

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DA POEIRA DE RUA  
ACUMULADA NAS VIAS DE ACESSO DA CIDADE DE SÃO PAULO E IMPLICAÇÕES  
AMBIENTAIS**

Laís Pelizari Fontana

Orientadora: Profa. Dra. Christine Laure Marie Bourotte  
Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2017/28)

São Paulo  
2017

---

**Laís Pelizari Fontana**

---

**Profa. Dra. Christine Laure Marie Bourotte**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais por todo amor, carinho, apoio. Por me proporcionarem essa oportunidade, não só profissionalmente, mas também e principalmente como pessoa. Agradeço toda paciência, todo incentivo e toda dedicação de vocês para que eu pudesse estar aqui. Muito obrigada!

Agradeço ao João, por todo amor, companheirismo, amizade. Obrigada pela paciência, pela atenção, pelo carinho. Obrigada por poder partilhar todos esses momentos com você, para que juntos pudéssemos passar por cada um deles. Não teria conseguido sem você! Muito obrigada!

Agradeço à Christine, por toda paciência, disponibilidade, atenção. Muito obrigada por contribuir para a realização desse trabalho de modo tão amável e dedicado. Muito obrigada!

Agradeço especialmente à Marcela e ao Jonathan pela companhia e pela ajuda. Não seria a mesma coisa sem vocês!

Agradeço também a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma, seja com instruções, disponibilidade em ajudar, ou simplesmente um sorriso e uma palavra de incentivo e de carinho.

Agradeço a Deus por todas as coisas!

## RESUMO

Estudos recentes tratam da caracterização da poeira de rua em ambiente urbano, devido principalmente ao seu enriquecimento com metais traço e elementos associados à atividade antrópica. Esse material pode facilmente ser submetido à ressuspensão na atmosfera, podendo prejudicar tanto a saúde humana, principalmente o sistema cardio-respiratório, como ecossistemas terrestres e aquáticos, por meio do escoamento superficial. Este trabalho tem como principal objetivo a caracterização geoquímica e mineralógica da poeira de rua, bem como sua distribuição espacial em relação às principais vias de acesso na cidade de São Paulo. Para tanto, foram coletadas um total de 14 amostras nos seguintes locais: Avenida Eusébio Matoso, Marginais Tietê e Pinheiros, Rodovias Ayrton Senna e Raposo Tavares. As amostras foram submetidas a análises granulométricas, difração de Raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O material analisado apresentou granulação predominantemente de areia fina, com variação na proporção da fração fina (silte e argila). Observou-se maior proporção em massa da fração silte em relação à fração argila em vias urbanas (de 60Km/h a 90Km/h) comparativamente a auto-estradas (de 90 Km/h a 120 Km/h) nas amostras MT12,5i (12,66% de silte para 4,75% de argila), MP-PTE C.U. (11,68% de silte para 2,88% de argila) e RAP10i (9,44% de silte para 5,03% de argila), provenientes da Marginais Tietê, Pinheiros e Rodovia Raposo Tavares, respectivamente. Minerais primários, como quartzo, feldspato e mica, são dominantes, conforme identificados por DRX e observado no MEV. Foram identificados também argilominerais, carbonatos (calcita e dolomita) e anfibólio por meio da difração de Raios-X. A observação de partículas como esferas de vidro, de ferro e agregados no MEV sugerem contribuição de fontes antrópicas na poeira de rua. Identificação de Al, K, Na confirmam componentes naturais, de rochas e solos, na poeira de rua. Em agregados, a presença de Ca, Cu, Fe, Ti e Zn contribuem para a determinação de fontes antrópicas, diretamente relacionadas ao tráfego de veículos, na poeira de rua.

**Palavras chave:** poeira de rua, vias de acesso, tráfego de veículos, mineralogia.

## ABSTRACT

Recent researches focused the characterization of street and road dusts in urban environment, mainly due to their enrichment in trace metals and elements related to anthropic activities. This material can easily be suspended to the atmosphere, and be prejudicial to the human health, principally to the cardiorespiratory system. Street dust can also impact the terrestrial and aquatic ecosystems through runoff. The aim of this study is the geochemical and mineralogical characterization of road dust, as well as its spatial distribution related to mains roads of São Paulo city. Thus, a total of 14 samples were collected at Eusebio Matoso Avenue, Tietê and Pinheiros Marginais, Ayrton Senna and Raposo Tavares highways. The samples were submitted to granulometric analysis, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). The samples exhibited predominantly fine granulation with variation of the fine fraction (clay and silt). The silt fraction is higher than the clay one in urban roads (from 60Km/h to 90Km/h) when compared with freeways as it was observed in the samples MT12,5i (12.66% of silt and 4.75% of clay), MP-PTE C.U. (11.68% of silt and 2.88% of clay) and RAP10i (9.44% of silt and 5.03% of clay), collected at Tietê and Pinheiros Marginal, and Raposo Tavares Highway, respectively. Primary minerals, such as quartz, feldspar and mica are predominant, according to XRD and SEM results. Clay minerals, carbonates (calcite and dolomite) and amphibole were also identified by XRD. Glass spheres, iron spheres, metallic particles and aggregates observed on SEM were associated with anthropic sources. The identification of Al, K and Na confirm that natural components, from rocks and soils, are also present in street dust. The presence of Ca, Cu, Fe, Ti e Zn in aggregates identified in road dust were associated of anthropic sources related to vehicle traffic.

**Keywords:** road dust, vehicle traffic, mineralogy.

## **Sumário**

I.	INTRODUÇÃO.....	1
II.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA .....	3
III.	OBJETIVOS .....	5
IV.	FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
V.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	8
1.	Seleção dos pontos de coleta .....	8
2.	Coleta .....	9
3.	Preparação das amostras .....	10
4.	Análises .....	12
4.1	Análises granulométricas .....	12
4.2	Difração de Raios-X .....	14
4.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	15
4.4	Quantificação de elementos traço .....	16
4.5	Distribuição espacial .....	16
VI.	RESULTADOS.....	17
1.	Granulometria e distribuição espacial.....	17
2.	Difração de Raio-X.....	21
3.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	22
3.1	Partículas terrígenas.....	23
3.2	Partículas antrópicas.....	26
3.3	Partículas não identificadas.....	30
VII.	INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	33
1.	Frações granulométricas e distribuição espacial .....	33
2.	Minerais identificados.....	33
3.	Conteúdo de metais .....	34
VIII.	CONCLUSÕES .....	36
IX.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
X.	ANEXOS.....	41

## **Lista de Figuras**

<b>Figura 1:</b> Localização da cidade de São Paulo e Região Metropolitana no Estado de São Paulo.....	3
<b>Figura 2:</b> Composição da frota presente nas principais avenidas da cidade de São Paulo.....	4
<b>Figura 3:</b> Disposição das principais vias de acesso e localização da malha de estudos no município de São Paulo.....	5
<b>Figura 4:</b> Localização e distribuição dos pontos amostrados em relação às vias de acesso, malha de estudo e cidade de São Paulo.....	8
<b>Figura 5:</b> Organograma das etapas de preparação das amostras.....	11
<b>Figura 6:</b> Distribuição espacial das frações granulométricas das amostras.....	18
<b>Figura 7:</b> Imagens de elétrons secundários, retroespelhados e gráficos de análises microcomposicionais por EDS de partículas terrígenas.....	23
<b>Figura 8:</b> Imagens de elétrons secundários, retroespelhados e gráficos de análises microcomposicionais por EDS de partículas antrópicas.....	27
<b>Figura 9:</b> Imagens de elétrons secundários, retroespelhados e gráficos de análises microcomposicionais por EDS de partículas de natureza não identificada.....	31

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1:</b> Quantidade de veículos por tipo presentes na cidade de São Paulo nos anos de 2005, 2010, 2015.....	4
<b>Tabela 2:</b> Parâmetros utilizados para definir a nomenclatura dos pontos amostrados.....	9
<b>Tabela 3:</b> Relação de dados a respeito de cada ponto em que foram coletadas amostras de poeira de rua.....	10
<b>Tabela 4:</b> Relação do código das amostras e das letras utilizadas para identificação dos <i>stubs</i> para Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	15
<b>Tabela 5:</b> Proporções das frações granulométricas para as amostras analisadas.....	17
<b>Tabela 6:</b> Minerais identificados por DRX com devidos valores de proporção, em porcentagem, para cada uma das amostras analisadas.....	21
<b>Tabela 7:</b> Informações a respeito do código, local de proveniência e partículas analisadas para cada uma das amostras examinadas no MEV.....	23

## I. INTRODUÇÃO

As dinâmicas conhecidas a respeito de transporte e acúmulo de sedimentos são diretamente influenciadas pelo processo de urbanização, típico de centros urbanos. De modo geral, no Brasil, a intensificação da ocupação urbana foi notável a partir de 1970, quando aproximadamente 56% da população brasileira residia em cidades, segundo dados do IBGE (2010). Este cenário, no entanto, foi iniciado anteriormente no município de São Paulo, no qual a população, que era em torno de 65 mil habitantes em 1890, atingiu por volta de 240 mil habitantes em 1900. A presença de imigrantes e ferrovias para o transporte de café resultaram no acelerado crescimento populacional e desenvolvimento econômico da cidade, que propiciou a ampliação da região urbana (Histórico Demográfico do Município de São Paulo, 2010). Tais eventos promoveram o início do processo de industrialização do município, que ocorreu de forma mais acentuada principalmente nas décadas de 1910 e 1920 (Prefeitura de São Paulo, 2005a).

A intensificação da industrialização e urbanização acarreta na emissão de maior quantidade de poluentes, diretamente associados à atividade antrópica, como, por exemplo, tráfego de veículos, queima de combustíveis e resíduos de construção civil. Em Hong Kong, por exemplo, na década de 1960 já era notada a poluição do ar do ambiente urbano relacionada à atividade antrópica, cuja contaminação observada era principalmente por chumbo. Com o aumento da urbanização e consequente formação de grandes centros urbanos, principalmente em países da América do Norte e Ásia, aumentou-se a quantidade de estudos referentes à poluição do ar, sua relação com a atividade antrópica e seus potenciais riscos à saúde (Wong et al., 2006). A frequente presença de chumbo, elemento tóxico, em materiais particulados do meio urbano nesse período foi um dos fatores que desencadearam a crescente participação científica na área de geoquímica urbana, em vista da preocupação e conscientização a respeito da poluição, suas fontes e riscos para a saúde humana (Charlesworth et al., 2011).

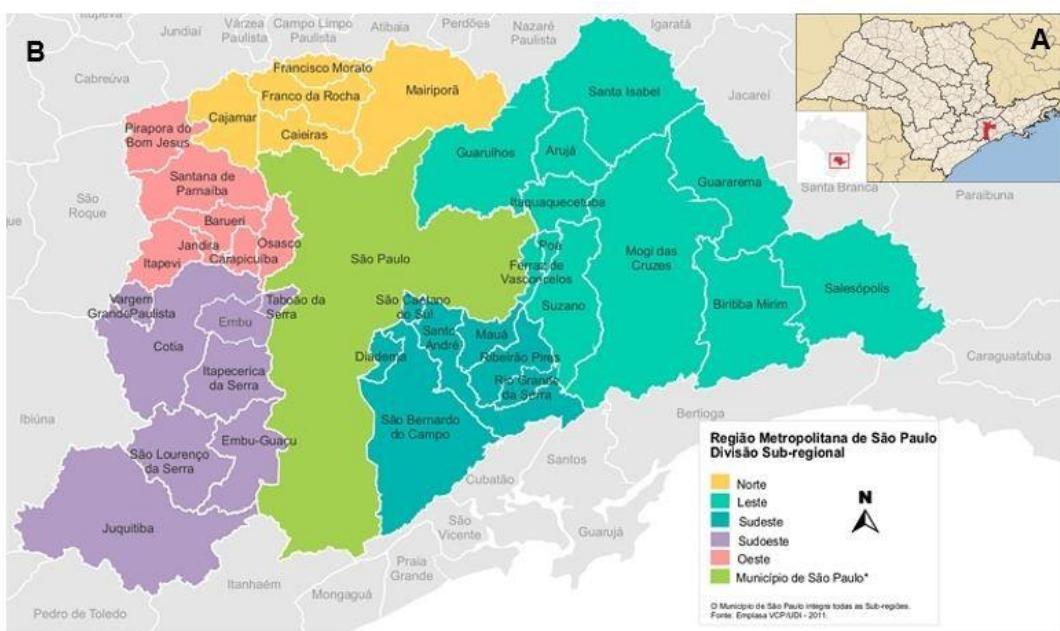
O material particulado atmosférico é caracterizado principalmente pelas partículas de dimensão  $\leq 10 \mu\text{m}$  e  $\leq 2,5 \mu\text{m}$ , denominadas respectivamente de  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2,5}$ . Tais frações oferecem riscos à saúde humana associados à exposição a esse material. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2016) tais partículas podem prejudicar, além do sistema respiratório, com agravamento da asma, diminuição da função pulmonar e irritação das vias aéreas, também doenças cardíacas, como arritmia e ataque cardíaco. Shaughnessy et al. (2015), por meio de um estudo realizado com jovens adultos, de 18 a 39 anos, nos Estados Unidos, entre os anos de 1998 a 2004, constataram uma correlação entre as concentrações de  $\text{PM}_{10}$  e o agravamento de doenças respiratórias. Observou-se um acréscimo de 0,6% da incidência de doenças respiratórias do trato superior, em pacientes nessa faixa etária, para cada aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração de  $\text{PM}_{10}$  acima do valor médio.

Em relação à fração PM<sub>2,5</sub>, MohseniBandpi et al. (2017) verificaram que a maior parte dos metais encontrados estavam adsorvidos em partículas com essas dimensões. Tal característica, segundo os mesmos autores, é responsável pela toxicidade desse material, dada principalmente pela presença de metais pesados.

No ambiente urbano, de acordo com Chambers et al. (2016), as assinaturas geoquímicas são distintas daquelas do meio natural, devido não só à ocupação, mas também à introdução de materiais durante o desenvolvimento da infraestrutura urbana, resultando na concentração de elementos em ordens e magnitudes acima da abundância natural. Os metais, por exemplo, não são biodegradáveis e tendem, portanto, a se acumular. Concentrações em grande quantidade desses elementos são suscetíveis à geração de enriquecimentos anômalos responsáveis pela contaminação de solos superficiais, que por meio do escoamento superficial, podem contaminar as águas (Wong et al., 2006). Segundo os mesmos autores, a atividade antrópica possui também a capacidade de modificação da dinâmica natural de sedimentação, atuando em processos de dispersão, distribuição e deposição dos materiais, como, por exemplo, abrasão e ressuspensão de partículas devido ao tráfego de veículos. Essa atividade é considerada por Charlesworth et al. (2011) como responsável pela maior parte da emissão e ressuspensão dessas partículas no meio urbano. Tais emissões não se limitam, no entanto, ao escapamento dos veículos, pelo qual são lançados materiais associados à queima de combustíveis. Desgaste de freios, pneus, abrasão da superfície das estradas, corrosão de componentes de veículos, como embreagem, e ressuspensão de partículas acumuladas na superfície das estradas caracterizam fontes importantes de poeira de rua em ambiente urbano (Pant et al., 2013). Os mesmos autores afirmam que há relação entre as características dos veículos, pertencentes à frota, tipo de estrada, aspectos do tráfego, tipo de combustível utilizado com o tipo de emissão do material particulado, sendo mais ou menos associado à exaustão nos escapamentos dos veículos. A ressuspensão da poeira de rua representa, portanto, uma das fontes do material particulado atmosférico. A caracterização da poeira de rua, acumulada junto às principais vias de acesso da cidade de São Paulo, proposta por esse trabalho, auxilia no entendimento da dinâmica sedimentar urbana, que atua de modo bastante ágil em relação à natural. A determinação da composição química e identificação de feições morfológicas são fundamentais, uma vez que podem possibilitar o reconhecimento das fontes dos materiais emitidos e do potencial de poluição, além da influência que tais partículas exercem no ambiente ao qual pertencem.

## II. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A cidade de São Paulo está localizada na região leste do estado de São Paulo. Com uma população aproximada de 11 milhões de habitantes, de acordo com o senso demográfico realizado em 2010 pelo IGBE, a cidade é caracterizada como a maior cidade do Brasil e da América Latina (Prefeitura Municipal de São Paulo, 2005b), sendo o centro da mais influente região metropolitana do país, que é composta por 39 municípios. O Produto Interno Bruto (PIB) da Região Metropolitana de São Paulo corresponde a cerca de 18% do total brasileiro e mais da metade do PIB paulista (55,47%), de acordo comEMPLASA (2011). Além disso, em torno de 50% da população estadual reside nessa localidade. Na **Figura 1** a seguir estão presentes a localização da cidade de São Paulo no estado e os municípios pertencentes à região metropolitana, da qual São Paulo faz parte:



**Figura 1:** A: Localização da cidade de São Paulo no estado; B: Mapa da Região Metropolitana de São Paulo (Fonte: Emplasa, 2011).

Segundo dados de transporte da Prefeitura Municipal (2005c), o município de São Paulo é responsável por 63% de todo o tráfego da Região Metropolitana, sendo que 90% desses deslocamentos não ultrapassam os limites territoriais da cidade de São Paulo.

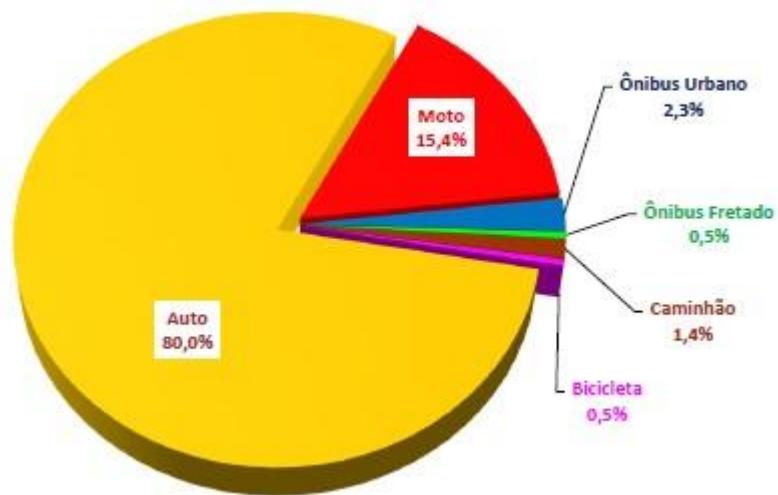
Na **Tabela 1** estão apresentados dados a respeito da quantidade de veículos pertencentes à frota da cidade de São Paulo separados por tipos.

**Tabela 1** - Quantidade de veículos por tipo presentes na cidade de São Paulo nos anos de 2005, 2010 e 2015.

ANO/VEÍCULO	AUTOMÓVEL	MOTOCICLETA	CAMINHÃO	ÔNIBUS
2005	3.612.574	365.025	120.758	34.171
2010	4.617.635	704.702	128.606	39.397
2015	5.318.961	866.524	123.943	43.332

Fonte: IBGE (2015) Informações Estatísticas do Município de São Paulo – Frotas.

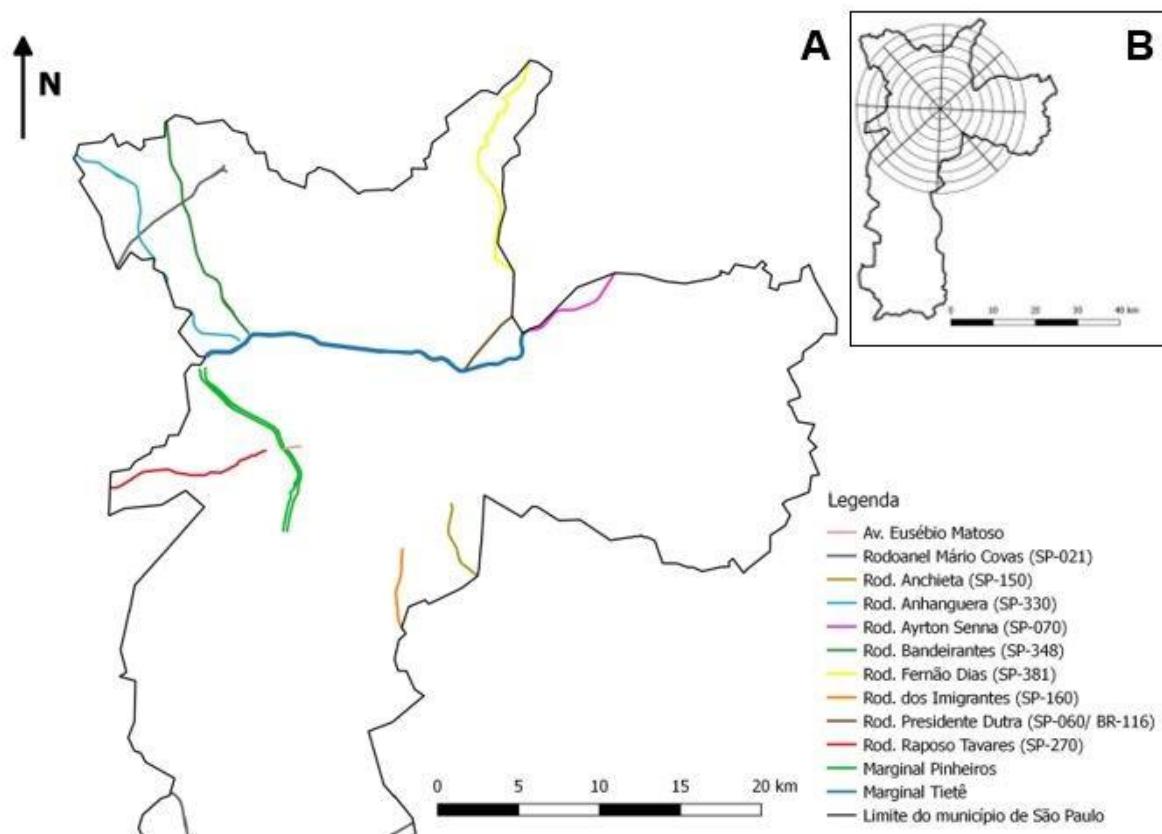
Informações da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) referentes ao ano de 2016 apresentam também uma análise do volume de veículos que transitam pelas avenidas principais da capital paulista. De acordo com um documento de monitoração da mobilidade, com enfoque no volume e velocidade dos veículos, a frota é composta por veículos (80%), motocicletas (15,4%), ônibus urbanos (2,3%), caminhões (1,4%), ônibus fretados (0,5%) e bicicletas (0,5%), conforme ilustrado graficamente na **Figura 2** a seguir:



**Figura 2:** Composição da frota presente nas principais avenidas da cidade de São Paulo. (Fonte: CET, 2016).

Pertencem à malha rodoviária de São Paulo, além de avenidas e vias importantes, como as marginais Tietê e Pinheiros, grande quantidade de rodovias, responsáveis pelo acesso a outros municípios, por vezes até localizados em outros estados. Destacam-se dentre tais rodovias: Anchieta, Anhanguera, Ayrton Senna, Bandeirantes, Fernão Dias, Imigrantes, Presidente Dutra, Raposo Tavares e também o Rodoanel Mário Covas. A área de estudo desse presente trabalho está localizada na parte central da cidade de São Paulo. Foi definida com o auxílio de uma malha, composta por circunferências circunscritas e retas que formam ângulos de 45º entre si, a fim de contribuir para a definição dos pontos de forma representativa e organizada.

A disposição das principais vias de acesso no município de São Paulo e a localização da malha para definição dos pontos de estudo estão apresentados na **Figura 3** a seguir:



**Figura 3:** A: Disposição das principais vias de acesso no município de São Paulo. B: Localização da malha de estudos do presente trabalho em relação aos limites municipais de São Paulo.

### III. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal caracterizar do ponto de vista geoquímico e mineralógico a poeira de rua e sua distribuição espacial na cidade de São Paulo, relacionadas às principais vias de acesso em uma malha de estudo determinada. Tal estudo contribui também para uma pesquisa mais ampla a ser realizada no mesmo local, na qual serão relacionados aspectos da poeira de rua com os presentes na água superficial.

Para análise, tanto físico-química quanto espacial das amostras de poeira de rua coletadas, o material foi submetido aos seguintes objetivos específicos: caracterização físico-química, mineralógica e microscópica (MEV) da poeira de rua coletada nas principais vias de acesso da cidade de São Paulo nas frações total e fina, além da avaliação da distribuição espacial e relação com as características do entorno dos locais de coleta.

#### **IV. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA**

Poeira de rua pode ser entendida como partículas sólidas, em geral de granulação fina, acumuladas em ambientes urbanos. Esse material possui, segundo Adachi et al. (2005), origem tanto de particulados naturais, quanto antrópicos. Os mesmos autores afirmam que a poeira de rua é fonte de metais e outros contaminantes para o meio urbano, o que caracteriza o material tanto como fonte quanto sumidouro desses elementos.

A poeira de rua, assim como os solos superficiais, é enriquecida com metais traços e elementos de origem antrópica. Devido às dimensões das partículas, esse material pode facilmente ser submetido à ressuspensão. Esse processo representa uma das maiores preocupações à saúde humana, em especial, do sistema respiratório, uma vez que tais partículas podem, depois de inaladas, ser alojadas nos pulmões (Wong et al., 2006). A poeira de rua e outros materiais finos são também sujeitos à ação do escoamento superficial, que, segundo os referidos autores, resulta no enriquecimento em metais e contaminantes em corpos d'água superficiais. Além disso, esse processo de transporte atua tanto física quanto quimicamente nas partículas, o que acarreta, por exemplo, na solubilização de espécies metálicas mais lábeis.

Os elementos traço, um dos possíveis contaminantes presentes na poeira de rua, podem ter sua origem relacionada ao intemperismo e também a resíduos de construção civil, de acordo com Charlesworth et al. (2011). Estes autores consideram também o tráfego urbano como a principal atividade responsável pela emissão e ressuspensão de partículas nesse meio. Pant et al. (2013), em uma abordagem mais voltada à poluição do ar, qualificaram de modo bastante completo o material acumulado em vias urbanas associado ao tráfego. Os autores diferenciaram as partículas relacionadas à emissão do escapamento dos veículos, às originadas do desgaste de partes do freio, embreagem, pneus e também às associadas com a abrasão da superfície das estradas.

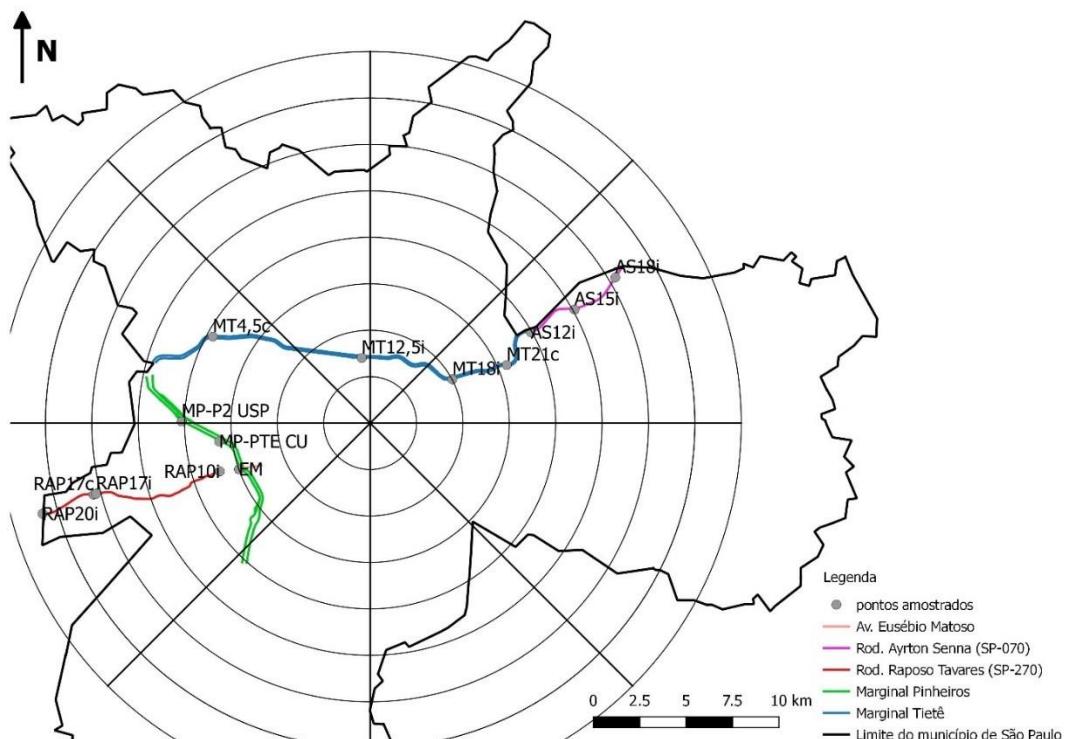
Considerando mais especificamente os trabalhos realizados na cidade de São Paulo com enfoque na análise e caracterização da poeira de rua e solos superficiais em ambientes urbanos, Morcelli et al. (2005) analisaram os solos superficiais localizados entre as cidades de São Paulo e Jundiaí para elementos do grupo da platina a fim de relacionar os resultados obtidos com a quantidade e o tipo de tráfego presente no local. Foram verificadas taxas superiores de Pb, Rh e Pt, empregados em conversores catalíticos, em relação aos níveis crustais. Segundo os referidos autores, as concentrações de elementos do grupo da platina são influenciadas pelo tráfego de veículos. Ribeiro et al. (2009) estudaram a concentração e distribuição de elementos traço em solos superficiais situados ao longo das marginais Tietê e Pinheiros, através do método de espectroscopia de fluorescência de Raios-X. Os elementos Ba e Zn apresentaram concentrações maiores do que os valores de referência da CETESB, tanto para regiões residenciais quanto industriais. Nesse trabalho foi verificado que a

presença dos metais Ba, Cu, Pb, Zn e S pode ser associada ao tráfego de veículos, mais especificamente à emissão resultante da queima de combustíveis. Figueiredo et al. (2010) analisaram a presença de metais em solos superficiais de doze parque públicos infantis em diferentes regiões da cidade de São Paulo, incluindo áreas centrais, residenciais e industriais. Foram determinadas as concentrações dos metais As, Ba, Cr e Zn. Os valores superiores em relação aos valores de referência nos solos da cidade de São Paulo sugerem, de acordo com os autores, fontes antrópicas. Ribeiro et al. (2012) quantificaram os metais e semi-metais contidos nos solos superficiais de áreas adjacentes às avenidas de trânsito denso da cidade de São Paulo. Nesse trabalho foram determinadas concentrações de As, Ba, Cr, Sb e Zn superiores aos valores de referência fornecidos pela CETESB. Para os autores, os níveis mais altos de Pb, Zn, Cu e Sb, verificados no centro da cidade, estão relacionados a um tráfego de veículos bastante intenso. Braga (2013), em seu Trabalho de Conclusão de Curso pela EACH-USP, analisou a poeira de rua dos campus da Cidade Universitária e EACH da USP em 7 locais distintos. O material foi caracterizado por meio de difração de Raios-X, análise química e granulométrica. Foi observada predominância da fração areia nas amostras analisadas, sendo quartzo e feldspato os principais minerais identificados. Em relação ao conteúdo de metais, foram encontradas altas concentrações de Cu e baixas de Ni comparativamente a outros locais, como Londres, Oslo, Daca e Istambul. A aluna Jade Butturi de Oliveira deu continuidade ao estudo por meio de um projeto de Iniciação Científica. A fração areia também foi caracterizada como predominante (> 50%) nas amostras analisadas (Oliveira e Bourotte, 2016; Bourotte, 2016). Quartzo e feldspato (minerais primários) são os mais abundantes, segundo as autoras, seguidos de argilominerais, minerais pertencentes ao grupo das micas, carbonatos e óxidos de ferro. As concentrações de Cd, Ni, Pb, Cr e Zn obtidas estavam acima dos valores de referência estabelecidos pela CETESB. Nos dois trabalhos foram constatadas a contribuição de fontes veiculares na emissão de metais, presentes tanto na poeira de rua, quanto em solos superficiais. Tem-se Zn, Cu, Sb, Ba, Cr e Ni como resultado do desgaste de veículos, principalmente pneus e freios, e Cr e Pb relacionados à pintura das vias de trânsito. Em ambos os trabalhos as amostras de poeira de rua e solo superficial foram caracterizadas do ponto de vista granulométrico, mineralógico e químico, que fornece a quantificação dos elementos traço por ICP-MS. No entanto, estes trabalhos não abrangem ainda um conhecimento satisfatório e mais detalhado da poeira de rua e dos solos superficiais na escala da cidade, e novos estudos são portanto necessários.

## V. MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Seleção dos pontos de coleta

Os possíveis locais de coleta foram a princípio definidos a partir da intersecção entre as principais vias de acesso presentes na cidade de São Paulo e a malha de estudo utilizada, composta por circunferências circunscritas e retas que formam ângulos de 45° entre si, conforme apresentado anteriormente na **Figura 3**. Dessa forma, foram obtidos um total de 43 pontos possíveis de coleta (35 da intersecção dos raios e 8 das bissetrizes). A partir dessas intersecções foram determinados os pontos de coleta, com auxílio de imagens de satélite, tendo em vista questões como acesso ao local, segurança para a realização da coleta e período de duração do presente trabalho. Foi necessário, portanto, limitar o número de pontos a serem amostrados, para que todas as etapas, desde a preparação até a análise do material coletado, além da obtenção e discussão dos resultados, pudessem ser executadas ao longo do período de vigência do estudo. A fim de que a coleta das amostras fosse executada de forma segura, foram selecionados pontos próximos dos quais houvesse acostamentos ou faixas zebradas de trânsito. O acesso aos pontos foi dado principalmente por meio de veículos, devido à disposição dos locais de coleta e maior facilidade na locomoção de um ponto a outro. Desse modo, foi necessária a verificação de áreas próximas aos pontos de coleta em que o veículo pudesse permanecer devidamente estacionado. Ao considerar todos esses fatores, foram determinados 14 pontos para a coleta das amostras, ilustrados na **Figura 4** abaixo:



**Figura 4:** Localização e distribuição dos pontos amostrados em relação às vias de acesso, malha de estudo e à cidade de São Paulo.

Com o intuito de facilitar a identificação das amostras de acordo com a respectiva proveniência, caracterizada pelo nome e sentido da via de acesso, os pontos amostrados foram nomeados, como indicado na **Tabela 2** a seguir:

**Tabela 2** - Parâmetros utilizados para definir a nomenclatura dos pontos amostrados

Via de acesso / Rodovia	Quilômetro (Km)	Sentido	Ponto de referência	Ponto
Ayrton Senna	12	Interior (leste)	-	AS12i
	15	Interior (leste)	-	AS15i
	18	Interior (leste)	Próximo à entrada da EACH	AS18i
Eusébio Matoso	-	Centro	Loja Tok&Stok	EM
Marginal Pinheiros	-	-	Ponte Cidade Universitária	MP-PTE C.U.
	-	-	Portaria 2 USP (Cidade Universitária)	MP-P2USP
Marginal Tietê	12,5	Interior (leste)		MT12,5i
	18	Interior (leste)		MT18i
	21	Capital (oeste)		MT21c
	4,5	Capital (oeste)		MT4,5c
Raposo Tavares	10	Interior (oeste)	Próximo ao SP Diversões	RAP10i
	17	Capital (leste)	Carrefour Hipermercado Raposo Tavares	RAP17c
	17	Interior (oeste)	Em frente ao condomínio Mairarê Reserva Raposo	RAP17i
	20	Interior (oeste)	Viaduto Procurador Sylvio de Ulhôa Cintra	RAP20i

## 2. Coleta

As amostras de poeira de rua foram coletadas com auxílio de pás de material plástico, escovas e pincéis previamente limpos em acostamentos ou em faixas zebradas. O material foi armazenado em sacos plásticos transparentes, posteriormente fechados com fita adesiva e identificados com caneta à prova d'água. Foi elaborado um registro fotográfico de cada um dos pontos em que foram coletadas amostras de poeira de rua, conforme apresentado na **Figura A1** em anexo. Após a realização da coleta, os ítems utilizados para tanto foram limpos com álcool e papel toalha, a fim de evitar contaminação de um ponto a outro.

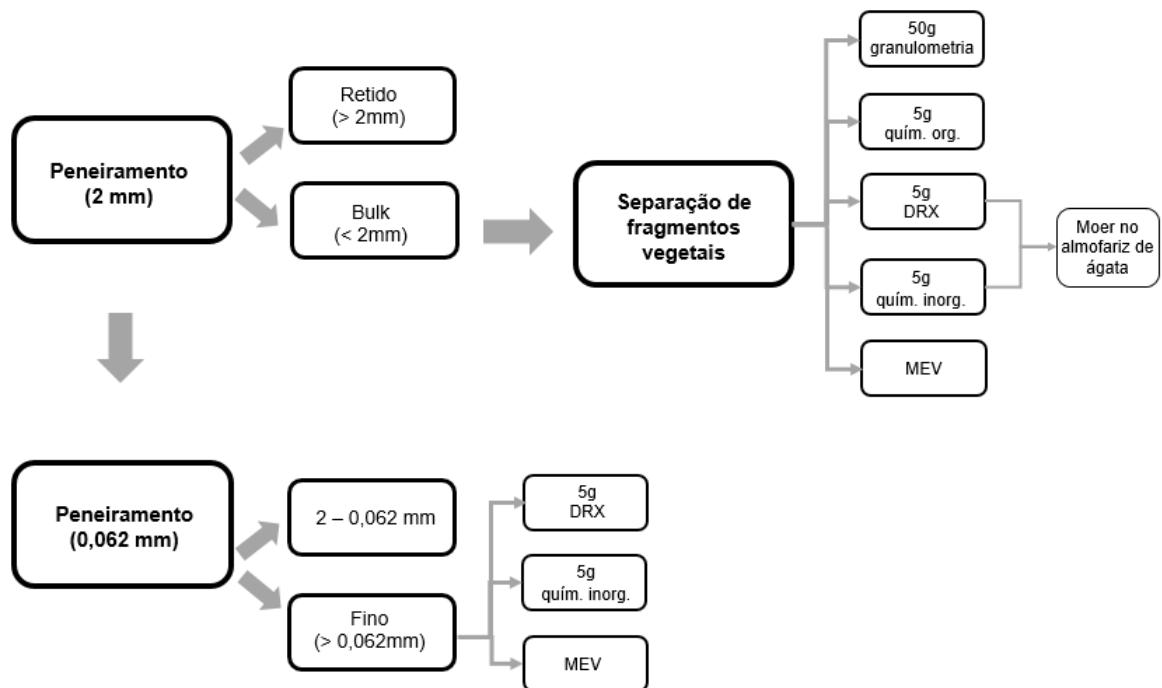
A área de coleta embora semelhante, não foi exatamente equivalente em todos os pontos de amostragem, variando de 1,2 m<sup>2</sup> a 3m<sup>2</sup>, devido principalmente à proximidade variável dos locais de coleta às pistas por onde trafegam os veículos. Na **Tabela 3** abaixo estão apresentados os dados referentes aos pontos de coleta, como coordenadas (UTM), velocidade de tráfego dos veículos e as dimensões da área em que foi coletada a poeira de rua:

**Tabela 3** – Relação de dados a respeito de cada ponto em que foram coletadas amostras de poeira de rua.

Ponto	Coordenadas (UTM)		Velocidade de tráfego dos veículos		Dimensões da área de coleta
	X	Y	Veículos leves	Veículos pesados	
AS18i	346538	7402418	120km/h	90 km/h	3m x 1m
AS15i	344338	7400687			
AS12i	341990	7399465			
EM	326249	7392086	50 km/h		3m x 0,5m
MP-PTE C.U.	325178	7393582	90 km/h	60 km/h	2m x 0,6m
MP-P2 USP	323164	7394660			2,8m x 0,7m
MT12,5i	332867	7398078			2,5m x 0,8m
MT18i	337753	7396933			3m x 0,8m
MT21c	340686	7397698			2,5m x 0,8m
MT4,5c	324842	7399230			
RAP10i	325219	7391980	90 km/h	80 km/h	3m x 0,5m
RAP17c	318411	7390730			
RAP17i	318551	7390774			
RAP20i	315663	7389698			

### 3. Preparação das amostras

Anteriormente à execução de quaisquer análises, as amostras, encaminhadas para o Laboratório de Geoquímica do IGc-USP, foram devidamente preparadas. Primeiramente os sacos plásticos, dentro dos quais estava armazenado o material coletado, permaneceram abertos por um período de 48h para secagem ao ar livre, a fim de que houvesse dissipação de umidade que eventualmente se encontravam entre os grãos. Para tanto, os sacos permaneceram cobertos com papéis toalha para que não houvesse contaminação das amostras por qualquer resíduo de poeira ou de outras atividades realizadas no laboratório. Após a pesagem, as amostras foram, em seguida, separadas em diferentes alíquotas, de acordo com uma série de etapas apresentadas no organograma da **Figura 5**.



**Figura 5:** Organograma das etapas para preparação das amostras, sendo “quím. inorg.” a quantificação de compostos inorgânicos por ICP-MS e “quím. org.” a quantificação de compostos orgânicos, para trabalhos futuros.

O peneiramento na peneira com malha de 2mm possibilitou a retenção de partículas grossas ( $> 2\text{mm}$ ) do material a ser analisado. A fração retida, após a pesagem, foi armazenada em sacos plásticos devidamente identificados, enquanto o material menor que 2mm, denominado *bulk*, foi pesado e encaminhado para a próxima etapa de preparação. As amostras que possuem grande quantidade de material coletado, em geral com peso inicial maior que 1Kg, foram submetidas primeiramente ao quarteamento antes do peneiramento. Nesses casos, com igual divisão do conteúdo das amostras, apenas uma porção determinada, como frações de 1/4 ou 1/8 do material inicial coletado, foi submetida aos processos de preparação. Também essas frações foram pesadas, com o intuito de verificar de modo preciso a massa da amostra a ser destinada às etapas de preparação para as análises.

Removidos os fragmentos grossos, foram separados os resíduos vegetais presentes nas amostras, como folhas, sementes e fragmentos de galhos e cascas de troncos. Para tanto, as amostras foram divididas em porções em vidros de relógio, a fim de que a observação do material fosse mais detalhada. A utilização de pinças em aço inoxidável proporcionou maior precisão na retirada desses fragmentos de origem vegetal.

Em seguida, foram reservadas massas determinadas para as análises: 50g para análises granulométricas; 5g para química orgânica; 5g para difração de Raios-X (DRX); 5g para química inorgânica (ICP-MS) e uma pequena quantia para Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O conteúdo para as análises granulométricas foi armazenado em sacos plásticos transparentes identificados com nome e massa das amostras, vedados com fita adesiva. As poções de 5g para as análises de química orgânica, inorgânica e difração de

Raios-X foram mantidas em pequenos potes plásticos devidamente tampados, contendo as seguintes informações com caneta à prova d'água: nome da amostra, massa, fração (finos - < 0,062mm - ou *bulk*) e análise a ser encaminhada. Os conteúdos destinados à difração de Raios-X e análise de química inorgânica foram posteriormente moídos manualmente no almofariz de ágata. Para a microscopia eletrônica de varredura (MEV) uma pequena quantidade do material, 1g aproximadamente, foi armazenado em placas de Petri de vidro, devidamente identificadas com caneta à prova d'água com informações a respeito do nome da amostra, fração e análise a ser realizada.

O restante do *bulk* obtido, após ser pesado, foi peneirado em peneira com malha de 0,062mm. Ambas as peneiras utilizadas possuem malhas de náilon, a fim de que não houvesse interferência de conteúdos metálicos no processo de peneiramento, uma vez que serão quantificados os elementos metálicos traços pelo método de ICP-MS. O peneiramento permitiu a separação das amostras nas seguintes frações: 2-0,062mm e <0,062mm, denominada fração fina. O material retido, de 2-0,062mm, foi pesado e mantido em sacos plásticos transparentes vedados com fita adesiva e identificados com caneta à prova d'água. Já o conteúdo obtido de fração fina foi destinado às seguintes análises: 5g para difração de Raios-X, 5g para análise de química inorgânica (ICP-MS) e uma pequena quantidade para microscopia eletrônica de varredura (MEV). Assim como na fração *bulk*, os conteúdos destinados à difração de Raios-X, análise química e microscopia eletrônica de varredura foram armazenados em pequenos potes plásticos transparentes e placas de Petri de vidro, respectivamente. Os procedimentos de preparação das amostras descritos acima estão apresentados, na **Figura A2** e na **Tabela A1**, ambas em anexo, na qual estão listadas as etapas e as massas, em gramas, de cada uma das amostras conforme a realização dos procedimentos.

## 4. Análises

### 4.1 Análises granulométricas

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia no IGc-USP por pipetagem, elutrição e peneiramento.

Primeiramente as amostras a serem analisadas foram pesadas em balança com precisão de duas casas decimais. Armazenadas em bêqueres plásticos de 1L, foram adicionados 1g de pirofosfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ) em cada uma das amostras a fim de evitar que ocorresse decantação súbita após a disposição das amostras nas provetas. O pirofosfato de sódio foi misturado às amostras juntamente a uma quantia aproximada de 300ml de água destilada com auxílio de um misturador mecânico durante alguns minutos. Em seguida, cada mistura foi colocada em um almofariz, para a desagregação do conteúdo argiloso dos grãos presentes

nas amostras através da movimentação do material somado a uma quantia de água destilada. Posteriormente, a mistura foi transferida para as provetas, que foram preenchidas com água destilada até a marcação de 1L (um litro). Para cada uma das amostras foi utilizada uma proveta com capacidade para 1L e 5 bêqueres de plástico de 100 ml. Esses foram devidamente pesados, identificados com o nome das amostras e enumerados de 1 a 5. Para a execução da pipetagem, os bêqueres são posicionados em fileira em frente à proveta da respectiva amostra, seguindo a sequência numérica, sendo o bêquer de número 1 o mais próximo e o 5, o mais afastado.

A pipetagem consiste na retirada de uma determinada quantidade de material das provetas em tempos e alturas específicos, de acordo com a tabela de pipetagem. A agitação inicial das amostras, com auxílio de um agitador, fornece um cenário bastante semelhante ao natural a respeito da velocidade de deposição principalmente do material fino, que possui importância significativa para o presente trabalho. Além disso, as amostras, constituídas por poeira de rua, apresentam características bastante heterogêneas, o que influencia nos resultados de outros tipos de análises granulométricas.

Posteriormente à pipetagem, foi realizada a elutrição, processo no qual há retirada do material fino remanescente presente na fração arenosa. Foram necessários para cada amostra um conjunto de um funil de vidro de 600ml, no qual estava conectada uma mangueira flexível com água corrente e uma haste, que possibilitava a sustentação de tais equipamentos no interior da pia própria para a execução da elutrição. Inicialmente foi retirado o excesso de água presente na proveta, uma vez que a fração fina já havia sido analisada pelo processo de pipetagem. O material de granulação mais grossa, restante na proveta, foi despejado no funil de vidro, com água corrente até à metade. A transferência do conteúdo para o funil foi auxiliada com pisseta de água de torneira, a fim de que não houvesse perda do material. Após o despejo, a torneira foi aberta, de modo que a pressão fosse adequada, de modo que não houvesse acumulação de grãos na mangueira e de que o material não jorrasse do funil. As amostras permaneceram na elutrição até que a água presente na parte superior do funil estivesse límpida. Ao final, o material restante foi transferido para um bêquer plástico, com capacidade de 1L, com auxílio de pisseta de água de torneira. Aguardado o período para decantação, o conteúdo foi transferido para um conjunto composto por funil de vidro de 600ml, papel de filtro, um para cada uma das amostras, devidamente identificado com caneta à prova d'água, e kitasato. Após a filtragem, os papéis de filtro foram cuidadosamente dobrados e armazenados na estufa, a uma temperatura aproximada de 60°C, por um período de 24h para secagem.

O peneiramento, etapa final da análise granulométrica, consiste na separação do material amostrado de acordo com as dimensões das partículas. Para tanto foi utilizado um conjunto de 11 peneiras (de 2mm a 0,062mm) empilhadas, sendo que a de malha mais grossa foi posicionada no topo e a mais fina, na base da coluna, sob a qual foi disposto também um

fundo. O conteúdo da amostra já seco, presente no papel de filtro, foi transferido para a peneira superior (de malha mais grossa) com auxílio de pincéis. Em seguida, o conjunto de peneiras foi devidamente tampado e fixado no vibrador acondicionado à caixa para amortecer ruído e vibração presente no laboratório. Com o vibrador calibrado em 80% da capacidade máxima (reostato na posição 8) as amostras permaneceram por um período de 20 minutos. Para a remoção do conteúdo retido em cada uma das peneiras estavam presentes na bancada uma folha A3 e, sobre ela, uma folha de rascunho A4, a fim de evitar perda de material. Com auxílio de pincéis, cada uma das frações foi transferida da peneira, para folha de rascunho A4 e posteriormente armazenada em pequenos envelopes de papel sulfite, identificados com o nome da amostra e a fração granulométrica correspondente. Cada uma das frações foi pesada em balança de precisão, presente no laboratório. Para tanto, os materiais foram retirados dos envelopes de papel e transferidos para placas de Petri de vidro. Após serem pesadas, todas as frações pertencentes a uma mesma amostra foram armazenadas em sacos plásticos transparentes devidamente identificados com o código da amostra. Tanto antes de se iniciar o peneiramento, quanto depois do uso, o conjunto de peneiras e pincéis utilizados foram limpos com ar comprimido. A **Figura A3**, em anexo, apresenta fotos de etapas dos processos de pipetagem, elutriação e peneiramento realizados no Laboratório de Sedimentologia do IGc-USP.

#### 4.2 Difração de Raios-X

A preparação das amostras, juntamente com a realização das análises de difração de Raios-X propriamente dita, foram executadas no Laboratório de Difração de Raios-X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências (IGc-USP). Tanto as amostras de fração *bulk* (< 2mm) quanto de fração fina (< 0,062mm) foram moídas em almofariz de ágata, a fim de tornar homogêneo todo o conteúdo a ser analisado. Com auxílio de pincéis, o material moído foi transferido para porta amostras com dimensões de 16mm de diâmetro por 3mm de profundidade, posteriormente nivelado com auxílio de uma pequena lâmina de vidro. Após esse processo as amostras foram encaminhadas para a realização da análise propriamente dita. O método de difração de Raios-X consiste na incidência de um feixe de Raios-X monocromático em planos de alguns cristais, que reemitem o feixe incidente na forma semelhante a uma reflexão. A partir dessa técnica é possível identificar componentes da amostra analisada por meio da determinação do seu espaçamento interplanar ( $d$ ) e da intensidade relativa ( $I/I_0$ ) para cada linha de difração observada no difratograma em relação ao pico de máxima intensidade. Tal análise, utilizada na identificação dos constituintes microestruturais, não danifica o material a ser analisado. Posteriormente à execução das análises, por meio de um estudo semi-quantitativo foram atribuídos valores, dados em porcentagens, que expressam a proporção dos minerais presentes nas amostras.

O método utilizado é conhecido como RIR (Reference Intensity Ratio), no qual é utilizado um padrão de referência da difração dos materiais para determinar as concentrações relativas dos minerais identificados.

#### 4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram utilizadas as frações *bulk* de 6 amostras previamente separadas para a preparação dos *stubs*, suportes metálicos nos quais são dispostas uma pequena quantidade das amostras a serem analisadas por MEV. Para cada amostra foi utilizado um *stub*, identificado com letras com caneta à prova d'água, conforme a relação presente na **Tabela 4** a seguir:

**Tabela 4** – Relação do código das amostras e das letras utilizadas para identificação dos *stubs* para Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Código das amostras	Letra de identificação para MEV
AS15i	A
MP-PTE C.U.	B
RAP17i	C
EM	D
MP-P2 USP	E
MT21c	F

A preparação para essa análise foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IGc-USP, onde foi adicionada uma fita condutora dupla face de carbono em cada um dos *stubs* sobre a qual foi fixado o material amostrado. Posteriormente à disposição das amostras nos *stubs*, esses foram fotografados na lupa presente no Laboratório de Geoquímica do IGc-USP, a fim de auxiliar a localização de feições durante a análise por MEV. As fotos, portanto, foram orientadas a partir da posição das letras de identificação para cada uma das amostras, que tiveram função semelhante ao norte geográfico em mapas. Em seguida, as amostras foram recobertas por uma camada de carbono.

Na **Figura A4**, em anexo, estão apresentadas as fotos em lupa de cada um dos *stubs*, preparados para o MEV, antes de serem recobertos. Em todas o aumento utilizado foi de 6,5x. Foram realizadas sessões de microscopia eletrônica de varredura nos *stubs* identificados com as letras A e B provenientes da rodovia Ayrton Senna e Marginal Pinheiros respectivamente. Na Microscopia Eletrônica de Varredura o material a ser analisado é irradiado por um pequeno feixe de elétrons e, a partir da interação desse com a amostra, são emitidas radiações como elétrons secundários, elétrons retroespalhados e Raios-X. As imagens foram produzidas a partir dos sinais de elétrons secundários e elétrons retroespalhados, além da realização de microanálise por energia dispersiva (EDS). Tal estudo permite a obtenção de informações

microcomposicionais detalhadas através da identificação de Raios-X emitidos pela amostra analisada.

#### *4.4 Quantificação de elementos traço*

As amostras foram preparadas para essa análise no Laboratório de Geoquímica do IGc-USP. Foram separadas aproximadamente 5g da fração *bulk* de cada uma das amostras e a mesma quantia da fração fina (< 0,062mm) para as amostras que tinham massa suficiente. O material da fração *bulk* foi moído em almofariz de ágata, até que a amostra apresentasse um aspecto homogêneo e foi posteriormente armazenado, assim como a fração fina, em pequenos potes plásticos transparentes. Todos foram devidamente identificados com o código da amostra e a fração correspondentes. As amostras foram encaminhadas para o laboratório AcmeLab, na filial da Argentina, a fim de que fossem executadas análises de composição química pelo método de ICP-MS em um total de 23 amostras, dentre as frações *bulk* e fina. Infelizmente, as análises ainda não foram realizadas e os resultados não poderão ser apresentados e discutidos, uma vez que as amostras foram retidas na alfândega da Argentina, há mais de um mês, impedindo a execução das análises. No **Anexo A5** está presente o detalhamento das datas de envio e chegada das amostras, além das informações atualizadas do processo de recebimento por parte do despachante.

#### *4.5 Distribuição espacial*

O estudo da distribuição espacial foi realizado com auxílio do programa QGis. Por meio dessa ferramenta de Geoprocessamento, os dados a respeito das frações granulométricas das amostras puderam ser apresentados de forma a contribuir para melhor visualização e compreensão da influência de variáveis como localização dos pontos e velocidade dos veículos, por exemplo.

## VI. RESULTADOS

### 1. Granulometria e distribuição espacial

As análises granulométricas fornecem as dimensões das partículas que constituem as amostras, que foram submetidas à separação de dois modos distintos:

- Separação das amostras em classes de até 0,5phi dentro da faixa de 2,00 a 0,062mm por meio de agitador mecânico. Foram obtidos resultados a respeito da distribuição granulométrica em massa e da dispersão químico-mecânica das amostras analisadas.
- Separação das amostras em classes de 1,0phi nas frações silte e argila (faixa < 0,062mm) por meio de decantação fracionada em coluna de água estacionária. Foram obtidos dados da distribuição granulométrica em massa das amostras analisadas.

De modo geral, a maior parte do conteúdo das amostras analisadas apresentou granulação areia fina, sendo areia grossa a segunda fração em maior proporção. Observou-se também variação significativa na proporção de material fino, tanto na fração argila quanto silte, nas amostras. Esse conteúdo pelítico, juntamente com a granulação areia fina, caracterizam as frações granulométricas de menor proporção em massa.

De todas as amostras analisadas a única que não apresenta dados com representatividade adequada é a MT18i, devido à significativa perda de material durante a elutrição. Os processos necessários para a realização da análise granulométrica não puderam ser refeitos, uma vez que não havia material amostrado suficiente. Por esse motivo, os resultados da análise granulométrica dessa amostra não foram apresentados, a fim de que não fossem realizadas comparações e interpretações errôneas com esses dados.

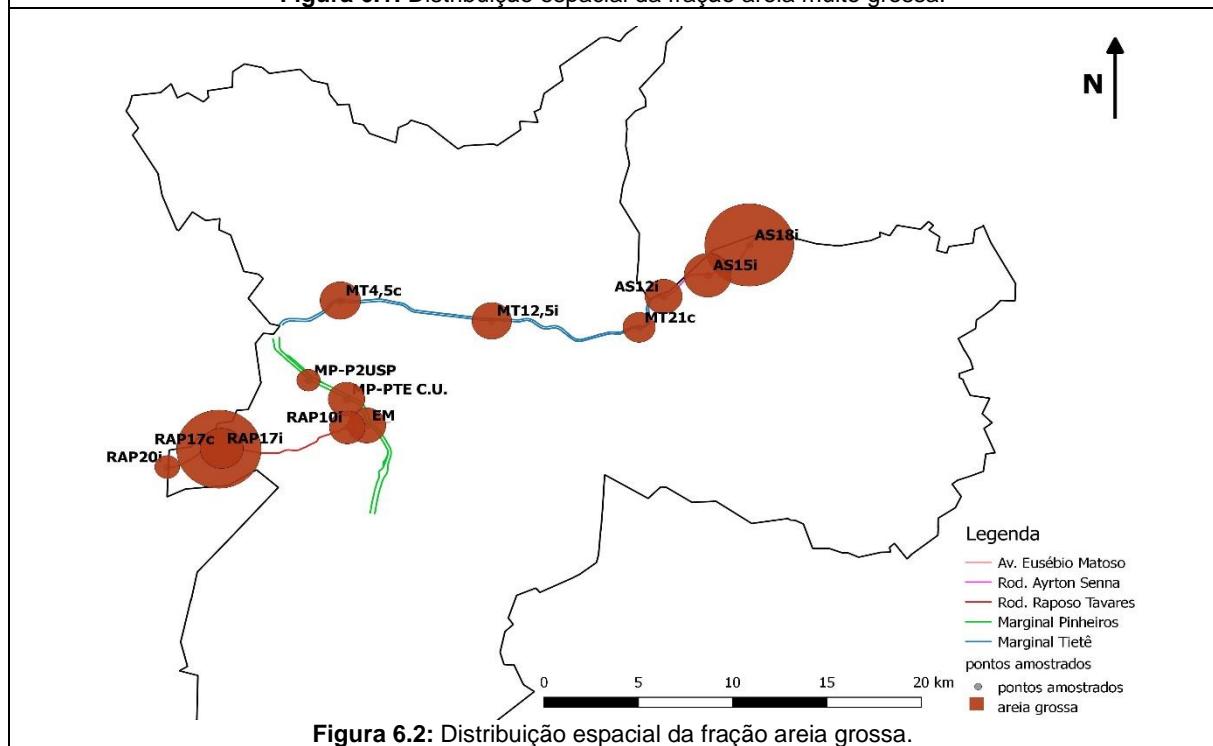
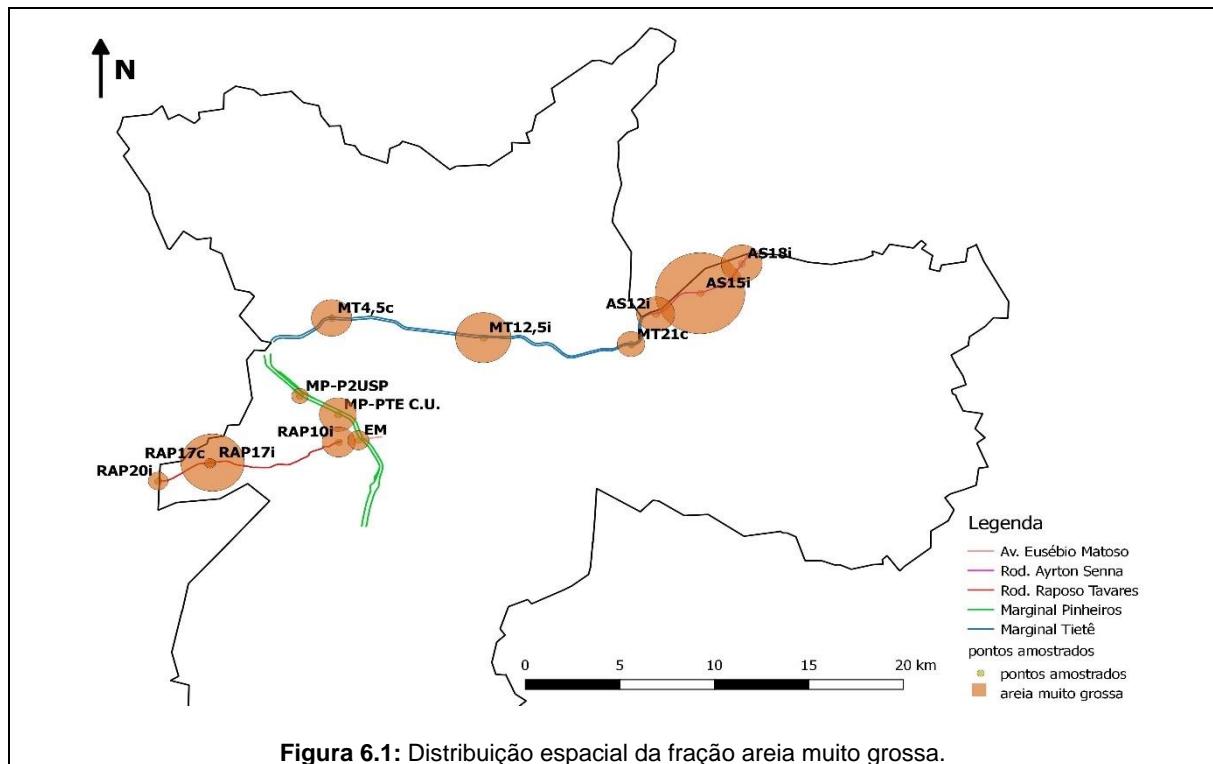
As proporções em massa de cada uma das frações granulométricas, dada em porcentagem, das amostras analisadas estão apresentadas na **Tabela 5**.

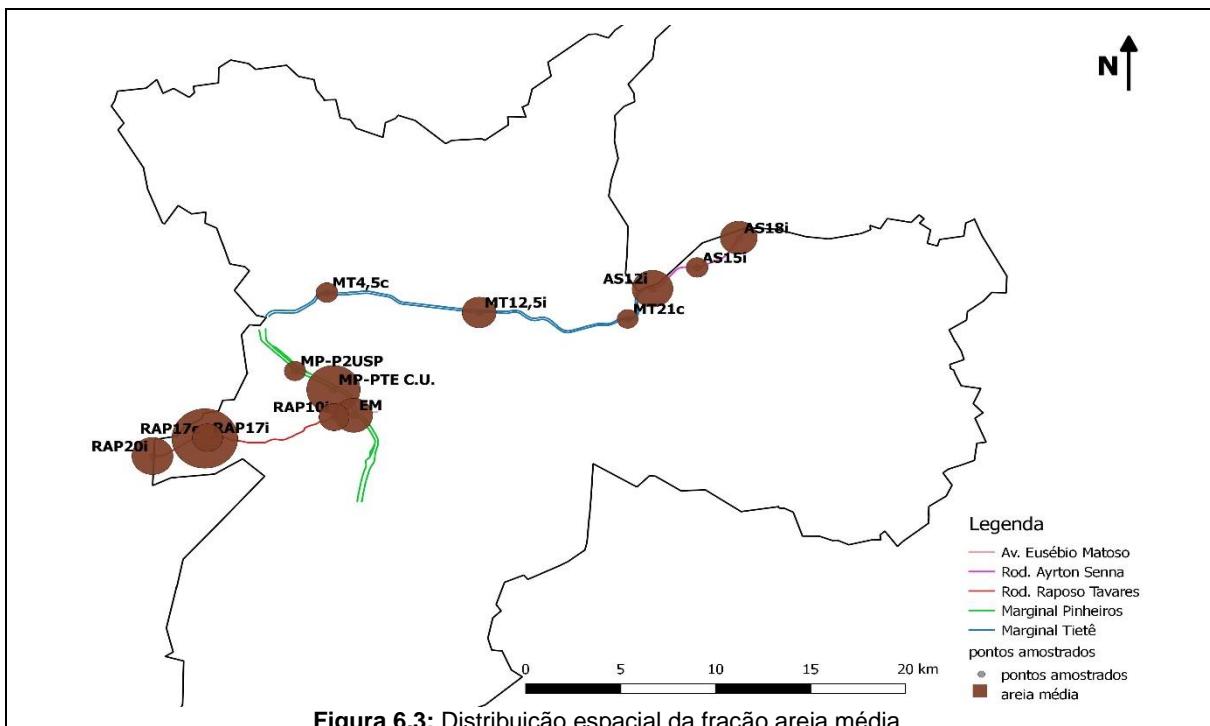
**Tabela 5** – Proporções das frações granulométricas para as amostras analisadas.

Amostra	Proporção em massa (%)						
	AREIA					SILTE	ARGILA
	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA		
AS15i	21,44	26,82	12,44	31,22	3,88	1,57	2,59
EM	5,11	21,65	21,33	41,52	6,04	2,86	1,49
MP-PTE C.U.	8,93	20,76	30,03	17,78	7,90	11,68	2,88
RAP17i	15,22	24,51	17,15	27,11	6,03	6,29	3,69
RAP17c	2,60	47,86	37,03	6,94	1,51	2,07	1,87
MT21c	6,68	18,36	11,84	32,93	14,90	10,93	4,35
AS18i	9,86	50,43	20,82	6,37	0,98	5,85	5,57
RAP20i	4,76	14,16	23,29	29,98	14,22	9,32	4,28
RAP10i	8,00	20,24	17,02	26,64	13,56	9,44	5,03
MT12,5i	13,30	22,46	19,35	20,72	6,75	12,66	4,75
MP-P2USP	4,06	13,52	12,20	45,14	11,04	9,74	4,30
MT4,5c	9,74	23,07	12,48	32,08	7,87	9,36	5,41
AS12i	9,14	21,22	22,98	24,80	12,83	5,11	3,92

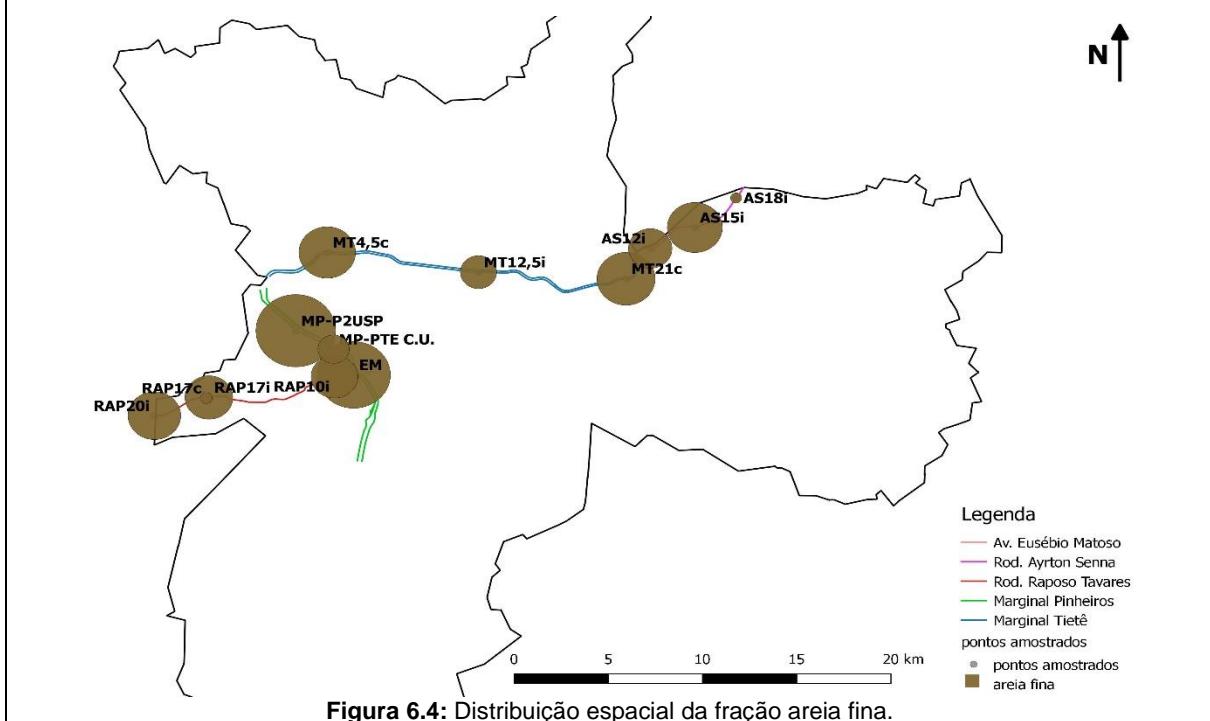
Na **Figura A6**, em anexo, estão apresentados os gráficos que relacionam comparativamente as frações granulométricas de cada amostra.

O estudo da distribuição espacial das frações granulométricas foi realizado com auxílio do programa QGis no qual foram relacionados os dados a respeito das frações granulométricas das amostras com a localização de cada uma delas, conforme apresentado na **Figura 6** a seguir:

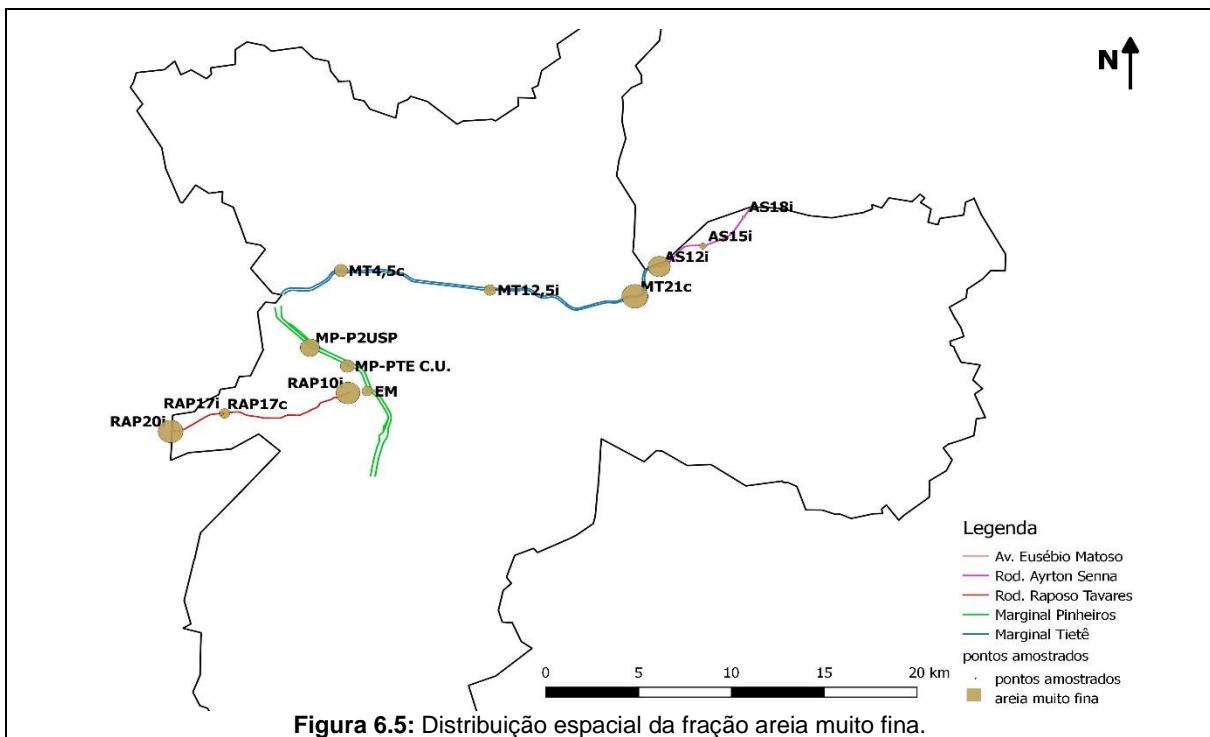




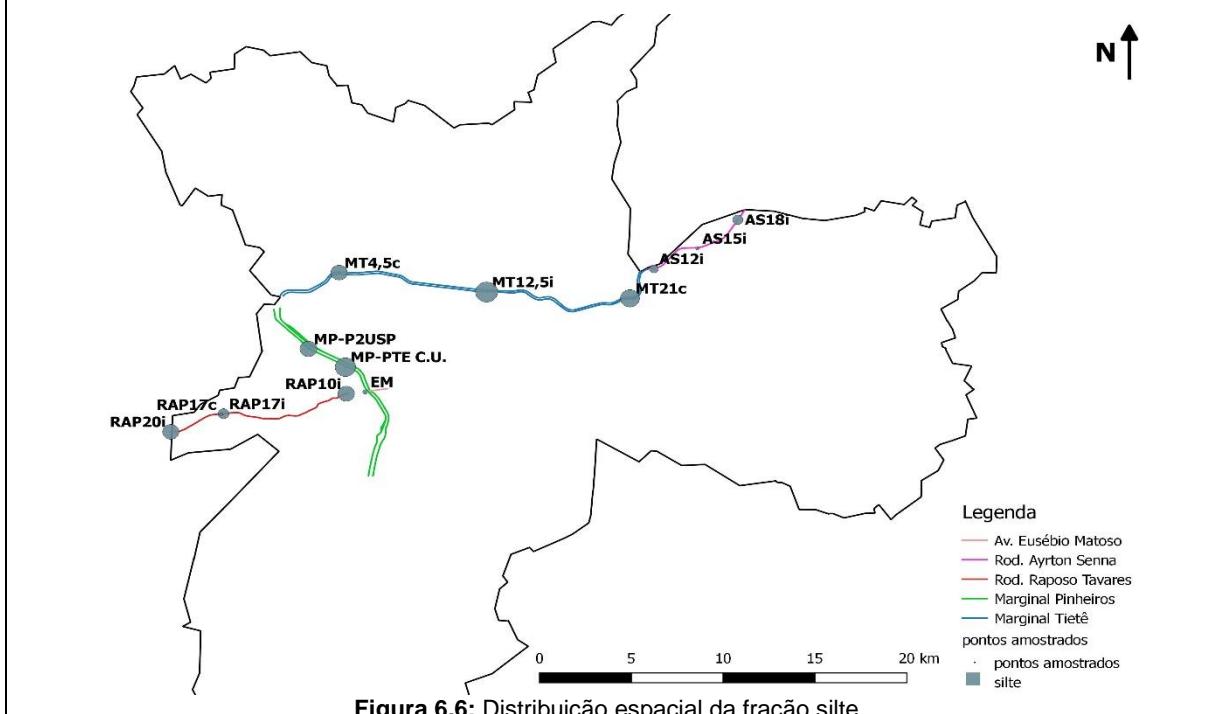
**Figura 6.3:** Distribuição espacial da fração areia média.



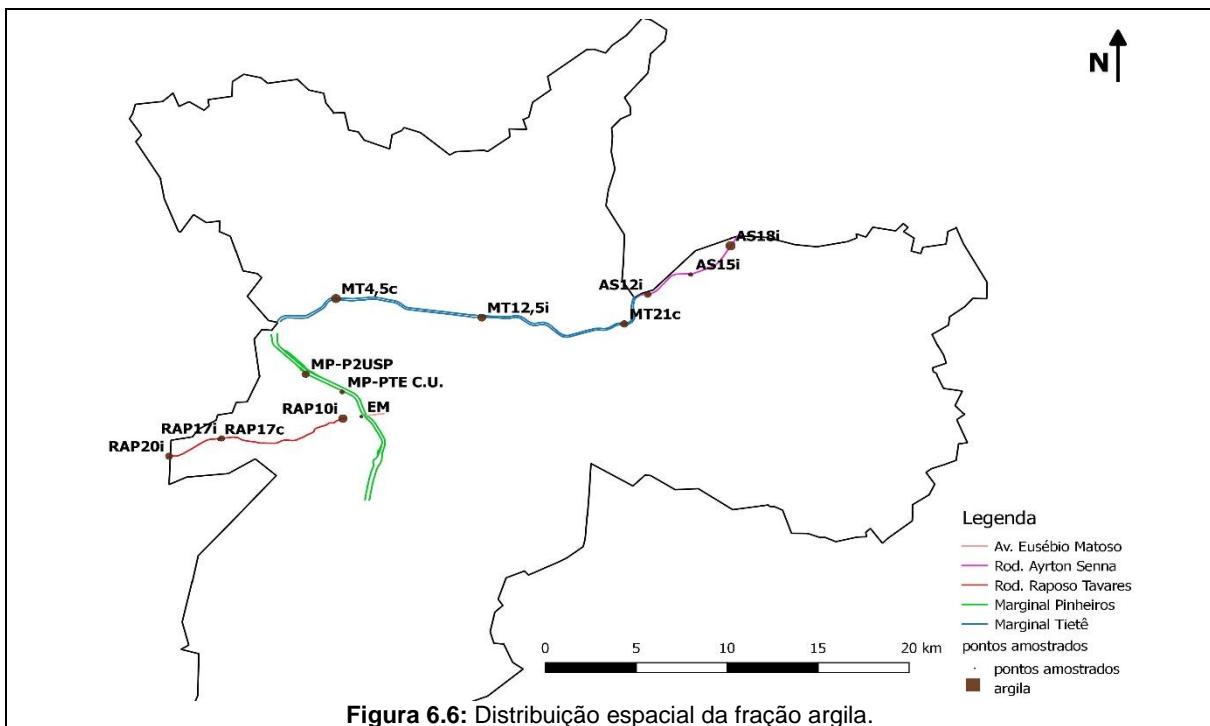
**Figura 6.4:** Distribuição espacial da fração areia fina.



**Figura 6.5:** Distribuição espacial da fração areia muito fina.



**Figura 6.6:** Distribuição espacial da fração silte.



**Figura 6.6:** Distribuição espacial da fração argila.  
**Figura 6:** Distribuição espacial das frações granulométricas das amostras.

A análise da distribuição espacial evidencia a heterogeneidade da granulometria das amostras de poeira de rua analisadas, ainda que sejam originadas da mesma rodovia. Foi possível observar também a predominância da fração areia (fina, grossa e média, em ordem decrescente de proporção) em virtude da fração fina, principalmente na fração argila. A ocorrência significativa da fração silte nas marginais Tietê e Pinheiros também foi constatada.

## 2. Difração de Raio-X

A análise por difração de Raios-X permite a detecção das fases cristalinas presentes nas frações total (*bulk*) e fina do material coletado. Desse modo foi possível determinar a composição mineralógica global das amostras.

Foram identificados, nas amostras analisadas, os seguintes minerais: quartzo, feldspatos (alcalino e plagioclásio), mica, argilominerais, carbonatos (calcita e dolomita) e anfibólio. Por meio de um estudo semi-quantitativo foram atribuídos valores, dados em porcentagens, que expressam a proporção dos minerais presentes nas amostras. Tais informações estão listadas na **Tabela 6** a seguir:

**Tabela 6** – Minerais identificados por DRX com os devidos valores de proporção, em porcentagem, para cada uma das amostras analisadas.

AMOSTRA		MINERAIS (Análise semi-quantitativa dada em %)							
		SILICATOS				CARBONATOS			
		TECTOSSILICATOS		FILOSSILICATOS		INOSSILICATOS			
Código	Fração	Quartzo	Feldspato		Mica	Argilominerais	Anfibólio cálcico	Calcita	Dolomita
AS12i	BULK	34,7	34,3	20,9	8,0	-	1,2	-	1,0
	FINA	27,30	35,80	15,30	12,80	1,40	1,60	-	5,80
AS15i	BULK	42,6	38,6	17,6	-	-	1,2	-	-
AS18i	BULK	62,3	15,0	13,1	6,0	0,9	1,5	-	1,2
	FINA	24,0	27,2	18,7	22,5	2,1	1,6	-	3,8
EM	BULK	63,2	20,0	9,3	3,7	-	1,7	-	2,1
	FINA	20,2	25,7	35,5	7,1	3,1	3,0	1,5	3,9
MP-PTE C.U.	BULK	31,2	27,2	18,0	5,1	1,0	1,5	-	15,9
	FINA	32,7	29,5	16,1	7,4	1,4	1,8	1,3	9,8
MP-P2USP	BULK	24,9	41,6	27,1	-	2,0	2,5	-	1,9
	FINA	36,6	39,8	11,9	-	2,5	2,6	3,7	2,9
MT12,5i	BULK	19,0	28,5	38,4	7,8	1,4	2,3	-	2,7
MT18i	BULK	24,0	36,3	26,3	7,4	2,1	2,4	-	1,6
MT21c	BULK	33,6	26,7	26,4	7,5	1,6	2,3	-	1,9
	FINA	33,1	25,2	22,8	7,8	1,8	2,8	-	6,5
MT4,5c	BULK	20,9	31,1	34,9	6,8	1,2	2,1	-	2,9
	FINA	29,7	25,9	17,2	6,1	1,3	1,5	-	18,3
RAP10i	BULK	55,2	17,9	13,3	5,0	1,4	1,7	0,9	4,6
	FINA	28,4	33,7	18,5	9,1	1,6	1,8	1,4	5,5
RAP17c	BULK	20,4	41,4	32,0	-	2,1	2,4	-	1,7
RAP17i	BULK	25,5	41,8	29,8	-	-	1,3	-	1,6
RAP20i	BULK	48,5	27,2	13,4	5,2	1,4	1,2	-	3,1
	FINA	59,6	15,1	6,9	6,7	5,9	2,3	-	3,4

Com base nos dados apresentados pode-se verificar, de modo geral, maior quantidade de quartzo na fração *bulk* em relação à fração fina. Além disso, é possível observar maior proporção de filossilicatos (tanto mica, quanto argilominerais) e carbonatos (calcita e dolomita) na fração fina. Em relação à abundância de anfibólios, não foi constatada variação significativa acerca das frações das amostras.

A **Figura A7**, em anexo, apresenta os difratogramas das amostras analisadas, nos quais estão presentes os minerais identificados, fórmula química e proporção, em porcentagem, da abundância de cada um deles.

### 3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura permite a identificação e obtenção de informações a respeito da morfologia de materiais sólidos. As informações a respeito das amostras, proveniência e quantidade de partículas analisadas estão listadas na **Tabela 7** abaixo:

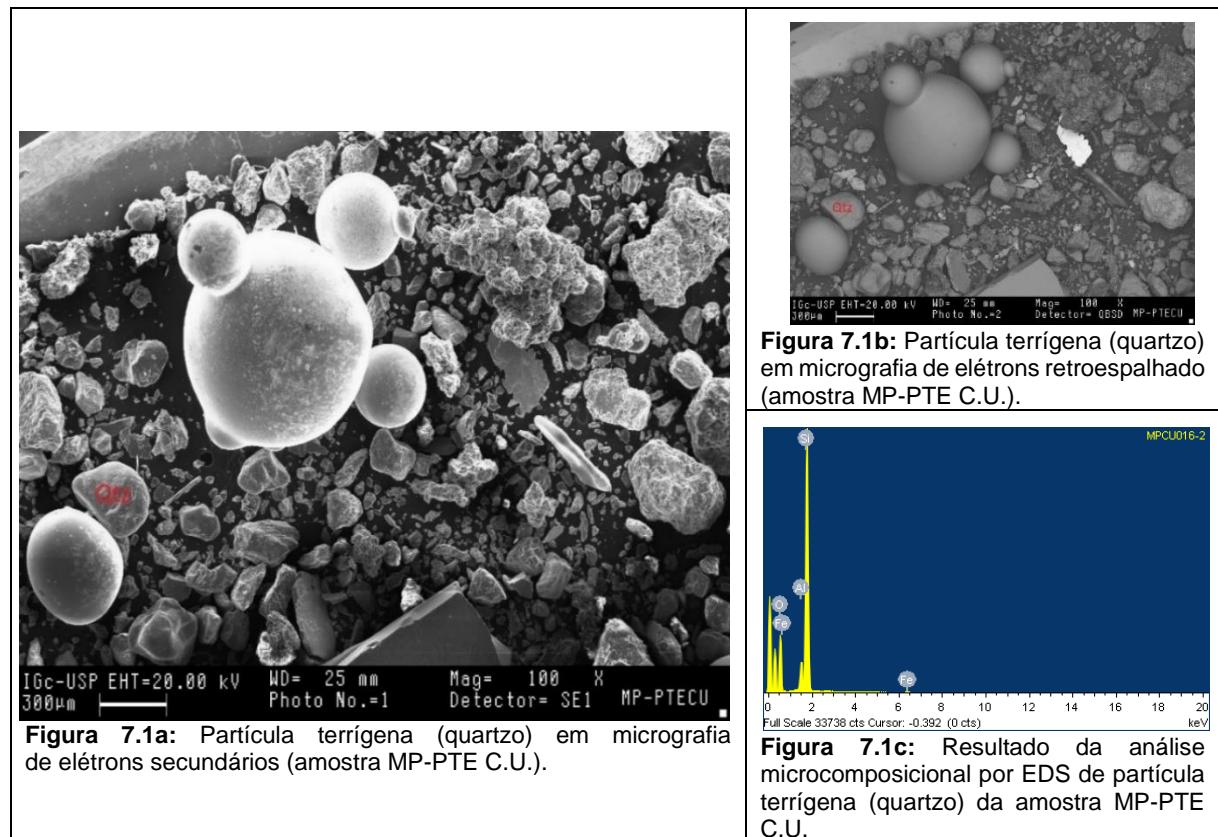
**Tabela 7** – Informações a respeito do código, local de proveniência e partículas analisadas para cada as amostras examinadas no MEV.

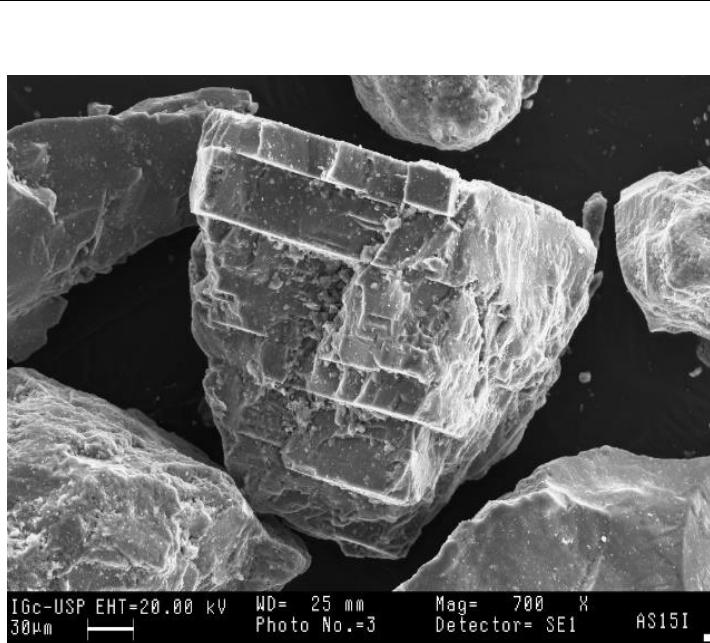
Código da amostra	Identificação do stub	Local de proveniência	Partículas analisadas
AS15i	A	Rodovia Ayrton Senna	17
MP-PTE C.U.	B	Marginal Pinheiros	22

As partículas analisadas foram divididas em três categorias distintas: terrígenas, antrópicas e não identificadas.

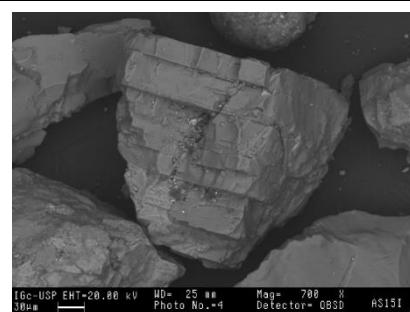
### 3.1 Partículas terrígenas

As partículas terrígenas representam a maior parte das partículas presentes nos *stubs* das amostras analisadas. São caracterizadas principalmente por cristais de quartzo e feldspato com formas bem definidas. Pertencem a esse grupo também argilominerais, óxidos de ferro, além de monazita e zircão, típicos minerais acessórios em rochas. A **Figura 7** a seguir contém imagens de elétrons secundários e retroespalhados de algumas partículas terrígenas encontradas:

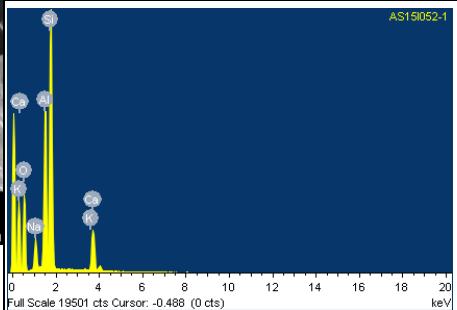




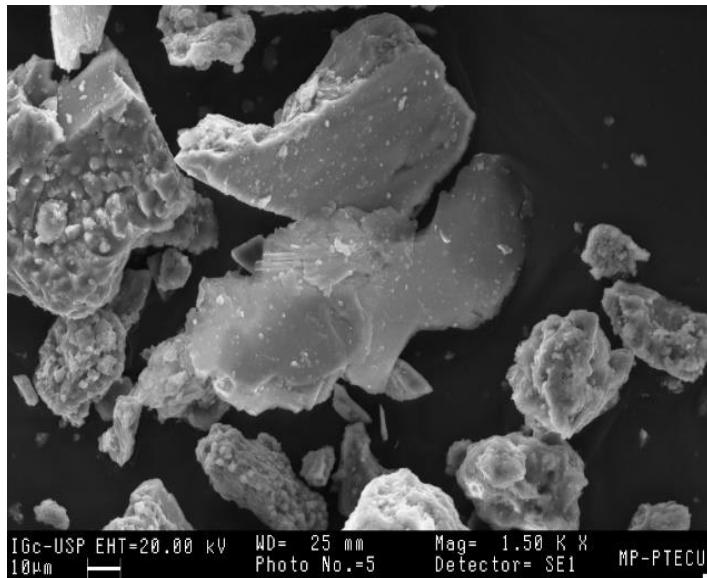
**Figura 7.2a:** Zoom de partícula terrígena (feldspato) em micrografia de elétrons secundários (amostra AS15i).



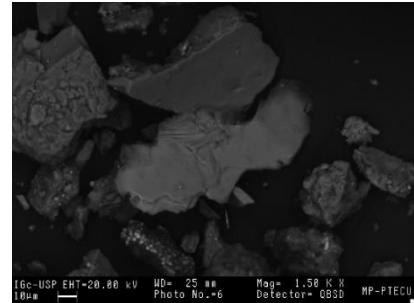
**Figura 7.2b:** Zoom de partícula terrígena (feldspato) em micrografia de elétrons secundários (amostra AS15i).



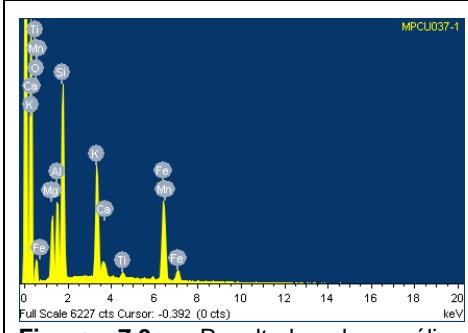
**Figura 7.2c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de partícula terrígena (feldspato) da amostra AS15i.



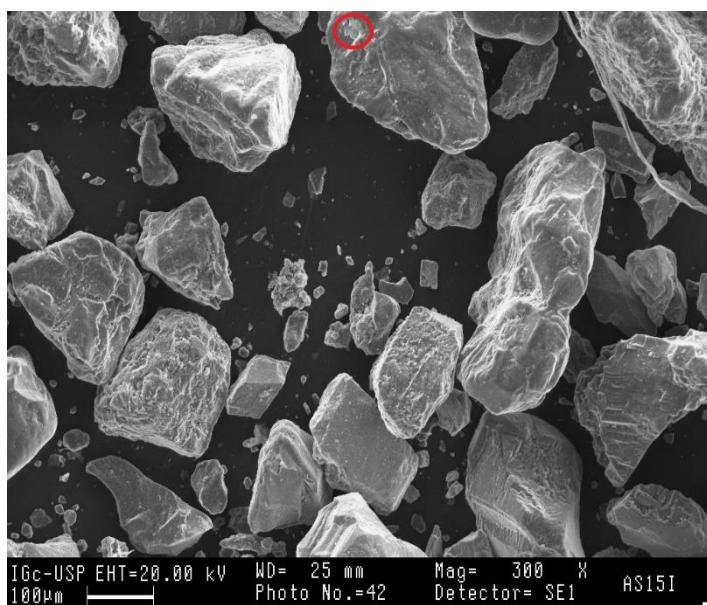
**Figura 7.3a:** Argilomineral em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



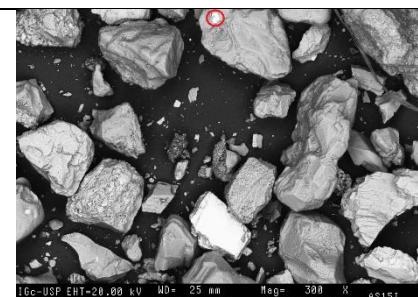
**Figura 7.3b:** Argilomineral em micrografia de elétrons retroespelhados (amostra MP-PTE C.U.).



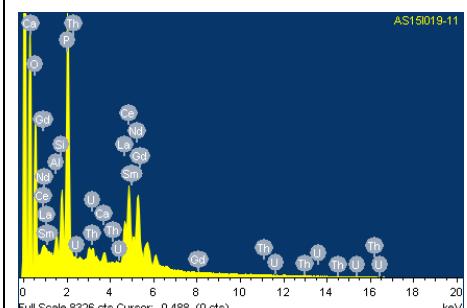
**Figura 7.3c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de argilomineral (amostra MP-PTE C.U.).



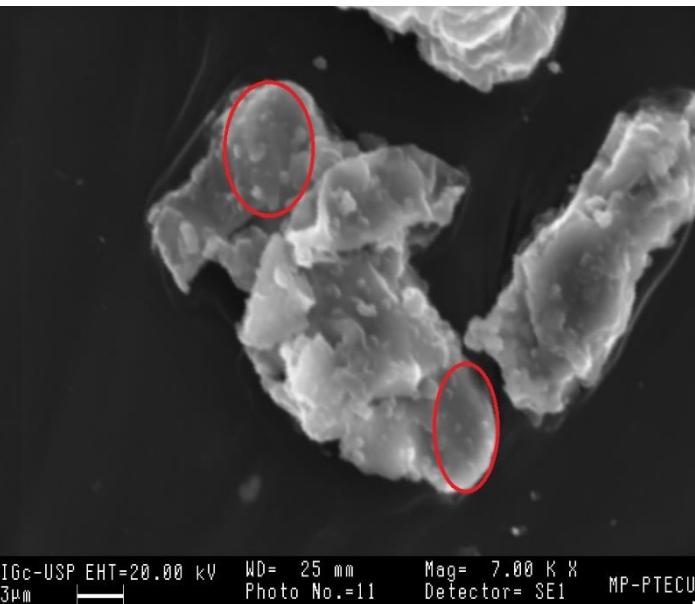
**Figura 7.4a:** Monazita (em destaque) em micrografia de elétrons secundários (amostra AS15i).



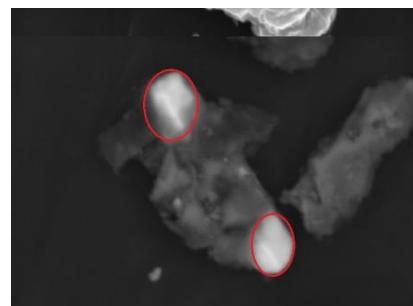
**Figura 7.4b:** Monazita (em destaque) em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra AS15i).



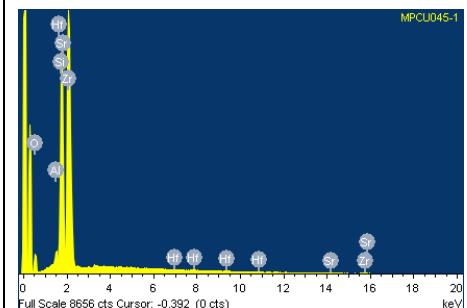
**Figura 7.4c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS da monazita (amostra AS15i).



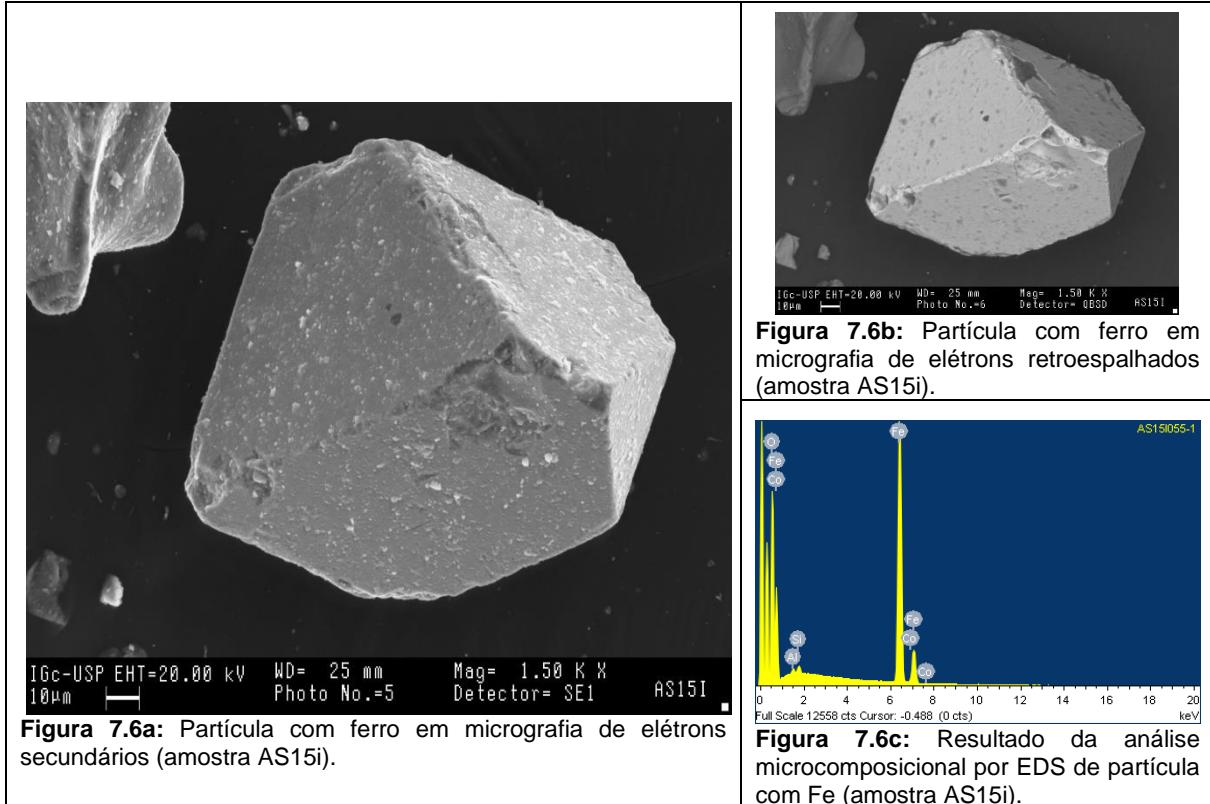
**Figura 7.5a:** Zircão (em destaque) em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



**Figura 7.5b:** Zircão (em destaque) em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



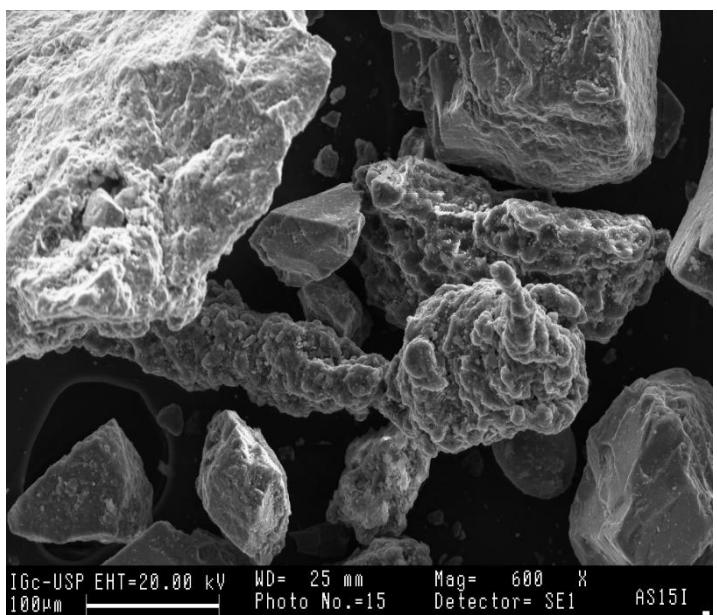
**Figura 7.5c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS do zircão (amostra MP-PTE C.U.).



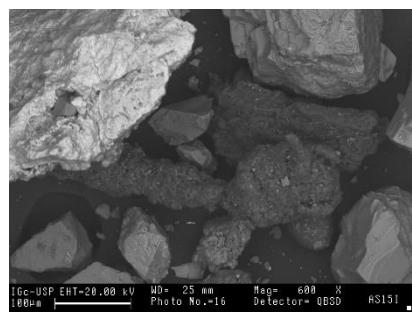
**Figura 7:** Imagens de elétrons secundários, retroespalhados e gráficos de análises microcomposicionais por EDS de partículas terrígenas.

### 3.2 Partículas antrópicas

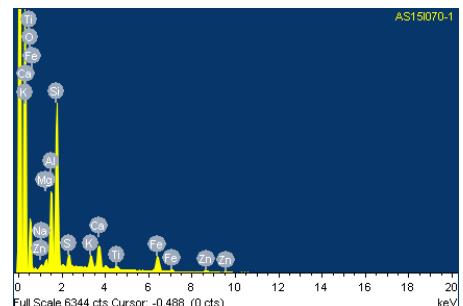
As partículas antrópicas estão presentes principalmente na forma de agregados ou de partículas metálicas. Os agregados possuem significativo conteúdo metálico em sua constituição, além de apresentar frequentemente componentes orgânicos, o que por vezes impossibilitou a execução de análises microcomposicionais por EDS. Podem ser diferenciados em agregados relacionados a borrachas de pneus, de feijão mais alongada, e agregados associados a constituintes do asfalto, de forma mais irregular. As partículas metálicas, por sua vez, estão presentes de três modos distintos: em formato esférico, como as esferas de ferro; formato irregular, semelhantes a lascas; e em partículas de pequenas dimensões, comparativamente às demais. Foram encontradas também esferas de vidro, em ambas as amostras analisadas, conforme apresentado na **Figura 8** a seguir:



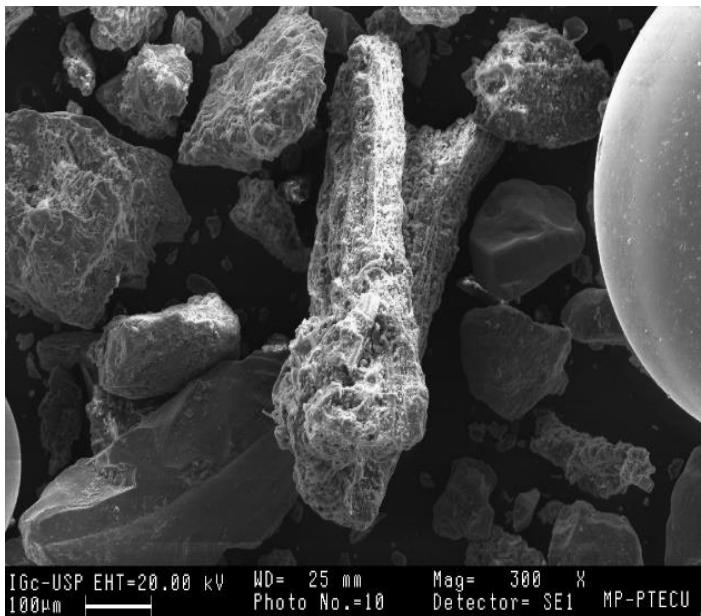
**Figura 8.1a:** Agregado antrópico (relacionado ao asfalto) em micrografia de elétrons secundários (amostra AS15i).



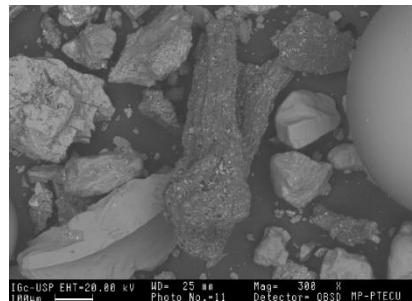
**Figura 8.b:** Agregado antrópico (relacionado ao asfalto) em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra AS15i).



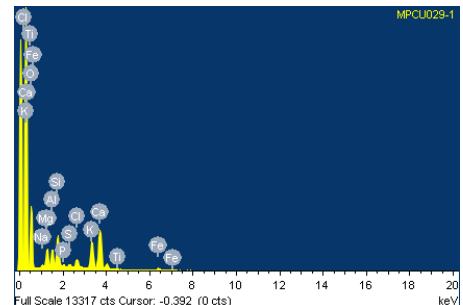
**Figura 8.1c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de agregado antrópico (relacionado ao asfalto) na amostra AS15i.



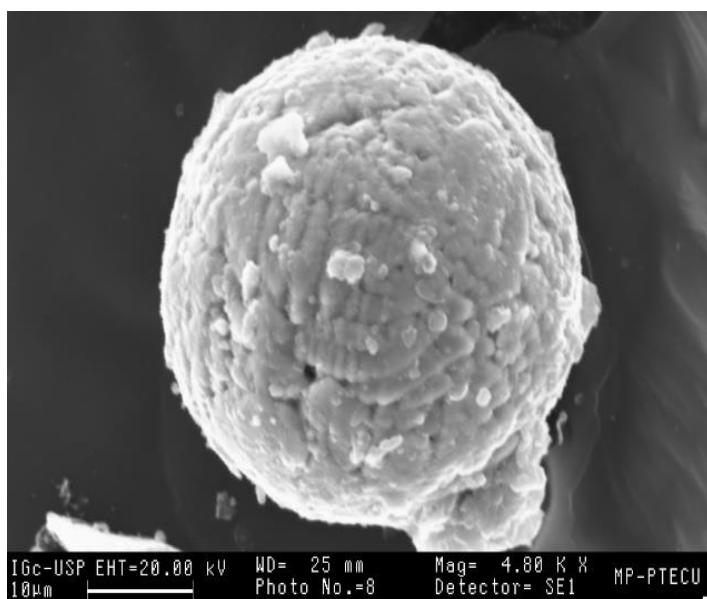
**Figura 8.2a:** Agregado antrópico (fragmento de borracha de pneu) em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



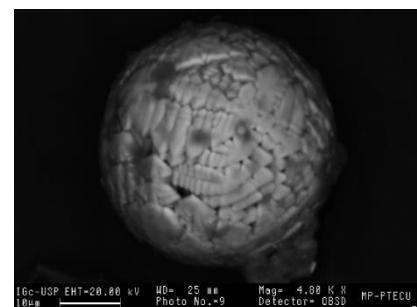
**Figura 8.2b:** Agregado antrópico (fragmento de borracha de pneu) em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



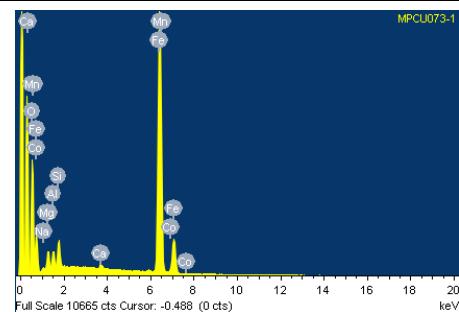
**Figura 8.2c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de agregado antrópico (fragmento de borracha de pneu) na amostra MP-PTE C.U.



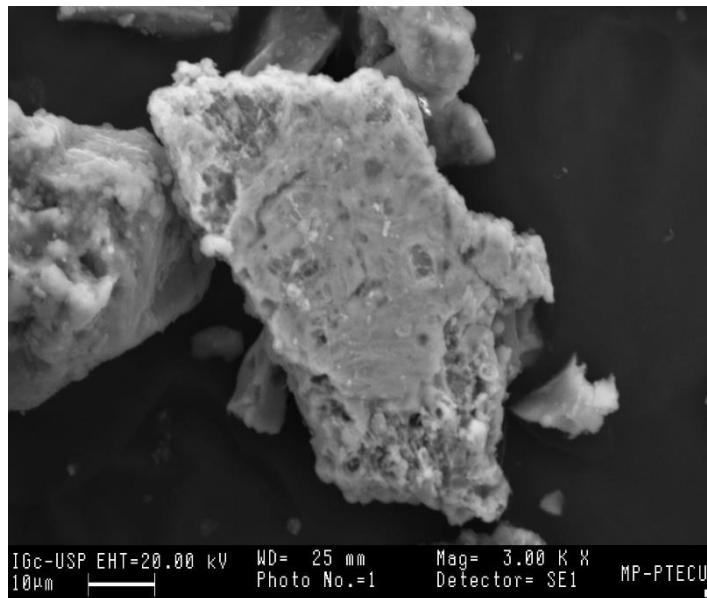
**Figura 8.3a:** Esfera de ferro em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



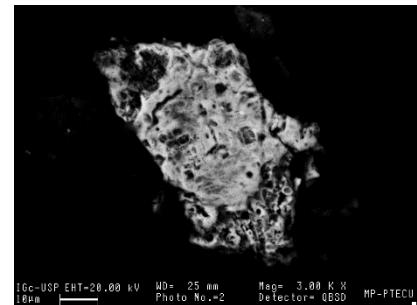
**Figura 8.3b:** Esfera de ferro em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



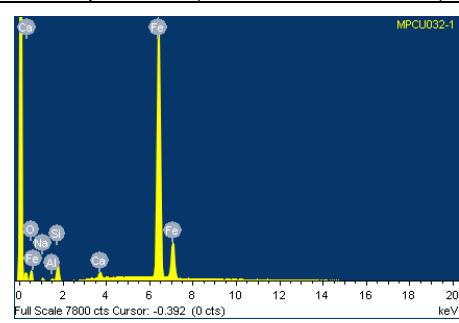
**Figura 8.3c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de esfera de ferro (amostra MP-PTE C.U.).



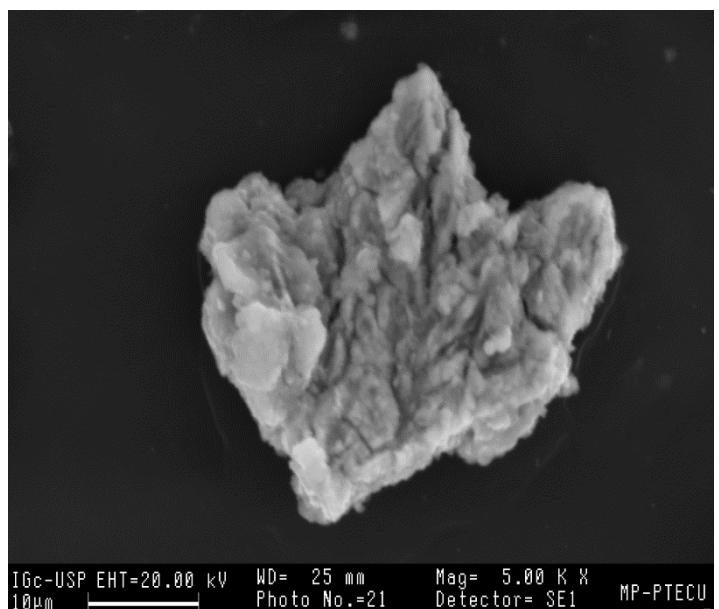
**Figura 8.4a:** Partícula metálica irregular em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



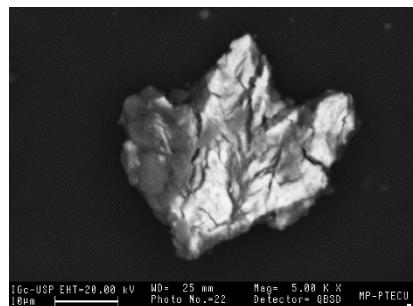
**Figura 8.4b:** Partícula metálica irregular em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



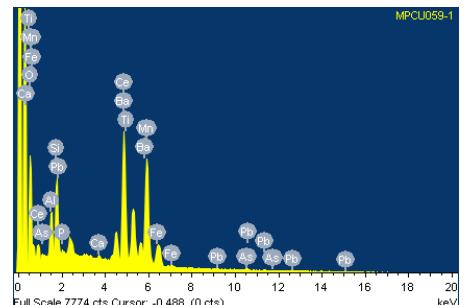
**Figura 8.4c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de partícula metálica (amostra MP-PTE C.U.).



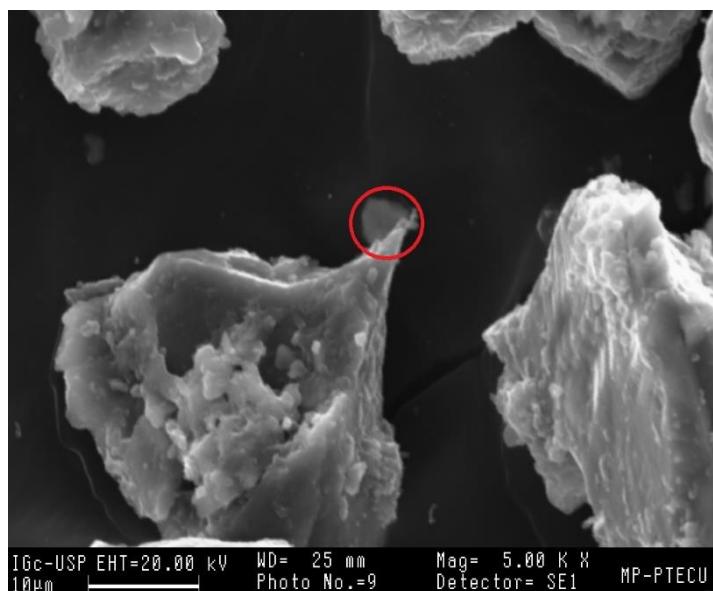
**Figura 8.5a:** Partícula metálica irregular (metais raros) em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



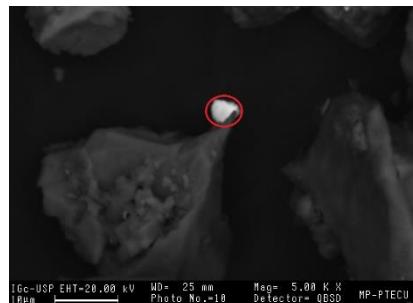
**Figura 8.5b:** Partícula metálica irregular (metais raros) em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



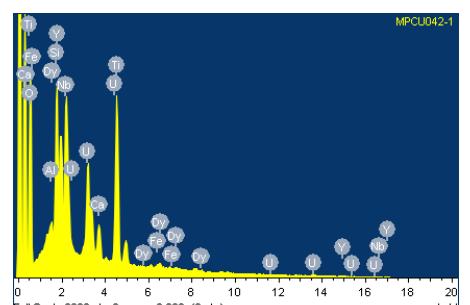
**Figura 8.5c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de partícula metálica (amostra MP-PTE C.U.).



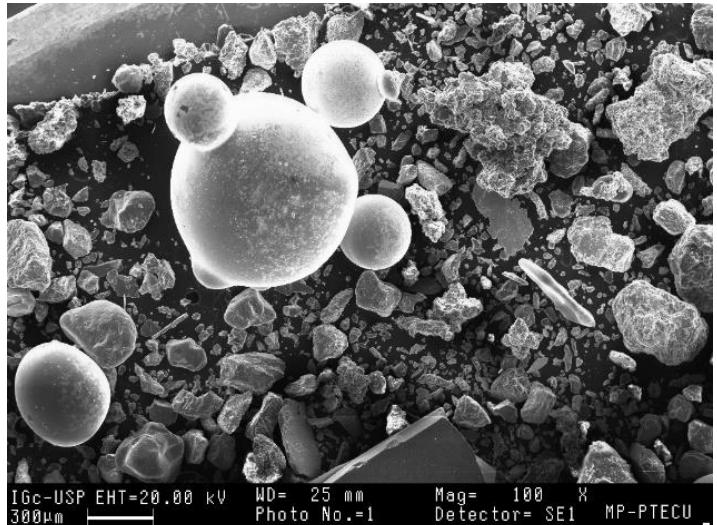
**Figura 8.6a:** Partícula metálica de pequeno tamanho (em destaque) em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



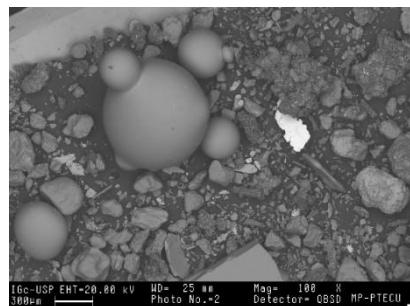
**Figura 8.6b:** Partícula metálica de pequeno tamanho (em destaque) em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



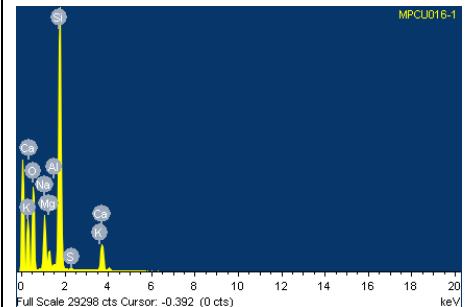
**Figura 8.6c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de partícula metálica (em destaque) na amostra MP-PTE C.U.).



**Figura 8.7a:** Esferas de vidro em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



**Figura 8.7b:** Esferas de vidro em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



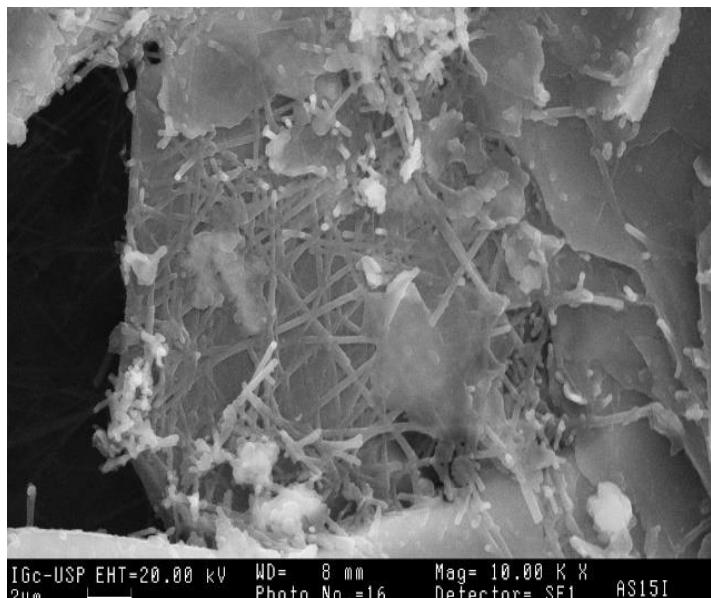
**Figura 8.7c:** Resultado da análise microcomposicional por EDS de esferas de vidro (amostra MP-PTE C.U.).

**Figura 8:** Imagens de elétrons secundários, retroespalhados e gráficos de análises microcomposicionais por EDS de partículas antrópicas.

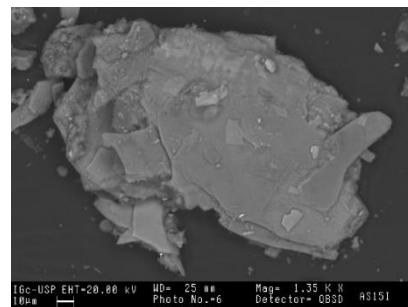
### 3.3 Partículas não identificadas

As partículas de natureza não identificada apresentam feições morfológicas bastante distintas das outras duas categorias mencionadas. Foram observados aspectos fibrosos, alongados, e também uma configuração organizada, que pode estar relacionada à uma origem biogênica, conforme apresentado na **Figura 9** a seguir.

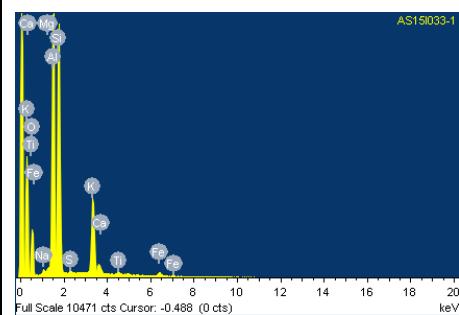
As partículas não identificadas foram as menos abundantes dentre as encontradas nas amostras analisadas.



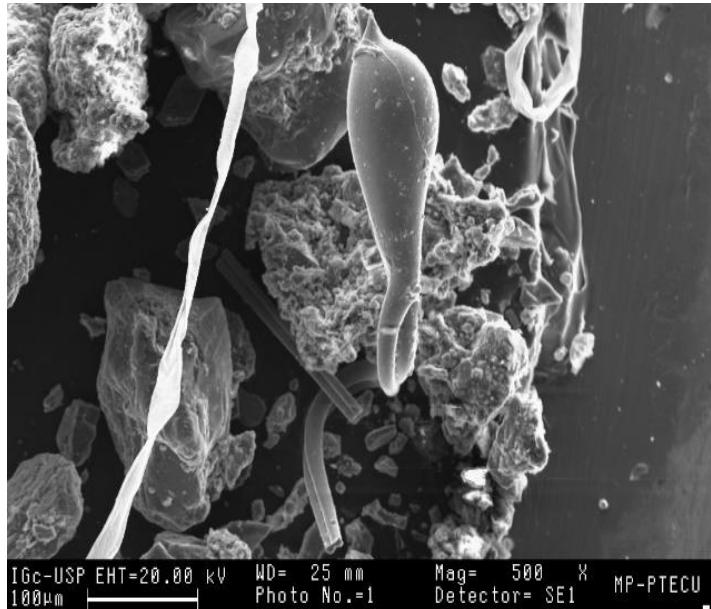
**Figura 9.1a:** Zoom de partícula fibrosa em micrografia de elétrons secundários (amostra AS15i).



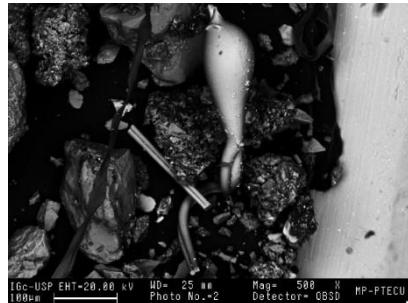
**Figura 9.1b:** Partícula fibrosa em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra AS15i).



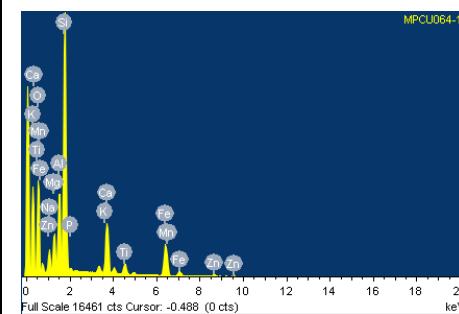
**Figura 9.1c:** Resultado da análise microcompositinal por EDS de partícula fibrosa (amostra AS15i).



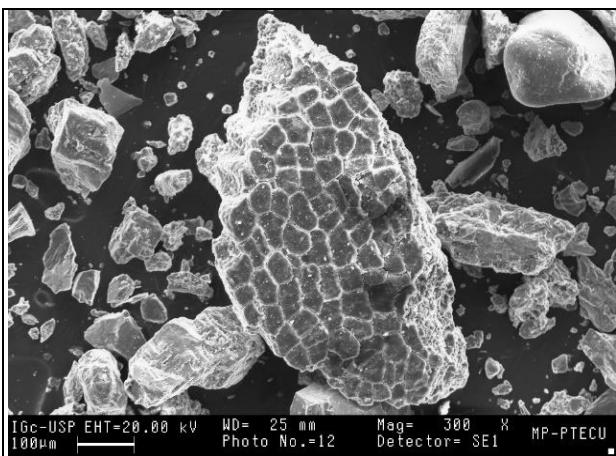
**Figura 9.2a:** Partículas alongadas em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



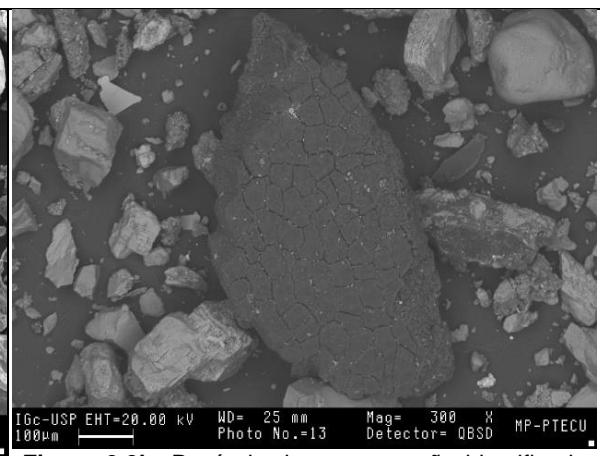
**Figura 9.2b:** Partículas沿adas em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).



**Figura 9.2c:** Resultado da análise microcompositinal por EDS de partículas沿adas (amostra MP-PTE C.U.).



**Figura 9.3a:** Partícula de natureza não identificada em micrografia de elétrons secundários (amostra MP-PTE C.U.).



**Figura 9.3b:** Partícula de natureza não identificada em micrografia de elétrons retroespalhados (amostra MP-PTE C.U.).

**Figura 9:** Imagens de elétrons secundários, retroespalhados e gráficos de análises microcomposicionais por EDS de partículas de natureza não identificada.

As relações dos elementos químicos encontrados e seus valores de peso, dados em porcentagem, presentes nas partículas terrígenas, antrópicas e não identificadas analisadas são apresentadas na **Tabela A2** em anexo.

## **VII. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **1. Frações granulométricas e distribuição espacial**

As amostras analisadas apresentaram granulação predominantemente areia fina, sendo areia grossa a segunda fração em maior proporção. O predomínio da fração areia nos pontos amostrados também foi constatado por Braga (2013).

A variação significativa na distribuição granulométrica das amostras analisadas, inclusive as de localidades relativamente próximas, pertencentes a mesma via de acesso, evidente no estudo da distribuição espacial, contribui para a caracterização do material como heterogêneo, principalmente do ponto de vista granulométrico. Além disso, a proporção distinta de material fino, tanto na fração argila quanto silte, comparativamente nas amostras, colabora para tal interpretação. A velocidade do tráfego de veículos nas vias pode ser entendida também como um fator contribuinte para a granulometria resultante do material particulado da poeira de rua. Charlesworth et al. (2011) observaram padrões distintos de frações granulométricas entre auto-estradas, nas quais os veículos podem alcançar maiores velocidades, e vias urbanas. Segundo tais autores, as partículas apresentam dimensões em torno de 5 $\mu\text{m}$  (fração silte muito fino) em vias urbanas e 0,1 $\mu\text{m}$  (fração argila) nas auto-estradas. Tal distribuição pode estar associada à maior intensidade da abrasão de partículas pelos veículos em maior velocidade. Esse aspecto foi notado de modo semelhante nas amostras analisadas. Em pontos localizados em vias urbanas, de menor velocidade (de 60Km/h a 90Km/h) como as marginais Tietê e Pinheiros e a Rodovia Raposo Tavares, obteve-se maior proporção em massa, dada em porcentagem, da fração silte comparativamente à fração argila (12,66% de silte para 4,75% de argila na Marginal Tietê – amostra MT12,5i – 11,68% de silte para 2,88% de argila na Marginal Pinheiros – amostra MP-PTE C.U. – 9,44% de silte para 5,03% de argila na Rodovia Raposo Tavares – amostra RAP10i -).

### **2. Minerais identificados**

Os minerais identificados, por meio da análise de difração de Raios-X das amostras nas frações *bulk* e fina, foram principalmente quartzo, feldspatos (alcalino e plagioclásio), mica, argilominerais, carbonatos (calcita e dolomita) e anfibólio. A predominância de quartzo, feldspato e mica, caracterizados como minerais primários, está de acordo com os dados apresentados por Gunawardana et al. (2012). Segundo os referidos autores, esses minerais representam em torno de 60% da composição da poeira de rua. A dominância principalmente de quartzo, feldspato e mica dentre os minerais primários identificados foi verificada também por Bourotte (2016). Oliveira (2016) constatou, similarmente, a presença de carbonatos e

argilominerais, juntamente com óxidos de ferro em algumas amostras. Tais componentes, no entanto, não foram identificados como minerais nas análises de difração de Raios-X realizadas no presente trabalho, mas foram verificados em partículas através de microanálises por energia dispersiva (EDS) no MEV. Os resultados obtidos pela microscopia eletrônica de varredura foram coincidentes com a identificação dos minerais através da difração de Raios-X, principalmente em relação aos minerais primários, predominantes em praticamente todo material analisado. Aspectos tanto morfológicos quanto associados à composição química evidenciam a abundância, em especial de quartzo e feldspato, nas amostras.

A ocorrência de anfibólios, assim como carbonatos, foi também verificada por Amato et al. (2011), por meio da difração de Raios-X. Os carbonatos, comumente associados a resíduos de construção civil, podem estar relacionados às vias de tráfego. Carbonatos, originados de calcários e dolomitos, são comumente utilizados nas vias de tráfego, uma vez que possuem importante capacidade para aderir ao betume, bastante empregado no revestimento asfáltico (Zannoni et al., 2016).

### **3. Conteúdo de metais**

A microscopia eletrônica de varredura, por meio da microanálise por energia dispersiva (EDS), permite a obtenção de informações microcomposicionais detalhadas através da identificação de Raios-X emitidos pela amostra analisada. Desse modo foi possível identificar os elementos metálicos presentes nas partículas analisadas, além de quantificar, de modo comparativo, a abundância de cada um deles.

Nas partículas terrígenas, interpretadas em sua maioria como quartzo, feldspato, ilmenita e argilominerais, foram identificados principalmente Si, Al, K, Na e Fe. Gunawardana et al. (2012) verificaram Al, Ca, Na, além de Si, nas partículas primárias observadas, de feição angular e predominantes em relação às demais. Adachi et al. (2005) consideraram Na, Al e K como os elementos característicos de minerais formadores de rocha. Esses elementos podem estar associados também aos materiais utilizados na construção das vias de tráfego, como cimento e brita. Ambos os autores apresentam constatações coincidentes com os resultados encontrados, nos quais tais partículas apresentam dimensões maiores quando compradas às demais. Em menor proporção foram identificados também Zr, P e Ce originados de zircão e monazita, respectivamente, minerais frequentemente presentes em rochas como acessórios.

As partículas de origem antrópica foram, em sua maioria, representadas por agregados e partículas metálicas. Partículas metálicas foram encontradas na forma de esferas de ferro, partículas de pequenas dimensões e partículas de formato irregular. Esferas de ferro, tipicamente de origem antrópica, foram constatadas também por Adachi et al. (2005)

principalmente em frações mais finas. As partículas metálicas, de pequenas dimensões, estão geralmente associadas a outros elementos, como U e Nb, enquanto que as partículas metálicas irregulares se diferenciam em função de aspectos morfológicos. Tais partículas apresentam significativo conteúdo metálico, dado principalmente por Fe, Cu e Ti, porém por vezes não evidenciam feições relacionadas à incrustação de metais, típica de agregados. Em proporção significativa foram observadas também esferas de vidro em ambas as amostras analisadas. As esferas de vidro, segundo Zannoni et al. (2016), são acrescentadas à tinta para aumentar a visibilidade das linhas feitas nas vias, pois refletem a luz dos faróis. Os referidos autores notaram significativa proporção desse material em vias recentemente pintadas, aspecto verificado também no presente trabalho. A amostra RAP17c, coletada em um local recentemente recapeado e pintado, é constituída predominantemente por esferas de vidro, presentes nas outras amostras em menor quantidade. Em análises microcomposicionais no MEV de esferas de vidro foram identificados principalmente Fe, Ca, Na e Mg. As partículas constituídas de material agregado, podem estar associados a fragmento de borracha, proveniente de pneus. Tais partículas em geral apresentam feições alongadas, diferentemente de agregados originados a partir de constituintes do asfalto, com feições irregulares. Ambas apresentam, além de elementos derivados do intemperismo de rochas e solos, considerável conteúdo metálico incrustado. Foram identificados nessas partículas Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Ti e Zn. De acordo com Gunawardana et al. (2012), Zn, Cu, Pb, Ni, Cr e Cd possuem como fonte o tráfego de veículos. Os mesmos autores verificaram presença de Fu, Cu, Zn, Ni e Pb em partículas alongadas na poeira de rua, relacionadas ao processo de abrasão e desgaste de pneus. Ti, identificado nas partículas analisadas, é empregado em tintas brancas, utilizadas na pintura de vias, além de ser componente em amortecedores de freios em veículos (Zannoni et al., 2016). Tais informações a respeito de possíveis fontes dos metais identificados permitem associar a atividade antrópica, em especial o tráfego de veículos, a esses elementos.

## VIII. CONCLUSÕES

A caracterização geoquímica e mineralógica da poeira de rua, bem como sua distribuição espacial em relação às principais vias de acesso na cidade de São Paulo, são os principais objetivos do presente trabalho. A determinação da granulometria, identificação de aspectos mineralógicos e morfológicos contribuem para o reconhecimento das fontes dos materiais emitidos e do potencial de poluição, além da influência que tais partículas exercem no ambiente ao qual pertencem.

As amostras coletadas foram submetidas a análises granulométricas, difração de Raios-X, microscopia eletrônica de varredura, além de um estudo de distribuição espacial em relação à granulação das amostras. O material analisado apresentou, de modo geral, granulação areia fina, sendo areia grossa a segunda fração em maior proporção. Foi observada significativa variação no conteúdo de material fino, retratado pela menor proporção em massa, tanto na fração argila quanto silte, contribuindo para uma caracterização do material como heterogêneo, do ponto de vista granulométrico. As amostras MT12,5i, MP-PTE C.U. e RAP10i, provenientes da Marginal Tietê, Marginal Pinheiros e Rodovia Raposo Tavares, respectivamente, apresentam maior proporção de silte em relação à fração argila, aspecto que pode estar associado à menor velocidade das vias em relação à Rodovia Ayrton Senna. Através da difração de Raios-X foram identificados quartzo, feldspatos (alcalino e plagioclásio), mica, argilominerais, carbonatos (calcita e dolomita) e anfibólio, havendo predominância de minerais primários (quartzo, feldspato e mica), que foi também confirmado pela observação do material no MEV.

A microanálise por energia dispersiva (EDS), também realizada no MEV, permitiu a obtenção de informações morfológicas e microcomposicionais detalhadas das amostras. Em relação à morfologia, as partículas analisadas foram caracterizadas como terrígenas, representadas por cristais angulares de quartzo, feldspato, argilominerais e óxidos de ferro; antrópicas, demonstradas por agregados, esferas de vidro, esferas de ferro; e partículas não identificadas.

Os resultados obtidos enfatizaram a influência de fontes veiculares não associadas à combustão do material particulado, como desgaste de freios, pneus, abrasão da superfície das estradas e corrosão de componentes de veículos. No entanto, verificou-se também a contribuição de materiais naturais, provenientes do intemperismo de rochas e solos, na poeira de rua. Além disso, foi possível constatar influência do tráfego de veículos não apenas na composição e morfologia, mas também na distribuição granulométrica das amostras analisadas, dado principalmente pelo processo de abrasão.

A capacidade de ressuspensão de partículas finas, de fração areia fina, silte e argila, é uma questão bastante relevante, visto que, consideradas de modo conjunto, tais frações apresentam proporção significativa em relação às demais frações nas amostras analisadas.

Além desse aspecto, as partículas finas, representadas pela fração silte e argila, possuem maior capacidade para transportar elementos traço, por meio da adsorção de tais substâncias. Os riscos à saúde humana relacionados à exposição de material particulado, associado também à poeira de rua, podem estar relacionados a tais aspectos, como doenças principalmente dos sistemas respiratório e cardíaco. Estão também sujeitos aos prejuízos do acúmulo de metais originados da atividade antrópica ecossistemas terrestres e aquáticos, por meio principalmente do transporte e solubilização desses elementos através do escoamento superficial.

Quando disponíveis, os resultados das análises de química inorgânica das amostras, pelo método ICP-MS, contribuirão para a discussão a respeito da influência da atividade antrópica na poeira de rua, bem como as possíveis implicações ambientais, relacionadas a aspectos como transporte e biodisponibilidade desses elementos no meio urbano.

## IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adachi, K. Tainosh, Y. (2005). Single particle characterization of size-fractionated road sediments. *Applied Geochemistry* 20, 849-859.
- Amato F., Pandolfi M., Moreno T., Furger M., Pey J., Alastuey A., Bukowiecki N., Prevot A.S.H., Baltensperger U., Querol X. (2011). Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmospheric Environment*, 45, 6777-6787.
- Bourotte C. (2016). Trace Metals in topsoils and street dust sampled in the São Paulo University Campus, Brazil. 18<sup>th</sup> International Conference on Heavy Metals in the Environment, 12-15 Setembro de 2016, Ghent, Bélgica. Acesso em 28 de março de 2017, <<http://ojs.ugent.be/ichmet>>.
- Braga C.S.G. (2013). *Quantificação e distribuição de teores de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e metais traço na poeira de rua dos Campi da Universidade de São Paulo (EACH e Butantã)*. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo: Escola de Artes, Ciências e Humanidades, USP.
- CET – Companhia de Engenharia de Tráfego (2016). Pesquisa de Monitoração da Mobilidade: Mobilidade no Sistema Viário Principal – Volumes e velocidades. Acessado em 18 de setembro de 2017. <<http://www.cetsp.com.br/sobre-a-cet/relatorios-corporativos.aspx>>
- Chambers L.G., Chin Y.P., Filippelli G.M., Gardner C.B., Herndon E.M., Long D.T., Lyons W.B., Macpherson G.L., McElmurry S.P., McLean C.E., Moore J., Moyer R.P., Neumann K., Nezat C.A., Soderberg K., Teutsch N., Widom E. (2016). Developing the scientific framework for urban geochemistry. *Applied Geochemistry*, 67, 1-20.
- Charlesworth, S., De Miguel E., Ordóñez A. (2011) A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk. *Environ Geochem Health*, 33, 103-123.
- EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (2011). Região Metropolitana de São Paulo. Acessado em 24 de março de 2017. <<https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP>>.
- Figueiredo A.M.G., Tocchini M., Santos T.F.S. (2010). Metals in playground soils of São Paulo city, Brazil. *Procedia Environmental Sciences*, 4, 303-309. DOI: 10.1016/j.proenv.2011.03.035.
- Gunawardana C., Goonetilleke A., Egodawatta P., Dawes L., Kokot S. (2012). Source characterisation of road dust based on chemical and mineralogical composition. *Chemosphere*, 87, 163-170.

Histórico Demográfico do Município de São Paulo (2010). Tabelas – População Anos de Levantamento Censitário. Município e Região Metropolitana de São Paulo, Estado de São Paulo e Brasil. 1872 a 2010. Acessado em 22 de março de 2017.  
<[http://smdu.prefeitura.sp.gov.br/historico\\_demografico/tabelas/pop\\_brasil.php](http://smdu.prefeitura.sp.gov.br/historico_demografico/tabelas/pop_brasil.php)>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Taxa de urbanização do Brasil. Acessado em 22 de março de 2017.

<<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015). Informações Estatísticas de São Paulo – Frota do ano de 2015, 2010 e 2005. Acessado em 24 de março de 2017.  
<[http://cidades.ibge.gov.br/xtras/grafico\\_cidades.php?lang=&codmun=355030&idtema=153&search=sao-paulo|sao-paulo|frota-2015](http://cidades.ibge.gov.br/xtras/grafico_cidades.php?lang=&codmun=355030&idtema=153&search=sao-paulo|sao-paulo|frota-2015)>

MohseniBandpi A., Eslami A., Shahsavani A., Khodagholi F., Alinejad A. (2017). Physicochemical characterization of ambiente PM<sub>2.5</sub> in Tehran air and its potential cytotoxicity in human lung epithelial cells (A549). *Sicence of the Total Environment*, 593-594, 182-190.

Morcelli C.P.R., Figueiredo A.M.G. Sarkis J.E.S., Enzweiler J., Kakazu M., Sigolo J.B. (2005). PGEs and other traffic-related elements in roadside soils from São Paulo, Brazil. *Science of the Total Environment*, 345, 81-91.

Oliveira J.B., Bourotte C. (2016). Caracterização físico-química e mineralógica da poeira de rua e solos adjacentes no campus Butantã da Universidade de São Paulo. 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2016, Porto Alegre - RS. *Anais...* São Paulo - SP: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016, p 7162.

Pant P., Harrison R.M (2013). Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measuremets: A review. *Atmospheric Environment*, 77, 78-97.

Prefeitura de São Paulo (2005a). Abrindo os trilhos para a locomotiva. Acessado em 23 de março de 2017. <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a\\_cidade/historia/index.php?p=4827](http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a_cidade/historia/index.php?p=4827)>

Prefeitura de São Paulo (2005b). Município em Dados. Acessado em 21 de março de 2017.  
<[http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempa/md/index.php?texto=introducao&ordem\\_tema=3&ordem\\_subtema=4](http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempa/md/index.php?texto=introducao&ordem_tema=3&ordem_subtema=4)>

Prefeitura de São Paulo (2005c). Município em Dados. Acessado em 21 de março de 2017.  
<[http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempa/md/index.php?texto=introducao&ordem\\_tema=4&ordem\\_subtema=10](http://www9.prefeitura.sp.gov.br/sempa/md/index.php?texto=introducao&ordem_tema=4&ordem_subtema=10)>

Ribeiro A.R., Figueiredo A.M.G., Nammoura-Neto G.M., Silva N.C., Ticianelli R.B., Camargo S.P., Emzweiler J. (2009). Spatial Distribution of trace elements in topsoils adjacent to main

avenues of São Paulo city, Brazil. *International Nuclear Atlantic Conference*, Rio de Janeiro: ABEN.

Ribeiro A.P., Figueiredo A.M.G., Ticianelli R.B., Nammoura-Neto G.M., Silva N.C., Kakazu M.H., Zahn (2012). Metals and semi-metals in street soils of São Paulo city, Brazil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 291, 137-142. DOI: 10.1007/s10967-011-1260-2.

Shaughnessy W.J., Venigalla M.M., Trump D. (2015). Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population. *Atmospheric Environment*, 123, 102-111.

USEPA – United States Environmental Protection Agency (2016). Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). Acessado em 17 de outubro de 2017. <<https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>>

Wong C.S.C., Li X., Thornton I. (2006). Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental Pollution*, 142, 1-16.

Zannoni D., Valotto G., Visin F., Rampazzo G. (2016) Sources and distribution of tracer elements in road dust: The Venice mainlad case of study. *Journal of Geochemical Exploration*, 166, 64-72.

Zhao H., Shao Y., Yin C., Jiang Y., Li X. (2016). Na index for estimating the potential metal pollution contribution to atmospheric particulate matter road dust in Beijing. *Science of the Total Environment*, 550, 167-175.

## X. ANEXOS

**Figura A1**



**Figura A1.1:** Local de coleta da amostra RAP10i.



**Figura A1.2:** Local de coleta da amostra RAP17i.



**Figura A1.3:** Local de coleta da amostra RAP17c.



**Figura A1.4:** Local de coleta da amostra RAP20i.



**Figura A1.5:** Local de coleta da amostra EM.



**Figura A1.6:** Local de coleta da amostra AS12i.



**Figura A1.7:** Local de coleta da amostra AS15i.



**Figura A1.8:** Local de coleta da amostra AS18i.



**Figura A1.9:** Local de coleta da amostra MP-PTE C.U.



**Figura A1.10:** Local de coleta da amostra MP-P2 USP.



**Figura A1.11:** Local de coleta da amostra MT12,5i.



**Figura A1.12:** Local de coleta da amostra MT18i.



**Figura A1.13:** Local de coleta da amostra MT21c.



**Figura A1.14:** Local de coleta da amostra MT4,5c.

**Figura A1:** Registro fotográfico de cada ponto em que foram coletadas as amostras.

**Figura A2**



**Figura A2.1:** Peneiramento em peneira de 2mm da amostra EM.



**Figura A2.2:** Quarteamento da amostra MP-PTE C.U.



**Figura A2.3:** Separação de fragmentos vegetais da amostra MT21c.



**Figura A2.4:** Armazenamento da porção separada para análise granulométrica da amostra RAP17i.



**Figura A2.5:** Separação e armazenamento da fração bulk para análises da amostra AS15i.



**Figura A2.6:** Separação e armazenamento da fração bulk para MEV da amostra RAP17c.



**Figura A2.7:** Moagem em almofariz de ágata da amostra AS15i.



**Figura A2.8:** Peneiramento em peneira de 0,062mm da amostra MP-P2 USP.



**Figura A2.9:** Armazenamento do material fino separado para análise da amostra MT21c.

**Figura A2:** Registro fotográfico dos procedimentos de preparação das amostras para análises.

**Tabela A1** – Etapas e massas, em gramas, de cada uma das amostras conforme a realização dos procedimentos.

Amostra	Peso inicial	Fração	Peneiramento (2mm)		Peso		BULK			Peneiramento (0,062mm)		Fino (<0,062mm)			Peso					
			Retido	Bulk	Peso bulk + vegetais	Peso bulk	50 gran	5 org	5 DRX	5 inorg	MEV	Fracção (da amostra original)	5 DRX	5 inorg	MEV	Amostra inicial restante	Bulk restante	2-0,062mm	Fino (<0,062mm)	
AS12i	518,9	1	32,6	491,8	32,8	491,3	50,8	5,5	5,6	5,5	x	419,9	1	5,1	5,5	x	-	-	403,5	13
AS15i	322,20	1	91,8	230,30	100,2	221,8	50,2	5,3	5,2	5,1	x	155,4	1	-	x	-	-	-	151,4	1
AS18i	2228,5	1/4	55,2	503,3	55,6	502,6	50,3	5,3	5,3	5,3	x	433,1	1/4	5,3	5,2	x	1667,1	-	416,5	13,7
EM	1375,00	1/2+1/8	45,5	794,80	51,7	793,2	52,4	5,5	5,4	5,4	x	720,6	1/2+1/8	5,1	5,6	x	529,2	-	707,7	11,7
MP-PTE C.U.	1048,60	1	123,3	923,30	150,9	895,2	52	5,6	5,6	5,7	x	823	1/4+1/8	x	x	x	-	527,8	281,6	6
MP-P2UJSP	2102,30	1/2	71,8	981,40	78,4	974,6	51,6	5,5	5,6	5,5	x	902,1	1/8	5,3	5,1	x	1044,9	656,2	232,8	11,4
MT12,5i	127,30	1	28,4	98,80	28,5	98,6	50,4	5,3	5,2	5,1	x	29,8	1	-	-	-	-	-	27,5	2
MT18i	476,40	1	199,2	277,10	199,2	277,1	50,6	5,6	5,5	5,2	x	207,1	1	-	5	-	-	-	201,4	5
MT21C	1176,60	1/4	21,3	278,00	29	272,5	50,7	5,7	5,1	5,4	x	205,3	1/8	5,2	5,2	x	869,4	76,4	118	10,5
MT4,5c	348,30	1	81,7	266,30	113,3	264,5	50,6	5,4	5,5	5,6	x	194,7	1	5,1	5,3	x	-	-	183,1	10,5
RAP10i	426,10	1	160	265,60	160,5	264,8	50,2	5,3	5,2	5,2	x	195,4	1	5,1	5,4	x	-	-	181,7	12,5
RAP17C	371,30	1	17,8	353,30	18,2	352,7	50,9	5,2	5,2	5,3	x	283,5	1	-	x	-	-	-	280,4	2,1
RAP17i	101,90	1	28,5	75,40	31,9	73,9	50,6	5,2	5,3	5,1	x	6,4	1	-	x	-	-	-	10,9	0,1
RAP20i	3631,9	1/8+1/16	129,8	579,9	130,5	578,5	54,1	5,6	5,5	5,8	x	504,5	1/8+1/16	5,6	5,8	x	2930,5	-	473,4	29,3

**Figura A3**

<p><b>Figura A3.1:</b> Conteúdo da amostra, pirofostato de sódio e água destilada em misturador mecânico.</p>	<p><b>Figura A3.2:</b> Mistura no almofariz para desagregação do material argiloso.</p>
<p><b>Figura A3.3:</b> Material presente nas provetas e bêqueres devidamente dispostos na realização da pipetagem.</p>	<p><b>Figura A3.4:</b> Execução da elutrição, com a utilização de funis, mangueiras flexíveis e hastas.</p>



**Figura A3.7:** Conjunto de 11 peneiras utilizadas para peneiramento.



**Figura A3.8:** Transferência das amostras para a peneira superior (malha mais grossa).



**Figura A3.9:** Conjunto de peneiras tampado e fixado no vibrador.



**Figura A3.10:** Transferência do conteúdo retido nas peneiras para folha A4.



**Figura A3.11:** Confecção de envelopes de papel identificados com código da amostra e respectiva fração granulométrica para armazenamento das amostras.



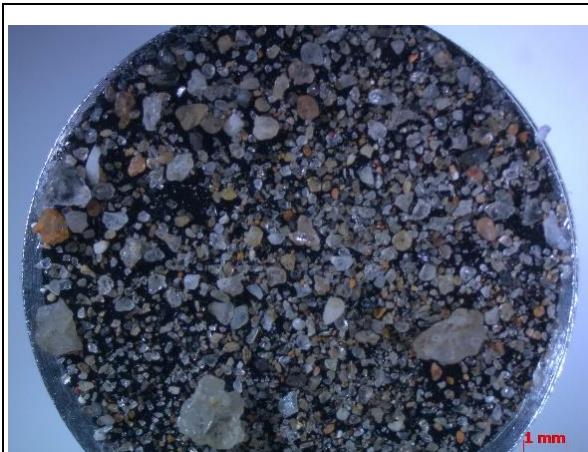
**Figura A3.12:** Disposição do material dos envelopes na placa de Petri para pesagem.



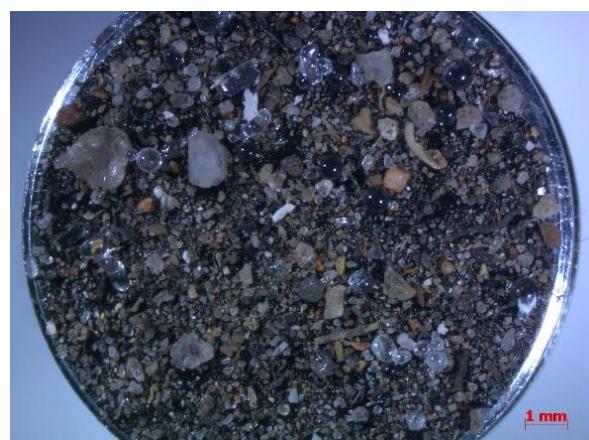
**Figura A3.13:** Armazenamento das frações em sacos plásticos transparentes com identificação do código das amostras.

**Figura A3:** Registro fotográfico dos processos de pipetagem, elutrição e peneiramento das análises granulométricas.

**Figura A4**



**Figura A4.1:** Foto em lupa com aumento de 6,5x da amostra AS15i (*stub A*).



**Figura A4.2:** Foto em lupa com aumento de 6,5x da amostra MP-PTE C.U. (*stub B*).



**Figura A4.3:** Foto em lupa com aumento de 6,5x da amostra RAP17i (*stub C*).



**Figura A4.4:** Foto em lupa com aumento de 6,5x da amostra EM (*stub D*).



**Figura A4.5:** Foto em lupa com aumento de 6,5x da amostra MP-P2 USP (*stub E*).



**Figura A4.6:** Foto em lupa com aumento de 6,5x da amostra MT21c (*stub F*).

**Figura A4:** Fotos em lupa, com aumento de 6,5x, de cada um dos *stubs* preparados para a realização do MEV, antes de serem recobertos.

## Anexo A5

Nós utilizamos cookies no nosso site. Os cookies são utilizados para melhorar a funcionalidade e a utilização do nosso site. Para saber mais sobre cookies, sobre a forma como os utilizamos e sobre como alterar as suas definições de cookie, por favor, consulte a nossa política de cookies. Ao utilizar este site sem alterar as suas definições você aceita a nossa utilização de cookies.



Português English

Centro de Contato

Perfil do País

DHL Global

### Rastreamento de Remessa Expresso DHL

Este é o caminho mais rápido para verificar o status da sua remessa. Não é preciso ligar para o Atendimento ao Cliente - os resultados do rastreamento on-line te oferecem o status detalhado em tempo real, assim como sua velocidade através da rede DHL.

Todas as remessas de importação, não caracterizadas como documentos, estão sujeitas a impostos e tributos, inclusive as remessas de compras realizadas via Internet.

Obrigado por utilizar a DHL Express.

#### Resumo dos Resultados

Conhecimento Aéreo: 2536994585	Quarta-feira, Novembro 01, 2017 em 10:25	A data de entrega estimada não está disponível no momento. Por favor, tente novamente mais tarde.
<b>Evento de Liberação</b>	Área de Origem do Serviço: SAO PAULO NORTH - SAO PAULO - BRAZIL	1 Peça

<b>Mais detalhes:</b>	<b>Próximo passo:</b>
-----------------------	-----------------------

Área de Destino do Serviço: CUYO (MENDOZA) - MENDOZA - ARGENTINA
---------------------------------------------------------------------

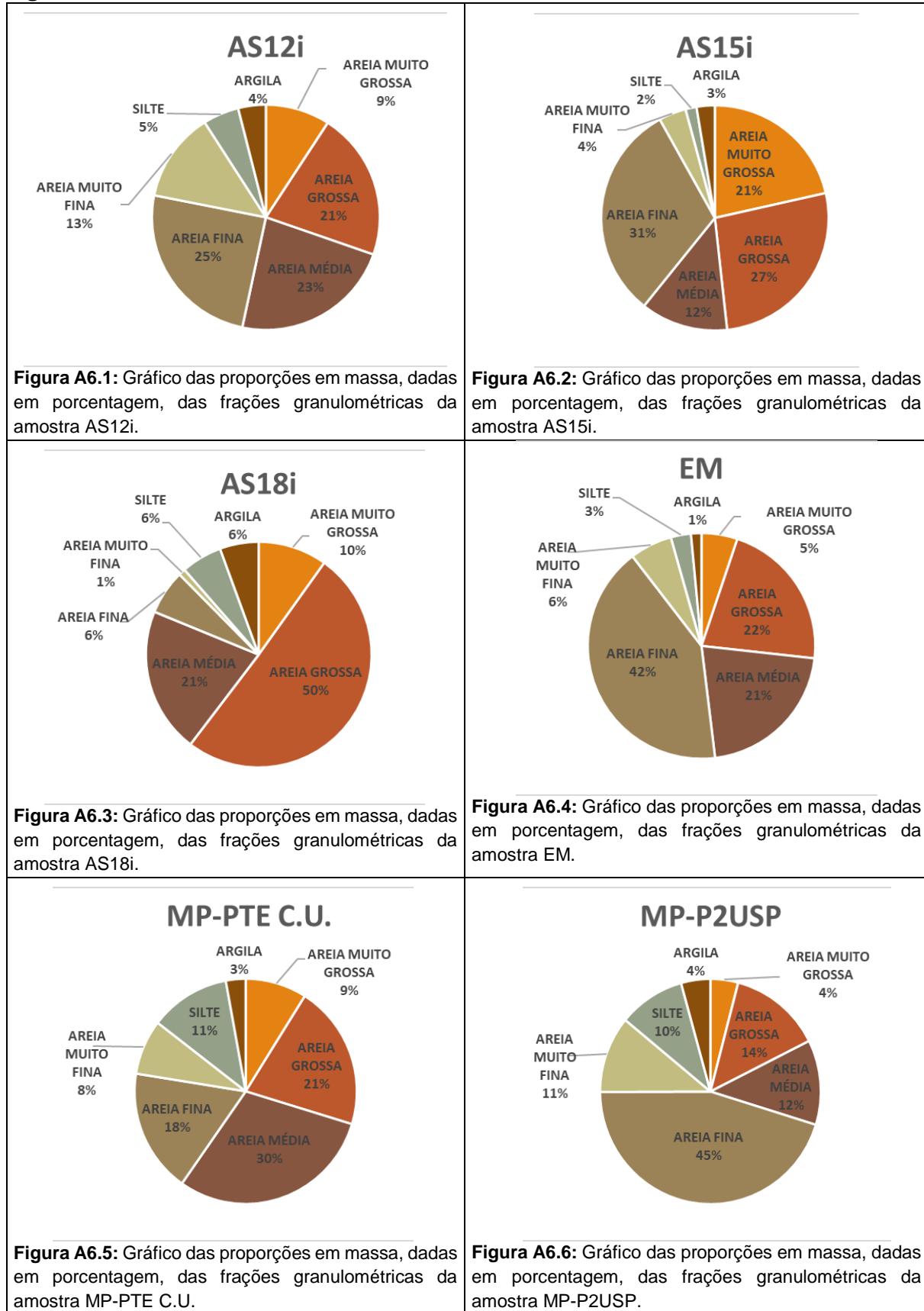
Quarta-feira, Novembro 01, 2017	Localidade	Hora	Peça
32 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:25	
Terça-feira, Outubro 31, 2017	Localidade	Hora	Peça
31 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:25	
Segunda-feira, Outubro 30, 2017	Localidade	Hora	Peça
30 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:25	
Sexta-feira, Outubro 27, 2017	Localidade	Hora	Peça
29 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:25	
Quinta-feira, Outubro 26, 2017	Localidade	Hora	Peça
28 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	11:17	1 Peça
Quarta-feira, Outubro 25, 2017	Localidade	Hora	Peça
27 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	11:44	1 Peça
Terça-feira, Outubro 24, 2017	Localidade	Hora	Peça
26 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	11:12	1 Peça
Segunda-feira, Outubro 23, 2017	Localidade	Hora	Peça
25 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:42	1 Peça
Sexta-feira, Outubro 20, 2017	Localidade	Hora	Peça
24 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:37	1 Peça
Quinta-feira, Outubro 19, 2017	Localidade	Hora	Peça
23 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	09:57	1 Peça
Quarta-feira, Outubro 18, 2017	Localidade	Hora	Peça
22 Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	09:26	1 Peça

		Localidade	Hora	Peca
20	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:22	1 Peça
	Quarta-feira, Outubro 11, 2017	Localidade	Hora	Peca
19	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:26	1 Peça
	Terça-feira, Outubro 10, 2017	Localidade	Hora	Peca
18	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:17	1 Peça
	Segunda-feira, Outubro 09, 2017	Localidade	Hora	Peca
17	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	11:59	1 Peça
	Sexta-feira, Outubro 06, 2017	Localidade	Hora	Peca
16	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:05	1 Peça
	Quinta-feira, Outubro 05, 2017	Localidade	Hora	Peca
15	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:41	1 Peça
	Quarta-feira, Outubro 04, 2017	Localidade	Hora	Peca
14	Despachante notificado para providenciar liberação.	BUENOS AIRES - ARGENTINA	13:29	
13	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:50	1 Peça
	Terça-feira, Outubro 03, 2017	Localidade	Hora	Peca
12	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:40	1 Peça
	Segunda-feira, Outubro 02, 2017	Localidade	Hora	Peca
11	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:55	1 Peça
	Sexta-feira, Setembro 29, 2017	Localidade	Hora	Peca
10	Status alfandegário atualizado	BUENOS AIRES - ARGENTINA	15:30	
9	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	10:18	1 Peça
	Quinta-feira, Setembro 28, 2017	Localidade	Hora	Peca
8	Status alfandegário atualizado	BUENOS AIRES - ARGENTINA	14:30	
7	Evento de Liberação	BUENOS AIRES - ARGENTINA	12:25	1 Peça
6	Envio em processo de liberação alfandegária. BUENOS AIRES - ARGENTINA	BUENOS AIRES - ARGENTINA	12:25	1 Peça
5	Chegada do envio a uma instalação de trânsito da DHL em BUENOS AIRES - ARGENTINA	BUENOS AIRES - ARGENTINA	11:53	1 Peça
4	Saiu das instalações da DHL em SAO PAULO NORTH - BRAZIL	SAO PAULO NORTH - BRAZIL	05:04	1 Peça
3	Processado em SAO PAULO NORTH - BRAZIL	SAO PAULO NORTH - BRAZIL	03:37	1 Peça
2	Chegada do envio a uma instalação de trânsito da DHL em SAO PAULO NORTH - BRAZIL	SAO PAULO NORTH - BRAZIL	01:06	1 Peça
	Quarta-feira, Setembro 27, 2017	Localidade	Hora	Peca
1	Envio recolhido.	SAO PAULO NORTH - BRAZIL	13:59	1 Peça

Se você preferir falar com alguém pessoalmente sobre a localização de sua remessa, favor entrar em contato  
Serviço ao Cliente.

Deutsche Post DHL Group

**Figura A6**



**Figura A6.1:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra AS12i.

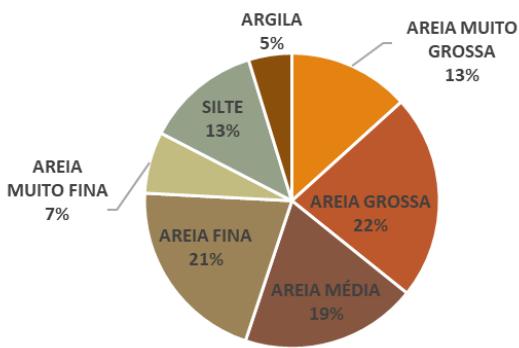
**Figura A6.2:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra AS15i.

**Figura A6.3:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra AS18i.

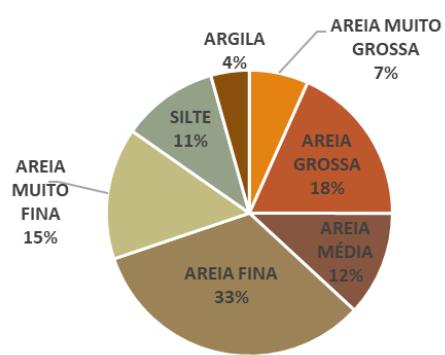
**Figura A6.4:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra EM.

**Figura A6.5:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra MP-PTE C.U.

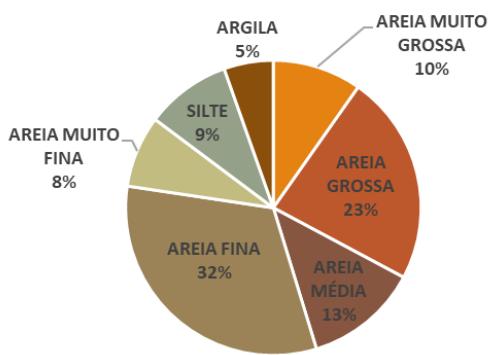
**Figura A6.6:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra MP-P2USP.

**MT12,5i**

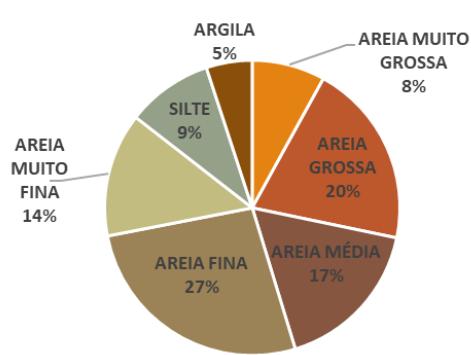
**Figura A6.7:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra MT12,5i.

**MT21c**

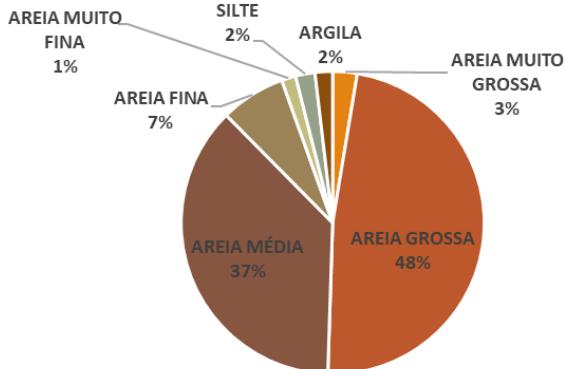
**Figura A6.8:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra MT21c.

**MT4,5c**

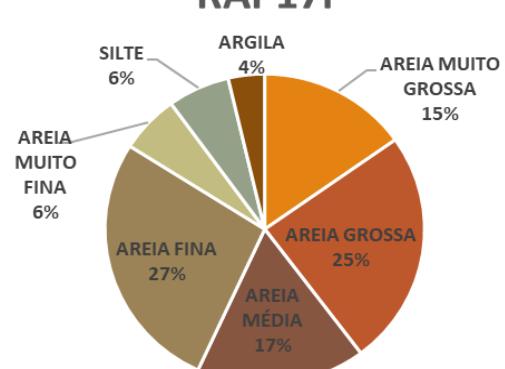
**Figura A6.9:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra MT4,5c.

**RAP10i**

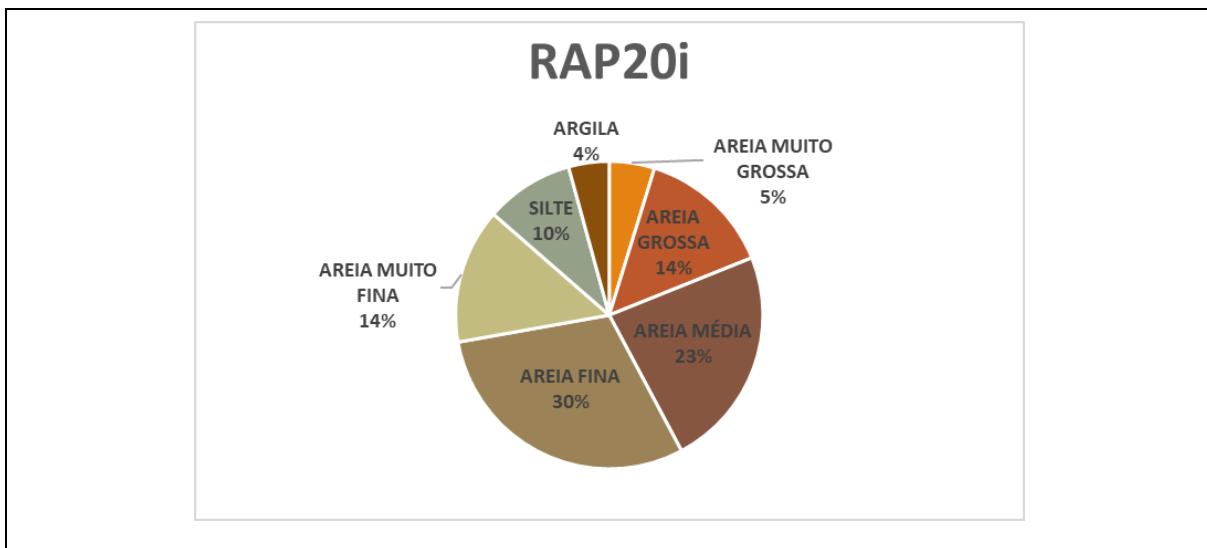
**Figura A6.10:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra RAP10i.

**RAP17c**

**Figura A6.11:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra RAP17c.

**RAP17i**

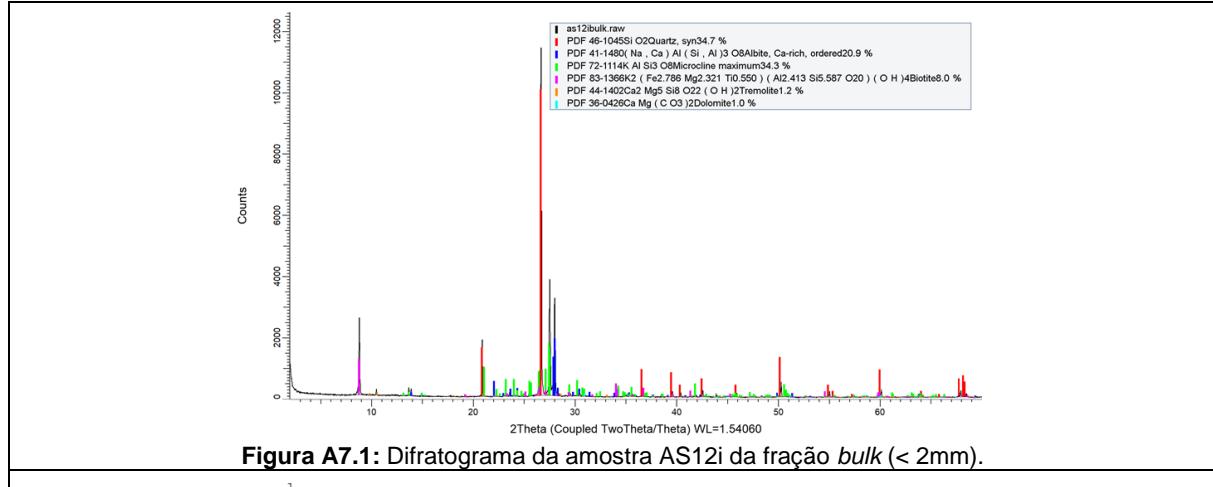
**Figura A6.12:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra RAP17i.



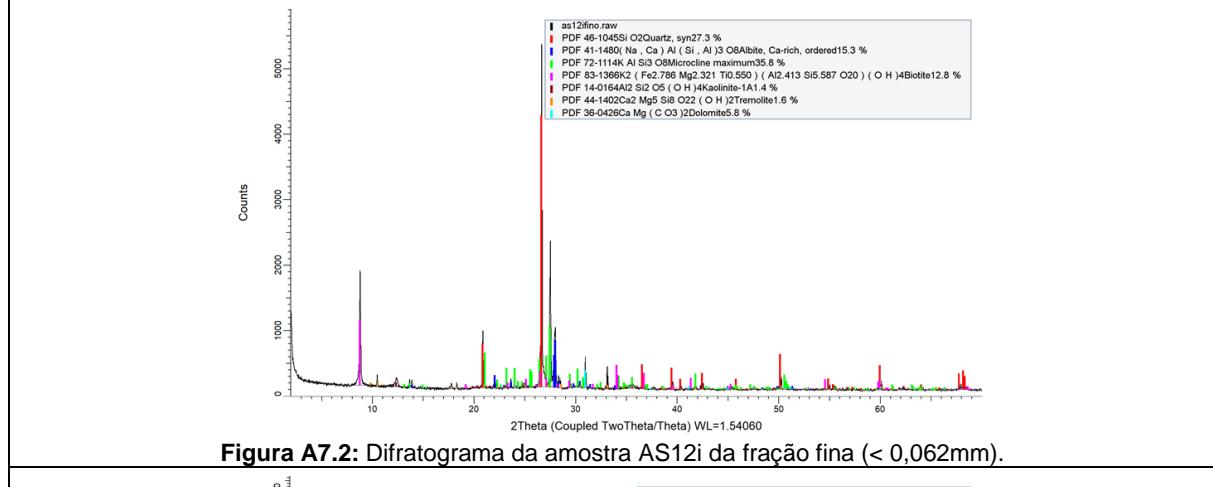
**Figura A6.13:** Gráfico das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas da amostra RAP20i.

**Figura A6:** Gráficos das proporções em massa, dadas em porcentagem, das frações granulométricas das amostras analisadas.

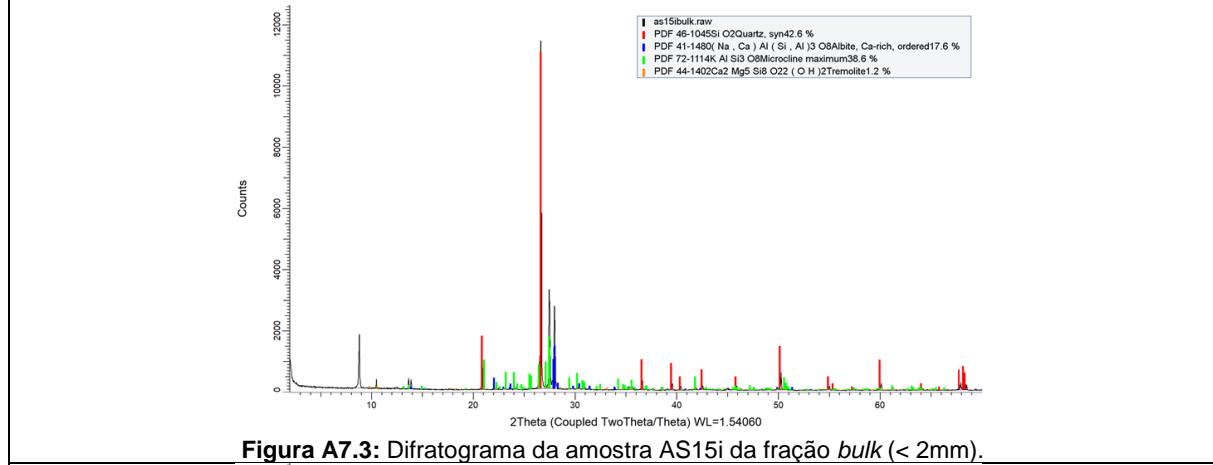
**Figura A7**



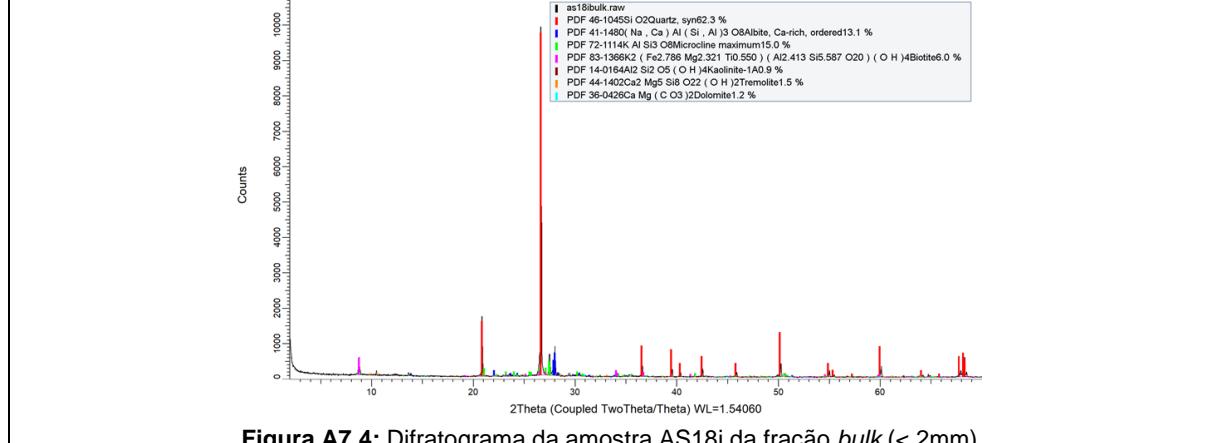
**Figura A7.1:** Difratograma da amostra AS12i da fração bulk (< 2mm).



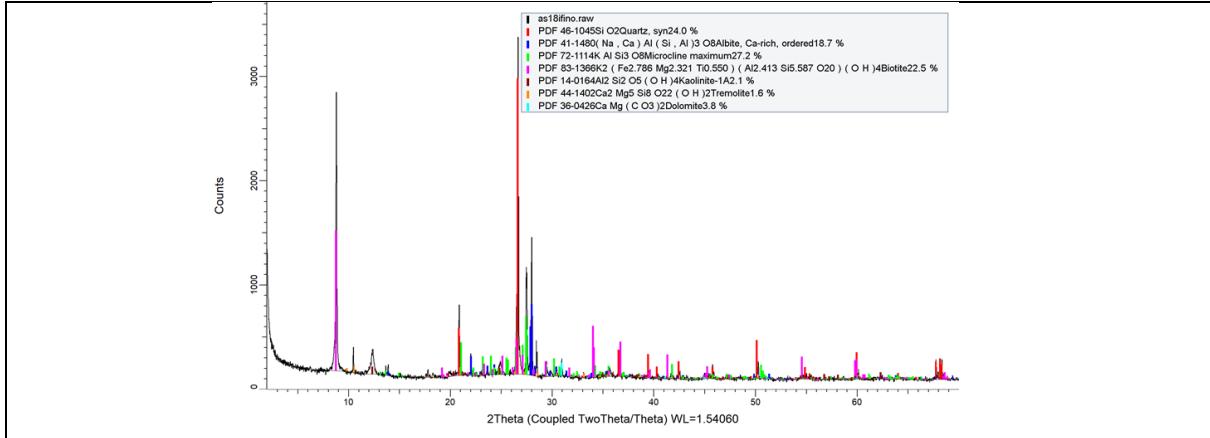
**Figura A7.2:** Difratograma da amostra AS12i da fração fina (< 0,062mm).



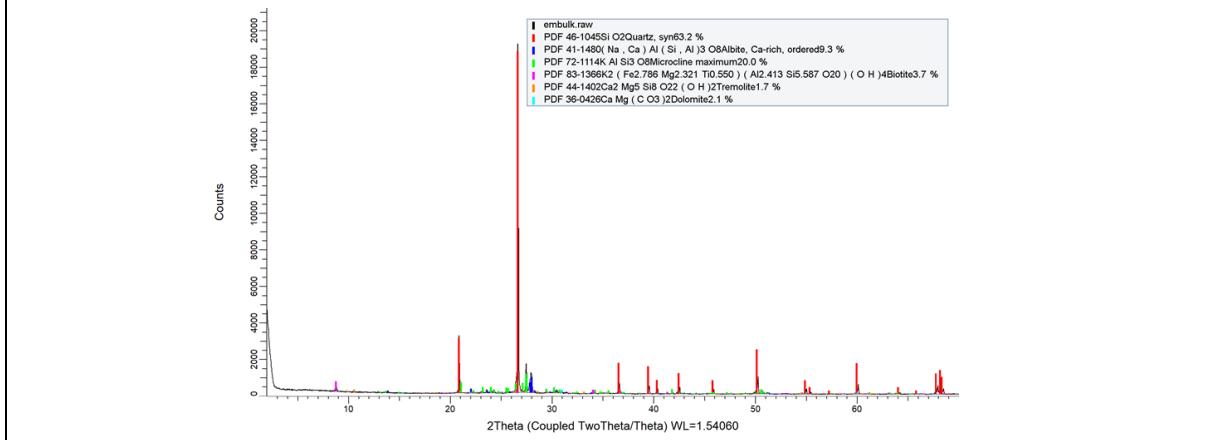
**Figura A7.3:** Difratograma da amostra AS15i da fração bulk (< 2mm).



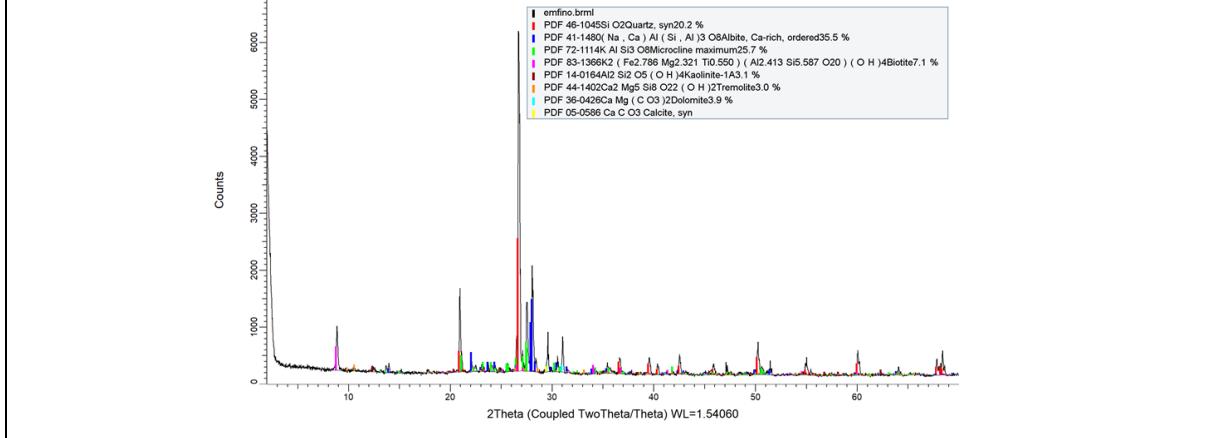
**Figura A7.4:** Difratograma da amostra AS18i da fração bulk (< 2mm).



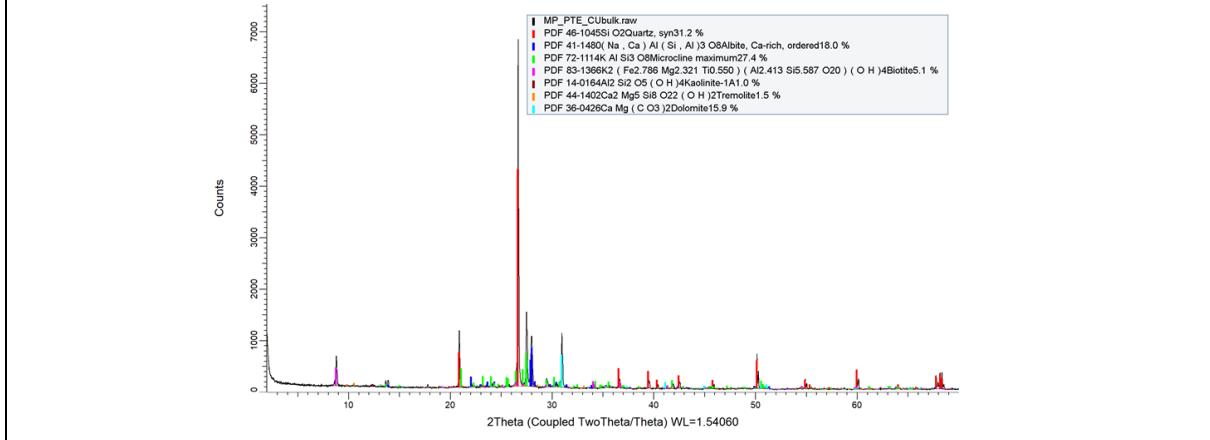
**Figura A7.5:** Difratograma da amostra AS18i da fração fina (< 0,062mm).



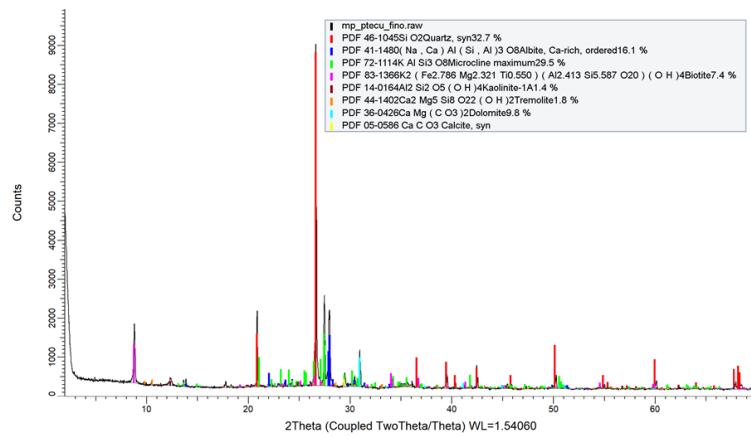
**Figura A7.6:** Difratograma da amostra EM da fração bulk (< 2mm).



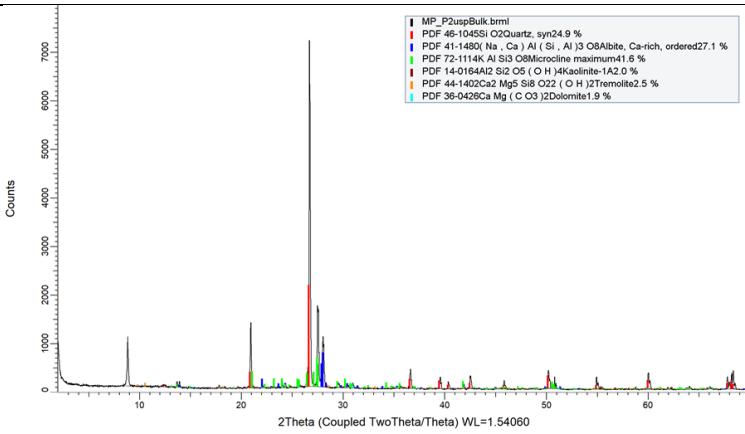
**Figura A7.7:** Difratograma da amostra EM da fração fina (< 0,062mm).



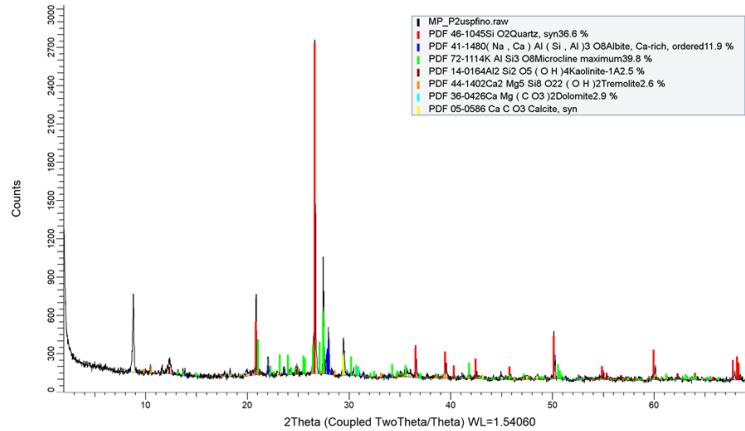
**Figura A7.8:** Difratograma da amostra MP-PTE C.U. da fração bulk (< 2mm).



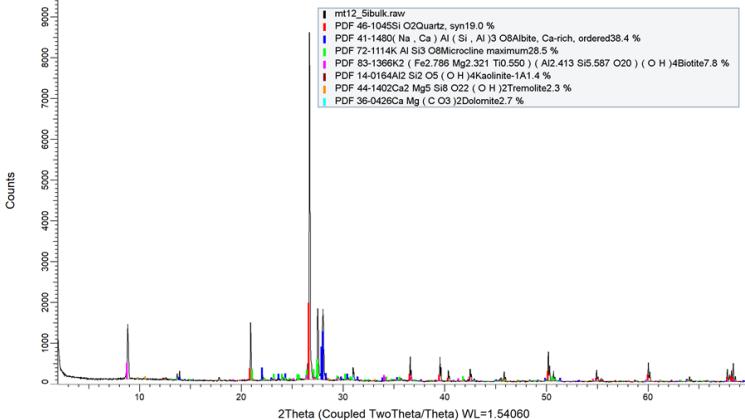
**Figura A7.9:** Difratogramma da amostra MP-PTE C.U. da fração fina (< 0,062mm).



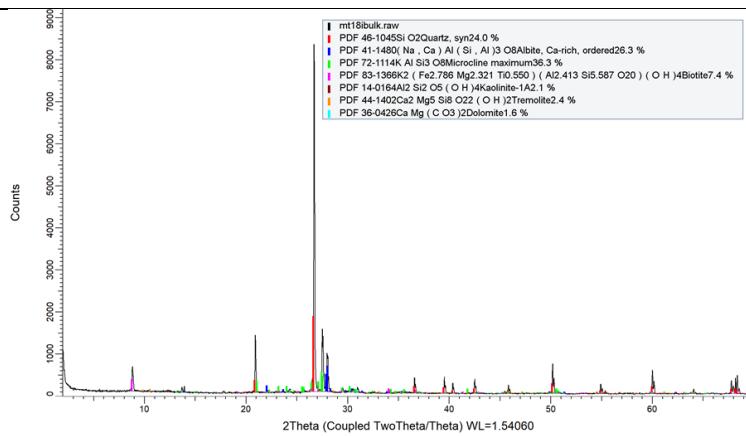
**Figura A7.10:** Difratogramma da amostra MP-P2USP da fração bulk (< 2mm).



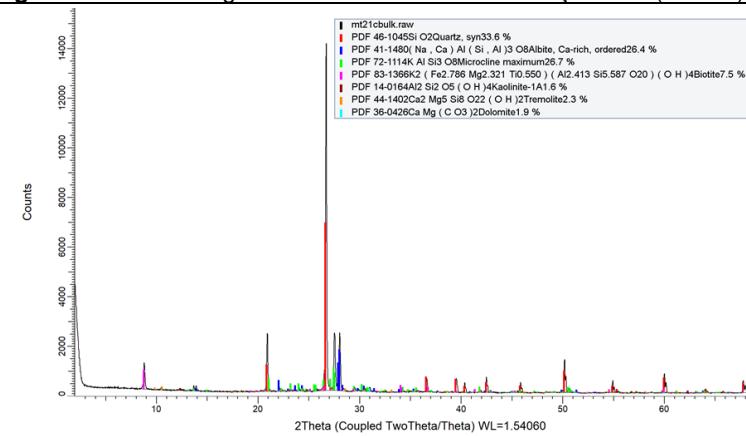
**Figura A7.11:** Difratogramma da amostra MP-P2USP da fração fina (< 0,062mm).



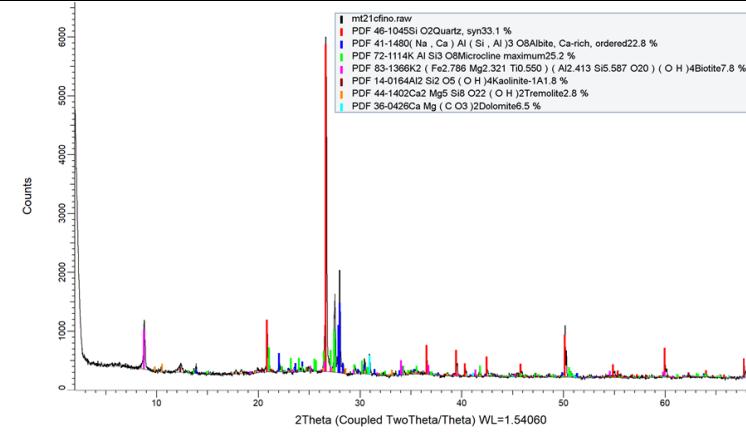
**Figura A7.12:** Difratogramma da amostra MT12,5i da fração bulk (< 2mm).



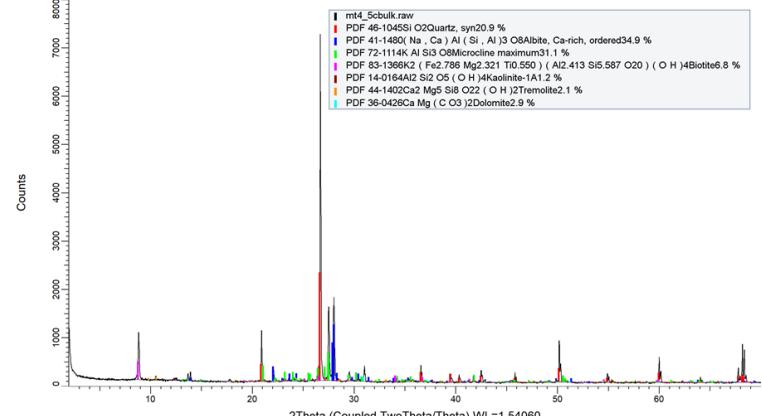
**Figura A7.13:** Difratograma da amostra MT18i da fração bulk (< 2mm).



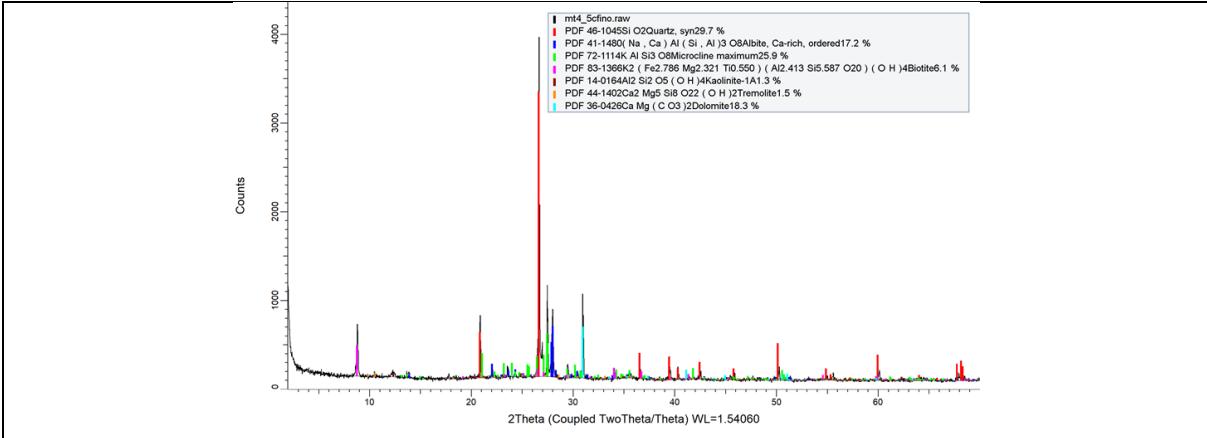
**Figura A7.14:** Difratograma da amostra MT21c da fração bulk (< 2mm).



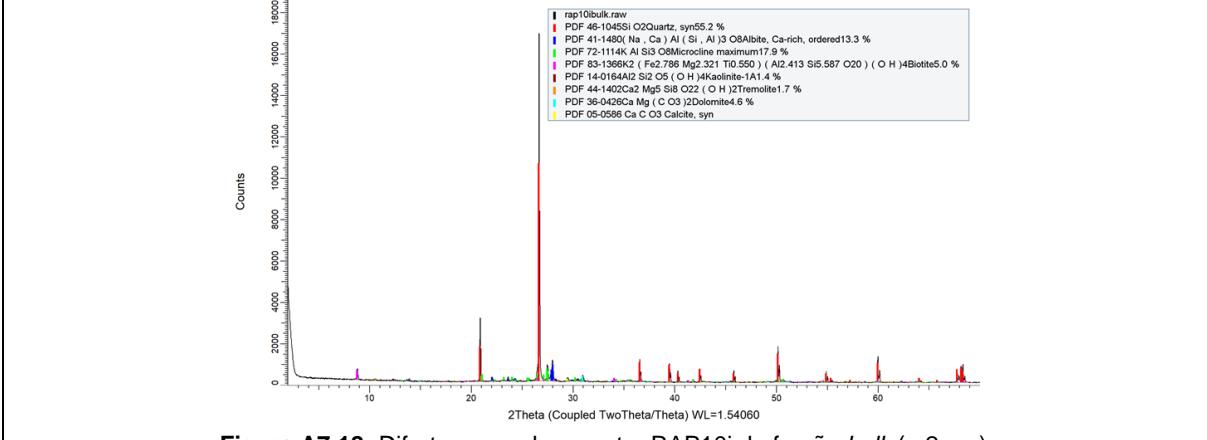
**Figura A7.15:** Difratograma da amostra MT21c da fração fina (< 0,062mm).



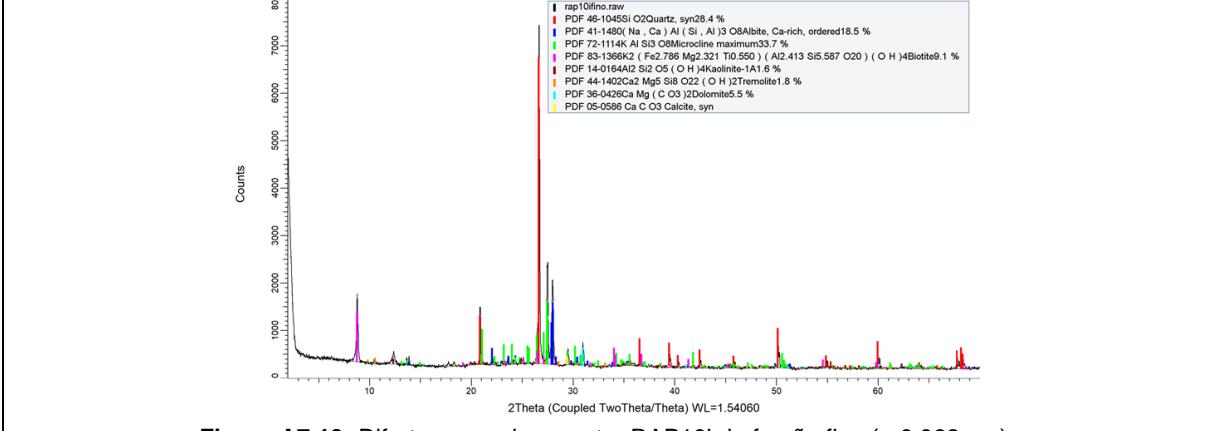
**Figura A7.16:** Difratograma da amostra MT4,5c da fração bulk (< 2mm).



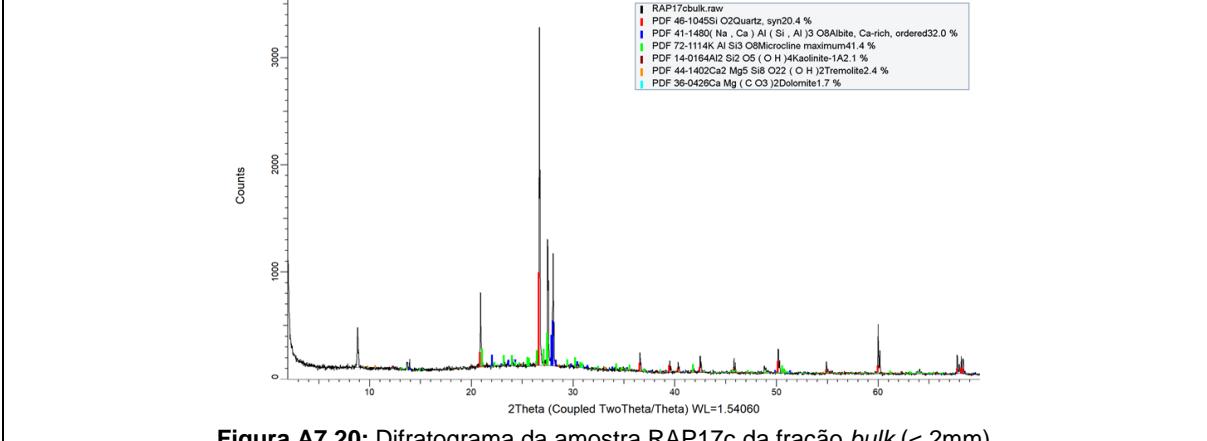
**Figura A7.17:** Difratograma da amostra MT4,5c da fração fina (< 0,062mm).



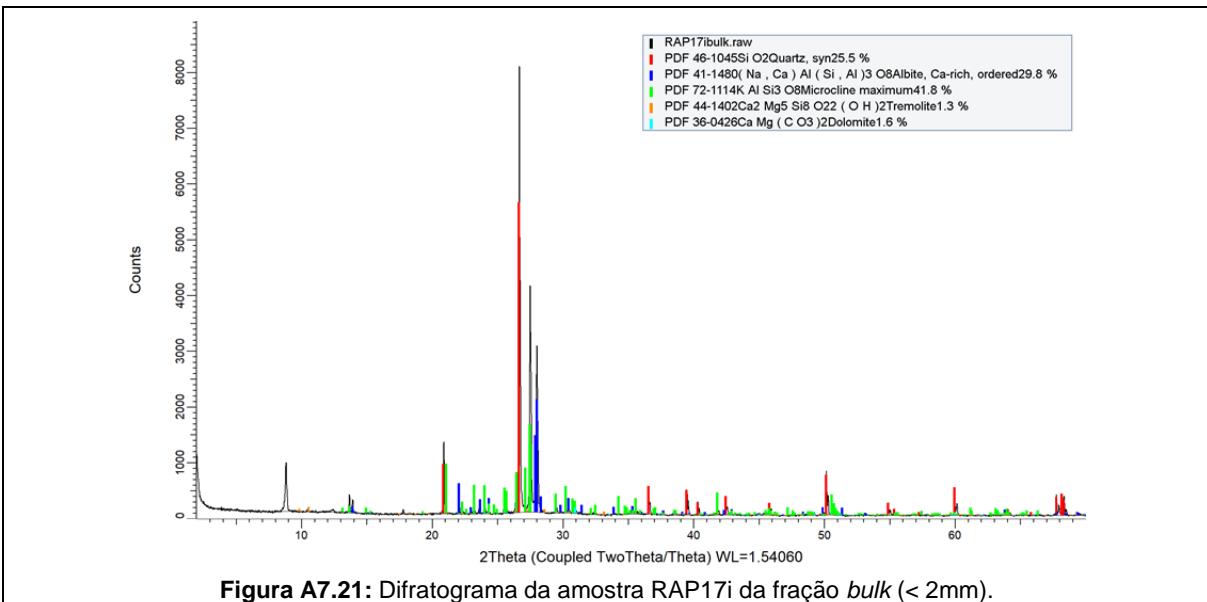
**Figura A7.18:** Difratograma da amostra RAP10i da fração bulk (< 2mm).



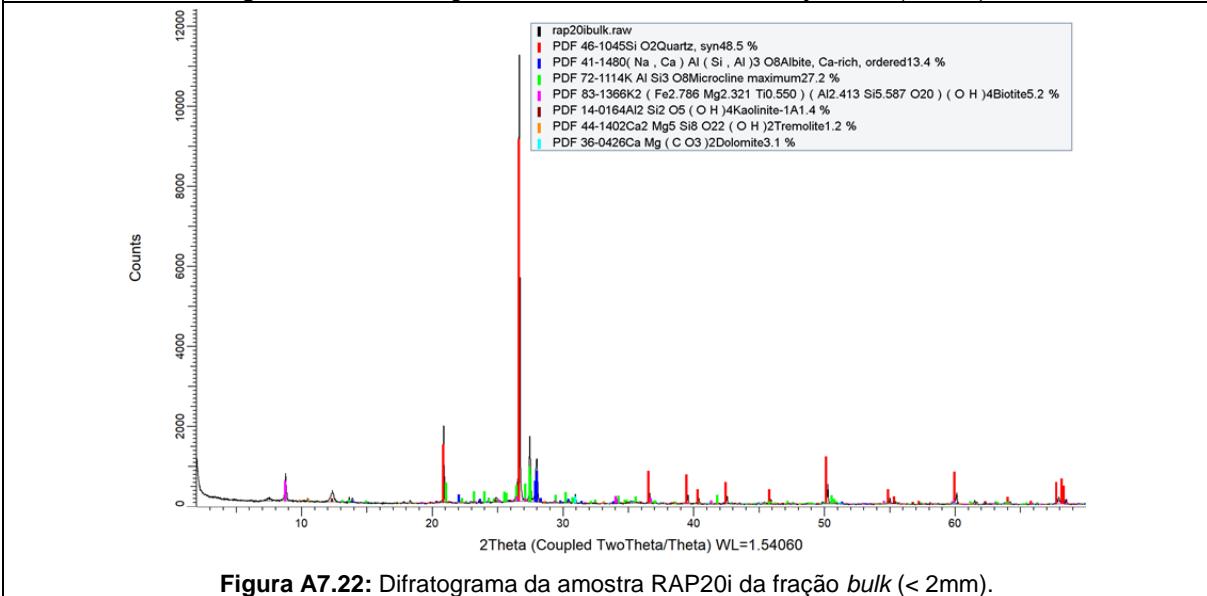
**Figura A7.19:** Difratograma da amostra RAP10i da fração fina (< 0,062mm).



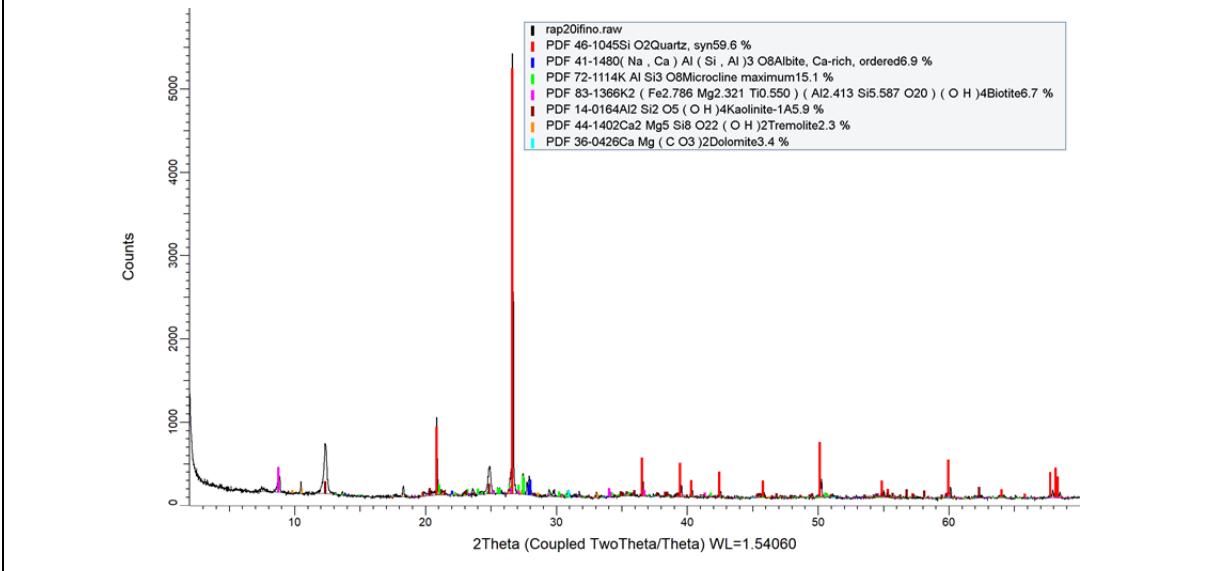
**Figura A7.20:** Difratograma da amostra RAP17c da fração bulk (< 2mm).



**Figura A7.21:** Difratograma da amostra RAP17i da fração bulk (< 2mm).



**Figura A7.22:** Difratograma da amostra RAP20i da fração bulk (< 2mm).



**Figura A7.23:** Difratograma da amostra RAP20i da fração fina (< 0,062mm).

**Figura A7:** Difratogramas das amostras analisadas com minerais identificados, fórmulas químicas e proporção, em porcentagem.

**Tabela A2** – Elementos químicos encontrados e seus valores de peso, dados em porcentagem, presentes nas partículas terrígenas, antrópicas e não identificadas.

Amostra	Micrografias	ELEMENTOS QUÍMICOS																				Peso (%)										
		Al	Ba	Ca	Ce	Cl	Co	Cu	Dy	Fe	Gd	Hf	K	La	Mg	Mn	Na	Nb	Nd	O	P	Pb	S	Si	Sm	Sr	Ti	Th	U	Y	Zn	Zr
MP-PTE C.U.	7.1	4.19	-	-	-	-	-	-	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	52,4	-	-	42,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
AS15i	7.2	15,4	-	7,1	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	4,9	-	-	41,7	-	-	30,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
MP-PTE C.U.	7.3	6,20	-	1,00	-	-	-	-	-	21,7	-	10,8	-	6,11	0,55	-	-	37,0	-	-	15,7	-	-	0,82	-	-	-	-	-	-		
AS15i	7,4	1,7	-	0,7	23,3	-	-	-	-	-	1,1	1,0	-	11,6	-	-	-	-	9,6	26,0	16,6	-	-	4,3	1,0	-	-	2,8	1,2	-		
MP-PTE C.U.	7,5	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,3	-	-	14,4	-	-	2,13	-	-	-	-	47,4		
AS15i	7,6	0,51	-	-	-	0,41	-	-	67,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,4	-	-	0,69	-	-	-	-	-	-	-	-		
AS15i	8,1	10,9	-	5,4	-	-	-	-	8,3	-	-	2,7	-	1,2	-	0,5	-	-	39,8	-	-	2,5	26,0	-	-	0,9	-	-	-	2,0	-	
MP-PTE C.U.	8,2	5,80	-	19,5	-	3,17	-	-	2,47	-	-	11,7	-	7,02	-	1,40	-	-	36,0	0,91	-	0,95	10,5	-	-	0,36	-	-	-	-	-	
MP-PTE C.U.	8,3	1,78	-	0,30	-	0,30	-	-	66,1	-	-	-	-	2,52	0,29	0,62	-	-	25,5	-	-	-	-	-	-	2,52	-	-	-	-	-	
MP-PTE C.U.	8,4	0,30	-	0,63	-	-	-	-	72,6	-	-	-	-	-	-	-	-	0,84	-	-	23,7	-	-	-	-	1,84	-	-	-	-	-	
MP-PTE C.U.	8,5	3,69	5,49	0,22	35,8	-	-	-	2,65	-	-	-	-	17,6	-	-	-	24,0	0,32	2,98	-	5,66	-	-	-	-	1,40	-	-	-	-	
MP-PTE C.U.	8,6	0,63	-	2,14	-	-	-	-	1,37	0,32	-	-	-	-	-	-	-	15,8	-	30,7	-	-	-	6,30	-	-	14,8	-	17,0	10,7	-	-
MP-PTE C.U.	8,7	0,44	-	5,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	-	2,88	-	10,5	-	-	46,7	-	-	0,11	33,7	-	-	-	-	-	-	-
AS15i	9,1	22,9	-	0,46	-	-	-	-	1,47	-	-	12,1	-	0,39	-	0,57	-	-	31,4	-	-	0,28	30	-	-	0,52	-	-	-	-	-	
MP-PTE C.U.	9,2	6,76	-	6,58	-	-	-	-	10,1	-	-	0,80	-	4,07	0,16	1,51	-	-	43,8	-	-	-	24,1	-	-	2,01	-	-	-	-	-	