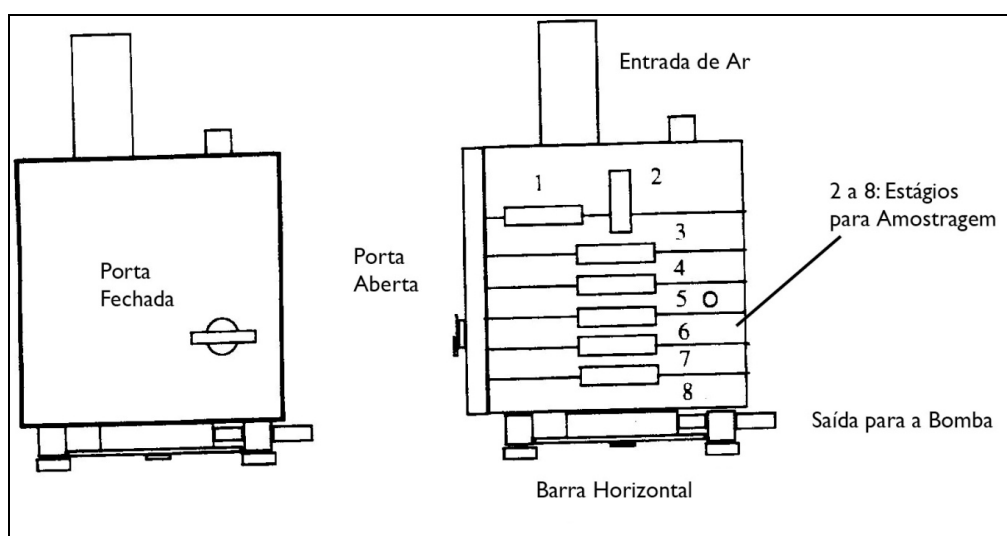
Para o estudo das partículas individuais, o material particulado foi coletado utilizando-se de um amostrador inercial em cascata do tipo *may impactor* (FOTO 8). Amostradores do tipo “cascata” são aqueles que separam as amostras por seu tamanho aerodinâmico através de suas propriedades de inércia. Nele a corrente de ar, que carrega o material particulado, é forçada a passar em volta da superfície de coleta. Deste modo, a corrente de ar é forçada a virar 90° entre os jatos. Partículas com alta inércia não conseguem seguir esta mudança brusca de direção se impactando e se aderindo à superfície de coleta. As partículas que possuem pouca inércia não se impactam e seguem para o próximo estágio do amostrador. Os tamanhos dos estágios seguintes vão diminuindo, o que causa uma aceleração da corrente de ar e a inércia das partículas restantes aumenta. Desta maneira, as partículas vão sendo separadas por tamanho.



**FOTO 8 – Amostrador *May Impactor***

Fonte: Avigo Jr. 2008

O amostrador *may impactor* (FIGURA 16) é uma caixa metálica com medidas de 10x10x15 cm que realiza esta coleta de material particulado fracionado por tamanho. Ele é composto por seis diferentes estágios, cada um projetado para a coleta de um determinado intervalo de tamanho de material particulado.



**FIGURA 16 – Esquema demonstrativo de um amostrador inercial do tipo cascata *may impactor***

O equipamento é conectado a uma bomba de vácuo que aspira o ar para dentro do equipamento, a um fluxo de 20 litros por minuto. Os orifícios preexistentes permitem a passagem das partículas de acordo com o diâmetro pretendido. O material particulado é depositado em na área central da lâmina. Cada amostra é composta de duas lâminas, uma para cada uma das frações.

A TABELA 13 mostra os diferentes estágios e o tamanho das partículas que se impactam em cada um deles.

**TABELA 13 – Estágios e tamanhos das partículas capturadas no amostrador *May Impactor***

<b>Estágio</b>	<b>Tamanho da partícula impactada (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
1	16,0
2	8,0
3	4,0

<b>Estágio</b>	<b>Tamanho da partícula impactada (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
4	2,0
5	1,0
6	0,5
7	0,25

No presente trabalho foram selecionados dois estágios, com os intervalos de tamanhos de partículas de 0,4 a 2  $\mu\text{m}$  e 2 a 8  $\mu\text{m}$ . Para evitar a sobreposição de espectros causados pela cobertura da amostra por materiais condutivos, lâminas de prata foram utilizadas como substrato para a coleta do material particulado (aerossóis), pois trata-se de um material condutivo e relativamente plano. A lâmina de prata é composta com 99,99% de pureza, dimensão de aproximadamente 1,5 X 2,0 cm, e fixada em lâminas de vidro, sobre as quais o material particulado é depositado.

O equipamento inercial foi colocado nos mesmos locais citados anteriormente (Comercial São Jorge – Campina dos Crispins e Merceria Muziol – Campina dos Maias), FOTO 9. O dispositivo permaneceu ligado durante uma hora e as medições foram realizadas pela manhã.

Foram realizadas coletas durante 3 dias, utilizando-se 1 lâmina com substrato de prata para cada coleta com o impactador inercial (*May impactor*), totalizando 6 lâminas, sendo 3 do ponto 1 (Campina dos Crispins) e 3 do ponto 2 (Campina dos Maias).



**FOTO 9 – Amostrador *May Impactor* instalado no ponto 01 (Campina dos Crispins)**

### 5.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS

As amostras foram inicialmente desagregadas e mantidas em estufa a 70°C por 24 h. Posteriormente foram quarteadas e separadas em amostras de 25 g, e em seguida pulverizadas em panela de ferro por 1 minuto. Apesar do curto período de preparação das amostras (procedimento durou cerca de 2 horas), o material moído aparentemente capturou a umidade ambiente, fato que levou a necessidade de recolocar as amostras em estufa novamente a 70°C por cerca de 12 horas. Situação semelhante foi observado por ROCCA (2008) ao realizar testes de Termoluminescência, verificou que amostras de lizardita e antigorita (polimorfo de crisotila) são higroscópicas e absorvem a umidade do meio, em temperatura ambiente.

As amostras preparadas serviram para as análises químicas por fluorescência de raios X, mineralógicas por difração de raios X e morfológicas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## 5.4 ANÁLISES MINERALÓGICAS

### 5.4.1 Petrografia

Foram realizadas descrições mesoscópicas das amostras de rochas coletadas das três pedreiras existentes na área de estudo, de acordo com as suas características texturais e mineralógicas, comparadas com a literatura disponível para a região (Harara, 1996, 2001; Reis Neto & Castro, 1993, Reis Neto et al, 1993), além das análises de lâminas petrográficas de acervo técnico de estudos anteriores da região (não foram produzidas novas lâminas específicas para o presente trabalho).

### 5.4.2 Mineralogia

Após a etapa de preparação das amostras, o pó resultante de cada amostra seca foi prensado em suporte de cavidade, de maneira não orientada, e submetida à análise por difratometria de raios X, em modo  $\theta/2\theta$ , entre 04 e 70° no Difratômetro de Raios X modelo PW-1830, marca PHILIPS ANALITICAL do LAMIR/UFPR, com radiação Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ). Os resultados dos difratogramas foram interpretados com o auxílio do arquivo eletrônico do *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* – JCPDS.

## 5.5 ANÁLISES QUÍMICAS

### 5.5.1 Amostras de Saibro e Rochas

O equipamento utilizado foi um espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de comprimento de onda seqüencial Philips/Panalytical modelo PW 2400, operando com fonte de raios x (tubo) de Rh de 3 kW, instalado no Laboratório de Minerais e Rochas, da Universidade Federal do Paraná (LAMIR-UFPR). Os procedimentos de análise envolveram dois métodos:

1. Pastilhas em Pérola: com tetraborato de lítio (0,9 g amostra + 9 g de tetraborato de lítio + 4 espátulas de Nitrato de Amônio);
2. Pastilhas prensadas. A morfologia fibrosa dificultou sobremaneira a prensagem da pastilha, causando rugosidade na superfície da mesma, fato que resultou na necessidade de se refazer várias vezes a prensagem das amostras.

#### 5.5.2 Amostras de Material Particulado Total

A determinação elementar total de cada fração foi obtida pela técnica analítica de FRX - Fluorescência de Raios X. Os elementos K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, Al, Si, P, S e Cl foram analisadas por um espectrômetro Minipal 4 Panalytical EDXRF, instalado no Laboratório MiTAC (Micro and Trace Analysis Centre), da Universidade da Antuérpia, Belgica, sob a coordenação do Professor Dr. René Van Grieken.

O resultado obtido da análise por FRX de cada filtro, expresso em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  foi multiplicado pela área do filtro ( $12,54\text{ cm}^2$ ) e dividido pelo volume de ar da respectiva amostragem (medido em  $\text{m}^3$  pelo fluxômetro). O valor obtido corresponde à concentração de cada elemento, expresso em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

#### 5.6 ANÁLISES MORFOLÓGICAS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As análises de MEV do material de saibro de Piên, bem como das amostras de amianto puro, foram realizadas no CME - Centro de Microscopia Eletrônica do Departamento de Biologia da UFPR. A preparação das amostras seguiu os procedimentos listados abaixo:

1. Separação do material para análise;
2. Montagem das amostras no porta-amostra próprio do microscópio e posterior metalização com Au em sua superfície para produzir um filme delgado condutor;

3. Armazenamento das amostras no dessecador, aguardando para serem analisadas, para evitar a captura de umidade na amostra.

Nas análises de MEV no presente estudo os aumentos variaram de 200 à 10.000 X, efetuados a partir de uma combinação de elétrons secundários e elétrons retroespalhados de maneira a fase e a composição química do mineral.

As amostras de material particulado (aerossóis) foram analisadas na Universidade da Antuérpia, Bélgica, pelo professor Dr. René Van Grieken utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura (JEOL 733) acoplado a uma microsonda (Oxford) – MEV-EDS, que permitiu a detecção e posterior análise de elementos de baixo peso molecular, como C, O e N. Para evitar danos às partículas, causados pela intensidade do feixe de elétrons, as amostras foram resfriadas à temperatura do nitrogênio líquido. Cerca de 400 partículas individuais foram analisadas automaticamente em cada estágio, totalizando em média cerca de 700 partículas individuais por amostra e em torno de 10.000 partículas no total de material estudado.

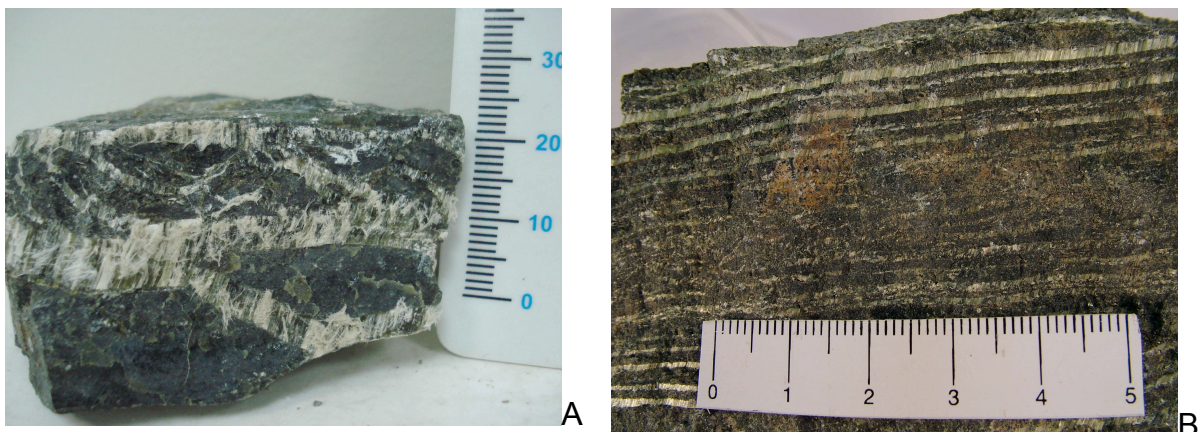
## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1 PETROGRAFIA DAS ROCHAS ULTRAMÁFICAS**

Os resultados das descrições macroscópicas de amostras de rochas coletadas das três pedreiras existentes na área de estudo, de acordo com as suas características texturais e mineralógicas, comparadas com a literatura disponível para a região (Harara, 1996, 2001; Reis Neto & Castro, 1993, Reis Neto et al, 1993), além das análises de lâminas petrográficas de acervo técnico de estudos anteriores da região permitiram verificar que as rochas são de origem ultramáfica e apresentam grau variável e heterogêneo de serpentinização, com presença de alguns poucos minerais reliquias.

Descritivamente foram definidos três tipos de formas de ocorrência de serpentinas nas rochas ultramáficas:

1. Nas rochas duníticas serpentinizadas. Nesse caso ocorre substituindo as forsteritas, chegando na maioria dos casos a 100% dos constituintes da rocha (ex. FOTO 10A);
2. Preenchendo fraturas de até 0,5 cm. Nesse caso ocorrem como fibras transversais às fraturas (cross fiber) (ex. FOTOS 10 A e 10 B);
3. Associadas às zonas de falha. Nesse caso, processos posteriores à serpentinização original geraram zonas de cataclasamento, que deformaram e geraram uma nova fase de serpentina (ex. FOTOS 10 C e 10 D). A amostra CSP 03 (FOTO 10 D) possui textura lepidoblástica e é constituída principalmente por talco e vermiculita, tendo sido descrita e caracterizada como um talcoxisto . Ocorre em pequenos bolsões em zonas de falha junto aos serpentinitos, na maioria das vezes muito deformadas e bastante alteradas, onde é possível verificar na foliação a presença de óxidos amorfos.



Legenda (A) Serpentinito com níveis ricos em crisotila (coletado em pedreira Campina dos Maias);  
(B) Serpentinito com crisotila *cross fiber*, presente nas microfraturas da rocha;



C

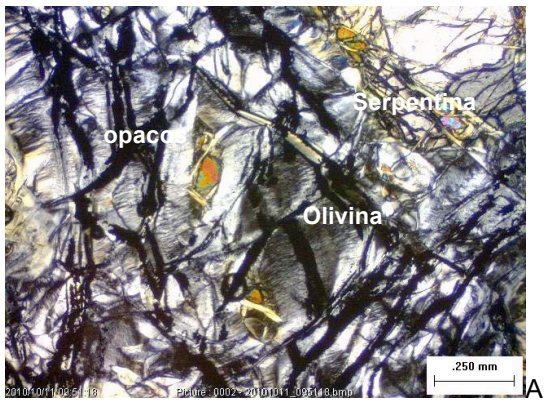


D

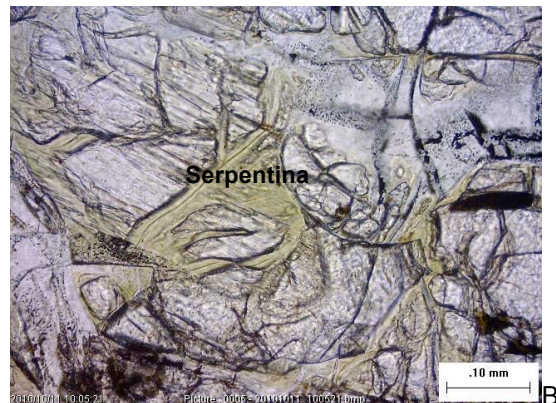
**FOTO 10 – Fotografias de amostras coletadas**

Legenda: (C) e (D) Serpentinitos em zona de falha (Pedreira em Campina dos Crispins).

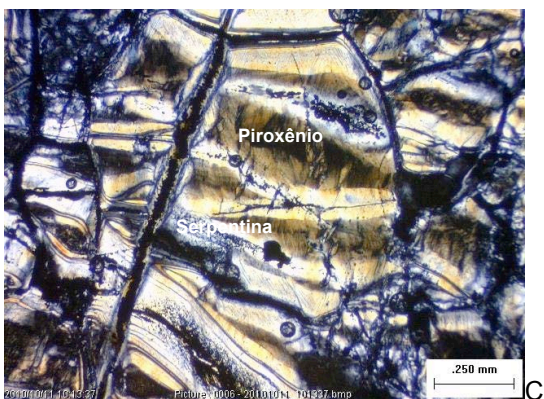
Os minerais constituintes das rochas analisadas são a serpentina (crisotila observável, quando em morfologia fibrosa), opacos e clorita os minerais mais comuns (FOTOS 11A a 11F). A característica mais marcante dessas rochas é a forte serpentinização presente devido aos processos deformacionais envolvendo as rochas de origem (provavelmente dunitos).



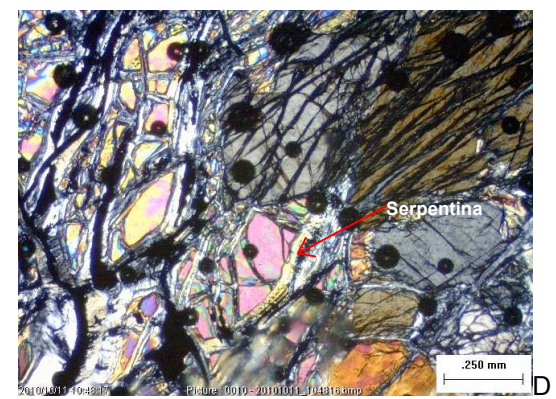
A



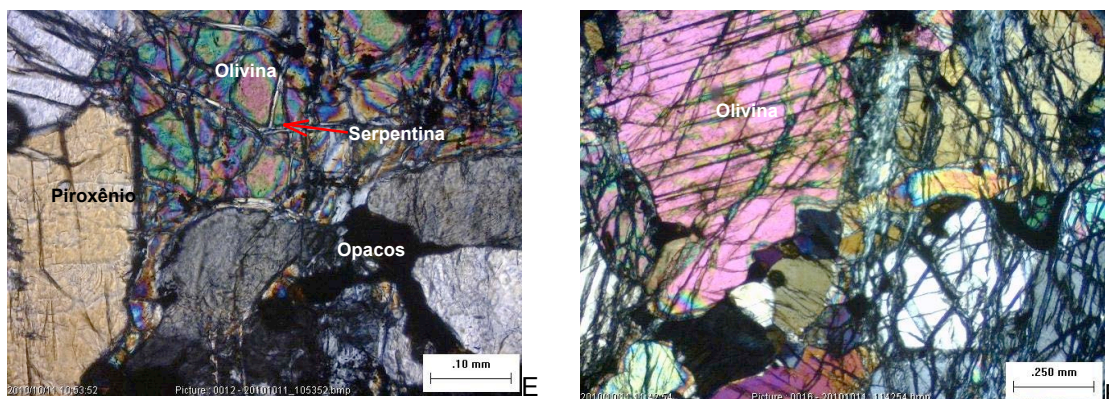
B



C



D



**FOTO 11 – Microfotografias das seções delgadas analisadas**

Legenda: (A) Cristais de olivina em processo de serpentinização, nicóis x. (B) Detalhe da serpentina na lâmina anterior, nicóis //. (C) Cristal de piroxênio em processo de serpentinização, Nicóis X (D) Olivina intensamente serpentinizada Nicóis X. (E) Olivina serpentinizada ladeada por piroxênio não serpentinizado. Nicóis X (F) Aumento 4x / Nicóis cruzados.

A textura predominante é do tipo “mesh” (serpentina + opacos finos), onde se observa, em algumas lâminas, poucos minerais máficos reliquiares, como o caso de cristais de olivina, que, quando presentes, apresentam-se dispersos ou sob a forma de agregados raros, fraturados e alterados para serpentina + opacos em meio à “massa” de serpentina presente nestas rochas.

As serpentinas podem ocorrer em três fases: agregados de aspecto placóide em associação com opacos em textura "mesh" preservada; definindo uma foliação marcante (SN); microveios que assumem aspecto de foliação, cortando a foliação existente.

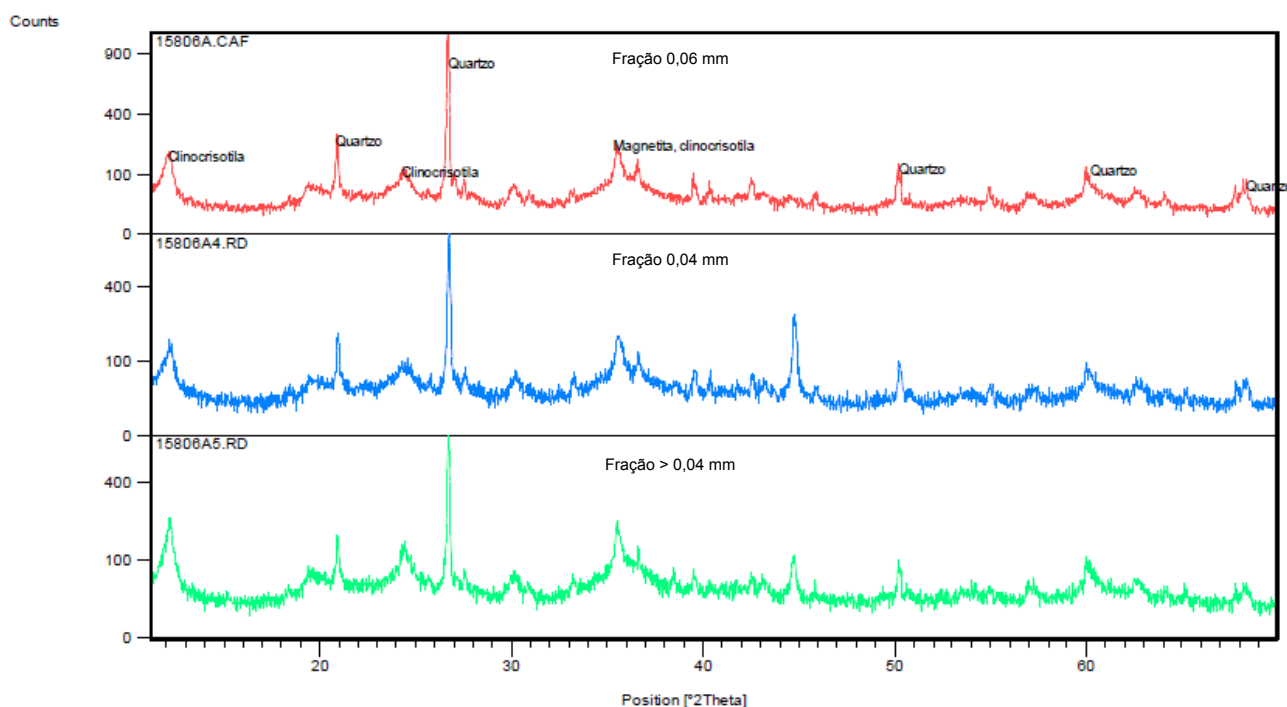
## 6.2 ANÁLISES MINERALÓGICAS

A interpretação dos resultados das análises por difração de raios X (FIGURAS 17 a 21), realizados no LAMIR / UFPR indicam a presença de minerais do grupo das serpentinas, às vezes com tendência maior à presença de crisotila e outras onde a presença de lizardita aparenta prevalecer sobre os demais tipos.

Nas amostras de revestimento primário, o quartzo, por se tratar de um mineral resistente ao intemperismo e transporte, está presente em todas as

frações analisadas. Outro mineral freqüente na interpretação dos resultados das amostras, especialmente na fração de fundo (< 325mesh, corresponde a abertura de peneira < 0,04 mm) é a vermiculita e que pode ser proveniente da alteração hidrotermal da flogopita.

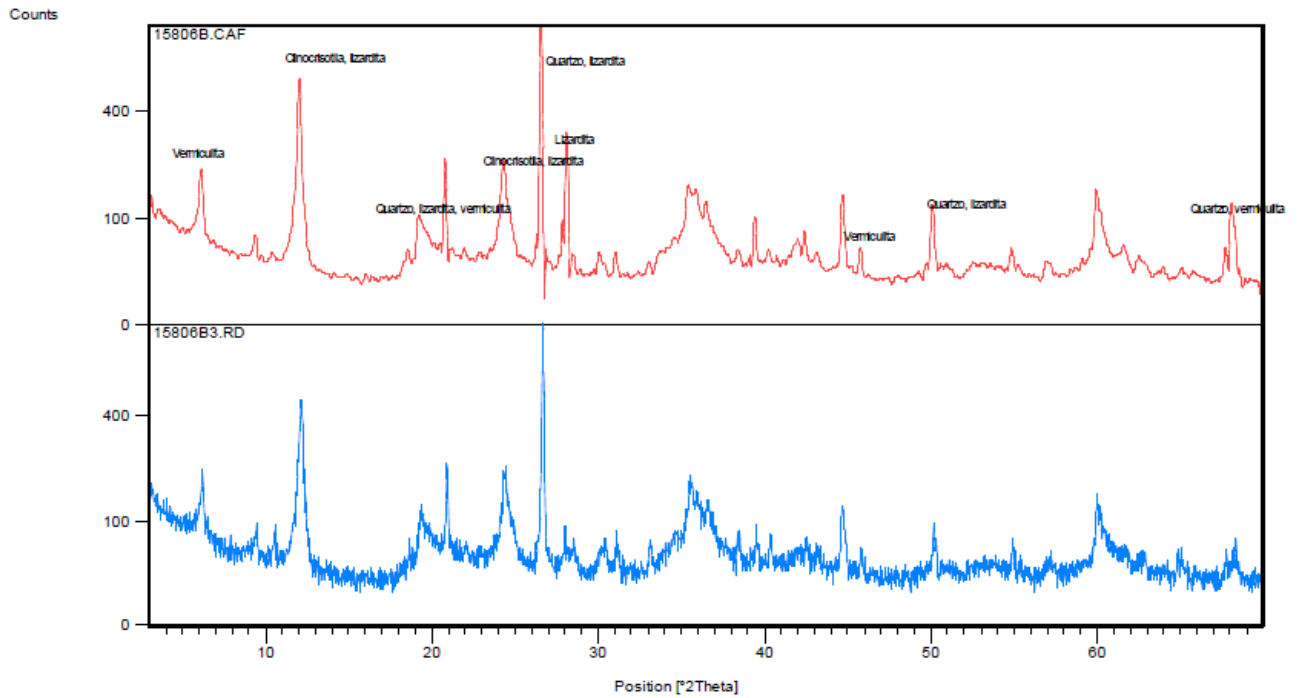
Na amostra 158/06, cujos resultados de difração de raios X são apresentados na FIGURA 17, é representada pelas amostras de material de revestimento de estrada, composto por material polimítico com seixos de ultramáficas misturadas com granito cálcio-alcálico. Foram analisadas as frações A3, A4 e A5, correspondendo respectivamente às aberturas das peneiras (0,06; 0,04 e menor que 0,04 mm), conforme já descrito na TABELA 8 e que representam as menores frações da série de peneiras utilizadas. As fases minerais identificadas nas três frações analisadas foram: quartzo, crisotila e magnetita.



**FIGURA 17 – Resultado de Difratoograma Amostra 158/06**

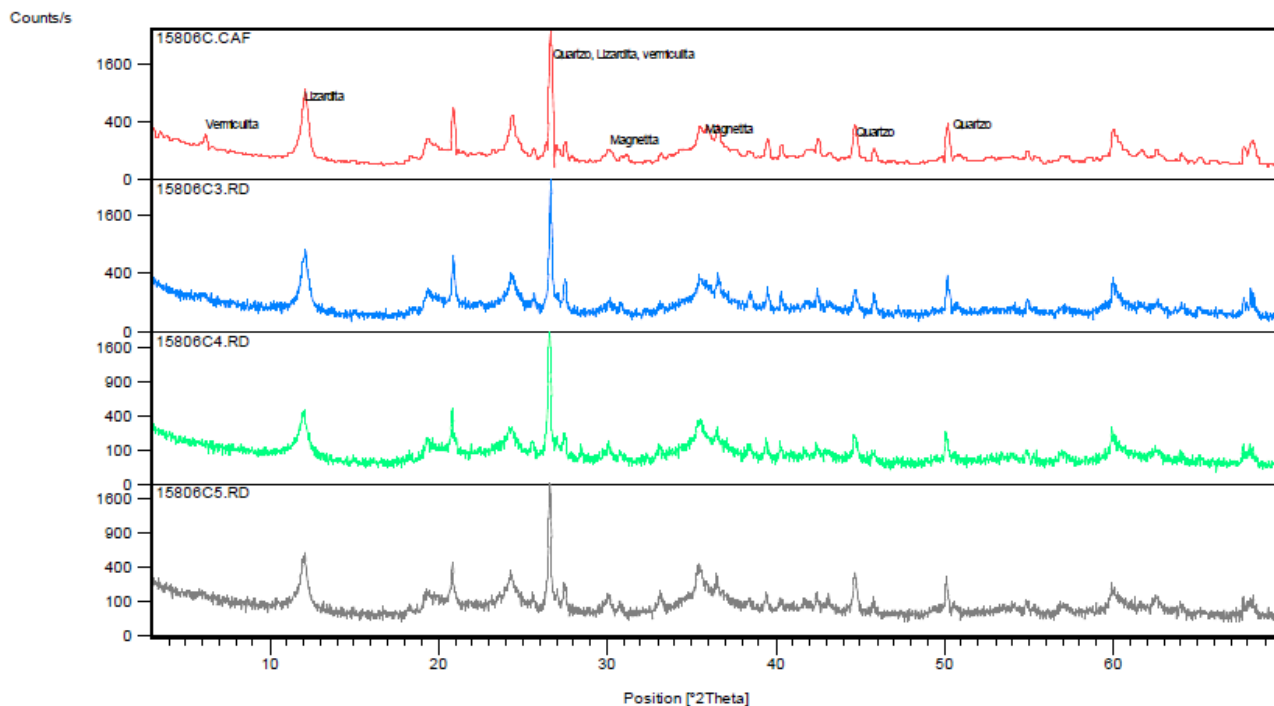
A amostra 158/06 B é constituída de material de revestimento primário de estrada com predominância de seixos de rochas ultramáficas. O leito da estrada é de coloração marrom-clara, o saibro é uma camada fina superficial. O material foi coletado na estrada após a localidade de Poço Frio, em direção a

Campina dos Maias. As frações analisadas foram 0,08 mm (158/06 A2) e 0,06 mm (158/06 A3). As fases minerais identificadas foram: crisotila/ lizardita, quartzo e vermiculita.



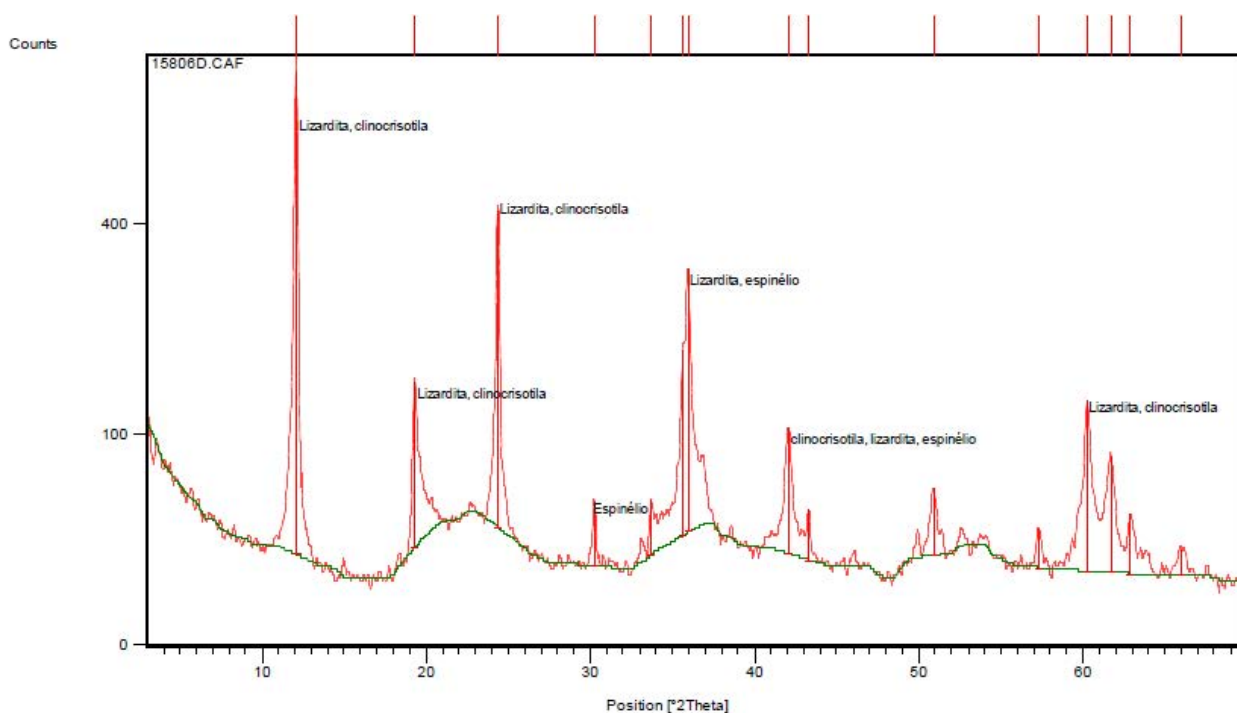
**FIGURA 18 – Resultado de Difratoograma Amostra 158/06 B**

A amostra 158/06 C é composta por cascalhos provenientes de rochas ultramáficas. As frações analisadas foram: 0,08 mm (C2); 0,06mm (C3); 0,04 mm (C4) e <0,04 mm (C5). Os resultados do difratograma indicam que a serpentina pode ser constituída por clinocristotila ou lizardita, ou uma mistura de proporções variadas de ambos os minerais. Outros minerais presentes são o quartzo e vermiculita.



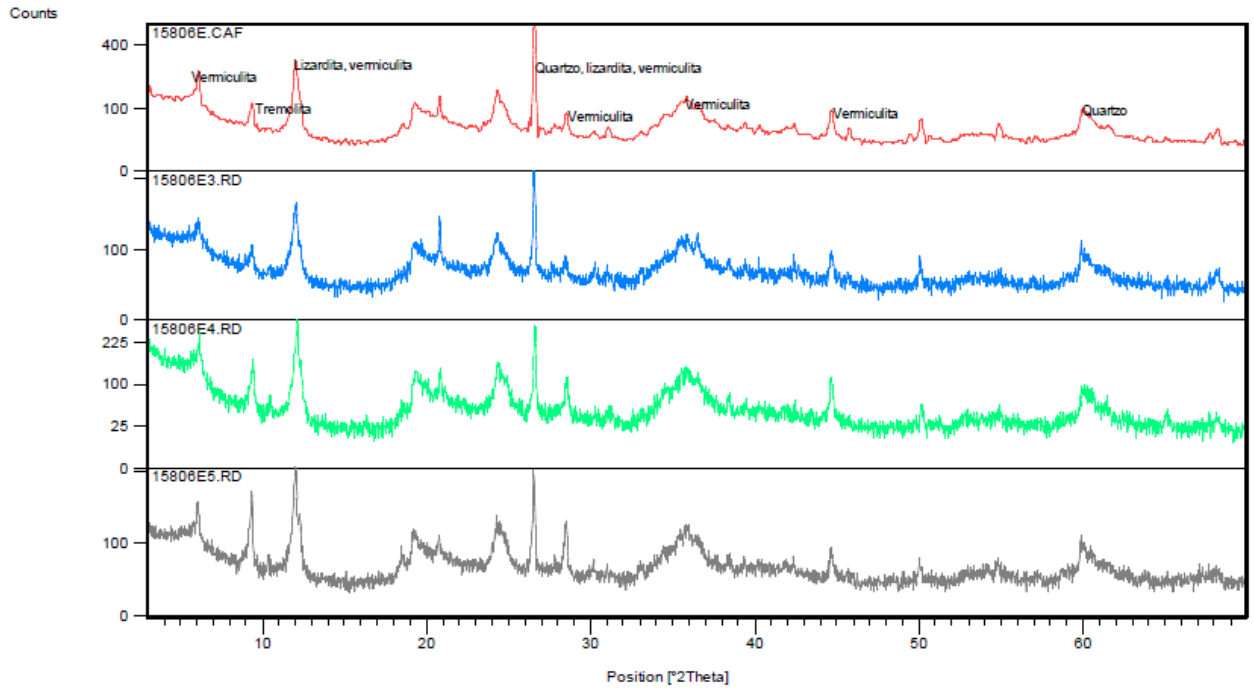
**FIGURA 19 – Resultado de Difratoograma Amostra 158/06 C**

A amostra 158/06 D é composta por amostra de rocha ultramáfica, que foi pulverizada em panela de ferro, gerando uma fração única, que foi submetida à análise de DRX. Os resultados do difratograma indicam que a serpentina pode ser constituída por clinocristilita ou lizardita, ou uma mistura de proporções variadas de ambos, bem como restos de espinélios associados.



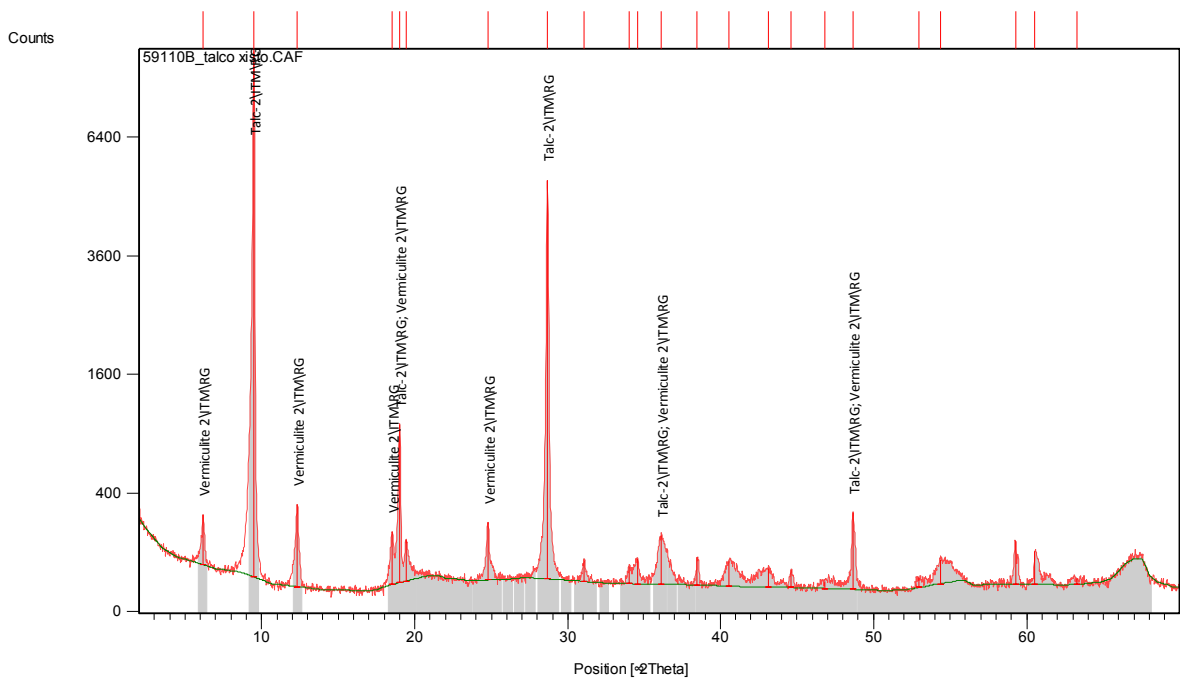
**FIGURA 20 – Resultado de Difratoograma Amostra 158/06 D**

A amostra 158/06 E é composta por um material muito fino, retirado de uma poça d’água sobre a superfície irregular da estrada que sofreu ressecamento e deixou uma fina camada de material com estruturas de “gretas de contração”. Esse material recolhido foi peneirado nas frações: 0,08 mm (E2); 0,06mm (E3); 0,04 mm (E4) e <0,04 mm (E5). Os resultados do difratograma indicam a presença abundante de vermiculita, podendo conter também tremolita e raro quartzo. É importante destacar a importância da coleta dessa amostra, considerando que é esse material que geralmente é carregado pela ação do vento e do tráfego de veículos, dada a sua granulometria. Não foi encontrada crisotila nessa amostra.



**FIGURA 21 – Resultado de Difratoograma Amostra 158/06 E**

A amostra de rocha CSP 03 foi identificada como sendo um talcoxisto, composta basicamente por talco e vermiculita (FIGURA 22).



**FIGURA 22 – Resultado de Difratoograma – amostra CSP03 (Talcoxisto)**

Partindo da premissa de não ter havido intemperismo químico após o desmonte das rochas para transformação em saibro, observa-se que o padrão difratométrico encontra-se praticamente igual em todas as frações granulométricas analisadas, indicando uma forte correlação entre os minerais presentes em todas as frações analisadas. As serpentinas estão presentes desde a fração mais grossa até a fração de fundo das peneiras, diferente do observado por VIDAL-TORRADO, 2006, que não encontrou serpentinas no perfil de solos derivados de serpentinitos na região Sudeste de Minas Gerais, conforme descrito no capítulo do levantamento bibliográfico.

Os picos de difração podem indicar tanto a presença da crisotila quanto da lizardita quanto uma mescla de ambos os minerais nas amostras dos materiais de revestimento primário e mesmo nas amostras de rochas. Marques et al, 2003, em estudos da Geologia e Geoquímica das rochas metaultramáficas da Antiforme Capané, Suíte Metamórfica Porongos, RS, realizou análises de DRX em dez amostras de serpentinitos para determinação de politipos de serpentina em varredura de 2° a 100°, com velocidade de 8°/minuto, utilizando filtro de Mn e tubo de CuK $\alpha$  alimentado a 40kV e 20mA, e tratamento dos dados pelo programa RIGAKU, identificando a lizardita e crisotila. No caso de Piên, considerando que o material de revestimento das estradas (saibro) pode conter uma mistura de várias tipologias de rochas, bem como os minerais terem sofrido um processo de desgaste mecânico e intemperismo químico, a análise dos picos de difração sofreu restrições / limites de interpretação.

### 6.3 ANÁLISES QUÍMICAS

Os resultados das análises químicas (análise quantitativa para determinação de óxidos maiores) das amostras de material de revestimento (158/06 C4; 158/06 C5; 158/06 E4 e 158/06 E5), e da rocha 158/06 D, obtidos pela técnica de fluorescência de raios X são apresentados na TABELA 14.

**TABELA 14 - Análise quantitativa das amostras de material de revestimento e rocha**

ÓXIDO (%)	AMOSTRAS				
	158/06 C4	158/06 C5	158/06 D	158/06 E4	158/06 E5
	(325 mesh)	(>325 mesh)	(rocha)	(325 mesh)	(>325 mesh)
<b>CaO</b>	0,26	0,29	0,01	0,51	0,51
<b>MgO</b>	22,54	21,73	39,05	24,23	24,01
<b>SiO<sub>2</sub></b>	48,33	47,23	39,87	47,47	47,80
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6,08	5,94	0,78	7,03	7,14
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	10,53	13,30	7,94	8,90	9,34
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,12	0,13	0,03	0,12	0,13
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,24	0,32	0,02	0,24	0,27
<b>MnO</b>	0,13	0,16	0,11	0,27	0,24
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,04	0,04	0,01	0,11	0,12
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,39	1,32	0,01	0,22	0,21
<b>P.F.*</b>	10,89	10,13	12,46	11,48	10,82
<b>Soma (%)</b>	100,54	100,58	100,29	100,59	100,59

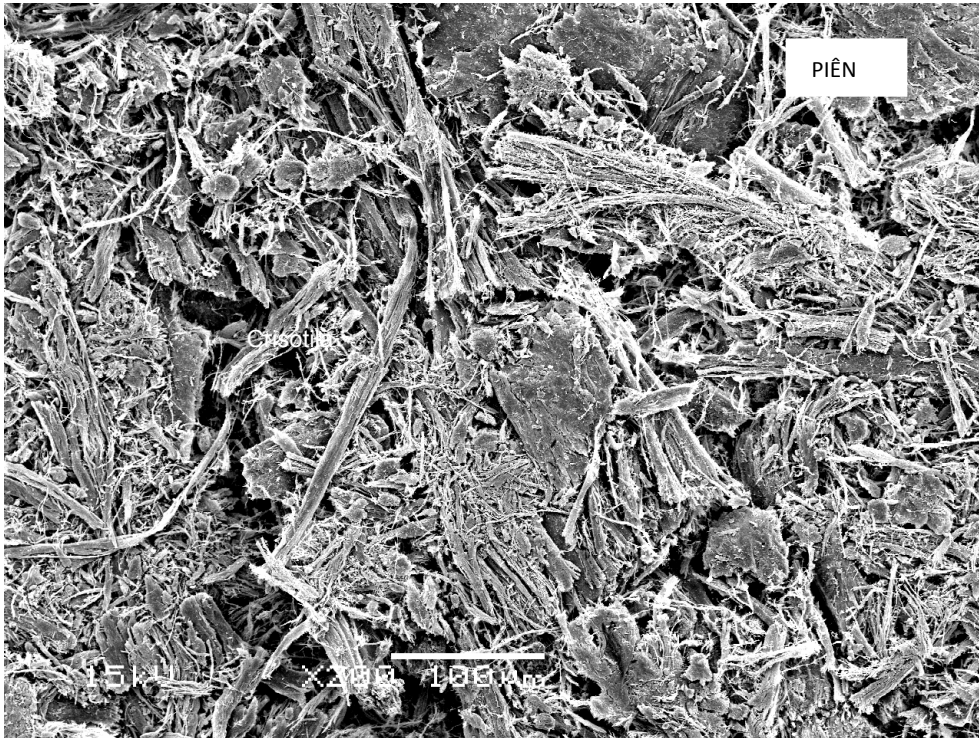
P.F.\* = Perda ao Fogo

A amostra de rocha 158/06 D possui composição química típica de uma rocha ultramáfica (teores de MgO = 39,05% e SiO<sub>2</sub> = 39,87%). As amostras de saibro, que podem possuir amplo espectro de rochas como fonte, possuem composição de MgO em torno de 22%, e SiO<sub>2</sub> ~47%, indicando a proveniência de rochas máficas / ultramáficas da região, com alguma contribuição de rochas de composição mais ácida.

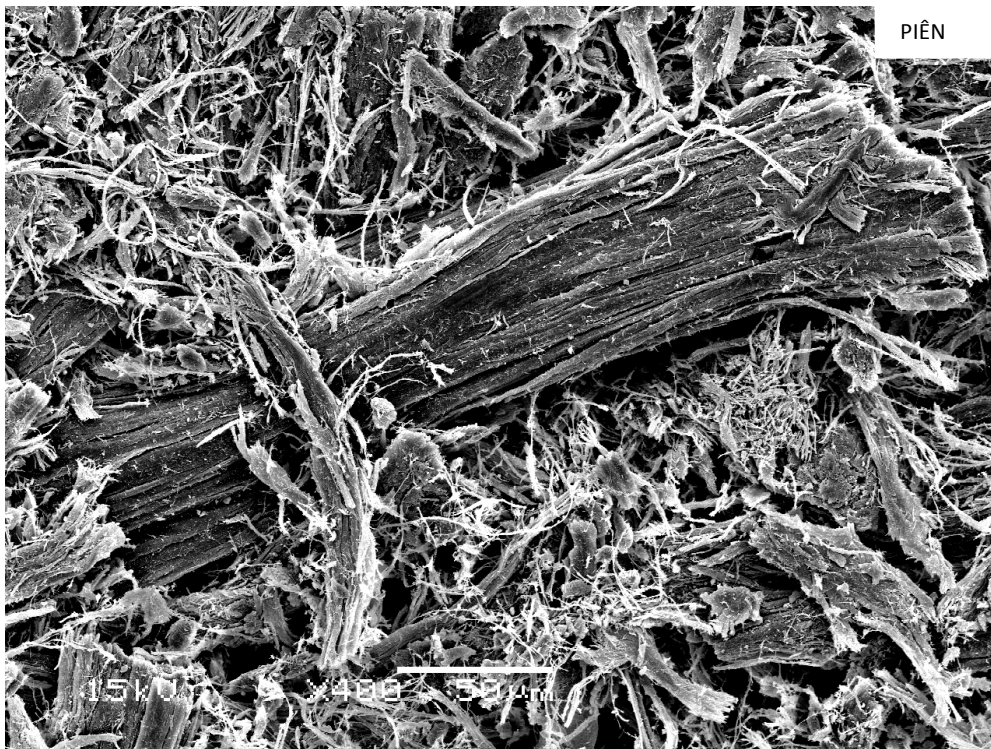
#### 6.4 ANÁLISES MORFOLÓGICAS

As amostras foram submetidas à Microscopia Eletrônica de Varredura equipado com Energia Dispersiva de Raios X (EDS) e detector de elétrons retroespalhados e, a partir da varredura de toda a superfície da amostra, foram identificadas partículas com morfologia microfibrilar, compatíveis com o mineral crisotila.

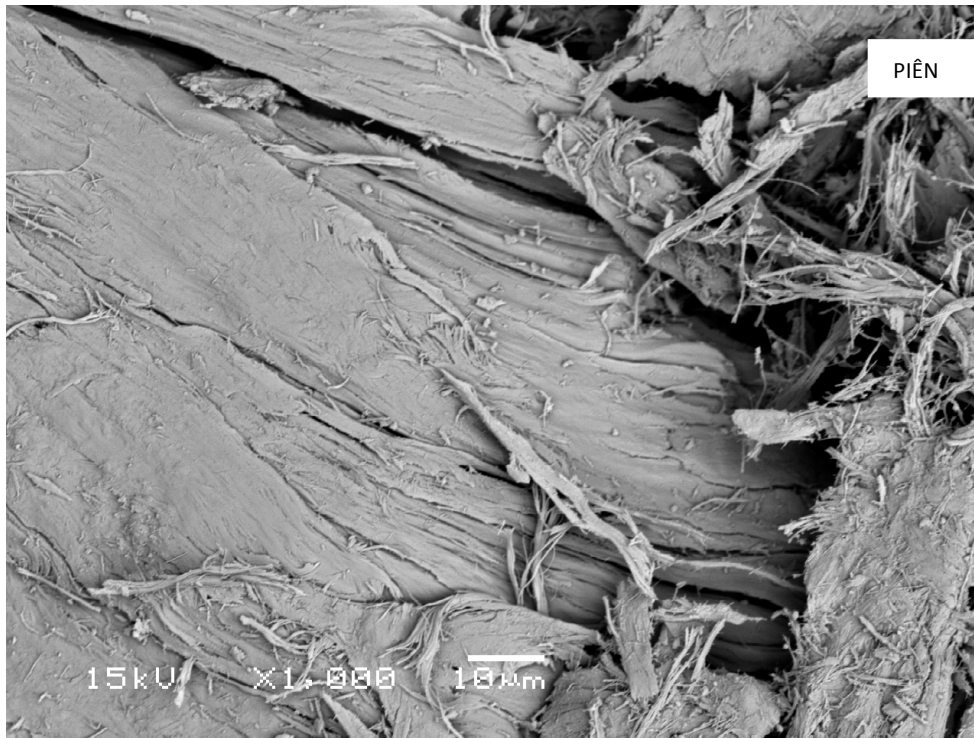
Por comparação com os resultados obtidos pelo MEV/EDS das amostras de amianto do Canadá, Rússia e Brasil, cujas análises foram realizadas na etapa de experimentação de técnicas analíticas, os dados obtidos para as amostras de Piên forneceram resultados que permitiram à identificação mineralógica, baseada na morfologia mineral (figuras 23 a 28).



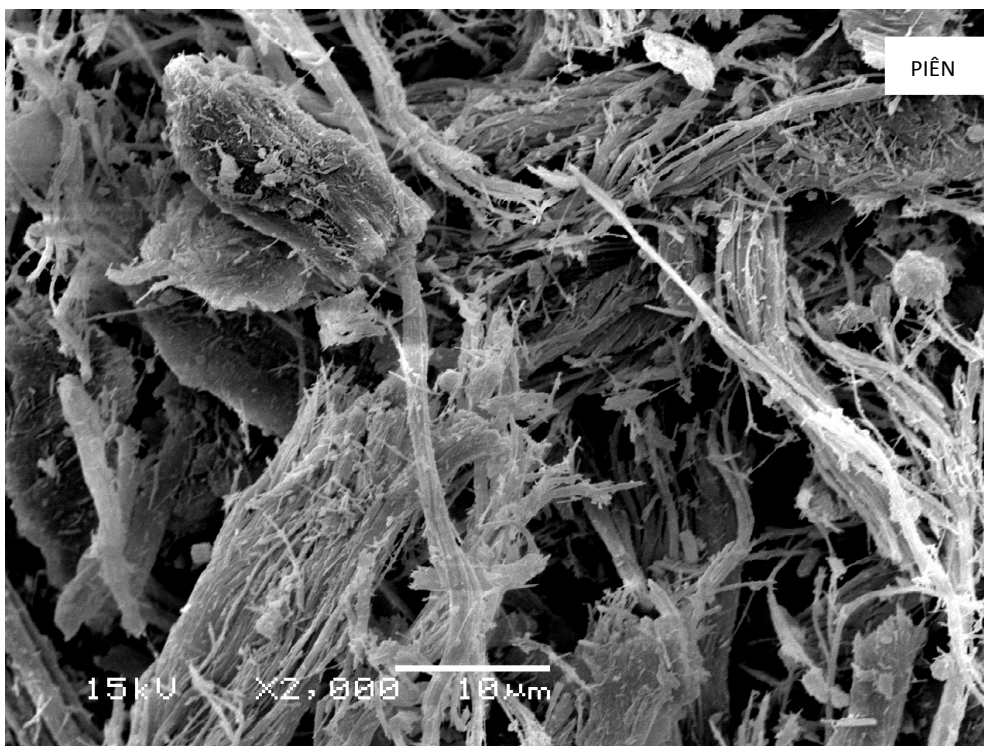
**FIGURA 23 – Aspecto geral dos feixes de fibras da crisotila sob Microscópio Eletrônico de Varredura – aumento de x200**



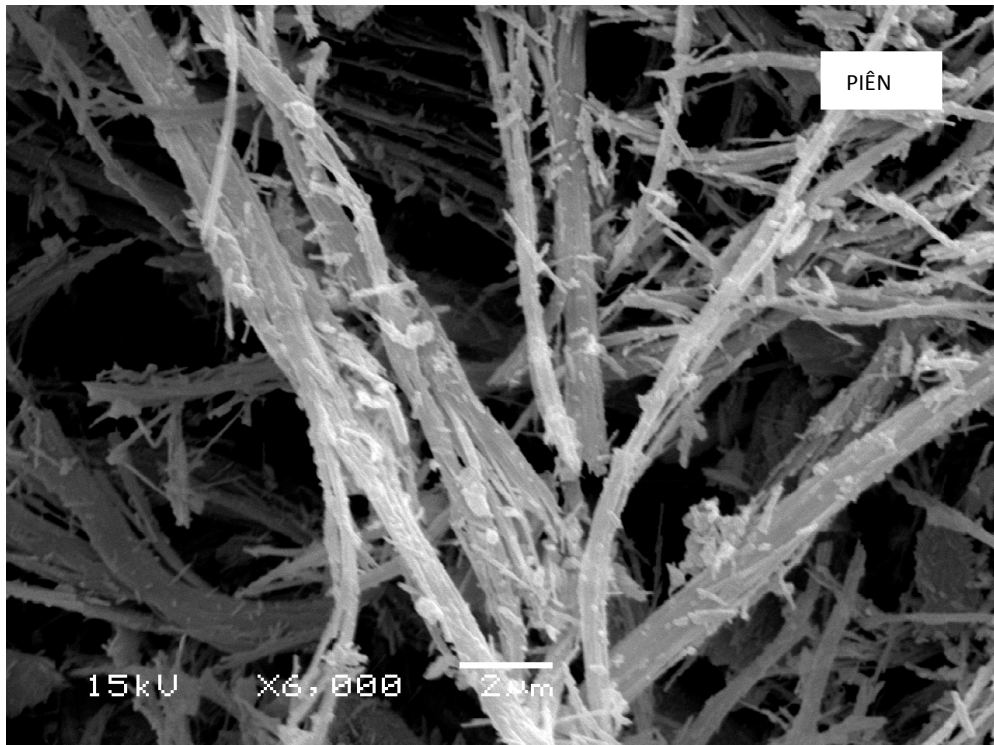
**FIGURA 24 – Detalhe do emaranhado de feixes de fibras de crisotila, aumento x400**



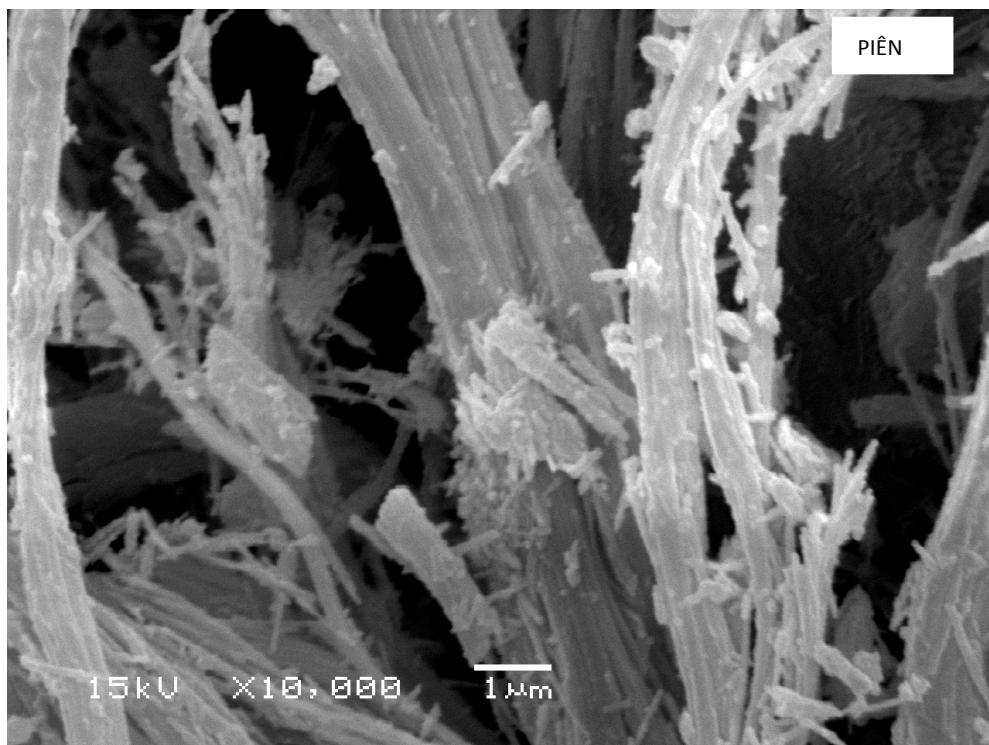
**FIGURA 25 – “Massa” de crisotila observada por MEV – aumento de x1000**



**FIGURA 26 – Detalhe dos feixes do mineral crisotila associada a microgrãos de composições diversas – aumento de x2000**

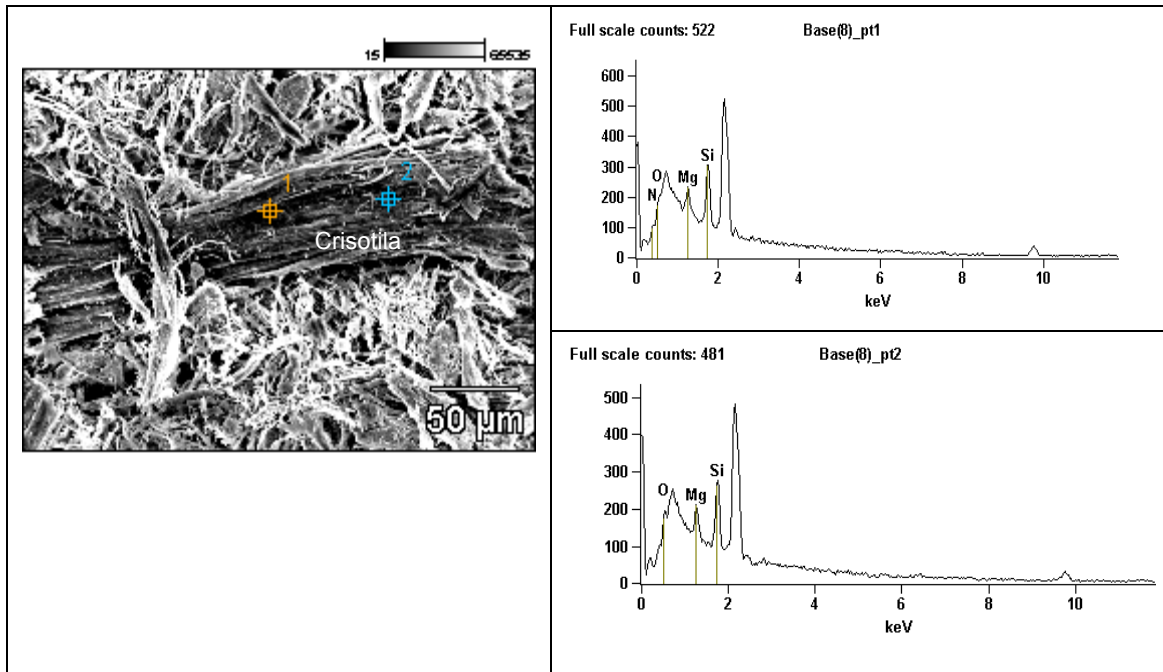


**FIGURA 27 – Detalhamento ( aumento x6000 ) do mineral crisotila por MEV, mostrando fibras flexíveis e em geral muito desfiadas, produzindo fibrilas menores**

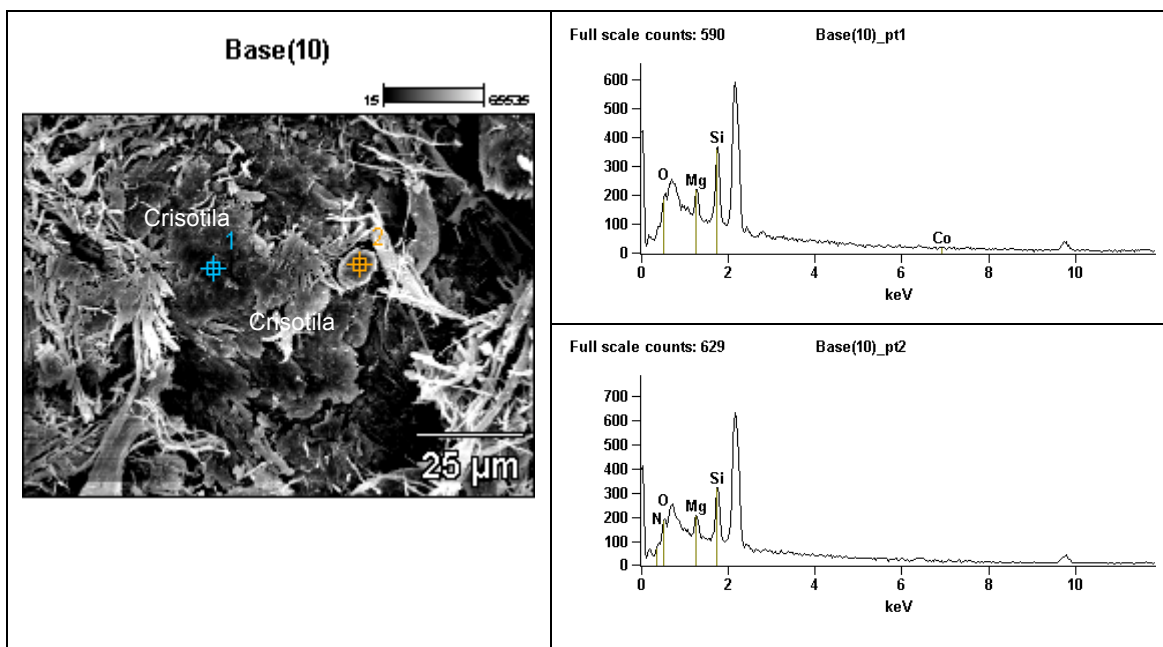


**FIGURA 28 – Detalhe da imagem anterior, com mineral crisotila e microgrãos associados – aumento de x10.000**

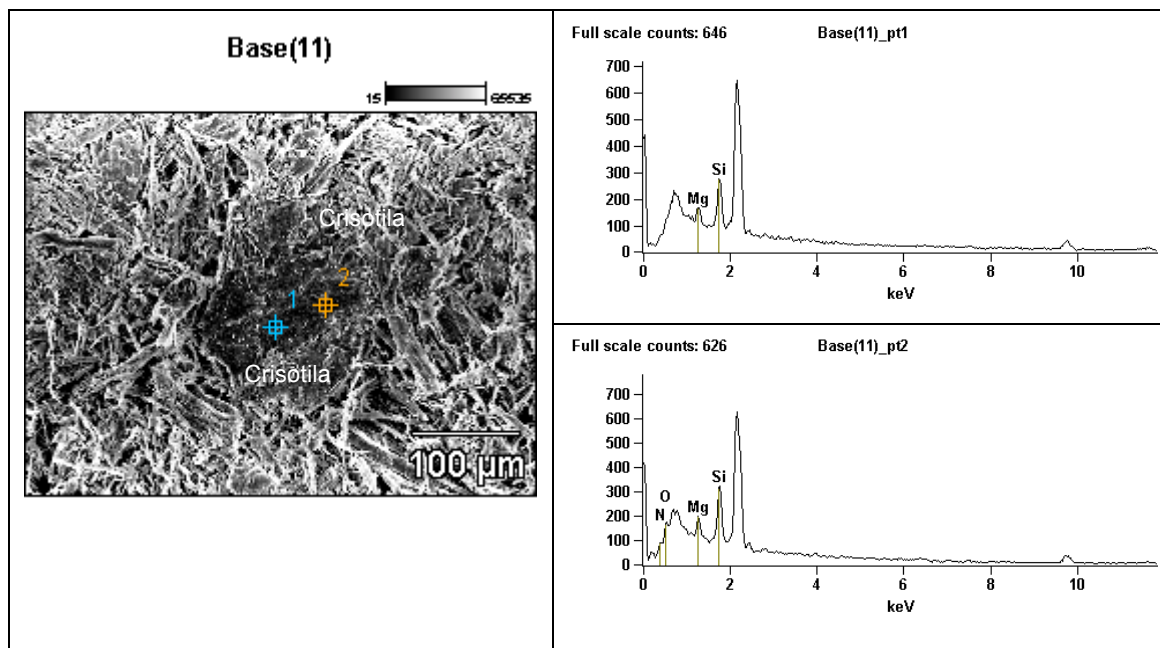
Os resultados das análises de MEV são apresentados na FIGURAS 29 a 31. Nas amostras de Piên, os picos de difração apontam a composição elementar da crisotila Si-O-Mg. O pico sem identificação é o do porta-amostra.



**FIGURA 29 – Resultados do MEV / EDS de amostra de Piên – picos de difração apontam a composição elementar da crisotila Si-O-Mg**



**FIGURA 30 – Resultados do MEV / EDS de amostra de Piên, com picos de difração apontam a composição elementar da crisotila Si-O-Mg e outros elementos associados (C,O, N)**



**FIGURA 31 – Resultados do MEV / EDS de amostra de Piên e outros microgrãos associados**

## 6.5 ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO (MP) TOTAL

Os dados obtidos pela análise dos filtros de Nucleopore®, pela técnica de FRX, permitiu avaliar a composição elementar do material particulado total coletado. Os elementos detectados foram: Al, Si, K, Ca, Ti, V, Fe, Se, Sr, Cr, Ni, Mn, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Sb, S, Cl.

Na TABELA 15 apresenta-se a média em  $\text{ng}/\text{m}^{-3}$  da concentração de todos os elementos detectados nas 18 amostras estudadas (09 em Campina dos Crispins e 09 em Campina dos Maias). Si, S, Fe, Al, K, Ca e Cl são os elementos detectados em maior quantidade, desde  $138,11 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  para Ca até  $2317,75 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  para Si. Considerando que a amostragem foi realizada em duas localidades com afloramento das rochas ultramáficas, gnaisses e granitos a presença desses elementos no material particulado pode estar associado ao nível de *background*, considerando a existências desses agrupamentos litológicos na região de Piên, descritos no capítulo de Geologia.

O elemento Mg, apesar de importante como indicativo da presença de minerais do grupo das serpentinas e de minerais máficos na área, não foi medido em função da restrição de utilização do aparelho, que não possui o

elemento Mg como parte de sua rotina de detecção, realizada na Universidade da Antuérpia, Bélgica. A abundância do elemento Fe nas amostras, porém, surge como um bom indicativo da presença do elemento Mg nas amostras, dentro do contexto do ambiente geológico estudado.

**TABELA 15- Média das concentrações dos elementos encontrados (ng.m<sup>-3</sup>) nas amostras analisadas por FRX**

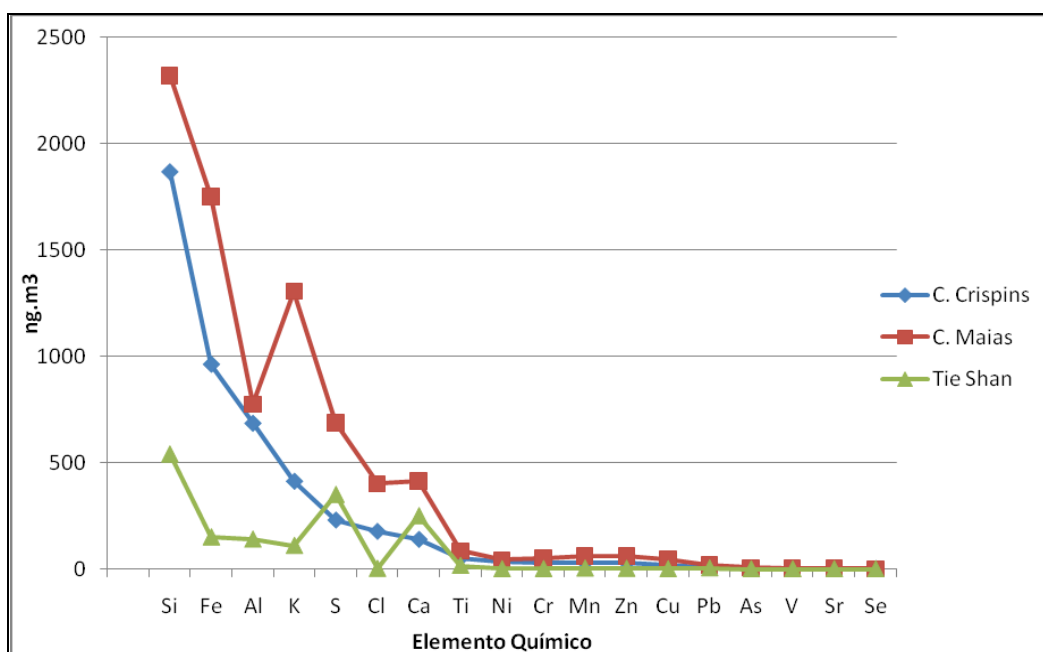
Elemento	C. Crispins*	C. Maia*	Tien Shan*
Si	1867,17	2317,75	540
Fe	961,76	1749,52	150
Al	684,32	774,45	140
K	411,47	1304,25	110
S	229,00	686,60	350
Cl	175,91	400,19	1,8
Ca	138,11	412,00	250
Ti	50,76	84,97	16
Ni	35,49	43,04	0,61
Cr	30,87	51,25	1,3
Mn	29,55	61,42	3,4
Zn	28,97	59,54	2,2
Cu	19,54	45,33	0,6
Pb	9,63	19,80	4,4
As	2,55	6,52	-
V	1,66	3,34	-
Sr	1,59	3,98	-
Se	0,36	0,64	-

\* Dados obtidos de Hoornaert et al, 2004

Ainda na leitura da TABELA 12, para efeitos comparativos, foram incorporados dados de concentração elementar em amostras obtidas na região das Montanhas de Tien Shan (Cazaquistão), onde HOORNAERT *et al.* 2004, estudam os efeitos da poluição atmosférica por aerossóis em uma área remota, de extrema dificuldade de acesso e sem industrialização e urbanização próximos, visando estudar as circunstâncias de ocorrência natural (nível de *background*) de aerossóis da região. Mesmo para aquela região, elementos como S, Pb, Zn, Cl, Br, Cr, Ni e Cu foram detectados pelos equipamentos, e interpretados como elementos associados a emissões antropogênicas, transportadas por longas distâncias, durante o inverno, com o deslocamento de grandes massas de ar.

Na FIGURA 32 apresenta-se o gráfico da distribuição dos elementos

químicos e suas concentrações, bem como um comparativo das amostras de aerossóis de Piên x Tie Shan, obviamente este último com concentrações bem menores em relação a Piên. Pode-se observar também um pequeno aumento da concentração média de todos os elementos presentes nas amostras de Campina dos Maias, em relação às amostras de Campina dos Crispins. Tal fato pode estar relacionado à presença de uma pedreira em atividade próximo ao ponto de coleta, contribuindo para o incremento de material particulado presente na região.



**FIGURA 32 – Concentração elementar média nas amostras de Campina dos Crispins x Campina dos Maias**

### 6.5.1 Fator de Enriquecimento

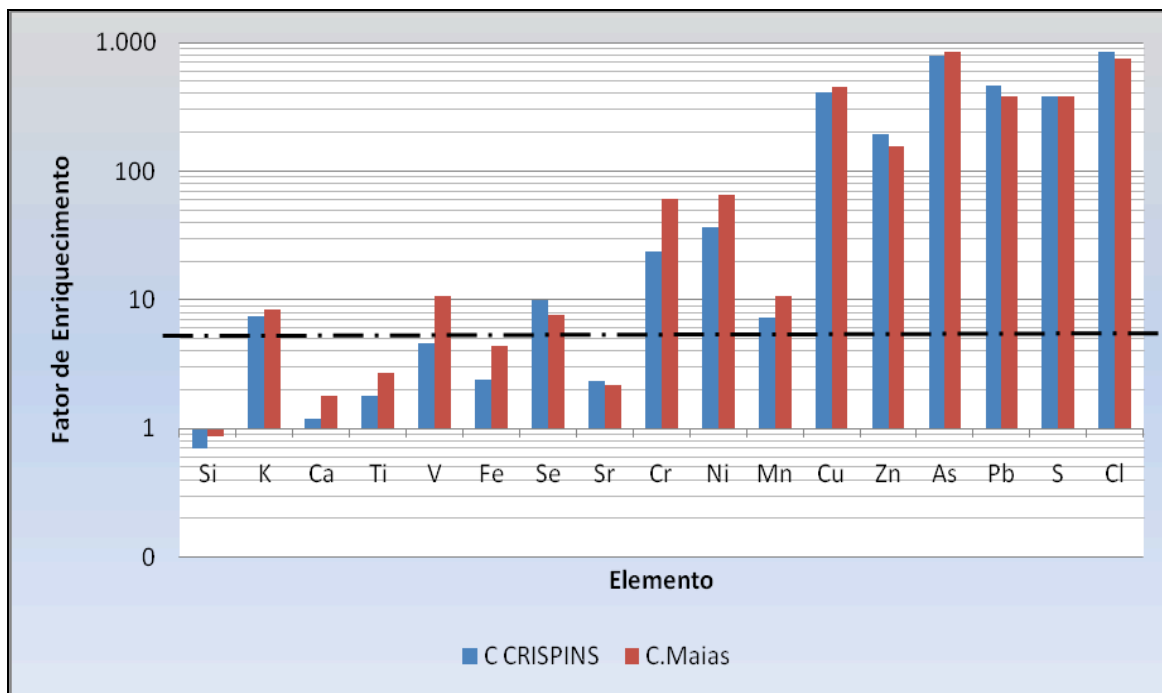
O Fator de Enriquecimento (FE) é uma ferramenta utilizada nos estudos que envolvem a análise elementar de aerossóis atmosféricos. Calcula-se o FE a partir da concentração encontrada de um elemento no aerossol, relacionando-o com um padrão de concentração já estabelecido para esse elemento na crosta terrestre (HOORNAERT *et al.* 2004). O resultado representa a proporcionalidade entre o que é esperado na crosta terrestre com o que foi encontrado na amostra coletada daquele elemento, podendo-se assim, diferenciar se um elemento é de fonte natural ou antropogênica

(MAENHAUT et al., 1989, *apud* HOORNAERT et al., 2004). O cálculo é feito com a seguinte equação:

$$EF_{CROSTA}(X) = (C_X / C_{REF})_{aerossol} / (C_X / C_{REF})_{crosta}$$

Onde  $C_X$  é a concentração de um elemento específico no material particulado (aerossol) ou na crosta terrestre e  $C_{REF}$  é a concentração de um elemento de referência no aerossol ou na crosta. Conforme o trabalho de HOORNAERT *et al.* 2004, dados de concentração média dos elementos na crosta terrestre foi baseado em MASON (1966), tendo como elemento padrão de referência o Al. Assim, para o elemento Al o resultado do FE será igual a 1. Valores próximos de 1,0 são considerados de fonte natural. Devido possíveis incrementos regionais, valores de FE até 4,0 são considerados normais e correspondem a concentração esperada (natural) daquele elemento naquela região. Valores maiores que 4,0 são considerados enriquecidos. De acordo com DUCE *et al.*, 1976, *apud* HOORNAERT *et al.* 2004), quanto maiores os valores, “mais enriquecido” está aquele elemento naquele ambiente, podendo estar os mesmos associados a fontes antropogênicas.

A FIGURA 33 apresenta a média dos valores de FE (Fator de Enriquecimento) relativos ao elemento Al, calculados para os outros 17 elementos.



**FIGURA 33 – Fator de Enriquecimento no solo dos Elementos Químicos nas amostras de Campina dos Crispins e Campina dos Maías, referenciados ao Elemento Al**

Elementos com concentrações acima de 4,0 (escala na base Log10), de acordo com a metodologia utilizada, estão enriquecidos no solo daquela região: K, V, Se, Cr, Ni, Mn, Cu, Zn, As, Pb, S e Cl. Alguns desses elementos como Ni e Cr, podem ter origem como elementos traços nos minerais, comumente associados a rochas ultramáficas, o K pode estar associado aos granitos. Os demais elementos podem estar associados a outras litologias presentes na região.

## 6.6 ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO (MP) INDIVIDUAL

A coleta do material particulado individual, através de um equipamento inercial em cascata, do tipo *May impactor*, em diferentes frações de tamanho, de 0.25-2.0  $\mu\text{m}$  (fração fina) e de 2.0-8.0  $\mu\text{m}$  (fração grossa) em 6 amostras, resultou na análise média de 700 partículas por amostra e um total de 4.931 partículas. O material coletado foi analisado individualmente por Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada a uma microsonda (MEV-EDS). Os espectros obtidos foram processados pelo software AXIL (VAN ESPEN et al.,

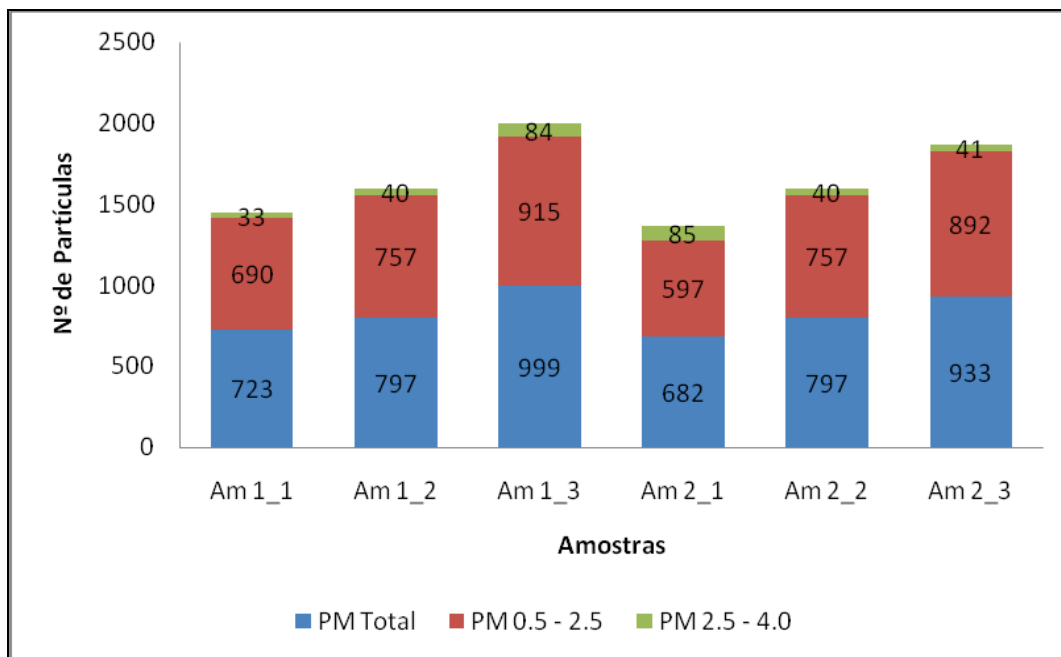
1986 *apud* AVIGO, 2008) e os cálculos quantitativos da composição das partículas individuais foram feitos pelo método baseado nas simulações interativas de Monte Carlo (RO et al., 2003). A interpretação dos dados foi feita através da análise hierárquica dos grupamentos (clusters) pelo Integrated Data Analysis System – IDAS (BONDARENKO et al., 1996).

#### 6.6.1 Análise dos Agrupamentos ( *Clusters* )

Devido a enorme quantidade de partículas encontradas nas amostras, foi realizada uma hierarquização dos dados, em grupos ou “clusters”. A análise destes grupos levou à identificação dos diferentes tipos de partículas presentes nas amostras, assim como a sua abundância relativa (%). As partículas foram agrupadas baseando-se nas similaridades de suas composições. Para isso foi utilizado um programa de computador chamando “Elementary”, que contém a interpretação dos dados de cada amostra individual baseando-se no sistema “Integrated Data Analysis System” (IDAS).

Deste modo, para cada amostra foram obtidos diferentes grupos de partículas de composições similares, assim como a porcentagem que cada um destes grupos tinha na amostra. Os principais grupos ou “clusters” encontrados foram os compostos por partículas ricas em silício e magnésio, os compostos por partículas ricas em enxofre; os compostos por partículas orgânicas, que possuem quantidades significativas de C e O; e a fuligem, que consiste principalmente do carbono negro, e tem em sua composição 70% ou mais de carbono.

Na FIGURA 34 apresenta-se o tamanho médio de cada partícula analisada.



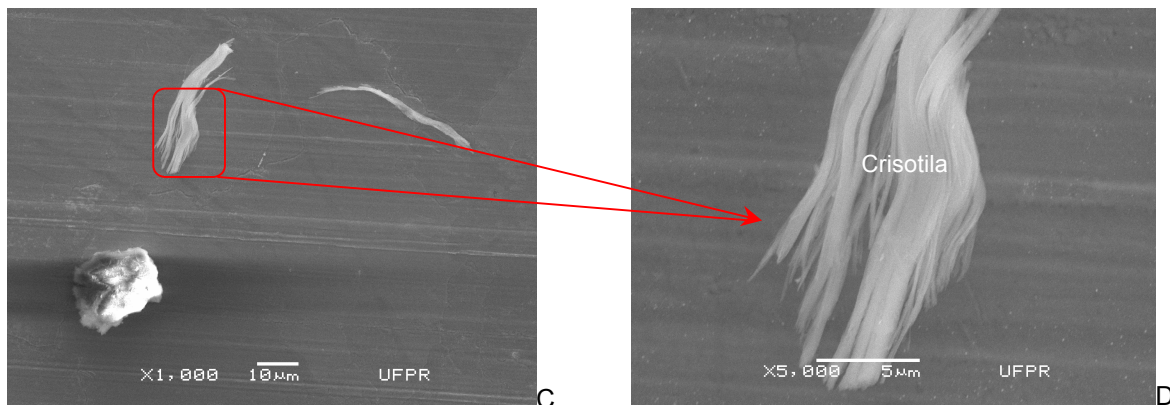
**FIGURA 34 – Número total de partículas por amostra e a distribuição por tamanho**

Na TABELA 16 são apresentadas a abundância relativa dos elementos químicos agrupados nos “clusters” e o sumário do número total de partículas e a sua distribuição nos intervalos de tamanho de interesse.

**TABELA 16 – Abundância de tipos de partículas obtidas pelo amostrador *May Impactor* na região de Piên**

Amostra	Tam. Part. (µm)	Abundância Relativa das Partículas Obtidas (Combinação em Grupos Químicos)													
		% do Cluster													
		Biogênico	MgSiOx	Fuligem	Poeira Solo	N-rico	CaMgSiO	Fe-rich	Cu-rico	orgânico	S-rico	Cu-Cl Ox	AlSi	NaMgSiOx	MgSiFe
Am 1_1	0.5 - 2.5	19,42	13,91	22,17	28,99	10,00	3,48	1,59	0,43	0	0	0	0	0	0
	2.5 - 4.0	33,33	12,12	12,12	21,21	9,09	9,09	0,00	3,03	0	0	0	0	0	0
Am 1_2	0.5 - 2.5	20,87	12,29	22,85	34,21	0	0	1,85	0,40	7,53	0	0	0	0	0
	2.5 - 4.0	37,50	7,50	12,50	30,00	0	0	0,00	5,00	7,50	0	0	0	0	0
Am 1_3	0.5 - 2.5	49,62	10,49	0	26,56	0	0	1,97	0	0	10,27	1,09	0	0	0
	2.5 - 4.0	46,43	3,57	0	32,14	0	0	1,19	0	0	15,48	1,19	0	0	0
Am 2_1	0.5 - 2.5	3,85	0	19,93	0	8,54	0	0	0	0	47,07	0	16,75	3,85	0
	2.5 - 4.0	2,35	0	15,29	0	1,18	0	0	0	0	34,12	0	43,53	3,53	0
Am 2_2	0.5 - 2.5	0,40	14,13	14,13	0	16,91	0	0	0	0	7,53	0	37,25	0	9,64
	2.5 - 4.0	5,00	10,00	7,50	0	12,50	0	0	0	0	7,50	0	42,50	0	15,00
Am 2_3	0.5 - 2.5	29,04	8,63	14,24	28,70	0	0	2,80	4,15	0	12,44	0	0	0	0
	2.5 - 4.0	36,59	14,63	9,76	17,07	0	0	2,44	0,00	0	19,51	0	0	0	0

O estudo por MEV do material particulado individual mostra a presença de minerais fibrosos na fração respirável do pó presente nas estradas de Piên, conforme apresentados nas FIGURAS 35 e 36.

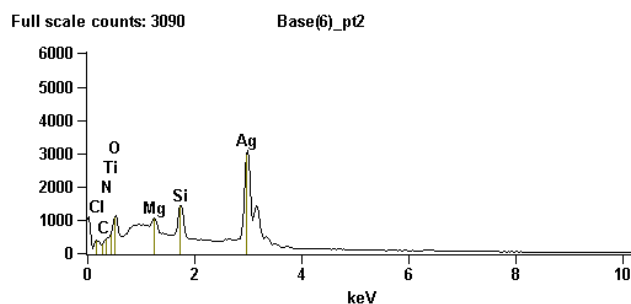
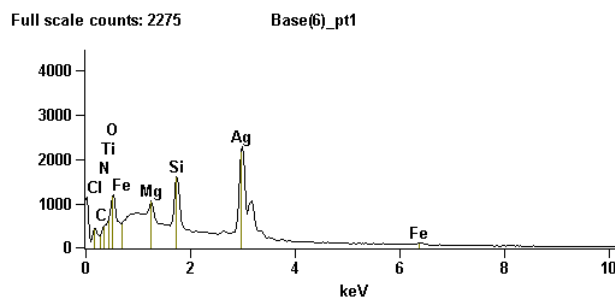
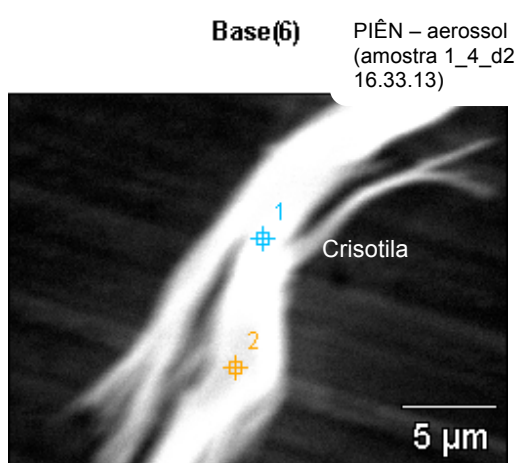


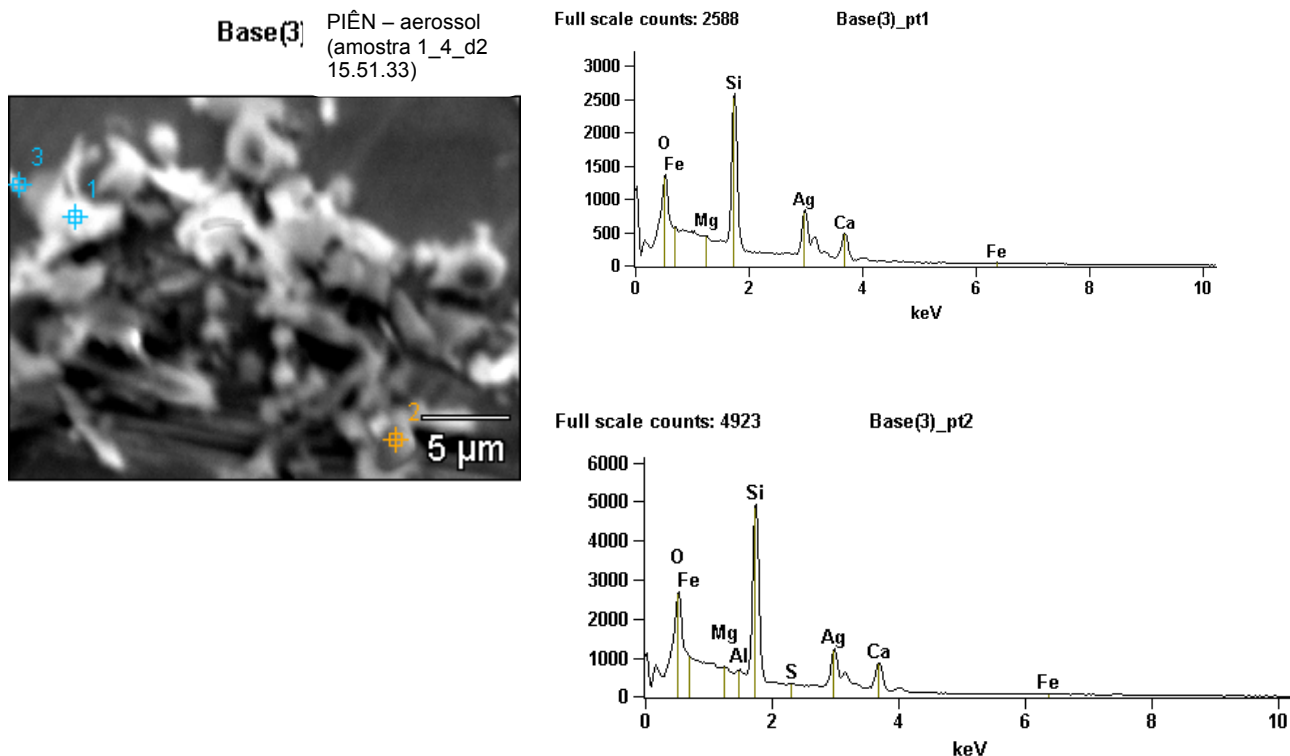
C – Morfologia das partículas de aerossóis presentes na amostra - aumento 1.000x

D – Aumento de 5000x em partícula com morfologia microfibrilar – compatível com crisotila

**FIGURA 35 – Partículas de aerossóis (materiais particulados) analisados em MEV - identificação do mineral de crisotila**

Os picos de difração são compatíveis com a composição elementar da crisotila Si-O-Mg. Outros elementos ocorrem como microgrãos associados à crisotila, de composições diversas.





**FIGURA 36 – Resultados do MEV/EDS – amostras de aerossóis da rede viária de Piên**

É importante destacar o fato de que as coletas de material particulado foram realizadas no mês de janeiro, historicamente o mês mais chuvoso do ano, segundo dados do IAPAR, apresentados na figura 5 (capítulo 4 Aspectos geográficos da área de estudo). Mesmo em tal situação foram encontradas partículas de aerossóis compatíveis com a crisotila, o que transmite a idéia de que nos meses de menores precipitações pluviométricas (época de estiagem – junho a agosto) a poeira contendo minerais de amianto pode aumentar.

Tendo como referência os dados meteorológicos da estação meteorológica da Lapa, o sentido predominante de ventos da região é de leste, ou seja, a média de concentração de poeira, tal como apresentado no presente estudo, tende a ser levada em direção à sede de município, onde se concentra a população urbana.

## 6.7 SIMULAÇÃO DE DEPOSIÇÃO PULMONAR

A partir da composição, abundância e geometria das partículas foi realizado um cálculo de simulação de deposição pulmonar das partículas de

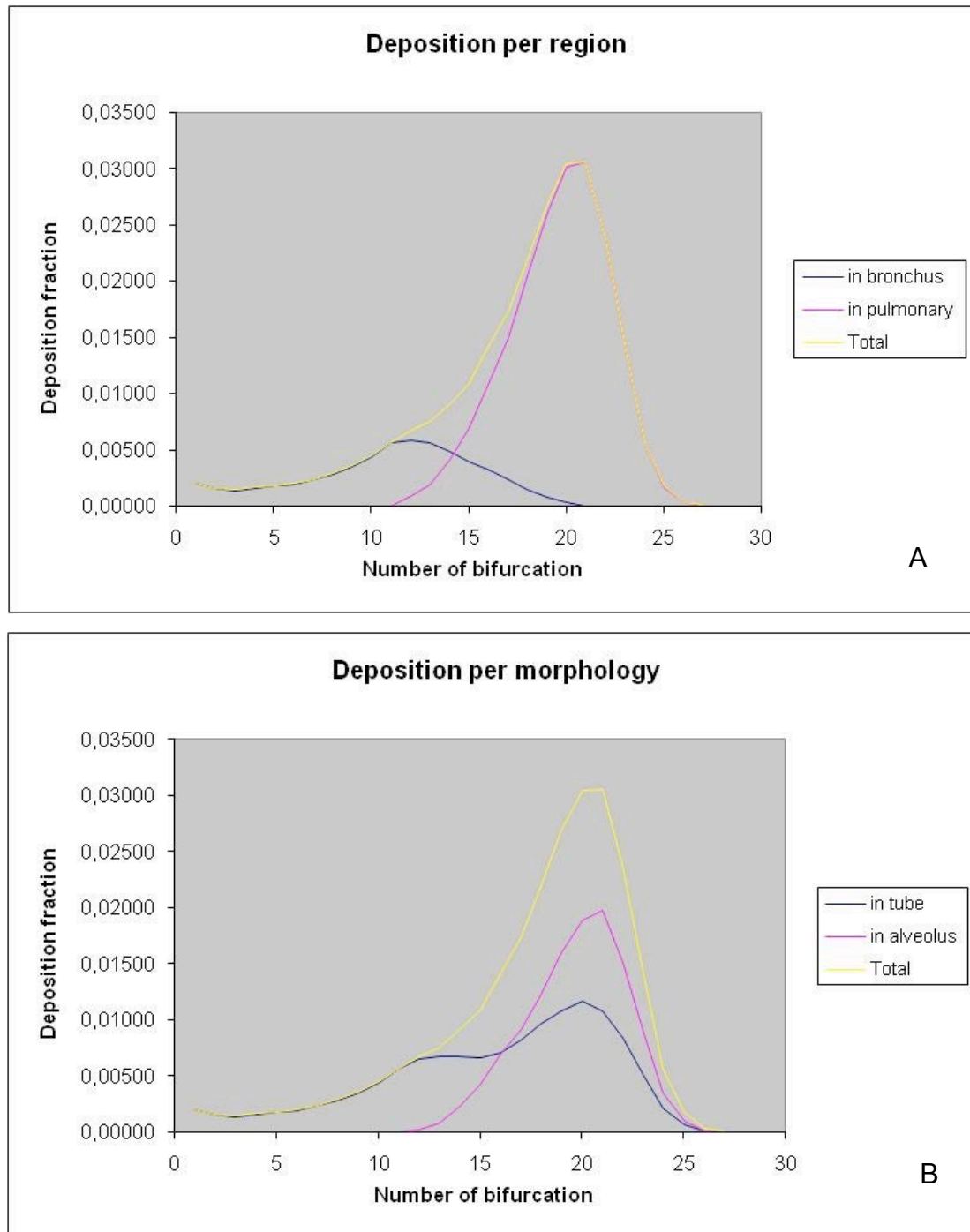
interesse (agrupamento MgOx), compatível com os minerais de serpentina fibrosos. Foi utilizado o modelo aleatório de deposição pulmonar de BERGMANN *et al.*, 1998 . Neste modelo, os parâmetros geométricos das vias aéreas humanas ao longo do trajeto de uma partícula inalada foram selecionados de modo randomizado, partindo-se de medidas funcionais de distribuição desses parâmetros, considerando que as probabilidades de deposição são calculadas por equações específicas. Os parâmetros importantes para o cálculo da deposição são o diâmetro e a densidade das partículas, o volume aspirado, a duração da respiração e a seleção de respiração bucal ou nasal.

As condições de respiração utilizadas neste trabalho foram: 750 cm<sup>3</sup> de volume em ciclo de 5 segundos, correspondendo às condições de respiração nasal de repouso em uma pessoa adulta. A TABELA 14 exhibe as porcentagens de deposição pulmonar de MgSiOx nas duas principais partes do aparelho respiratório: região extratorácica e pulmonar sob condições de respiração em repouso de uma pessoa adulta.

O programa ainda calculou a subsequente eliminação da partícula das vias aéreas acinares e brônquicas. O resultado forneceu informações de probabilidade de deposição nos diversos níveis das vias aéreas, como extratorácico, traqueobrônquica, acinar e alveolar.

As FIGURAS 37 A e B abaixo mostram que a deposição total é uma função do número de bifurcação e sua divisão entre as duas regiões do pulmão: a primeira é a traqueobrônquica e a segunda, a parte pulmonar (o primeiro é a via condutora de ar e a segunda é onde ocorrem as trocas gasosas). Número de bifurcação corresponde ao número de ramificações existentes a partir da primeira ramificação dos alvéolos pulmonares. A partir da ramificação número 17, o diâmetro tubular torna-se tão estreito que somente as menores partículas inaláveis se depositam na região extratorácica.

A FIGURA 37A ilustra as taxas de deposição em diferentes regiões do pulmão, como uma função do número de bifurcação das vias aéreas (1-28). O zero (0) corresponde a parte extratorácica que envolve o nariz, a boca, laringe e a faringe.



**FIGURA 37 – Deposição das partículas (A) por número de bifurcação da região pulmonar e (B) pela morfologia das estruturas alveolares**

Na segunda figura (37B) mostra a divisão morfológica pulmonar: estruturas tubulares e alveolares. Podem ocorrer trocas gasosas na região nas estruturas tubulares, bem como na parte da região pulmonar.

No final pode-se observar a deposição total nas diferentes regiões

(extratorácica, traqueobrônquica e pulmonar) e em diferentes estruturas (tubos e alvéolos ), bem como a deposição pulmonar total e da deposição total no corpo inteiro (com uma parte extratorácica.). A maioria das partículas foram depositadas na região pulmonar mais sensível. Quanto maior a densidade, maiores são as taxas de deposição, especialmente na região extratorácica e traqueobrônquica. A probabilidade de ocorrência de câncer pleural é maior quando a deposição ocorre na região extratorácica.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Considerando os dados obtidos e outros parâmetros disponíveis para o presente trabalho, as seguintes conclusões são expressas abaixo:

- Quanto à identificação mineralógica: o mineral crisotila, comercialmente denominado por asbesto ou amianto foi identificado nas estradas secundárias da região de Piên, em todas as frações analisadas, incluindo a fração respirável (< que 2,5 µm);
- Quanto à aplicação das técnicas analíticas para identificação do mineral: a combinação das técnicas de difração de raios X, fluorescência de raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura / EDS, apoiadas na petrografia meso e microscópica, foram suficientes para a identificação do mineral em estudo;
- Quanto ao método de preparação de amostras: para análises de Microscopia Eletrônica de Varredura, sugere-se em trabalhos futuros, a separação manual das fibras com auxílio de uma pinça fina, entre a fase de moagem e de montagem no porta-amostra, visando separar bem as fibras, melhorando a visibilidade da morfologia do mineral no microscópio;
- Quanto à exploração de rochas ultramáficas: o material é lavrado há mais de 100 anos, conforme relatos históricos de ocupação da região e é usado como material de revestimento primário, por possuir propriedades físicas, mineralógicas e químicas favoráveis para a utilização como revestimento de estradas, além de se prever outras aplicações para o material;

- Quanto à exposição ambiental: os dados obtidos não foram conclusivos quanto à influência da poeira contendo crisotila afetando a saúde da população urbana e rural de Piên, uma vez que a pesquisa não teve esse alcance. No entanto os riscos para a população local, da exposição às fibras provenientes de fontes naturais não podem ser consideradas desprezíveis, mesmo com a limitação inerente do tempo de amostragem. Sugere-se a continuidade dos estudos, com novas medições de campo para este fim, visando ampla representatividade da amostragem, bem controlada quanto às condições micrometeorológicas da área, para avaliar o aspecto da poluição atmosférica gerada pela utilização de rochas ultramáficas como revestimento das estradas locais na saúde e bem estar da população local. Adicionalmente é importante incorporar a avaliação clínica da população e de trabalhadores locais, por exemplo das empresas de mineração existentes, com respeito a exames pneumológicos, com vistas a identificar a influência da poeira contendo minerais de amianto no organismos desse público-alvo e determinar se existe uma relação de causa e efeito da ocorrência de doenças respiratórias ocorrentes na população local.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALGRANTI, E. - As doenças ligadas à exposição ao asbesto. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 14(55):15-6, 1986.
- ALGRANTI, E. - Riscos à saúde causados pelo asbesto e o controle médico. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 16(63):10-1, 1988.
- ALGRANTI, E.; DE CAPITANI, E.M. & BAGATIN, E. - Sistema Respiratório. In: MENDES, R. (Ed.) - Patologia do Trabalho. Rio de Janeiro, Atheneu, 1995. p. 89-137.
- ALVES, R. Avaliação da qualidade do ar em escolas fundamentais da cidade de Colombo através de material particulado em suspensão e sua relação com a indústria local da cal. Curitiba, 2008 (Dissertação de Mestrado, Universidade Positivo).
- ANALYTICAL CHEMISTRY. Use of X-ray Powder Diffraction for Determining Low Levels of Chrysotile Asbestos in Gypsum-Based Bulk Materials: Sample Preparation. Vol. 68, No. 18, September 15, 1996.
- ARCURI, A.S.A. & CARDOSO, L.M.N. - Limite de tolerância? Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 19 (74):99-106, 1991.
- ASBESTOS INSTITUTE - Asbestos-free does not mean risk-free. The Asbestos Institute Newsletter, Edition 1995-2 (Disponível na Internet)
- ASBESTOS INSTITUTE - Politics, not science, basis for France's ban of asbestos. The Asbestos Institute Newsletter, Edition 1997-1 (Disponível na Internet)
- AVIGO JUNIOR, D. Qualidade do Ar em Escolas de Curitiba. Curitiba, 2008 (Dissertação de Mestrado, Universidade Positivo)
- BERGMANN, R.; HOFMANN, W.; FLEMING, J.S. Simulation of three dimensional particle deposition patterns. J. AEROSOL SCI., V.29, P.947. 1998.

- BERNSTEIN, D.M.; ROGERS, R.A. & THEVENAZ, P. - The Inhalation Biopersistence and Morphologic Lung Disposition of Pure Chrysotile Asbestos in Rats. [Resumo de apresentação feita em São Paulo, 1999]
- BERNSTEIN, D.M.; HOSKINS, J.A. The health effects of chrysotile: current perspective based upon recent data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 45 (2006) 252-264.
- BEZERRA, O. M. P.A; DIAS, E.C.; GALVÃO, M.A.M.; CARNEIRO, A.P.S. Talcoose entre artesãos em pedra-sabão em uma localidade rural do Município de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 19(6):1751-1759, nov-dez, 2003.
- BIONDI, J.C. 1986. Asbestos - Avaliação Estatístico-Econômica da Oportunidade de Investimento em Prospecção. *Minerais do Paraná S/A. Relatório Técnico*. Curitiba.
- BONCIANI, M. - O asbesto no Brasil. In: BUSCHINELLI, J.T.P.; ROCHA, L.E. & RIGOTTO, R.M. (Eds.) - *Isto é Trabalho de Gente? Vida, Doença e Trabalho no Brasil*. São Paulo, Vozes, 1993. p. 550-63.
- BONDARENKO, L.; TREIGER, B.; VAN GRIEKEN, R.; VAN ESPEN, P. I. 1996. A Windows based software package for cluster analysis. *Spectrochim. Acta* n.51 p. 441-456, 1996
- BRASIL. Ministério do Trabalho - Limites de Tolerância para Poeiras Minerais - Asbestos. Portaria no. 1, de 28/5/1991, altera o Anexo no. 12, da Norma Regulamentadora no. 15, que institui os "limites de tolerância para poeiras minerais -asbestos."
- BRASIL. Lei no. 9.055, de 1o de junho de 1995. Disciplina extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte do asbesto/amianto e dos produtos que o contenham, bem como das fibras naturais ou artificiais, de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 2/6/1995.

- BRASIL. Decreto no. 2.350, de 15 de outubro de 1997. Regulamenta a Lei no. 9.055, de 1o. de junho de 1995, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 16/10/1997.
- CASSOLA, M.S. - Características primárias do amianto crisotila de Minaçu, Goiás, e sua influência na qualidade do produto final. São Paulo, 1993. 151 p. [Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP]
- CASTRO, N. A.; REIS NETO, J.M. 1993 (inédito). Descrições petrográficas das rochas básicas e ultrabásicas da Região de Piên (sudeste do Estado do Paraná, próximo ao limite com o Estado de Santa Catarina). Relatório Final de Iniciação Científica. 86 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução no. 7, de 16.09.87 do CONAMA. Diário Oficial da União, 22 de outubro de 1987.
- COOKE, W.E. - Fibrosis of the lungs due to the inhalation of asbestos dust. British Medical Journal, 11:1024-5, 1927.
- CPRM A Geobank Geologia, <http://geobank.sa.cprm.gov.br/> acesso em 10/07/2010
- CPRM B Geobank Geodiversidade, <http://geobank.sa.cprm.gov.br/> acesso em 10/07/2010
- CROWSON, P. - Minerals Handbook 1996-97: Statistics & Analyses of the World's Minerals Industry. New York, Stockton Press, 1996. p. 35-41
- CULLEM, M.R. & BALOYI, R.S. – Chrysotile asbestos and health in Zimbabwe: I. Analysis of miners and millers compensated for asbestos-related diseases since independence (1980). American Journal of Industrial Medicine, 19:161-9, 1991.
- DE CAPITANI, E.M. - Alterações pulmonares e pleurais causadas pela exposição ao asbestos: uma revisão. Jornal de Pneumologia, 20(4, no. esp.):207-18, 1994.
- DE CAPITANI, E.M. et al. - Mesotelioma maligno de pleura com associação etiológica a asbestos: a propósito de três casos clínicos. Revista da Associação Médica Brasileira, 43(3):265-72, 1997.

- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. ZUSMANN, J. Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução. Fundação Calouste Gulbenkian. 2ª edição. 2000.
- DEMENT, J.M.; BROWN, D.P. & OKUN, A – Follow-up study of chrysotile asbestos textile workers: Cohort mortality and case study analyses. American Journal of Industrial Medicine, 26:431-7, 1994.
- FERNANDEZ Jr., M.N. - Amianto - Legislação, Usos e Importância Sócio-Econômica. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1999. 12 p. [Resumo da palestra proferida na Conferência Internacional sobre Amianto, São Paulo, 1/7/99).
- FERREIRA, J.C.V. 1996. O Paraná e seus municípios. Maringá: Memória Brasileira, 518 p. (citado em <http://pt.wikipedia.org>)
- FORNEROA, E. BELLUSOB, E., CAPELLAB, S., BELLISD, D. 2009. Environmental exposure to asbestos and other inorganic fibres using animal lung model. Science of the environment 407 (2009) 1010 – 1018.
- FRANK, A.L. – Global problems from exposure to asbestos. Environmental Health Perspectives Supplements, 101 (Suppl.3):165-7, 1993.
- GIANNASI, F. - A legislação nacional e internacional sobre o asbesto. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 16(63):26-31, 1988.
- GIANNASI, F. - O amianto no Brasil: Uso controlado ou banimento? Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 22(83):17-24, 1994.
- GIANNASI, F. - Mal necessário? A construção de contra-poderes no país e a experiência dos expostos. Proteção, 57:58-61, 1996.
- GIANNASI, F. et al. - As condições de utilização do asbesto nas indústrias de fibrocimento do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 16(63):41-50, 1988.
- GIRARDI, V.A.V. 1974. Petrologia do Complexo Básico- Ultrabásico de Piên, PR. (Tese de Livre-docência – Universidade de São Paulo);

- GOMES, C.S.F. et al. Minerals and Clay minerals in medical geology. Applied Clay Science 36 (2007) 4-21. Universidade de Aveiro, Portugal;
- HARARA, O. M. M. 1996. Análise estrutural, petrológica e geocronológica dos litotipos da região de Pien (PR) e adjacências”. (Mestrado em Geociências - Geoquímica e Geotectônica - Universidade de São Paulo);
- HARARA, O. M. M . 2001. Mapeamento e Investigação Petrológica e Geocronológica dos Litotipos da Região do Alto Rio Negro (PR-SC): Um exemplo de sucessivas e distintas atividades magmáticas durante o Neoproterozóico III. (Doutorado em Geociências - Geoquímica e Geotectônica - Universidade de São Paulo);
- HOORNAERT, S., GODOI, R.H.M. GRIEKEN, R.V.2004. Elemental and single particle aerosol characterisation at a background station in Kazakhstan. Journal of Atmospheric Chemistry 48: 301-315.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [www. ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- KLAASSEN, C.D. – Casarett & Doull’s Toxicology – McGraw-Hill, 2001
- KOSHIRO, O. Saúde do Trabalhador no SUS - Secretaria de Estado de Saúde de São Paulo. Publicação do Núcleo da Saúde do Trabalhador da Coordenadoria de Controle de Doenças, ano 3 número 7 abril de 2007 (INCA – Instituto Nacional do Câncer, site: [http://www.inca.gov.br/conteudo\\_view.asp?ID=15](http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=15)
- MACHIAVELLI, A. 1991. Os granitóides deformados da região de Piên (PR): um provável arco magmático do Proterozóico Superior. (Mestrado em Geociências – Geoquímica e Geotectônica – Universidade de São Paulo).
- MEEKER, G. 2008. Statement of Gregory P. Meeker, Geologist U.S. Geological Survey U.S. Department of the Interior Before the Committee on Energy and Commerce Subcommittee on Environment and Hazardous Materials U.S. House of representatives february 28, 2008)

([www.usgs.gov/congressional/hearings/.../meeker\\_28march08.doc](http://www.usgs.gov/congressional/hearings/.../meeker_28march08.doc),  
acessado em 16/04/2009) .

- MELLINI, M. 1982. The crystal structure of lizardite 1T: hydrogen bonds and polytypism. *American Mineralogist*, Volume 67, pags. 587-698.
- MENDES, R. 2001. Asbesto (amianto) e doença: revisão do conhecimento científico e fundamentação para uma urgente mudança da atual política brasileira sobre a questão. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 17(1):7-29, jan-fev, 2001.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná, [www.mineropar.com.br](http://www.mineropar.com.br), acessado em janeiro de 2010.
- MOSSMAN, B.T. et al. – Asbestos: Scientific developments and implications for public policy. *Science*, 247:294-301, 1990.
- NOGUEIRA, D.P. et al. - Asbestose no Brasil: um risco ignorado. *Revista de Saúde Pública*, 9:427-32, 1975.
- NUNES, J.S.M. - Importância econômico-social e estratégica do amianto no contexto brasileiro. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 16(63):34-7, 1988.
- OLIVEIRA, M.C.B. - Caracterização tecnológica do minério de crisotila da Mina de Cana Brava, GO. São Paulo, 1996. 250 p. [Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da USP]
- OLIVEIRA, M.C..B. - A crisotila não contaminada de Minaçu, Goiás, Brasil. São Paulo, 1999. 3 p. [Mimeografado] ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL TRABAJO - Convenio sobre utilización del asbesto en condiciones de seguridad (Convenio 162). Ginebra, OIT, 1986a.
- PAN, X., DAY, H.W., WANG, W., BECKETT, L. A., SCHENKER M.B. 2005. Residential Proximity to Naturally Occurring Asbestos and Mesothelioma Risk in California. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol 172.

- PETERS, G.A. & PETERS, B.J. - Asbestos Substitutes. In: PETERS, G.A. & PETERS, B.J. (Eds.) - Sourcebook on Asbestos Diseases: Medical, Legal and Engineering Aspects. Vol.2. New York, Garland Law Publishing, 1986. p. 175-89.
- PETRELLI M., Poli G., Perugini D. & Peccerillo A. (2005) Petrograph: a New Software to Visualize, Model, and Present Geochemical Data in Igneous Petrology, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Vol. 6, Q07011, DOI 10.1029/2005GC000932, 26 July 2005
- REBELO, A. M. de. Processos supergênicos na distribuição de radônio em paisagens tropicais úmidas. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2000. (Tese de Doutorado em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná).
- ROCCA, R.R. 2008. Estudo comparativo entre as propriedades dos centros luminescentes e paramagnéticos da Antigorita e da Lizardita do grupo da serpentina  $Mg_3 [Si_2O_5](OH)_4$ . Universidade de São Paulo, Instituto de Física, 2008 (Dissertação de Mestrado).
- RODRIGUES, G.L. Poeira e ruído na produção de brita a partir de basalto e gnaisse nas regiões de Londrina e Curitiba, Paraná: incidência sobre trabalhadores e meio ambiente. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004. (Tese de Doutorado em Geologia, área de concentração Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná).
- ROLLEMBERG DOS SANTOS, M.I.R. & MENDES, R. - Doenças profissionais causadas por poeiras. IV. Asbesto. In: MENDES, R. (Ed.) - Medicina do Trabalho - Doenças Profissionais. São Paulo, Sarvier, 1980. p. 247-59.
- SCLIAR, C. - Amianto: Mineral Mágico ou Maldito? *Ecologia Humana e Disputa Político-Econômica*. Belo Horizonte, CDI, 1998.
- SCLIAR, C. - Políticas Públicas para a Exposição aos Minerais Amiantíferos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2000

(Tese de Doutorado em Geociências, Área de Administração e Política de Recursos Minerais).

SILVA, R.S.V; Castilhos Z.C.; Araujo, P.C. 2009. Uso de Geotecnologias na Avaliação de Risco Ambiental na Lavra e no Artesanato em Pedra Sabão na Comunidade de Mata dos Palmitos em Ouro Preto MG. XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Gramado - RS, Setembro/Outubro 2009.

SWAYZE, G. A., CLARK R.N., SUTLEY S.J., HOEFEN T.M., PLUMLEE G.S., MEEKER G.P., BROWNFIELD I.K., LIVO K.E., MORATH. L.C. Spectroscopic and X-Ray Diffraction Analyses of Asbestos in the World Trade Center Dust. U. S. Geological Survey, Denver, Colorado. *In* Urban Aerosols and Their Impact: Lessons Learned from the World Trade Center Tragedy, J.S. Gaffney and N.A. Marley (eds.), American Chemical Society Symposium Series 919, Oxford University Press, p. 40-65, 2006.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - Airborne asbestos health assessment update. EPA/600/8-84/00F, Washington, DC, 1986. (apud NICHOLSON, 2000).

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR - Minerals Yearbook. Area Reports: International 1996. Mineral Industries of Latin America and Canada. Volume III. Washington, DC, United States Government Printing Office, 1998. p. 37 e 1996.

VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R., CARVALHO, S.G.; SILVA, A.C. 2006. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentizadas no sudoeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 30:523-541.