



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE CONDENSADO DO PULMÃO
DE ARTESÃOS DE PEDRA-SABÃO DA REGIÃO DE OURO PRETO - MG**

Carlos Cesar de Godoi Júnior

MONOGRAFIA nº 505

Ouro Preto, janeiro de 2024

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE CONDENSADO
DO PULMÃO DE ARTESÃOS DE PEDRA-SABÃO DA
REGIÃO DE OURO PRETO - MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

Vice-Chefe

Prof. Dr. Leonardo E. da Silva Gonçalves

MONOGRAFIA

Nº 505

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE CONDENSADO DO PULMÃO DE ARTESÃOS DE PEDRA-SABÃO DA REGIÃO DE OURO PRETO - MG

Carlos Cesar de Godoi Júnior

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Cristiane Castro Gonçalves

Coorientadores

Ms. Débora Vasconcelos

Dr.^a Olívia Bezerra

Prof. Dr.^a Adivane T. Costa

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2023/2.

OURO PRETO

2024

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G588c Godoi Junior, Carlos Cesar de.
Caracterização mineralógica de condensado do pulmão de artesãos de pedra-sabão da região de Ouro Preto - MG. [manuscrito] / Carlos Cesar de Godoi Junior. - 2024.
24 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Paula de Castro Gonçalves.
Coorientadores: Profa. Dra. Adivane Terezinha Costa, Ma. Débora Vasconcelos de Oliveira, Dra. Olívia Maria de Paula Alves Bezerra.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia médica. 2. Microscopia eletrônica de varredura. 3. Pedra-sabão. 4. Esteatito. 5. Pulmões - Doenças. I. Gonçalves, Cristiane Paula de Castro. II. Bezerra, Olívia Maria de Paula Alves. III. Costa, Adivane Terezinha. IV. Oliveira, Débora Vasconcelos de. V. Universidade Federal de Ouro Preto. VI. Título.

CDU 551:614.87

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Carlos Cesar de Godoi Júnior

Caracterização mineralógica de condensado do pulmão de artesãos de pedra-sabão da região de Ouro Preto - MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 20 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Professora - Cristiane Castro Gonçalves - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Professor - Edison Tazava - Universidade Federal de Ouro Preto
Professor - Lucas Pereira Leão - Universidade Federal de Ouro Preto

Cristiane Castro Gonçalves, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 28/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Paula de Castro Goncalves, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/02/2024, às 23:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0675560** e o código CRC **1E1495FC**.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por todas as infinitas oportunidades que tive durante meus longos anos de UFOP. Agradeço também aos meus pais e minha família por todo o apoio irrestrito, sem nunca terem desistido de mim. Obrigado aos professores, em especial Cristiane, Débora e Olívia pela oportunidade de fazer um trabalho tão importante pra comunidade. Agradeço aos amigos por todo o apoio e companheirismo em todos estes anos. Obrigado ao DEGEO, em especial aos professores Tazava e Cláudio Lana pela verdadeira amizade que construímos. Obrigado à família Artigo Quinto por ter me acolhido e, nessa linda caminhada, obrigado por serem sempre minha segunda família. Obrigado, povo brasileiro pela oportunidade de estudar em uma Instituição Federal de tanta qualidade e que me deu tantas oportunidades de crescer como cidadão, como profissional e como ser humano. Por fim, obrigado, UFOP! Por todo o ensino de excelência ao qual tive acesso. Espero um dia poder retribuir à sociedade pelo menos uma parte de tudo que me foi oferecido nesses vários anos de aprendizado. Minha eterna gratidão!

Resumo

O artesanato em pedra-sabão, designação popular do esteatito, compõe a renda familiar de muitas famílias na região de Ouro Preto - MG; sendo o trabalho desenvolvido, muitas vezes, de maneira informal, envolvendo famílias inteiras, de crianças a idosos. As oficinas são improvisadas e iniciativas que visem segurança para desenvolvimento do trabalho são mínimas ou inexistentes. Assim, o contato diário, por anos ou décadas, com a densa poeira resultante do processo de torneamento e/ou lixamento das peças leva ao desenvolvimento de sérias e crônicas doenças pulmonares. Com o intuito de monitorar o desenvolver dos casos clínicos e orientar os trabalhadores no sentido de prevenir essas doenças ou minimizar seu agravamento, a Dra. Olívia Bezerra, professora aposentada do DEMED-UFOP, monitorou por décadas um grande número de artesãos expostos por diferentes períodos de tempo e com doenças pulmonares em diferentes estágios de desenvolvimento. A partir de uma técnica não invasiva, que consiste basicamente em respirar por, mais ou menos, 15 minutos por um tubo plástico, foi possível coletar um condensado do pulmão desses trabalhadores, a partir do qual foram preparadas lâminas a fim de se analisar eventuais partículas expelidas durante a respiração. Essas lâminas foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura, o que possibilitou a visualização de uma grande variedade de partículas, por vezes com aspecto biológico, mas em sua maioria correspondentes a sólidos cristalinos. Buscou-se, então, a caracterização mineralógica desses grãos a partir das fotomicrografias e microanálises químicas geradas, a fim de se correlacionar com a composição mineralógica da rocha usada como matéria prima para o trabalho e se estabelecer relações como tipos de fases presentes e suas proporções em grupos de artesãos separados por faixa etária, tempo de exposição à poeira, se doente ou não, e estágio de desenvolvimento do quadro clínico. Esses resultados possibilitam uma melhor orientação aos trabalhadores quanto a aspectos de segurança do trabalho, mas, principalmente, melhor entender o desenvolvimento das doenças pulmonares ao correlacioná-las ao particulado estudado. Com o trabalho de descrição e análise descritiva e qualitativa desenvolvida, obtiveram-se resultados de grande relevância, tratando-se da discrepância das partículas encontradas entre o grupo de artesãos e o grupo controle, com uma quantidade muito maior de particulado sendo observada no grupo de artesãos em relação ao grupo controle. Além da média de tamanho do particulado expelidos pelos pulmões dos voluntários do artesanato também ser maior do que a dos voluntários do segundo grupo. Isto ajuda na interpretação de que estas partículas vêm sendo prejudiciais à saúde desses trabalhadores de artesanato e apresentando dados importantes para o trabalho multidisciplinar da Geologia Médica, consistida por profissionais tanto da área de Geologia, quanto da área de Medicina, possibilitando a oportunidade de precaver e remediar os problemas de saúde que são consequências deste trabalho manual.

Palavras-chave: Geologia Médica, Microscopia Eletrônica de Varredura, Pedra-sabão, Esteatito, Pulmões - Doenças.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Conjunto de figuras de localização, iniciando-se pela figura de localização do Brasil com Minas Gerais.....	3
Figura 2.1: Amostra de esteatito da maneira como ocorre na natureza.	6
Figura 2.2: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.....	7
Figura 2.3: Mapa geológico simplificado da porção meridional do Quadrilátero Ferrífero	8
Figura 2.4: Mapa geológico simplificado da porção meridional do Quadrilátero Ferrífero	9
Figura 2.5: Geometriasigmoidal das rochas encontradas em Santa Rita de Ouro Preto, sendo o esteatito representado pelo talco-granofels	10
Figura 3.1: Representação esquemática dos componentes do Microscópio Eletrônico de Varredura..	12
Figura 4.1: Histograma que mostra a frequência de ocorrência, dentre artesãos e voluntários do grupo controle, de valores médios dos tamanhos das partículas encontradas.	16
Figura 4.2: Histograma que mostra a frequência de ocorrência, dentre artesãos e voluntários do grupo controle, de particulado no condensado de seus pulmões.	16
Figura 4.3: Fotomicrografia de uma região de uma lâmina com amostra do particulado prospectado de um dos indivíduos.	18
Figura 4.4: Espectrograma de um dos pontos analisados (espectro 110, Figura 4.3) em uma das partículas encontradas em amostra de um voluntário do trabalho.	18
Figura 4.5: Fotomicrografia de uma região de uma lâmina com amostra do particulado prospectado de um dos indivíduos.	19
Figura 4.6: Espectrograma de um dos pontos analisados (espectro 110, Figura 4.5) em uma das partículas encontradas em amostra de um voluntário do trabalho.	19

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	ix
Resumo.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
SUMÁRIO.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 LOCALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO.....	2
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	5
2.1 INTRODUÇÃO.....	5
2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	6
2.3 CARACTERÍSTICAS DOS ESTEATITOS PRESENTES EM SANTA RITA DE OURO PRETO.....	10
3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	11
3.1 INTRODUÇÃO.....	11
3.2 A ESTRUTURA DO APARELHO.....	11
3.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MICROSCÓPIO.....	12
3.4 SISTEMA ACOPLADO MEV-EDS.....	13
4 RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	15
4.1 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.2 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	20
4.2.1 Média e Variabilidade dos Tamanhos das Partículas.....	20
4.2.2 Quantidade de Partículas Encontradas:.....	20
4.2.3 Presença de Talco e Quartzo:.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1.1 APRESENTAÇÃO

É comum que trabalhadores da mineração exerçam suas atividades expostos a riscos a sua saúde. Essa situação se agrava quando se trata de trabalho artesanal, ligado a atividade domiciliar, quando toda família fica exposta aos riscos inerentes ao processo de manuseio e trabalho com dado bem mineral. Nesse contexto se enquadra o artesanato de pedra-sabão da região de Ouro Preto e Mariana, que envolve famílias inteiras, de crianças a idosos, no trabalho de corte, lixamento e polimento de esteatito, popularmente conhecido como pedra-sabão. O contato diário, por décadas, com a poeira gerada pelo processo de fabricação de painéis, brinquedos e as mais variadas peças de decoração, leva ao desenvolvimento de graves doenças pulmonares. Tem-se, então, sérias questões de ordem trabalhista, cuja abordagem envolve a informação e conscientização por parte dos artesãos de princípios básicos de segurança do trabalho que devem ser adotados. É um trabalho passado de geração para geração. É importante incluir que a consciência deste público em relação a seus direitos é um fator delicado nesse meio, já que a questão social está fortemente atrelada à situação dos trabalhadores. O artesanato surge como a principal fonte de renda de várias pessoas e famílias de baixo poder aquisitivo na região e, também, em todo o Brasil. Em um país com grande disparidade secular, a renda tende a ser proporcional ao grau de escolaridade dos trabalhadores. Muitas pessoas não têm noção de estarem sendo cerceadas de seus próprios direitos. A realidade sempre foi desta forma, visto que, conforme a renda familiar é menor, a preocupação do próprio Estado com a saúde destes é menor; além do acesso ao conhecimento de seus direitos básicos à saúde ser sempre dificultado (Noronha 2005). Tudo isso tem relação direta com a questão da prevenção e da falta de acompanhamento médico periódico que poderiam permitir que os danos causados ao sistema respiratório pela poeira inalada sejam monitorados e seus efeitos remediados. A falta de consciência sobre profilaxias e medicina preventiva está atrelada a este cenário por estas pessoas estarem desamparadas de todo o acesso ao básico de informações relacionadas à saúde de suas próprias famílias (Noronha 2005).

Nesse sentido, a Dra. Olívia Bezerra, professora aposentada do DEMED-UFOP, tem desenvolvido, nas últimas décadas, um trabalho de acompanhamento desses artesãos a fim de melhor entender o desenvolvimento dessas doenças e buscar formas de prevenção das mesmas junto a esses trabalhadores. Esse trabalho vem, portanto, complementar um banco de dados já existente, referente ao condensado do pulmão de trabalhadores expostos de diferentes formas e por diferentes períodos à poeira gerada pelo processo de esculpir e polir a pedra-sabão. Busca-se, por análise de microscopia

eletrônica de varredura do condensado do pulmão dos trabalhadores, identificar o tipo de partículas inaladas ao longo do tempo, a fim de correlacionar estágios das doenças respiratórias desenvolvidas, tempo de exposição e partículas identificadas.

1.2 OBJETIVOS

Tendo como meta principal identificar as partículas amostradas a partir do condensado do pulmão de artesãos de pedra-sabão das regiões de Ouro Preto e Mariana, pode-se apresentar os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterização Mineralógica de particulado identificado no condensado do pulmão de artesãos e de indivíduos do grupo controle;
- b) Descrição da morfologia e tamanho das partículas identificadas;
- c) Agrupamento e tratamento estatístico dos dados segundo grupos de artesãos com diferentes tempos e formas de exposição e segundo diferentes faixas etárias, além dos indivíduos do grupo controle.

1.3 LOCALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo desse trabalho pertence à região Central Estado de Minas Gerais, região Sudeste do Brasil, e abrange as cidades de Ouro Preto e Mariana (Figura 1.1), com foco maior para os distritos de Santa Rita de Ouro Preto (Ouro Preto) e Cachoeira do Brumado (Mariana) (Figura 1.1), onde são encontradas as rochas utilizadas como matéria-prima para a confecção do artesanato de pedra-sabão.

A região da área estudada encontra-se na região sudeste de Minas Gerais. Partindo-se de Belo Horizonte, rumo à Cachoeira do Brumado tem-se a predominância das rodovias BR-040 e MG-030 e a MG-262, passando por Ouro Preto e Mariana, até chegar ao ponto de estudo situado em Cachoeira do Brumado (Figura 1.1).

Já as vias de acesso de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, até Santa Rita de Ouro Preto consistem-se em vias de acesso que passam pela BR-040 e, também passando por Ouro Preto, o caminho tem sua trajetória final passando pela MG-129, chegando até Santa Rita de Ouro Preto (Figura 1.1).

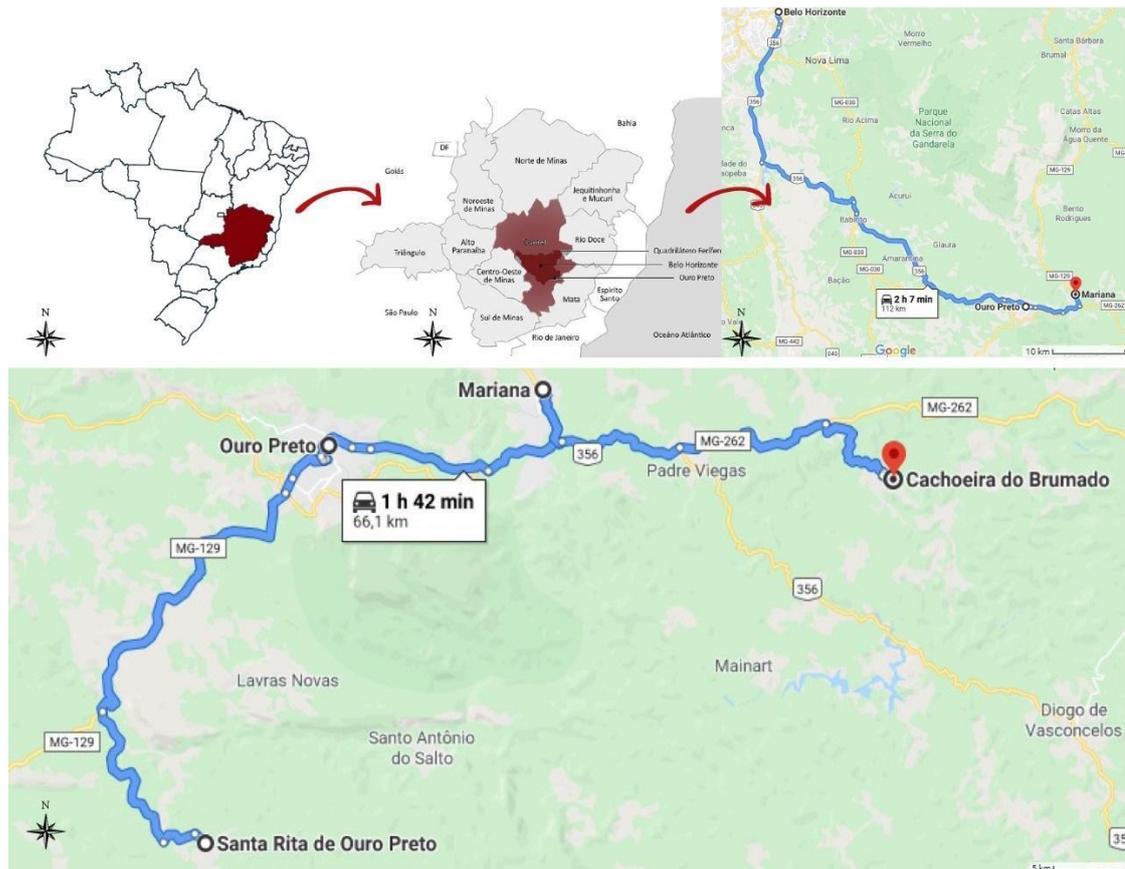


Figura 1.1: Conjunto de figuras de localização, iniciando-se pela figura de localização do Brasil com Minas Gerais destacada em vermelho (a). (b) Figura de localização de regiões do Estado de Minas Gerais com ênfase na Região Central, destacando-se Minas Gerais e Ouro Preto. (c) Figuras de localização do acesso rodoviário, mostrando as vias de acesso de Belo Horizonte até Mariana, passando pela cidade de Ouro Preto. (d) Figura de localização mostrando as vias de acesso partindo das cidades de Ouro Preto e Mariana até os distritos de Santa Rita de Ouro Preto e Cachoeira do Brumado (Google Maps 2023).

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos utilizados para realização do trabalho podem ser ordenados da seguinte forma:

- a) Reuniões técnicas para discussão e melhor entendimento acerca da técnica utilizada para coleta das amostras a serem analisadas;
- b) Revisão bibliográfica acerca de trabalhos que versem sobre o contexto geológico da área de ocorrência das amostras de esteatito utilizadas como matéria-prima pelos artesãos;
- c) Revisão bibliográfica acerca de trabalhos que apresentem o princípio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), principal técnica de análise utilizada para caracterização mineralógica das amostras;
- d) Através de uma técnica não invasiva, artesãos, monitorados por décadas pela Dra. Olívia Bezerra, que foram expostos ao particulado e desenvolveram diferentes graus de doenças pulmonares, basicamente respiram em um tubo plástico por 15 minutos, expelindo nesse

tempo uma parte do particulado presente em seus pulmões. O particulado é usado posteriormente na confecção de lâminas que serão analisadas no MEV;

- e) Análise por microscopia ótica e eletrônica, quando necessário, de lâminas delgadas de rochas utilizadas como matéria-prima pelos artesãos, cedidas pela Profa. Dra. Olívia Bezerra. Busca-se comparar os minerais encontrados nessas rochas com aqueles identificados no particulado do condensado do pulmão dos trabalhadores;
- f) Correlação dos dados obtidos com dados da literatura e banco de dados da Profa. Olívia Bezerra: associação entre tipos, formas, química e tamanhos das partículas com tipo e estágio de doença pulmonar.

Com o MEV fazendo uma varredura minuciosa nas amostras prospectadas, será possível analisar as maiores partículas encontradas nos pulmões dos artesãos. Com o conhecimento prévio das litologias e mineralogia das rochas-mãe dos materiais usados para o artesanato, é possível fazer uma correlação entre a química e morfologia do particulado encontrado com o material exposto aos artesãos. Fazendo-se a análise da química, morfologia e quantidade de partículas, pode-se definir qual o fator responsável ou preponderante para o aumento do grau das doenças pulmonares desenvolvidas pelos artesãos.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 INTRODUÇÃO

A região de Ouro Preto e Mariana, cidades localizadas em Minas Gerais, encontra-se no chamado Quadrilátero Ferrífero, que, por sua vez, é internacionalmente conhecido como uma grande província mineral, uma das maiores do planeta (Alkmin & Marshak 1998). Essa região foi e é bastante estudada, principalmente pela presença de bens minerais como minério de ferro e ouro (Ladeira 1980). Porém, os esteatitos, principal rocha deste estudo, também têm sua importância econômica na região (Almeida 2006), mais precisamente nos distritos de Santa Rita de Ouro Preto (Ouro Preto) e Cachoeira do Brumado (Mariana), região sul do Cráton São Francisco.

O esteatito (Figura 2.1), conhecido também como pedra-sabão, tem esse nome, principalmente, por se tratar de uma rocha composta, quase que em sua totalidade, por talco, o mineral de menor dureza encontrado (Evans 2013). Tendo essa composição, a pedra-sabão é considerada uma rocha "macia" e de fácil manuseio, facilitando o artesanato e, explicando assim, a escolha por esse material na confecção dos objetos produzidos pelos artesãos do estudo.

Os esteatitos são considerados rochas ornamentais, ou seja, rochas utilizadas para compor ambientes em seu estado natural, devido sua composição, estética, ou até mesmo sua coloração (Moya 1995).

Porém, como já descrito, é uma rocha macia, constituída majoritariamente por talco. Quando manuseada, durante a confecção do artesanato, um pó é suspenso contendo partículas de seus minerais presentes. E este estudo visa estudar justamente a mineralogia que essas partículas suspensas contêm e qual o efeito causam na saúde dos artesãos.



Figura 2.1: Amostra de esteatito da maneira como ocorre na natureza.

2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

Ouro Preto e Mariana estão situados na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, que corresponde à região meridional leste do Quadrilátero Ferrífero (QFe) (Dorr 1969) (Figura 2.3 e Figura 2.4).

Apresentando a litoestratigrafia do Quadrilátero Ferrífero, segundo compilação de Endo (2019), o QFe é constituído por unidades litodêmicas e litoestratigráficas do Arqueano, do Paleo-Mesoproterozoico e do Cenozoico (Figura 2.2), a saber:

- i) Complexos Metamórficos, constituídos de gnaisses bandados ou não, migmatitos, granitoides, anfibolitos e corpos máficos/ultramáficos;
- ii) Supergrupo Rio das Velhas, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas, metavulcanoclásticas e por rochas metavulcânicas félsicas, máficas e ultramáficas;
- iii) Supergrupo Minas, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas;

iv) Supergrupo Estrada Real, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas e por rochas metavulcânicas félsicas, máficas e ultramáficas;

v) Grupo Barbacena, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas e por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas;

vi) Supergrupo Espinhaço, constituído majoritariamente por metarenitos e metaconglomerados;

vii) Unidades sedimentares, correspondentes às coberturas do Paleógeno ao Holoceno, constituídas por sedimentos terrígenos.

Além disso, inclui-se no mapa do QFe o Grupo Barbacena e as suítes intrusivas máfica/ultramáfica Paraopeba e Santa Cruz (Carneiro 1992), Santa Rita de Ouro Preto e Catas Altas da Noruega (Endo *et al.* 2019b) e Pedro Lessa (Heineck *et al.* 2003), as quais são de diferentes gerações, composições e orientações, ocorrendo ainda pequenos corpos de granitoides, aplitos e veios pegmatíticos.

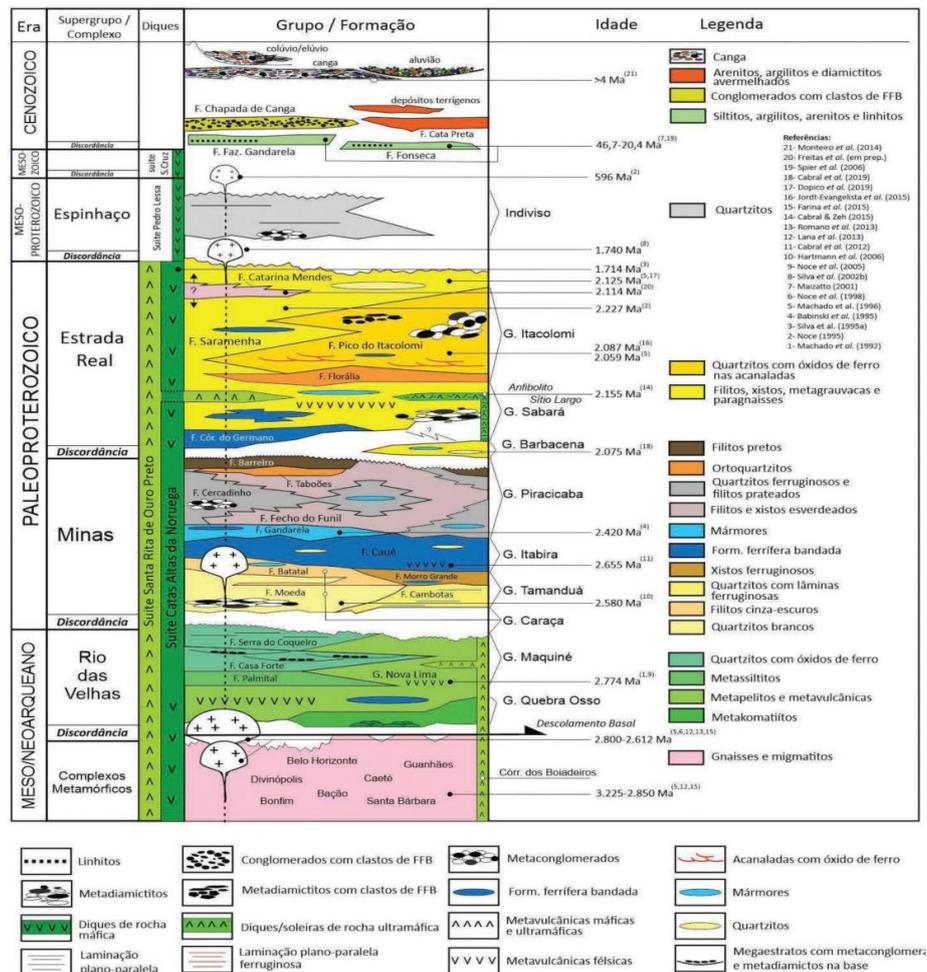


Figura 2.2: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Endo 2019).

Os mapas geológicos da Figura 2.3 e da Figura 2.4 apresentam as unidades e litotipos aflorantes na região de estudo. As unidades são separadas segundo os grupos (unidades estratigráficas maiores) e os litotipos por sua vez são divididos em um tipo de rocha ou um grupo de rochas que tem características e formações similares entre si. Os esteatitos, foco do estudo, são mostrados em verde no mapa geológico da Figura 2.3. Associados a esse litotipo há serpentinitos, talco xistos e clorititos. São rochas metamórficas, ou seja, são rochas que sofreram deformações e mudanças causadas por agentes geológicos, transformando-as em como estão agora. Os litotipos foram submetidos a metamorfismo de baixo grau, em fácies xisto verde (Gonçalves *et al.* 2011).

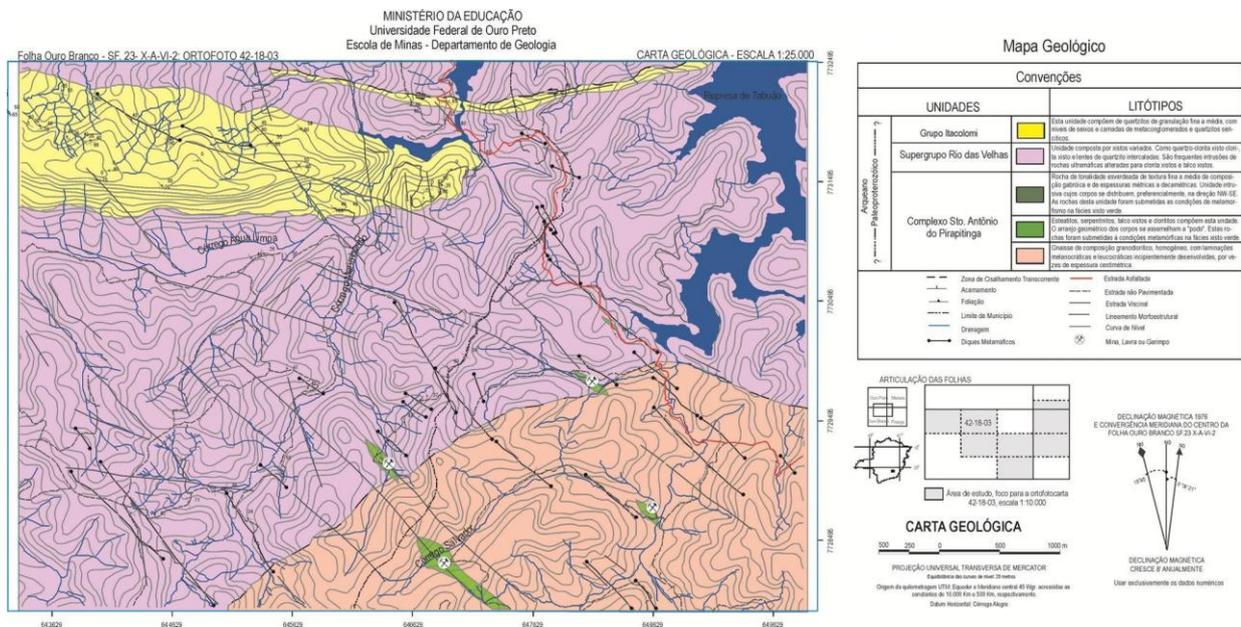


Figura 2.3: Mapa geológico simplificado da porção meridional do Quadrilátero Ferrífero (Gonçalves *et al.* 2011).

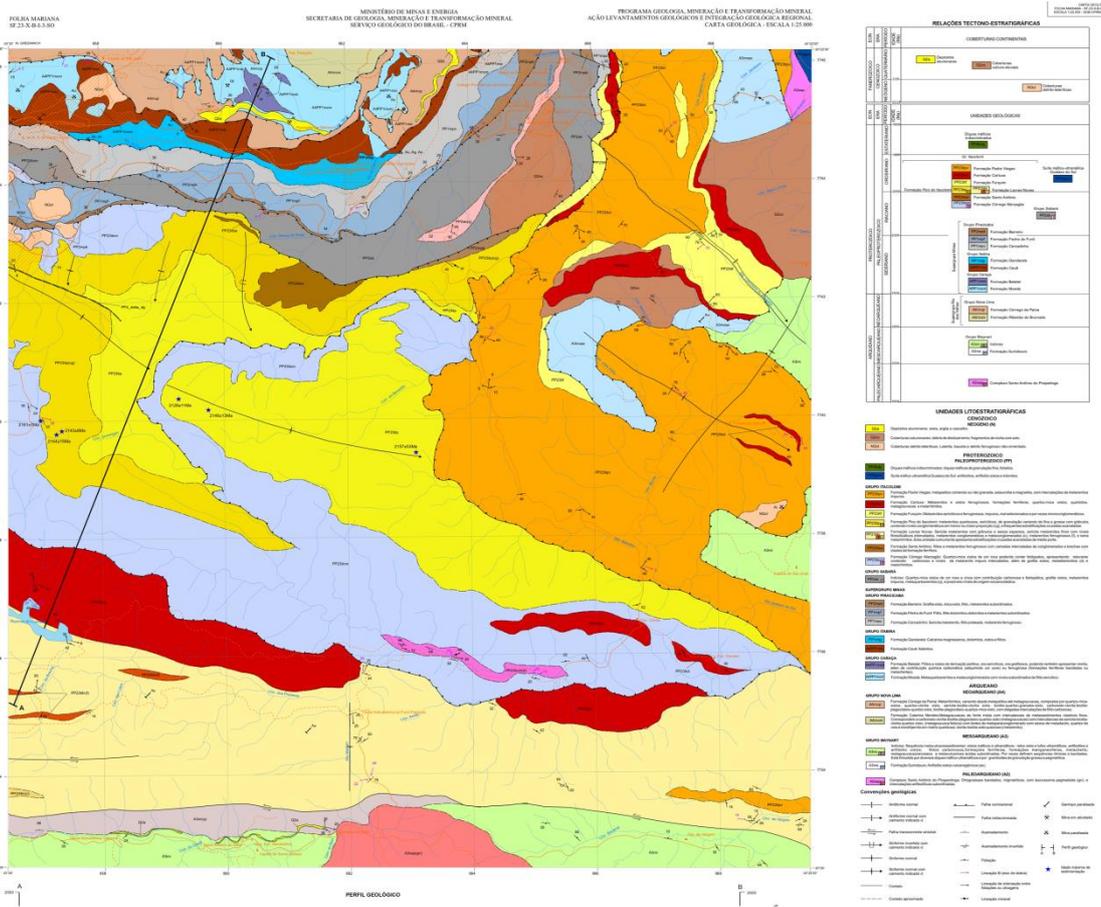


Figura 2.4: Mapa geológico simplificado da porção meridional do Quadrilátero Ferrífero (Fonte: Basto 2023)

Rochas terminadas com o sufixo 'ito' são conhecidas por apresentarem 75% ou mais de um determinado mineral em sua composição (Sgarbi 2012). Por exemplo, o serpentinito é composto em sua grande maioria por serpentina. Já o cloritito, apresenta em abundância a clorita. E por fim, o esteatito, que tem o talco como mineral principal. Pode-se considerar que a atuação de processos aloquímicos envolvendo rochas ultrabásicas e ultramáficas, tais como dunitos e peridotitos, resultam em modificações químicas e alterações mineralógicas com substituição de olivinas e piroxênios primários por serpentinas, anfibólios, cloritas e carbonato. Com o predomínio das serpentinas, a rocha resultante dessas alterações passa a ser denominada serpentinito. Sob condições de temperatura em elevação e em presença de sílica, esses serpentinitos são transformados em esteatitos (pedra-sabão), a partir da reação da serpentina com a sílica, que resulta na formação do talco e liberação de H₂O (Costa e Campello). O esteatito, além do talco, pode apresentar outros minerais em sua composição, como carbonatos, clorita e anfibólios.

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS ESTEATITOS PRESENTES EM SANTA RITA DE OURO PRETO

O esteatito, denominado também como talco-granofels (característica da rocha metamórfica), aflora localmente, e é encontrado em grande parte das vezes preenchendo fraturas de suas rochas adjacentes. Rochas estas que podem vir a ter grande quantidade de quartzo, mineral também importante para este trabalho. A pedra-sabão, ou esteatito, é composta por 95% talco e os outros 5% sendo divididos entre carbonato, anfibólios e clorita e, como já citado, com um grau metamórfico baixo, caracterizado como fácies xisto verde (Gonçalves *et al.* 2011).

O esteatito é de coloração cinza claro a cinza escuro e é encontrado em um padrão de posição como as outras rochas do litotipo: em formato sigmoidal (Figura 2.5), o que traz a interpretação de que o litotipo foi todo deformado de forma semelhante (Gonçalves *et al.* 2011).

Como apresentado na Figura 2.5, há as setas indicando as direções que os esforços deformacionais tiveram, e, conseqüentemente, a geometria das rochas resultante das deformações (Gonçalves *et al.* 2011).

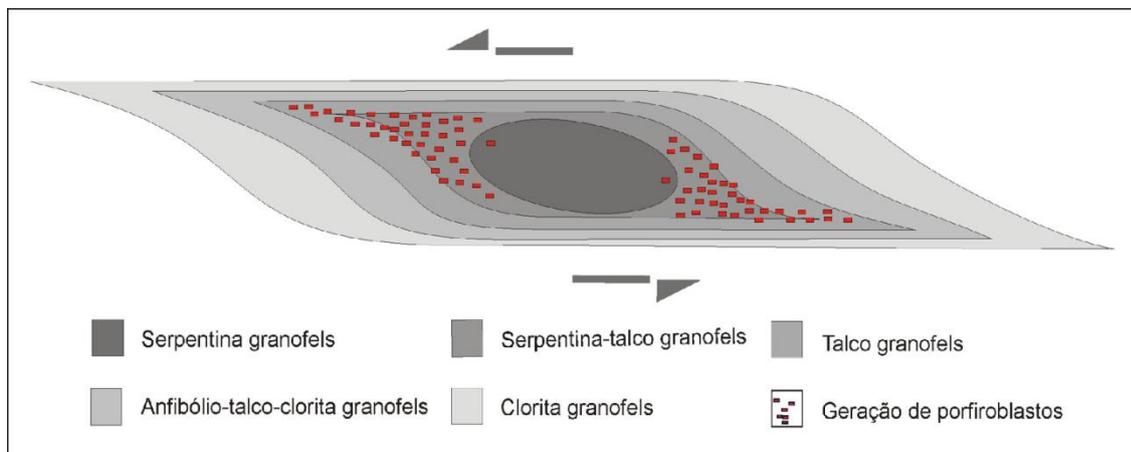


Figura 2.5: Geometriasigmoidal das rochas encontradas em Santa Rita de Ouro Preto, sendo o esteatito representado pelo talco-granofels (Gonçalves *et al.* 2011).

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

3.1 INTRODUÇÃO

A microscopia tem como função a ampliação de imagens por meio de um instrumento ótico com uma ou duas lentes, com um poder de resolução maior que os aparelhos de aumento mais simples. Com este instrumento, é possível observar e analisar amostras impossíveis de serem vistas a olho nu ou com lentes de aumento macroscópicas (Maliska UFSC)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV), além de muito versátil, abrange a estudos de diversas áreas do conhecimento, incluindo a Medicina, Geologia e Mineralogia (Dedavid *et al.* 2007), sendo gerado um aumento de até 300.000 vezes (Duarte *et al.* 2003).

O aparelho é utilizado para a observação, análise e estudo de características microestruturais de objetos sólidos (Dedavid *et al.* 2007). O MEV, além de fornecer imagens com informações suficientes para o estudo da morfologia do material analisado, também pode gerar informações para estudo e identificação de elementos químicos (Dedavid *et al.* 2007).

Uma característica importante e diferencial do MEV é a geração de imagens tridimensionais, com uma elevada profundidade do foco, aumentando, assim, o alcance e qualidade do estudo (Maliska UFSC).

Tratando-se de escala de aumento, o aparelho alcança entre 2 e 5nm (20 - 50 A°) e o valor máximo alcançado pelo MEV fica entre o microscópio ótico (MO) e o Microscópio Eletrônico de Transmissão (Maliska UFSC).

3.2 A ESTRUTURA DO APARELHO

Como mostrado na Figura 3.1, o MEV é constituído por uma coluna ótico-eletrônica que tem a função de ser um canhão de elétrons, além de ser um sistema de magnificação. O aparelho também contém uma unidade de varredura, além de lentes, tanto condensadoras como uma lente final. Por fim, há a presença de uma câmera de amostra do sistema de detectores e do sistema de visualização de imagem (Maliska UFSC).

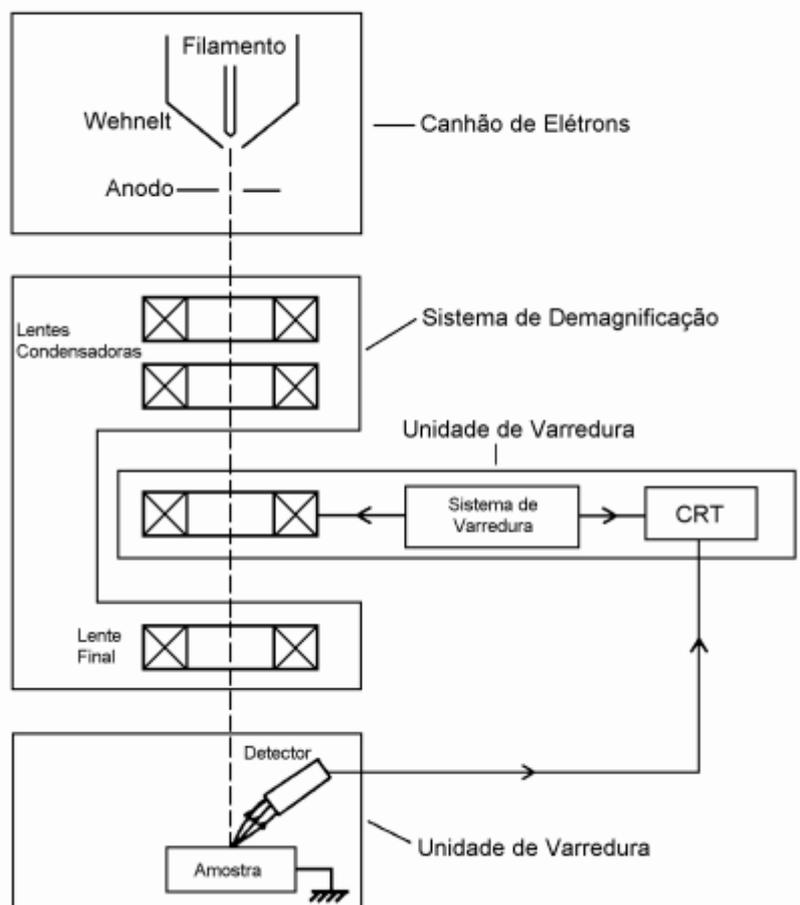


Figura 3.1: Representação esquemática dos componentes do Microscópio Eletrônico de Varredura (Malyska UFSC).

3.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MICROSCÓPIO

O princípio do MEV vem de se utilizar um feixe de elétrons, explorando a superfície da amostra sucessivamente, transmitindo assim o sinal a uma tela catódica, predefinida a estar sincronizada com o feixe que incidiu na amostra (Dedavid *et al.* 2007).

O sinal da imagem é resultado da interação da superfície da amostra com o feixe. O sinal é utilizado para a observação da amostra. No momento de incidência do feixe primário na amostra, uma porcentagem dos elétrons é difundida, constituindo um volume de interação que tem uma forma dependente do número atômico da amostra com a tensão de aceleração, possibilitando, assim, a formação de imageamento e análises físico-químicas (Dedavid *et al.* 2007).

Após a interação, para haver detecção, é necessário que as partículas e/ou dos raios eletromagnéticos resultantes retornem à superfície da amostra, atingindo assim, o detector. A resolução espacial vai depender da energia que o detector é atingido. Elétrons secundários terão menor

energia que elétrons retroespalhados; ou seja, os secundários operarão na faixa de energia menor e os retroespalhados, na faixa maior. E são esses dois sinais emitidos, os mais utilizados para a obtenção de imagens: retroespalhados e secundários (Dedavid *et al.* 2007).

Os elétrons secundários, resultados dessa interação, e de baixa energia (<50eV), formam imagens com alta resolução (3-5nm). Já os retroespalhados, de maior energia, variando de 50eV até a energia próxima à do elétron primário, formam, além de uma imagem topográfica, uma imagem que fornece a composição da amostra, usando o contraste do número atômico dos elementos presentes na amostra (Dedavid *et al.* 2007).

3.4 SISTEMA ACOPLADO MEV-EDS

Esse sistema abre a possibilidade de análise quantitativa e semi-quantitativa da amostra, utilizando a emissão de raios-X. Porém, por depender da condução elétrica da amostra para esses raios-X, há minerais não condutores que necessitam ser metalizados previamente à análise com o sistema acoplado MEV-EDS (Duarte *et al.* 2003). Com isso, no estudo foi utilizada uma cobertura de carbono sobre esses minerais para possibilitar a condução e as eventuais análises das amostras.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

4.1 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas neste trabalho amostras de condensado do pulmão de setenta e cinco voluntários, sendo doze do grupo controle e sessenta e três participantes que trabalham com artesanato de pedra sabão. Levou-se em consideração o tempo de exposição ao trabalho, tempo médio diário de trabalho dos artesãos, além de analisadas as partículas das amostras retiradas dos pulmões dos voluntários, foram analisados utilizando-se o MEV, o tamanho médio, quantidade total de partículas, quantidade de partículas de talco e quartzo encontradas. Também foi feita a proporção da razão da quantidade de partículas de quartzo ou talco em relação ao quantitativo total de partículas encontradas nas amostras. Com isso, montaram-se planilhas em Excel com todos os dados coletados, como idade, tempo de exposição, além dos dados supracitados que foram colhidos com o Microscópio Eletrônico de Varredura.

Fazendo este levantamento, foi possível isolar variáveis para que apenas os fatores dos particulados pudessem ser analisados e interpretados dentro dos resultados encontrados, tanto para caracterização do próprio particulado, quanto para considerações acerca da saúde dos voluntários. O grupo controle, que não é exposto diariamente a esse particulado, também teve todas as amostras coletadas de particulado de seus pulmões analisadas para fazer um paralelo com os artesãos, expostos à poeira. Abaixo são apresentados os dados encontrados e uma discussão, buscando a melhor alternativa na melhora da qualidade de vida dos voluntários.

Os resultados obtidos revelaram diferenças significativas na média dos tamanhos das partículas entre o grupo de artesãos e o grupo controle. Nos artesãos, a média dos tamanhos das partículas foi de 6,62 μm , enquanto no grupo controle foi de 5,03 μm (Figura 4.1).

Tamanho médio das partículas x número de voluntários com essa média

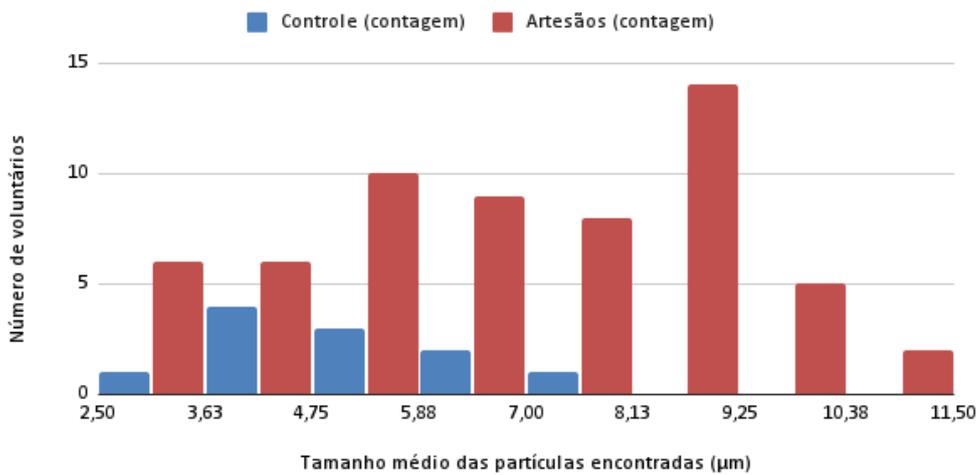


Figura 4.1: Histograma que mostra a frequência de ocorrência, dentre artesãos e voluntários do grupo controle, de valores médios dos tamanhos das partículas encontradas.

Este grupo também apresentou uma maior variabilidade nos tamanhos das partículas, evidenciada pela presença de valores discrepantes nos dados coletados. Por exemplo, o indivíduo do grupo controle com maior número de partículas encontradas teve 80 unidades, enquanto o grupo de artesãos apresentou mais de 100 partículas por indivíduo, sendo que as amostras de condensado dos pulmões de quatro artesãos apresentaram mais de 200 partículas cada um. Observou-se que o grupo de artesãos apresentou uma média de aproximadamente 118 partículas por indivíduo, enquanto o grupo controle teve uma média de 56 partículas por indivíduo (Figura 4.2).

Quantidade de Partículas encontradas x número de voluntários com essa quantidade de partículas

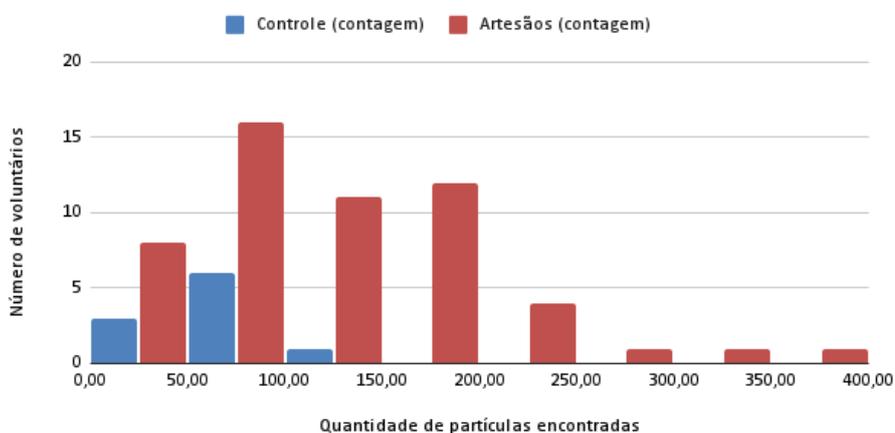


Figura 4.2: Histograma que mostra a frequência de ocorrência, dentre artesãos e voluntários do grupo controle, de particulado no condensado de seus pulmões.

Além disso, ao considerar a variação dos valores absolutos, pode-se notar que os artesãos tiveram uma ampla gama de valores, variando de 2 a 358 partículas (dados em anexo). Já o grupo controle apresentou uma variação menor, com valores variando de 30 a 80 partículas, por indivíduo. Essa diferença indica que os artesãos expostos estão sujeitos a uma maior variabilidade na quantidade de partículas presentes em seus pulmões, sendo esperado que seja devido à exposição ao particulado gerado no desbaste e polimento da pedra sabão. Com a análise química das partículas, percebeu-se uma grande diferença quanto à composição daquelas encontradas nas amostras de condensados dos pulmões de artesãos e do grupo controle. Com os dados levantados a partir de microanálises químicas das partículas encontradas foi possível definir quais minerais encontraram-se com mais frequência nos particulados.

Detectou-se majoritariamente a presença de quartzo e talco no particulado encontrado nos pulmões dos voluntários. Verificou-se que o primeiro grupo, o de artesãos, apresentou talco em uma quantidade média de mais ou menos 7 partículas por indivíduo, enquanto o grupo controle teve uma média de apenas 1 partícula desse mineral por voluntário. Isso indica uma diferença extremamente significativa na presença de talco entre os grupos, sugerindo que os artesãos expostos ao particulado de pedra sabão estão mais expostos e inalando muito mais essa substância em comparação com o grupo controle.

No que diz respeito à presença de quartzo, os artesãos expostos apresentaram uma média de mais ou menos 5 partículas por indivíduo, enquanto o grupo controle teve uma média de mais ou menos 1 partícula. Mais uma vez, essa diferença indica uma maior exposição ao quartzo por parte dos artesãos expostos ao particulado de pedra sabão em comparação com o grupo controle.

As

Figura 4.3 e Figura 4.4 exemplificam as microanálises químicas realizadas, por meio do sistema MEV-EDS.

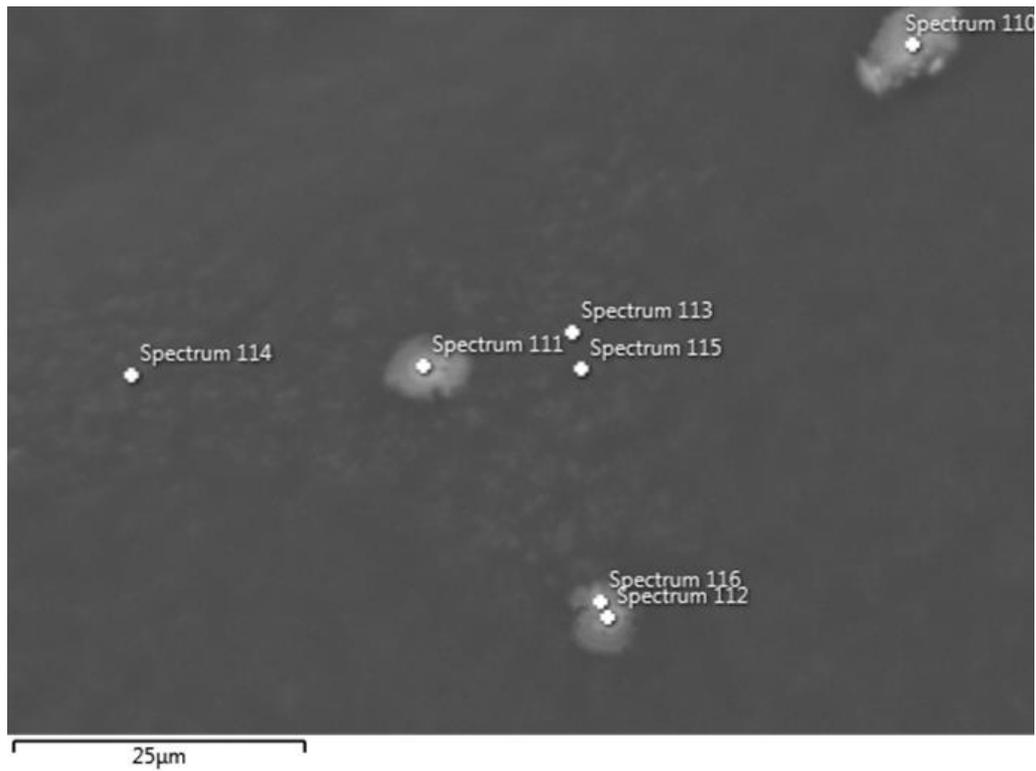


Figura 4.3: Fotomicrografia de uma região de uma lâmina com amostra do particulado prospectado de um dos indivíduos.

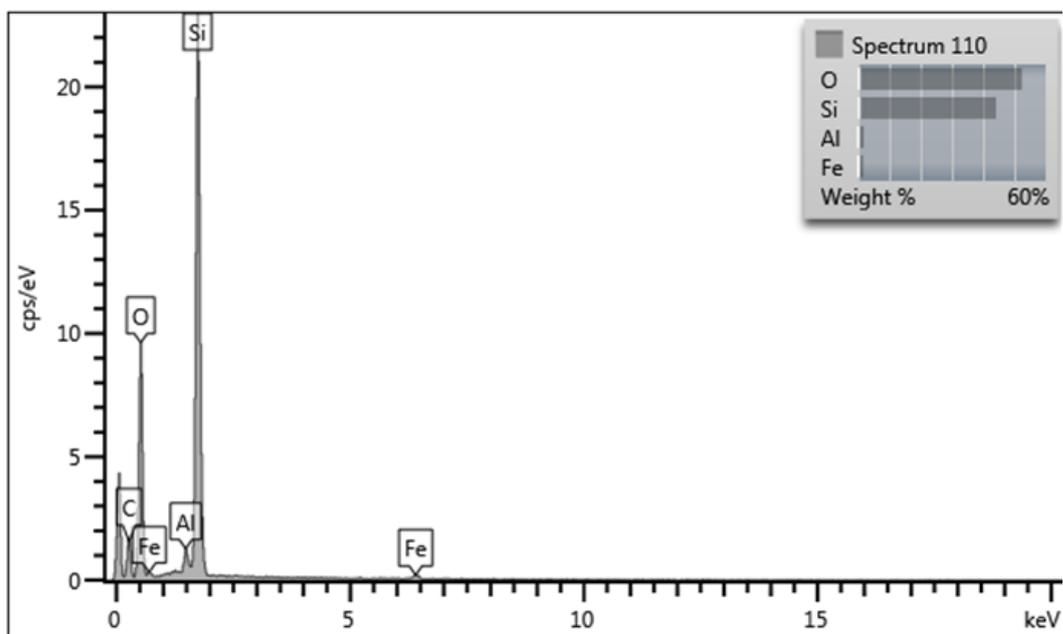


Figura 4.4: Espectrograma de um dos pontos analisados (espectro 110, Figura 4.3) em uma das partículas encontradas em amostra de um voluntário do trabalho.

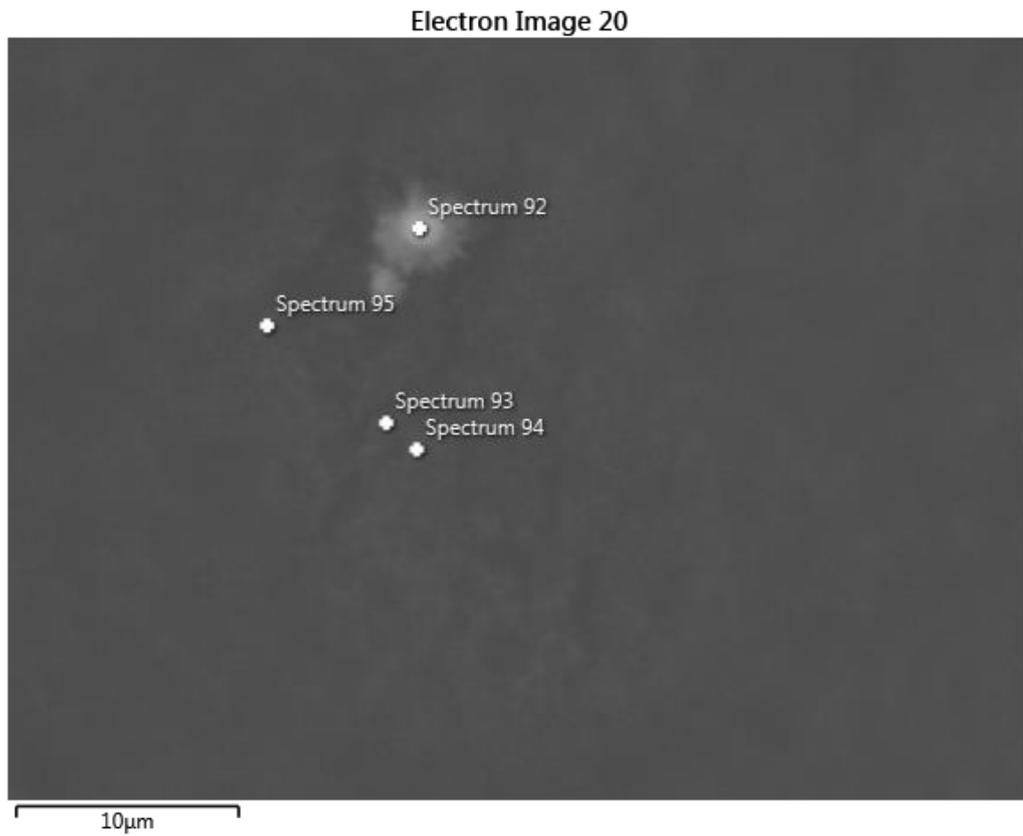


Figura 4.5: Fotomicrografia de uma região de uma lâmina com amostra do particulado prospectado de um dos indivíduos.

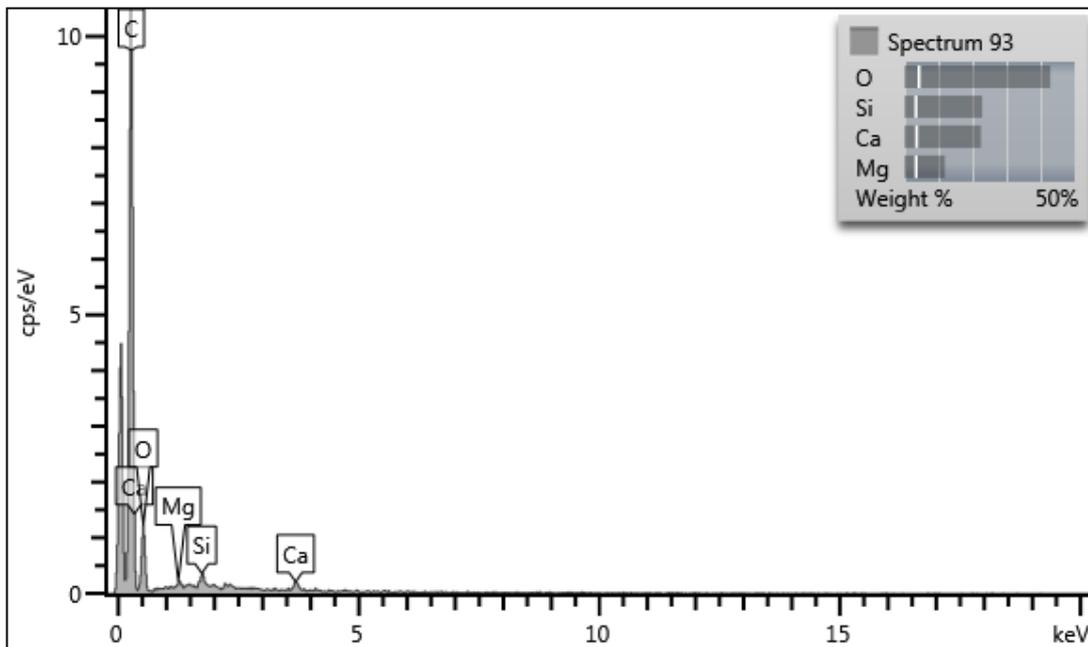


Figura 4.6: Espectrograma de um dos pontos analisados (espectro 93, Figura 4.3) em uma das partículas encontradas em amostra de um voluntário do trabalho.

4.2 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Fazendo uma análise dos dados levantados e obtidos, é possível fazer uma análise qualitativa e quantitativa dos seguintes pontos:

4.2.1 Média e Variabilidade dos Tamanhos das Partículas

Como levantado acima, os dados mostram que os artesãos apresentam uma média de tamanho de partículas maiores do que o grupo controle. Além disso, também supracitado, a variabilidade dos tamanhos de partículas nos artesãos é maior. Essa diferença sugere que a exposição ao particulado de pedra sabão está relacionada a partículas de tamanho maior e mais variável, o que pode ser um indicativo de uma maior concentração de partículas respiráveis no ambiente de trabalho dos artesãos.

4.2.2 Quantidade de Partículas Encontradas:

Já a grande diferença encontrada na quantidade de partículas nas amostras de particulado do pulmão dos artesãos em relação ao grupo controle, indica que os artesãos expostos ao particulado de pedra sabão inalam uma quantidade significativamente maior de partículas em seus ambientes de trabalho, em comparação com o grupo controle. A ampla variação dos valores absolutos no grupo de artesãos também sugere que eles estão sujeitos a uma maior variabilidade na quantidade de partículas presentes em seus pulmões, o que pode ser atribuído à exposição ao particulado de pedra sabão. Como exposto no capítulo 2, a região de trabalho dos artesãos é marcada pela forte presença de esteatito, sendo o principal material de trabalho destes profissionais, tendo, como consequência, a inalação da poeira deixada por esse material e, assim, ocorrendo essa maior quantidade de partículas em relação ao grupo controle.

4.2.3 Presença de Talco e Quartzo:

Considerando que o grupo de artesãos apresentou uma média de mais de 7 partículas de talco e mais de 5 partículas de quartzo no seu particulado, enquanto o grupo controle teve uma média de menos de uma partícula de talco e uma partícula de média de quartzo por voluntário, pode-se analisar que estas diferenças significativas na presença de talco e quartzo, entre os grupos, sugerem que os artesãos estão mais expostos a esses minerais em comparação com o grupo controle. Levando-se em conta a matéria-prima utilizada pelos artesãos para a fabricação das peças, o esteatito, que é uma rocha constituída essencialmente por talco, fica evidente a relação entre o particulado gerado pelo trabalho e aquele encontrado nos pulmões dos artesãos. Já sobre a grande presença de quartzo nessas amostras, pode-se interpretar que o esteatito, quando retirado em sua forma bruta da natureza, acaba tendo acompanhado consigo a presença das rochas adjacentes, onde o mineral acaba ocorrendo preenchendo suas fraturas. Com isto, é provável que essas rochas adjacentes, recebidas de maneira ainda bruta pelos artesãos, contenham uma quantidade significativa de quartzo, ocasionando também a inalação deste tipo de mineral quando manuseados pelos trabalhadores.

Fazendo-se um paralelo, é possível justificar a diferença na quantidade de partículas de quartzo e talco nos particulados amostrados nos artesãos em relação aos voluntários do grupo controle pela não exposição dos indivíduos do grupo controle à poeira gerada pelo trabalho de esculpir, desbastar e polir a pedra-sabão, ou esteatito. Portanto, as características das partículas encontradas nos pulmões dos artesãos são diretamente relacionadas à poeira inalada diariamente por estes artesãos, devido ao trabalho, por anos, com a pedra sabão.

Os resultados obtidos nesse estudo sugerem uma maior concentração de partículas respiráveis nos ambientes de trabalho dos artesãos, bem como uma maior exposição ao talco e quartzo, minerais presentes na rocha usada como matéria-prima pelos artesãos e também nas rochas adjacente ao esteatito, que são separadas apenas após o recebimento destas, em forma ainda bruta, pelos artesãos. Esses fatores podem representar um risco potencial para a saúde respiratória desses indivíduos, podendo levar a irritação e inflamação das vias respiratórias.

Dessa forma, é fundamental que medidas de controle e prevenção sejam implementadas no ambiente de trabalho dos artesãos para reduzir a exposição ao particulado. Isso pode incluir o uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPI's) e a adoção de práticas que minimizem a geração e disseminação de poeira durante o processo de trabalho com pedra sabão. Além disso, acompanhamento médico regular e programas de monitoramento da saúde respiratória dos artesãos também são essenciais para garantir a melhora da qualidade de vida desses profissionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F. F. M. 1977. O Cráton de São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 7 (4): 349- 364.
- Basto, C. F. 2023. Carta Geológica da Folha Mariana. Projeto: Estratigrafia, Arquitetura Crustal e Recursos Minerais do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte, SGB/CPRM. 1 Mapa. Escala 1:25.000.
- Carneiro, A.P.S., Bezerra, O.M.P.A., Silveira, K.G., Neves, A.B.A., Fiorentini, L., Maciel, J.G.F., Lima, V.M.R. 2010. Pneumoconiose em artesãos de pedra-sabão na região de Ouro Preto, MG. *Rev Med Minas Gerais*, **20(2)**: S31-S37.
- Costa, A. G., Campello, M. S. 2018. Rochas Industriais. In: Pedrosa-Soares, A. C., Voll, E., Cunha, E. C. (coord.). *Recursos Minerais de Minas Gerais On-line: Síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, e meio ambiente e mineração de Minas Gerais*, CODEMGE. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/rochas-industriais/#os-serpentinitos-e-esteatitos>. Acesso em: 20 de fev. de 2024.
- Dedavid, B.A., Gomes, C.I., Machado, G. (ed.). 2007. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre. *EDIPUCRS*. 60 p.
- Duarte, L.C., Juchem, P.L., Pulz, G.M., Brum, T.M.M., Chodur, N., Liccardo, A., Fischer, A.C., Bonatto, R. 2003. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos *Acauan Pesquisas em Geociências*, **30(2)**: 3-15.
- Endo, I., Castro, P.T.A., Gandini, A.L. 2019. Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte. 3i Editora. 480 p. 70-113.
- Fonseca, G.M. 2001. *Petrogênese de rochas ultramáficas do Quadrilátero Ferrífero e adjacências e sua relação genética com rochas metaultramáficas do tipo serpentinito e esteatito*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Minerais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 87p.
- Gonçalves, L. E., Costa, J. C. M. O., Endo, I., Roeser, H. M. P. 2011. Geometria, Petrografia e Deformação de Corpos Ultramáficos Metamorfizados da Região de Santa Rita de Ouro Preto, MG, Brasil. *Geonomos*, **19(1)**: 10-17.
- Kattah, J.C. 2018. *Arcabouço tectono-estratigráfico da região periclinal da anticlinal de Mariana – Quadrilátero Ferrífero, MG*. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 122 p.
- Maliska, A.M. *Microscopia Eletrônica de Varredura*. (manuscrito). Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 97 p.
- Noronha, K. V. M. S. 2005. *A Relação entre o Estado de Saúde e a Desigualdade de Renda no Brasil*. Tese de Doutorado, CEDEPLAR/FACE/UFMG. Belo Horizonte, 203 p.
- Proti, R.S.C. 2010. *Estudo do material particulado atmosférico proveniente da extração e manufatura de pedra-sabão nos municípios de Ouro Preto e Mariana, MG*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Minerais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 125 p.
- Ruchkys, U.A., Machado, M.M.M. 2013. Patrimônio geológico e mineiro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Caracterização e iniciativas de uso para educação e geoturismo. *Boletim Paranaense de Geociências*, **70**: 120-136.
- Sampaio, N.P. 2016. *Construção do Banco de Dados de Minerais Brasileiros para Analisador Mineral Integrado, Acoplado a Sistema MEV-EDS Automatizado*. Dissertação de mestrado, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, MG. 261 p.

Sgarbi, G. N. C. (ed). 2012. Petrografia Macroscópica de Rochas Ígneas, Sedimentares e Metamórficas. Belo Horizonte, Editora UFMG, 599 p. (2ª edição)

Winge, M. 2018. Glossário Geológico (Dinâmico) Ilustrado. Disponível em: <https://sigep.eco.br/glossario/verbete/esteatito.htm>. Acesso em: 17 de janeiro de 2024.