ENTRELUGAR

VARIAÇÕES ESPACIAIS E SAZONAIS DE MATERIAL PARTICULADO NO AR EM ÁREAS RESIDENCIAIS ADJACENTES ÀS MINAS DE CARVÃO EM MOATIZE, MOÇAMBIQUE

SPATIAL AND SEASONAL VARIATIONS OF PARTICULATE MATTER IN THE AIR IN RESIDENTIAL AREAS ADJACENT TO THE COAL MINES IN MOATIZE, MOZAMBIQUE

VARIACIONES ESPACIALES Y ESTACIONALES DE MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE EN ÁREAS RESIDENCIALES ADYACENTES A LAS MINAS DE CARBÓN DE MOATIZE, MOZAMBIQUE

Isaías Mutombo Mafavisse

Pesquisador da Universidade Rovuma, Nampula.

E-mail: imafavisse@unirovuma.ac.mz

Valquíria de Campos

Pesquidadora da Universidade Estadual Paulista.

E-mail: v.campos@unesp.br

RESUMO

O ar é componente ambiental natural vital para a existência de seres humanos e outros organismos vivos. O objetivo do trabalho foi determinar espacialmente os níveis de concentrações do material particulado gerado pela atividade de mineração do carvão em Moatize. Para saber o quanto de partículas totais em suspensão (PTS), amostras de poeira foram coletadas a partir de 5 diferentes locais residenciais em torno das áreas de mineração do carvão. O estudo abrangeu duas estações do ano, a seca e a chuvosa de 2015 possibilitando observar a sazonalidade no local de estudo. As PTS foram amostradas através de uma membrana de PVC (filtro) por impactação inerte e analisadas por meio da técnica gravimétrica. Os resultados obtidos indicaram que as concentrações médias anuais de PTS foram maiores para 25 de setembro, 154,24 µg/m^3 em comparação aos bairros Minas Moatize, Liberdade, Carbomoc e Comunidade Cateme, 126,66 µg/m^3, 132,40 µg/m^3, 133,91 µg/m^3 e 4,93 µg/m^3, respetivamente. O valor médio da concentração para o período seco foi maior em relação ao período chuvoso. No geral a intensidade da poluição por concentração de poeira é expressiva em locais próximos da área de mineração de carvão e localizadas na faixa preferencial dos ventos do sudeste.

Palavras-chave: Poluição do ar. Material particulado. Mineração do carvão. Áreas impactadas. Concentração.

ABSTRACT

Air is a vital natural environmental component for the existence of human beings and other living organisms. The objective of this study was to spatially determine the concentration levels of the particulate matter generated by the coal mining activity in Moatize. To find out how much of the total suspended particles (TSP) matter was available, dust samples were collected from 5 different residential locations around the coal mining areas. The study covered two seasons of the year, the dry and the rainy of 2015, thus making it possible to observe the seasonality in the study area. The TSP matters were sampled through a PVC membrane (filter) by inert impaction and analyzed using a gravimetric technique. The results obtained indicated that the average annual concentrations of TSP were higher for 25 de Setembro, 154.24 µg/m^3 in comparison to the remaining residential locations, such as Minas Moatize, Liberdade, Carbomoc and Comunidade Cateme, 126,66 µg/m^3, 132,40 µg/m^3, 133,91 µg/m3 and 4,93 µg/m^3, respectively. The average concentration value for the dry period was higher compared to the rainy period. In general, the intensity of pollution caused by dust concentration is significant in sites close to the coal mining area and located in the preferential range of southeastern winds.

Keywords: Air pollution. Particulate matter. Coal mining. Impacted sites. Concentration.

RESUMEN

El aire es un componente ambiental natural vital para la existencia de los seres humanos y otros organismos vivos. El objetivo del trabajo fue determinar espacialmente los niveles de concentración del material particulado generado por la actividad minera del carbón en Moatize. Para averiguar la cantidad total de partículas suspendidas (PTS), se recolectaron muestras de polvo de 5 diferentes locales residenciales alrededor de las áreas mineras de carbón. El estudio abarcó dos estaciones del año, la seca y la lluviosa 2015, lo que permitió observar la estacionalidad en el lugar de estudio. Los PTS se muestrearon a través de una membrana de PVC (filtro) mediante impactación inerte y se analizaron mediante la técnica gravimétrica. Los resultados obtenidos indicaron que las concentraciones medias anuales de PTS fueron superiores para el 25 de septiembre, 154,24 µg/m^3 en comparación con los barrios Minas Moatize, Liberdade, Carbomoc y Comunidade Cateme, 126,66 µg/m^3, 132,40 µg/m^3, 133,91 µg/m^3 y 4,93 µg/m^3, respectivamente. El valor de concentración promedio para el período seco fue mayor en comparación con el período lluvioso. En general, la intensidad de la contaminación causada por la concentración de polvo es significativa en lugares cercanos al área minera del carbón y ubicados en el rango preferencial de los vientos del sureste.

Palabras-clave: Contaminación del aire. Material particulado. Minería de carbón. Áreas impactadas. Consentración.

INTRODUÇÃO

O carvão fornece 30% das necessidades globais de energia primária e gera cerca de 42% da eletricidade do mundo. Também é utilizado na produção de mais de 70%

do aço do mundo. A produção total mundial de carvão atingiu um nível recorde de mais de 7212 milhões de toneladas (WORLD COAL ASSOCIATION, 2017). Moçambique possui quantidades consideráveis de recursos naturais dos quais a maior parte ainda não foi efetivamente explorada. "E em função dessa constatação, o Governo está determinado em facilitar a extração e exportação dos recursos naturais o mais rapidamente possível, supondo que estes irão contribuir positivamente para o crescimento econômico e na redução da pobreza" (BUCUANE e MUELDER, 2007).

Moatize apresenta enormes quantidades de reservas de carvão mineral, atraindo grandes conglomerados indústrias de mineração de carvão para esta região. Nos últimos anos, tem-se verificado a intensificação do processo de lavra de carvão na Zona Franca Industrial de Moatize. A mineração de carvão a céu aberto é a principal atividade extrativa em Moatize e desempenha um papel importante na economia local e do país. Contudo, estas atividades de mineração contribuem direta ou indiretamente para a poluição do ar.

A área de estudo foi escolhida devido ao conhecimento prévio da sua importância econômica, por ostentar bastante carvão mineral e pela existência de uma gama de empresas transnacionais instaladas que desenvolvem atividades de exploração do carvão. Dentre as várias companhia mineradoras instaladas em Moatize destaque vão para Vale Moçambique, *International Coal Venture Limited*, *Beacon Hill Resources Company*, Rio Tinto Zabeze, Minas de Rovubué, *Eta Star*, *Coal IndianAfrican* e *Capitol Resoureces* e conta com maior concentração do Investimento Direto Estrangeiro destinado aos recursos minerais do país, bem como pela degradação do ar gerada por estas atividades de mineração.

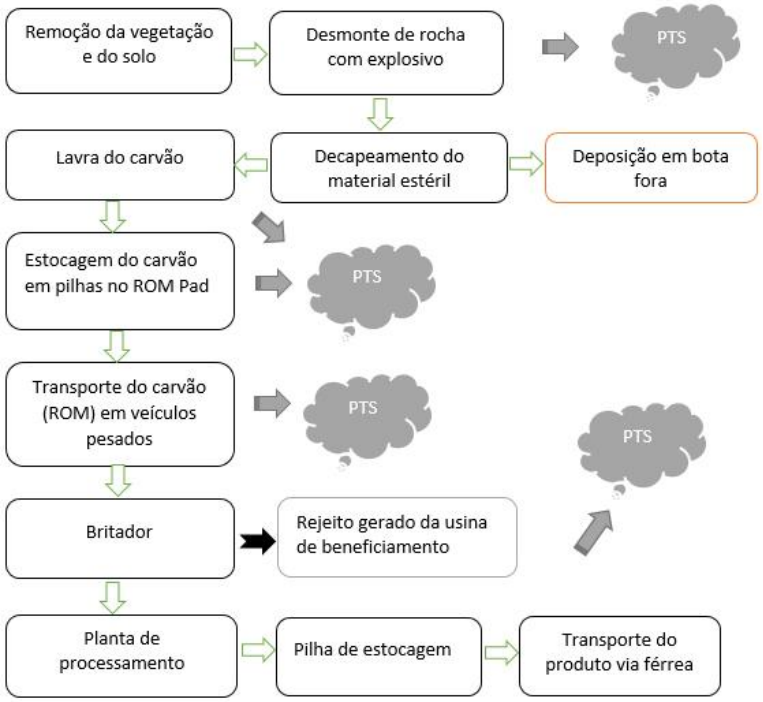
Os residentes no entorno dessas minerações reclamam da poeira decorrente da emissão difusa gerada pela atividade minerária do carvão. Diante disto, o objetivo do trabalho foi determinar espacialmente e sazonalmente os níveis de concentrações do material particulado gerados pela mineração do carvão em Moatize. Dentre as várias fontes de poluição do ar, a mineração do carvão é uma das importantes por emissão difusa de poeira. A degradação da qualidade do ar representa um importante fator de ameaça à saúde humana e meio ambiente. Segundo Saldiva et al. (2013), se não houver implementação de novas medidas para reverter o cenário atual de poluição atmosférica por material

particulado, a qualidade do ar continuará a se deteriorar globalmente e por volta de 2050 a poluição por material particulado será a principal causa ambiental de mortalidade prematura mundial.

De acordo com as últimas estimativas disponíveis pelo Banco Mundial (THE WORLD BANK, 2016), em 2013, 5,5 milhões de mortes prematuras em todo o mundo, 1 em cada 10 mortes totais, foram atribuídas à poluição do ar. As fontes de poluição do ar nas áreas de mineração de carvão geralmente incluem todas as etapas do processo, desde a perfuração, explosão, jateamento, trituração, transporte do carvão, plantas de manuseio de carvão, fachadas expostas e oficinas (CMRI, 1998).

Podemos representar a emissão de material particulado gerado pela mineração, conforme a figura ilustrativa a seguir.

Figura 1 – Fontes de emissão de material particulado em mineração de carvão



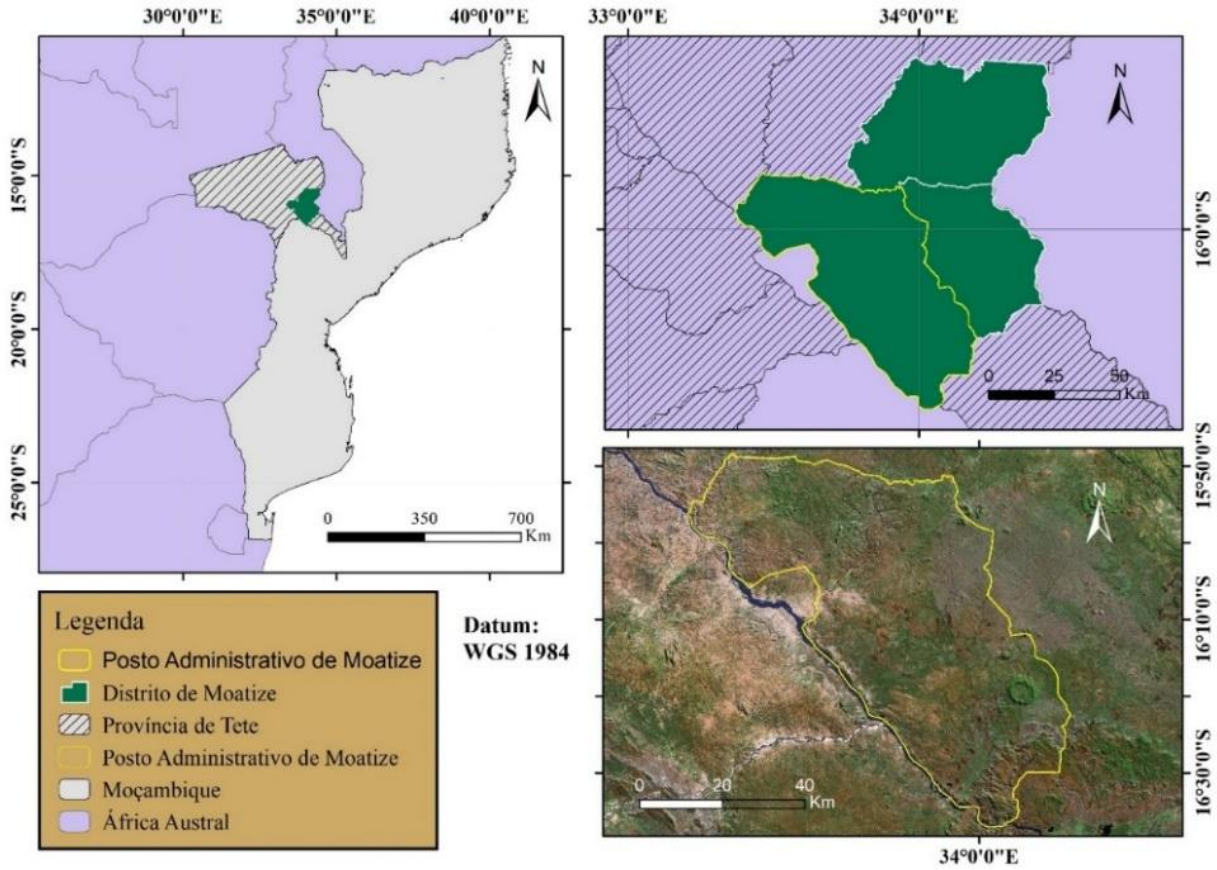
Fonte: MAFAVISSE, 2017.

Os principais poluentes atmosféricos devidos à mineração a céu aberto são partículas totais suspensas (PTS) e materiais em partículas respiráveis (MP_{10}) (SINHA e BANERJEE, 1997; CMRI, 1998).

ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado no Distrito de Moatize localizado na Província de Tete em Moçambique e dista 20 km do Município de Tete, situando-se a nordeste deste, entre os paralelos 15˚37´ e 16˚38´de latitude Sul e entre os meridianos 33˚22´ e 34˚28´ de longitude Leste, com área de 8.455 km^2 (Figura 2). É limitado a Norte pelos distritos de Chiúta e Tsangano; a Leste pela República do Malawi; a Sul pelos distritos de Tambara, Guro, Changara e Município de Tete e a Oeste pelos distritos de Chiúta e Changara (MAE, 2005).

Figura 2 – Local de estudo

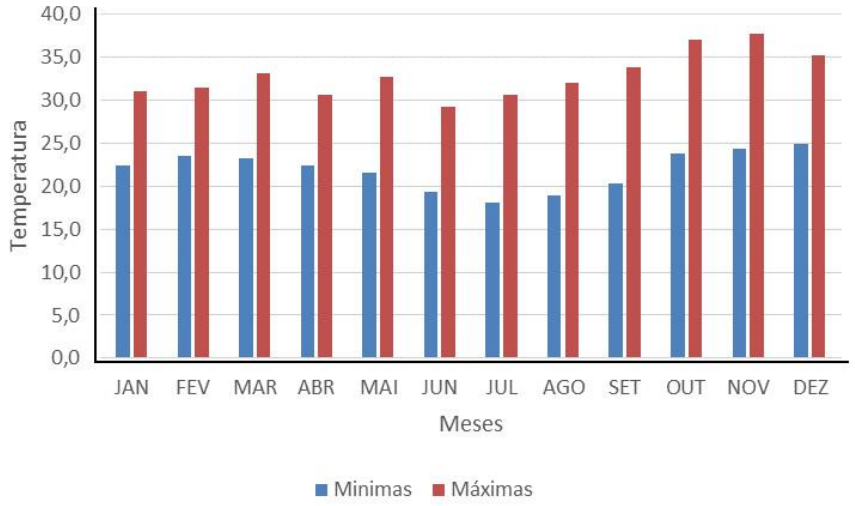


Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2016.

A região apresenta, segundo o modelo de Köppen clima tropical com dois tipos: o do tipo BSw, ou seja, seco de estepe com inverno seco na parte sul, e o do tipo AW, Tropical Chuvoso de Savana no norte do distrito (MOÇAMBIQUE, 2005). A temperatura média está na ordem dos 26,5˚C. As médias anuais máximas e mínimas são de

32,5 e 20,5˚C, nos meses de Novembro e Julho, respectivamente, conforme a figura 3 (INAM, 2016).

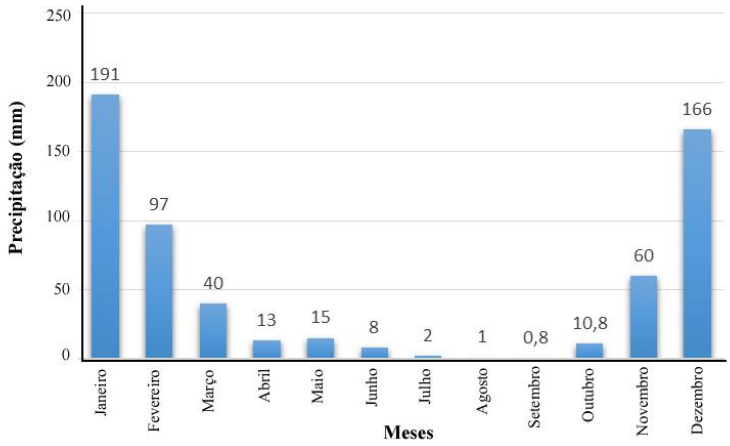
Figura 3 – Temperaturas médias mensais 2015



Fonte: INAM, 2016.
Org.: MAFAVISSE, Isaías, 2016.

A precipitação média mensal no verão gira em torno de 191 mm e 166 mm, índices registrados nos meses de janeiro e dezembro. A precipitação média mensal máxima e mínima em Moatize é de aproximadamente 191 mm no verão e 0,8 mm no inverno (Figura 4).

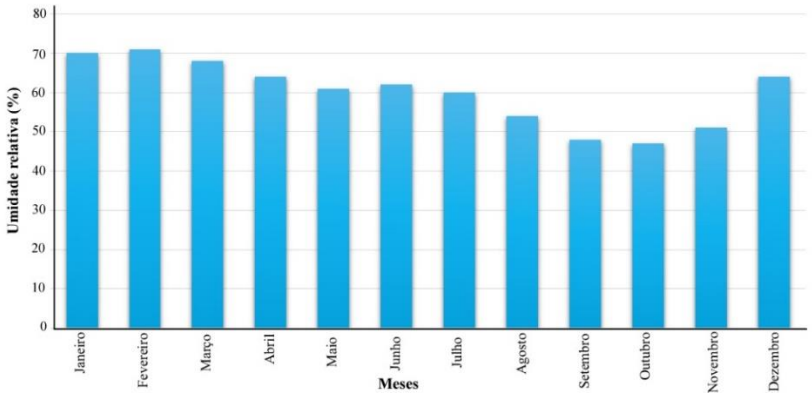
Figura 4 - Valores de precipitação média mensal, 1985-2015 – Estação meteorológica de Tete



Fonte: INAM, 2016.
Org.: MAFAVISSE, Isaías, 2016.

O valor máximo de umidade relativa do ar, 71%, é verificado no mês de Fevereiro, e o valor mínimo, 47% no mês de Outubro. O mês de outubro se apresenta como a época mais seca do ano (Figura 5). A umidade relativa do ar é de 60%, média anual, um indicador característico de regiões de clima seco (INAM, 2016).

Figura 5 - Umidade relativa média mensal do ar, 1985-2015 – Estação Meteorológica de Tete



Fonte: INAM, 2016.

Org.: MAFAVISSE, Isaías, 2016.

LOCAL DE AMOSTRAGEM

As coletas de amostras de material particulado para a determinação da concentração mássica de PTS foram realizadas no Posto Administrativo de Moatize, em cinco pontos, previamente definidos: bairro Liberdade, bairro Carbomoc, bairro 25 de Setembro, comunidade Cateme e bairro Minas Moatize. As amostragens dos materiais particulados foram realizadas no ano 2015 de Janeiro à dezembro, abrangendo as duas estações do ano, verão e inverno. As coordenadas geográficas dos pontos amostrais são apresentadas na Tabela 1.

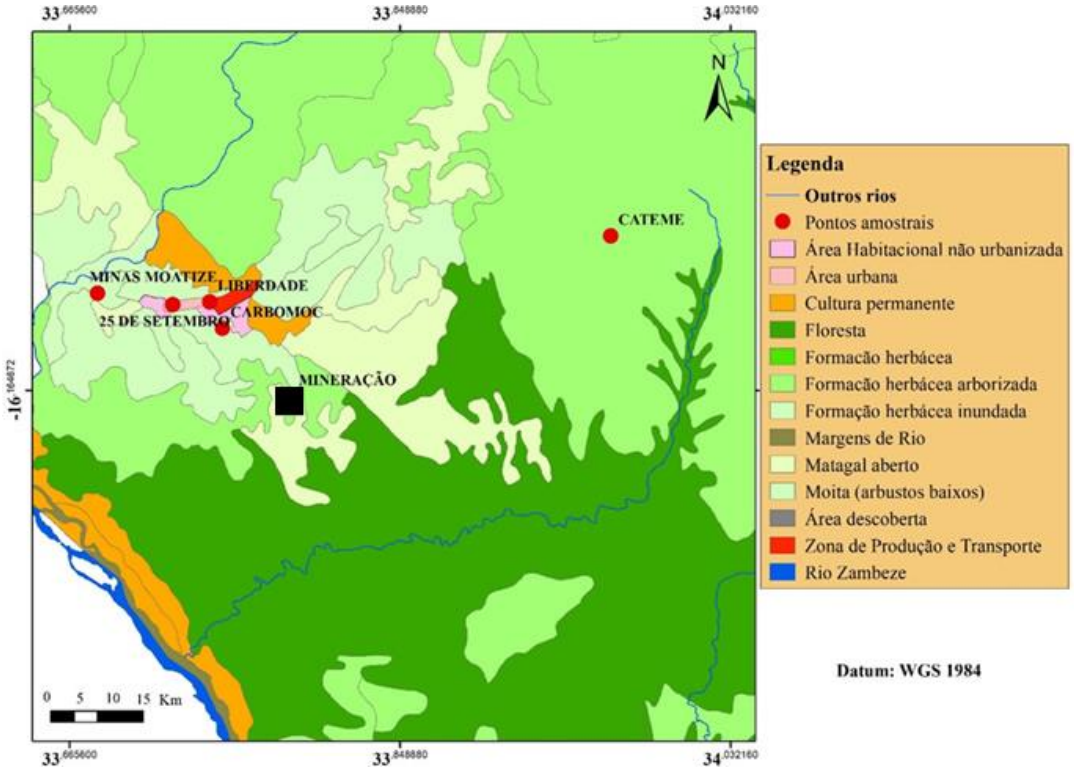
Tabela 1– Coordenadas dos pontos amostrais

Ponto	Local	Coordenadas	
		Lat. S	Long. E
1	Minas Moatize	8218656	0572825
2	Bairro 25 de setembro	8208933	0518645
3	Bairro Liberdade	8218100	0579479
4	Bairro Carbomoc	8216762	0579849
5	Comunidade Cateme	8222051	0603266

Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Após identificação das áreas potencialmente poluídas por material particulado, foi feita a marcação dos pontos amostrais localizados em quintais de residências com base em acordo alcançado entre as partes para a instalação dos amostradores de material particulado nos pontos amostrais, como é ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Localização dos pontos amostrais



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Os dados utilizados para o mapeamento foram obtidos de duas fontes de informações: dados primários (relacionadas à informações em campo) e secundários (provenientes de imagens satélite) e foi utilizado o software ArcGis 10.3 para gerar os mapas. Para a geração de mapa de relevo foram utilizadas curvas de nível com equidistância de 10 m. As curvas passaram por um processo de interpolação a fim de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando o algoritmo de interpolação TOPO TO RASTER, disponível no módulo ArcToolbox do aplicativo computacional ArcGIS 10.3.

Com base nos pontos de amostragem foi realizada a delimitação das áreas de influência no entorno das mineradoras por meio do comando "*buffer*", disponível no módulo Arc Toolbox do programa ArcGIS 10.3, delimitando-se um raio de influência direta das minas de 10 quilômetros, a partir de cada mina em operação, foram gerados raios "buffer" de dois em dois quilômetros até alcançar o raio dos pontos impactados por material particulado. Para melhor descrever e representar a direção e velocidade do vento da área de estudo, foi utilizado o *software* WRPLOT View (http://www.weblakes.com/) para gerar rosas de vento com base nos dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique.

EQUIPAMENTO DE AMOSTRAGEM

Para a coleta de PTS foi utilizado amostrador composto por uma bomba de vácuo tipo pistão, da marca Biomec, modelo BCP 16/SC; gasômetro tipo fole ACTARIS, modelo G1.6, amostradores ambientais, para medir o volume de ar coletado em cada amostra. As PTS foram retidas em filtros de PVC de 37 mm de diâmetro, com poro de 5,0 µm de diâmetro da marca SKC Inc. Cada filtro foi pesado três vezes para a obtenção do valor médio. Este foi realizado no laboratório da INTERTEK cedido pela Vale Moçambique, sob autorização do gestor do meio ambiente da mineradora (Figura 7).

Figura 7 - Determinação da concentração mássica de partículas totais em suspensão



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

A concentração de material particulado é calculada em mg m^{-3}, dividindo-se a massa das partículas pelo volume de ar amostrado, corrigido para as condições padrão de temperatura e pressão (25ºC, 760 mmHg), conforme o Art. 4º, 3º da Resolução CONAMA n°. 3/1990 (BRASIL, 1990).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na avaliação dos dados de PTS foi aplicada estatística descritiva, utilizando-se do programa IBM SPSS *Statistics* versão 22, com a obtenção de média, desvio-padrão e correlações das variáveis que determinaram a variabilidade na concentração de PTS e qualidade do ar no Posto Administrativo de Moatize. Elaborou-se matriz de correlação para encontrar a covariância de cada par de variáveis medidas. Neste caso, o coeficiente de correlação amostral representou a covariância dos valores amostrais padronizados, assumindo valores no intervalo [-1;1], onde o valor positivo ou negativo indica geralmente a direção da associação. Para esta pesquisa levou-se em consideração ambos os valores das correlações e as correlações encontradas foram classificadas de acordo com a escala descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias de avaliação da correlação de Pearson

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	CORRELAÇÃO
p = 1	Perfeita positiva
0,8 ≤ p< 1	Forte positiva
0,5 ≤p < 0,8	Moderada positiva
0,1 ≤p < 0,5	Fraca positiva
0 < p< 0,1	Ínfima positiva
0	Nula
-0,1 < p< 0	Ínfima negativa
-0,5 < p≤ - 0,1	Fraca negativa
-0,8 < p≤ - 0,5	Moderada negativa
-1 < p≤ - 0,8	Forte negativa
P = -1	Perfeita negativa

Fonte: Adaptado de Santos (2007).

De acordo com Santos (2007), quando o coeficiente for menor de 0.50 a correlação não chega a algum valor significativo, já que não é uma correlação que carrega alguma informação considerável. Os dados de parâmetros meteorológicos (vento, umidade relativa do ar, precipitação e temperatura) usados como variáveis na análise de correlações, com as concentrações de PTS, na área de estudo foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique e são referentes à série de dados do período de 2003 a 2016. Os valores de concentração de PTS obtidos foram comparados e analisados com padrões de qualidade do ar nacionais de acordo com a legislação moçambicana e brasileira (Tabela 3).

Tabela 3 – Padrões de qualidade do ar Moçambique e Brasil

Poluente	**Tempo médio de amostragem**	**Concentração (violação aceitas por ano)**	
		Padrão Primário	**Padrão secundário**
Legislação moçambicana (decreto n.˚67/2010)			
PTS (µg/m3)	24h	150	Igual ao padrão primário
	Anual (média aritmética)	60	
Legislação brasileira (CONAMA)			
PTS (µg/m3)	24h	240	150
	Anual (média geométrica)	80	60
Partículas inaláveis MP_{10} (µg/m3)	24h	150	Igual ao padrão primário
	Anual	50	

Fonte: MOÇAMBIQUE, 2010; CONAMA 1990.

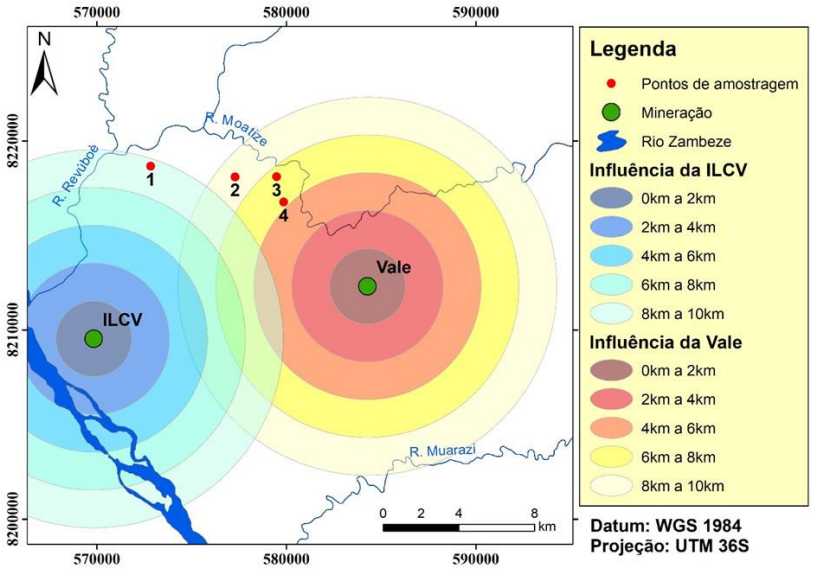
RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Partículas Totais em Suspensão (PTS) em Moatize**

Cinco pontos foram amostrados para o estudo os quais representam áreas residenciais contíguas as áreas de mineração, onde foram registradas as concentrações mássicas de partículas totais em suspensão, parte delas estão localizados dentro do perímetro da área de concessão mineira da Vale Moçambique e ILCV. Os pontos Minas Moatize (1), Bairro 25 de Setembro (2), Bairro da Liberdade (3) e Bairro Carbomoc (4) são as mais próximas destas áreas de mineração, sendo a comunidade Cateme (5) o único ponto afastado das fontes de emissão de PTS.

A poluição por PTS nestes pontos pode ser resultado da contribuição conjunta das emissões atmosférica das mineradoras em operação no Posto Administrativo de Moatize devido à proximidade das comunidades às áreas da mineração. Os impactos negativos por PTS nos pontos amostrais são evidenciados através de registros efetuados em campo ao longo dos meses de janeiro à dezembro de 2015, abrangendo os pontos Minas Moatize (1), Bairro 25 de Setembro (2), Bairro da Liberdade (3) e Bairro Carbomoc (4) situados em média 8 a 10 km de distância em relação as áreas de mineração de Moatize, área de influência direta da mina, excetuando Cateme, ponto 5 localizada fora da área de influência direta, não representado neste mapa (Figura 8).

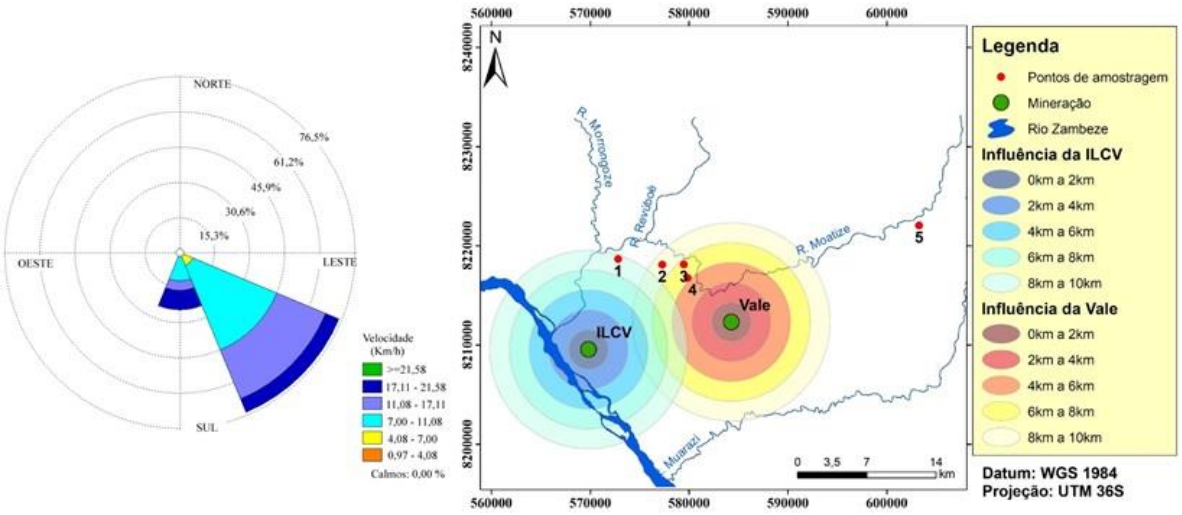
Figura 8 - Áreas de influência direta da mineração



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

A Figura 8 apresenta as áreas impactadas por material particulado: Minas Moatize (1), Bairro 25 de Setembro (2), Bairro da Liberdade (3) e Bairro Carbomoc (4) contendo altas concentrações médias anuais de PTS para os pontos 1 – 126,66 µg/m3, 2 – 154,24 µg/m3, 3 – 132,40 µg/m3, e 4 – 133,91 µg/m3, decorrente da aproximação destes pontos em relação as áreas de mineração. A Comunidade Cateme registrou em 2015 concentração baixa, 4,93 µg/m3. Este ponto 5, situa-se mais afastado das principais fontes de emissão de material particulado, a nordeste das minerações de carvão. A comunidade Cateme encontra-se fora do alcance da faixa dos ventos do sul e de sudeste com cargas de material particulado procedentes das fontes de emissões, fora da área de influência das minerações, pois, a concentração da imissão deve ser tanto menor quanto mais distante estiver o local da fonte de emissão e quanto maiores forem as possibilidades de diluição (fatores meteorológicos), conforme a Figura 9.

Figura 9 - Área de influência da mineração



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Na Figura 9 estão representadas as áreas de influência da mineração do carvão e as áreas impactadas por material particulado: Minas Moatize (1), Bairro 25 de Setembro (2), Bairro da Liberdade (3) e Bairro Carbomoc (4) registraram altas concentrações médias anuais de PTS para os pontos 1 – 126,66 µg/m3, 2 – 154,24 µg/m3, 3 – 132,40 µg/m3, e 4 – 133,91 µg/m3, decorrente da aproximação destes pontos em relação as áreas de mineração e abrangidas pelas faixas preferenciais dos ventos, conforme a rosa dos ventos.

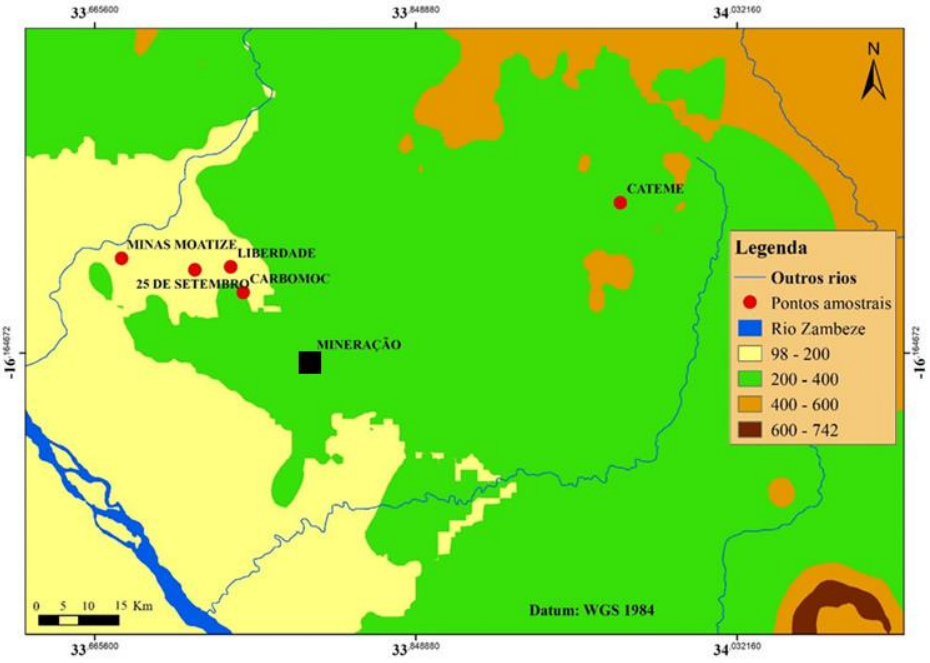
A Figura 9 mostra a rosa-dos-ventos para o local, onde se verifica a predominância de ventos do sudeste (76%), seguida da direção sul (24%). Isso significa que o lado noroeste/norte deve ser mais impactado pelos empreendimentos mineiros, conforme será visto adiante. Foi verificado neste estudo que o comportamento do vento em Moatize varia sazonalmente, sendo que essa variação na velocidade e na frequência das classes dos ventos é mais acentuada na estação de verão, fenômeno relacionado a influência das perturbações tropicais associadas a CIT.

Os ventos de verão em Moatize são preferencialmente de sudeste e sul, com velocidades que variam de 7 a 11 km h^{-1}. Este comportamento se dá em decorrência de centros de baixas pressões no continente e de altas pressões localizadas no Oceano Índico, durante a estação de verão. Os meses de verão são os que têm ventos mais intensos, conforme o regime anual de intensidade do vento.

No inverno, a estação seca do ano em Moatize, é caracterizada pelas direções predominantes dos ventos de sudeste. Neste período do ano, ocorre com frequência a dispersão e transporte dos materiais particulados das áreas de mineração para as áreas residenciais devido à secura que caracteriza a estação do inverno, gerando concentrações de PTS nas áreas residenciais que se apresentam altas em comparação com as registradas no verão.

Os fatores meteorológicos estão em consonância com as características da superfície (topografia), interferindo no campo de vento, pois, o relevo da área de estudo também exerce influência, haja visto que as áreas de mineração estarem localizadas em cotas que variam entre 200 a 400 metros. Os ventos do sul e sudeste dispersam e transportam os materiais particulados das minas de carvão depositando-os nos pontos localizados em áreas com cotas que variam entre 98 a 200 metros (Figura 10).

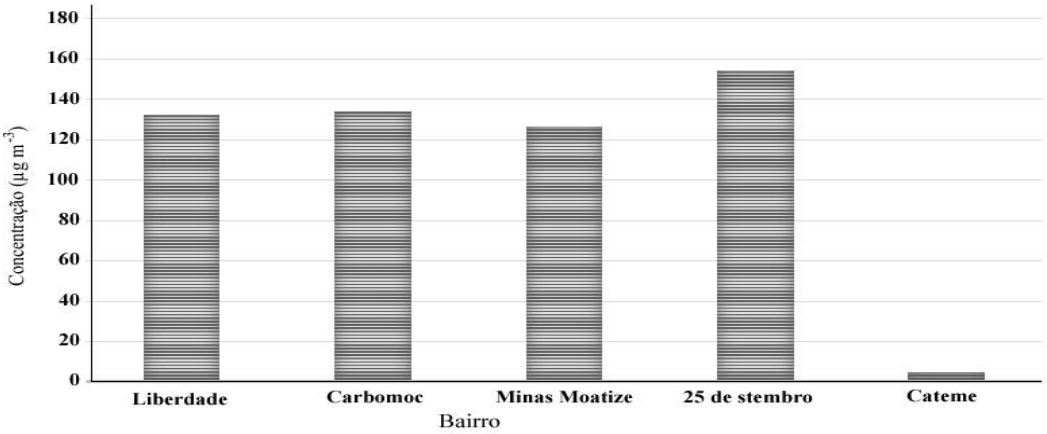
Figura 10 – Relevo da área de influência da mineração



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2017.

Realizando uma análise comparativa das concentrações mássicas de partículas totais em suspensão, concluiu-se que o bairro 25 de setembro, ponto 2 se apresenta como o ponto mais impactado pelas emissões de material particulado procedente da mineração de carvão de Moatize em 2015 (Figura 11).

Figura 11 – Concentração de PTS no Posto Administrativo de Moatize



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Para esta análise foi tomada em consideração os limites de concentração de material particulado permitidos pela legislação moçambicana, Decreto de Emissão de Efluentes n° 67/2010, Padrão primário de qualidade do ar fixado por lei em 60 µg/m3 para PTS anual (média aritmética).

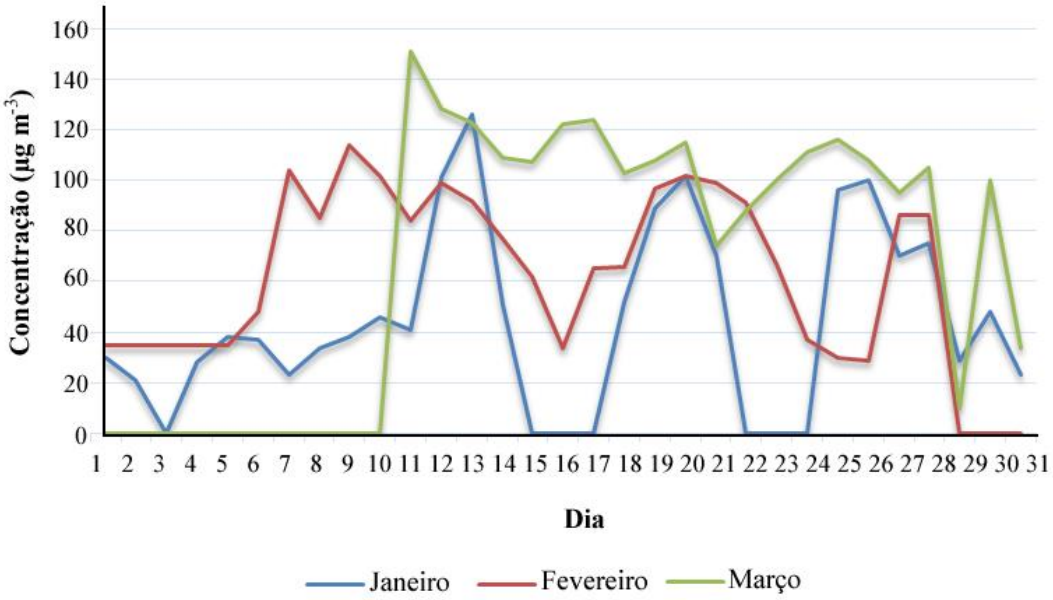
- **Cargas PTS no bairro 25 de setembro**

Pelo facto de o estudo mostrar que o bairro 25 de setembro se apresentou como o ponto mais impactado pelas emissões de material particulado procedente da mineração de carvão analisamos sazonalmente e de forma aprofundada o comportamento da PTS, isto é, apresentamos as variações das concentrações das PTS nos quatro trimestres no ano e os fatores correlatos das amplitudes.

No bairro 25 de setembro as concentrações de PTS em 2015 apresentaram variações significativas nas estações do ano, verão e inverno. No primeiro trimestre de 2015, registrou-se leve aumento das concentrações de PTS nos primeiros dias de janeiro, apresentando grandes variações até ao final do mês; o mês de março teve um aumento repentino das concentrações no final da primeira quinzena, apresentando um pico de aproximadamente 150µg/m3, próximo ao limite estabelecido na legislação moçambicana

Decreto de Emissão de Efluentes n° 67/2010 que fixa para o padrão primário e secundário, concentração de PTS diário em 150 µg/m3. Portanto, neste trimestre, os valores não violaram os padrões de referência, se mantendo relativamente no mesmo nível, com pequena queda no final do trimestre (Figura 12).

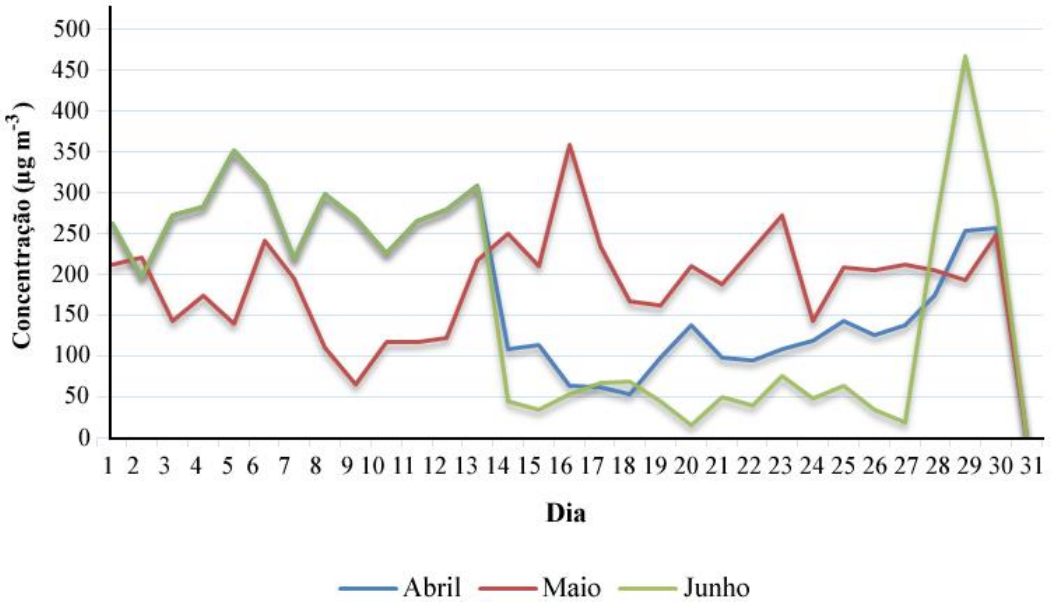
Figura 12 - Concentração diária de PTS no primeiro trimestre, Bairro 25 de setembro– 2015



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Este comportamento pode ser atribuído às condições meteorológicas, caracterizada por precipitação pluviométrica que se registra em Moatize nos meses de janeiro e fevereiro, iniciando-se sua diminuição em março. Para o segundo trimestre, o cenário de poluição atmosférica por material particulado se altera bastante, se elevando os níveis de concentração de PTS no Posto Administrativo de Moatize, apresentando picos maiores nos dias 17 de maio e 29 de junho, contudo, de forma geral se apresenta como um trimestre bastante poluído por cargas de material particulado (Figura 13).

Figura 13 - Concentração diária de PTS no segundo trimestre, Bairro 25 de setembro – 2015

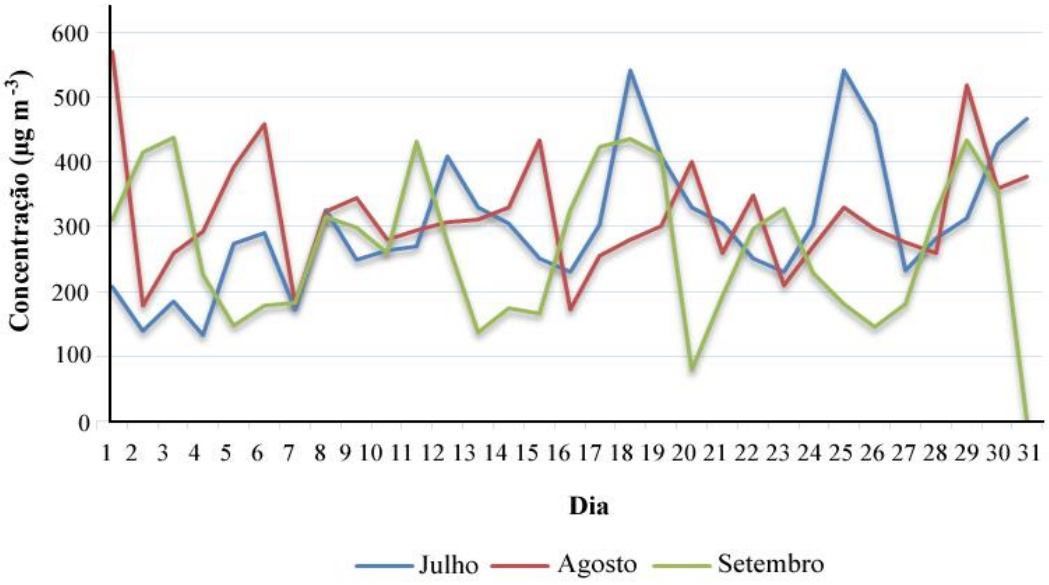


Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Na figura 13 se observa que a concentração de PTS ultrapassa o limite no padrão primário diário de acordo com a Legislação Ambiental moçambicana nos três meses (150 µg/m3). O pico de concentração de PTS no final do mês (29 de junho) pode ser atribuído à falta de precipitação (8 mm), período seco, aliado aos ventos, o que favorece o transporte de material particulado das áreas de mineração para as áreas circunvizinhas, afetando a qualidade do ar da região.

Na figura 14 são apresentados os meses em que a qualidade do ar em Moatize pode ser descrito como má. A título de exemplo, estes níveis de concentrações coincidem com os resultados obtidos em estudo no Morro da Fumaça, no sul da Santa Catarina entre os anos 1993 e 2009. Quando comparados os valores de concentração de PTS nos dois estudos são bastante próximos. Neste período no Morro da Fumaça foram registrados para cada mês os seguintes valores em µg/m^3: junho 243,7, agosto 372,08, setembro 595,66 e outubro 287,54 (SOUZA, 2011).

Figura 14 - Concentração diária de PTS no terceiro trimestre, Bairro 25 de setembro – 2015



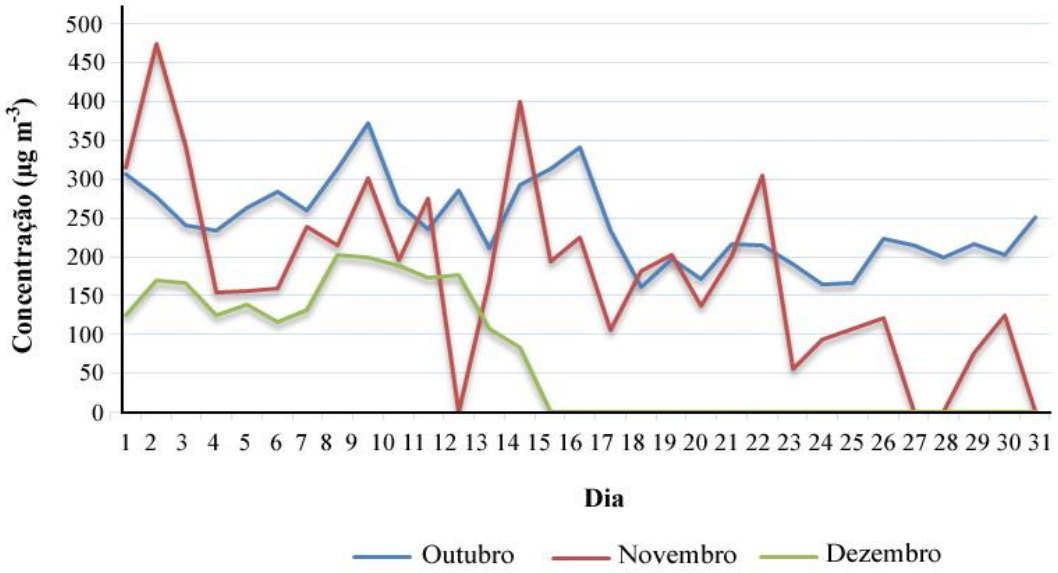
Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Na figura 14, observa-se as concentrações de PTS nos meses de julho, agosto e setembro ultrapassando o limite no Padrão Primário Diário de acordo com a Legislação Ambiental moçambicana (150 µg/m3). De acordo com o Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013 (CETESB, 2014), analisado sob ponto de vista de critérios para episódios agudos de poluição do ar, se estaria em estado de emergência, dado que o limite padrão (250 µg/m3) em 24 horas é de longe ultrapassado nos meses em referência. No que concerne aos Padrões Nacionais de Qualidade do ar (PQAr) e os critérios para episódios agudos de poluição do ar definidos na Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90, se está no estado de atenção (375 µg/m3) e próximo a alcançar o estado de alerta (625 µg/m3).

Este cenário pode ser atribuído às condições meteorológicas caracterizadas por déficit de precipitação no período em análise, dado que as condições meteorológicas, nesta estação, são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes (estabilidade atmosférica). A interação entre as condições atmosféricas e as fontes de poluição define o nível de qualidade do ar, e por conseguinte vai determinar o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores. Para os meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 15), verificou-se uma tendência de queda nos níveis de concentração de PTS, com ligeiras variações nos meses de outubro e novembro e, para dezembro registrou queda dos valores alcançando nível zero na segunda quinzena.

Tais resultados são atribuídos à queda pluviométrica, 166 mm registrados neste mês (INAM, 2016), que desempenha ação importante na redução da dispersão e transporte de material particulado para atmosfera. Importante ressaltar que a precipitação pluviométrica passa a ser o único mecanismo capaz de remover os poluentes do ar, uma vez que sob tais circunstâncias estes não sofrem a ação dos ventos. Outrossim, importa ressaltar que com a lavagem da atmosfera pela chuva, há a transposição dos poluentes para o solo e águas superficiais (CAVALCANTI, 2010).

Figura 15 - Concentração diária de PTS no quarto trimestre, Bairro 25 de setembro – 2015

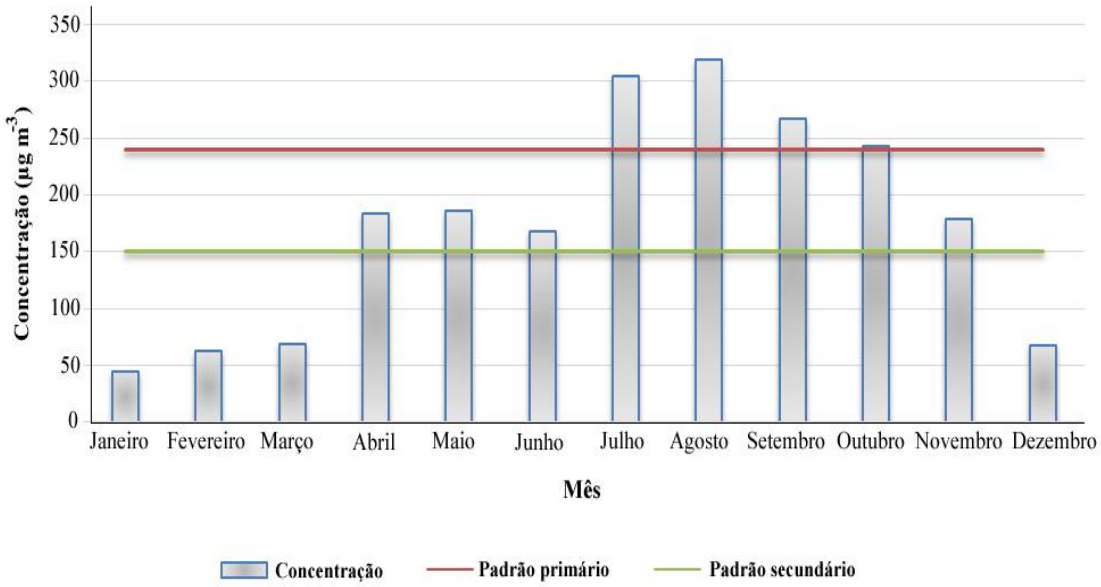


Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

A figura 15 ilustra as concentrações de PTS acima dos padrões estabelecidos pela Legislação Ambiental moçambicana a qual estabelece o padrão primário fixado em 240 µg/m3 e Padrão Secundário em 150 µg/m3, neste sentido, os valores continuaram altos neste trimestre com exceção da segunda quinzena de dezembro, mês que se regista maior precipitação na região. Analisados estes resultados, se constata que de forma geral no último trimestre de 2015 os níveis de concentrações de PTS no Posto Administrativo de Moatize mantiveram-se altos, não estando, portanto, em conformidade com a legislação vigente em Moçambique.

Já fazendo análise sobre os meses com maiores níveis de concentração registrados no ano de 2015, evidenciam-se os meses de junho, agosto e setembro, com destaque para agosto (Figura 16). Pode-se concluir que o comportamento sazonal das concentrações de PTS, os picos acontecem, na sua maioria, nos meses do inverno, principalmente em agosto. Tal fato pode ser atribuído aos meses frios, pois, a dispersão e remoção dos poluentes na atmosfera são prejudicadas pelas temperaturas muito baixas e menores volume de chuva.

Figura 16 – Concentração mensais de PTS em 2015



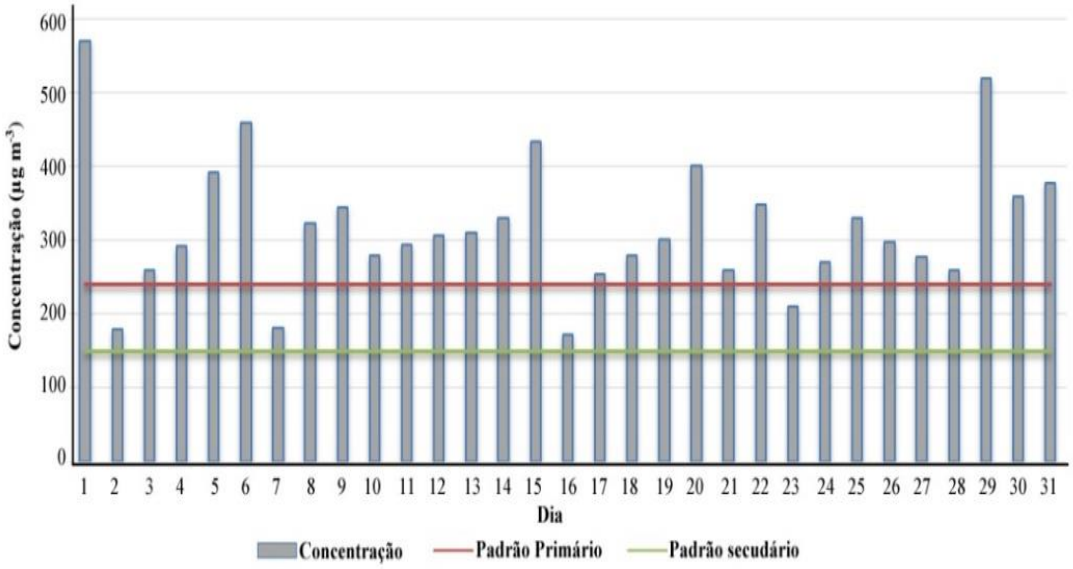
Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Na figura 16 pode se observar aumento dos níveis de poluição do ar, concentração das PTS, ultrapassando o limite dos padrões secundário e primário. Este agravamento da presença de PTS, principalmente, entre julho a setembro, podem ser atribuídas as condições meteorológicas dominantes na região de Moatize na estação seca, que vai de abril a setembro. Neste período, essa região já não está sob influência da Zona de Convergência Intertropical (CIT), se traduzindo em bom tempo, seco, com céu limpo e ventos fracos.

Estas condições meteorológicas anteriormente descritas, contribuem de forma expressiva para o cenário do acúmulo dos poluentes na atmosfera, pois estas condições atmosféricas, não são favoráveis ao transporte de partículas, transformação e dispersão dos

poluentes nas áreas residenciais, o que contribui para as possíveis ocorrências de situações críticas de poluição do ar. Dentre todos os meses analisados, o mês de agosto foi o que apresentou maior número de dias com concentração de PTS, inclusive alguns deles com valores acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental (Figura 17).

Figura 17 – Concentrações diárias de PTS no mês de Agosto, 2015



Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

Análise Estatística

Os resultados das análises de concentração dos materiais particulados e parâmetros meteorológicos e correlação são apresentadas a seguir. A correlação entre as variáveis pode ser evidenciada com a análise de valores de concentração de material particulado e dos comportamentos dos parâmetros meteorológicos em cada ponto amostrais (Tabela 4).

Tabela 4 – Matriz de correlação envolvendo materiais particulados e parâmetros meteorológicos

	25 Setembro	Carbomo	Liberdade	Minas Moatize	Cateme	Precipitação	Umidade Relativa	Temperatura	Vento
25 Setembro	1,000								
Carbomoc	-0,286	1,000							
Liberdade	0,772	-0,293	1,000						
Minas Moatize	0,978	-0,314	0,761	1,000					
Cateme	-0,475	-0,084	-0,412	-0,372	1,000				
Precipitação	-0,774	0,107	-0,558	-0,800	0,071	1,000			
Umid. Relat.	-0,835	0,221	-0,696	-0,862	0,268	0,925	1,000		
Temperatura	-0,574	0,117	-0,446	-0,571	0,429	0,570	0,697	1,000	
Vento	0,761	-0,117	0,528	0,674	-0,694	-0,580	-0,738	-0,671	1,000
a. Determinante = 2,00E-006									

Fonte: MAFAVISSE, Isaías, 2015.

A Tabela 4, mostra correlação significativa entre as variáveis 25 de setembro (r=0,761), Liberdade (r=0,528), Minas Moatize (r=0,674) e variável vento; Liberdade e 25 de Setembro (r=0,772), Minas Moatize e 25 de Setembro (r=0,978), precipitação e umidade relativa (r=0,925), precipitação e temperatura (r=0,570). Estas correlações moderadas positivas entre as concentrações de PTS nos pontos 25 de Setembro, Liberdade e Minas Moatize com o vento mostram que as concentrações de partículas totais em suspensão procedentes das minerações são transportadas pelos ventos e, portanto, quanto maior for a velocidade do vento na direção preferencial sudeste, maior será a concentração do material nestas áreas.

Ainda pode se observar as correlações moderadas negativas entre a umidade relativa do ar, precipitação e as concentrações de PTS nos pontos 25 de setembro (r=-0,835), (r=-0,774); Liberdade (r=-0,696), (r=-0,558) e Minas Moatize (r=-0,862), (r=-0,800), respetivamente, explicando uma relação inversa entre as concentrações de PTS e a umidade. Portanto, a umidade relativa do ar contribui para a redução da dispersão das PTS, ou seja, quanto maior for a umidade relativa do ar menor será a concentração das PTS.

As correlações entre Liberdade, Minas Moatize e 25 de Setembro mostra que a concentração do material particulado entre elas é decorrente da proximidade dos pontos e se influenciam mutuamente dada as direções dos ventos predominantemente sul sudeste, o que é evidenciado com os valores das concentrações nos pontos serem mais próximo comparativamente aos restantes pontos amostrados. Analisando a estatística descritiva, baseada nas categorias para a correlação por Santos (2007), verificou-se a correlação simples entre as variáveis estudadas, de acordo com os coeficientes de correlação de Pearson obtidos. A Tabela 3 expõe que os resultados da pesquisa evidenciaram que as correlações entre os pontos de alta concentração de material particulado e o vento são todas moderadas positivas, conforme a caracterização proposta por Santos (2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de campo revelaram alta concentração de PTS nas áreas residenciais mais afetadas em Moatize, com níveis muito acima dos limites estabelecidos no Regulamento de Normas de Qualidade Ambiental e Decreto de Emissão de Efluentes n°

67/2010 vigente em Moçambique em que o limite de concentração de material particulado no ar atmosférico durante 24 horas é 150 μg/m^3. Neste caso, as concentrações de PTS nos pontos analisados neste estudo atingiram 569 μg/m^3 no mês mais crítico do ano 2015. Estas concentrações altas de material particulado em Moatize são decorrentes da atividade de mineração do carvão, pois os pontos analisados no estudo estão localizadas dentro das faixas das direções preferencias dos ventos do Sudeste, pois contribuem significativamente na difusão das poeiras na mina, transporte e deposição das mesmas em áreas residências dos bairros estudados.

É de salientar que dentre os cinco pontos amostrados com PTS, a comunidade Cateme é a única em que registrou baixa concentração, dado afastamento desta comunidade em relação as fontes de emissão de material particulado aproximadamente 30 km a norte destas, e pelo fato de não ser abrangida pelas faixas das direções preferenciais do vento de sudeste. A qualidade do ar e as variações sazonais em Moatize são descritas revelando um elevado potencial de poluição devido às partículas totais em suspensão. Um dos principais desafios consiste em minimizar estas emissões para atmosfera causadas pelas atividades minerárias do carvão. Portanto, a prevenção dos efeitos deletérios da poluição atmosférica em Moatize passa por identificar os materiais particulados, os níveis expressos em termos de valores de sua concentração no ar, áreas críticas e propor estratégia para manter níveis de concentração minimamente seguros de proteção das condições de saúde da população e do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BUCUANE, Aurélio, MULDER, Peter. **Exploring natural resources in Mozambique, will it be a blessing or a curse?** IESE, 2007.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de gestão da qualidade do ar: abordagem preventiva e corretiva**. Rio de Janeiro, 2010. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação em Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro, 2010.

CMRI. **Determinationofemissionfactor for variousopencast mining activities.** Report GAP/9/EMG/MOEF/97, Central Mining Research Institute, Environmental Management Group, Dhanbad, 1998.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama**, 1993.

CONAMA. Resolução CONAMA N^{O} 03, **Dispõe sobre padrões de qualidade ar, previstos no PRONAR – DE 28/0690**: Publicação DOU, 1990.

MAE. **Perfil do Distrito de Moatize**: Província de Tete. Ministério da Administração Estatal. Série Perfis Distritais. Maputo, Moçambique, 2005.

MOÇAMBIQUE. **Boletim da República**. Decreto n.˚67/2010. Maputo, 2010.

UNITED NATIONS MOZAMBIQUE. **Um documento síntese de políticas das Nações Unidas**: O papel das Nações Unidas no que diz respeito à gestão de recursos naturais e indústrias extrativas, em Moçambique, 2013.

HENDRYX, M., ZULLIG, K. **Highercoronaryheartdiseaseandheartattackmorbidity in Appalachiancoal mining regions.** Prev. Med., 49 (2009), pp. 355-359

HENDRYX, Michael. **The public health impacts of surface coal mining**. The Extractive Industries andSociety, 2017.

HIGGINBOTHAM, N., FREEMAN S., CONNER, L., ALBRECHT, G. **Environmental in justice and air pollution in coal affected communities, Hunter Valley, Australia**. Health &Place. 16 (2) , 2010.

HOFFMANN, B., *et al.***Chronic Residential Exposure to Particulate Matter Air Pollution and Systemic Inflammatory Markers.** Environ. health Perspect., 117 (8) 2009, pp. 1302-1308 http://dx.doi.org/10.1289/ehp.0800362

HOWEL, D., PLESS-MULLOLI, T., DARNELL, R. **Consultations of Children Living Near Open-CastCoal Mines.** Environ. health Perspect., 109 (6), 2001.

HUTTUNEN, K., *et al.* **Low-level exposure to ambient particulate matter is associated with systemic inflammation in is chemic heart disease patients. Environ**. Res., 116, 2012, pp. 44-51 http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2012.04.004.

INAM. Instituto Nacional de Meteorologia. **Produtos & Serviços**. 2016. Disponível em: <http://www.inam.gov.mz/>. Acesso em: 5 abr. 2017.

LAKES Environmental Softwere. Disponível em: <http://www.weblakes.com/>. Acesso em 19 de Jun. de 2015.

SALDIVA Paulo H. N. et al. **Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde**. Instituto de saúde e sustentabilidade. São Paulo, 2013.

SANTOS, C. **Estatística descritiva**: manual de auto-aprendizage. Lisboa, Ed. Silabo, 2007.

SINHA, S., BANERJEE, S.P., 1997. **Characterisation of haul road in Indian open cast iron ore mine**. *Atmospheric Environment*, 31, 2809–2814.

SOUZA, Natan Felipe. **A qualidade do ar em Morro da Fumaça e seus efeitos sobre a saúde da população.** 2011. 80f. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópoles, (SC). 2011.

THE WORLD BANK & IHME, Institute for Health MetricsandEvaluation. **The Costof Air Pollution**. StrengtheningtheEconomic Case for Action. Universityof Washington, Seattle. 2016. Disponível em: < http://documents.worldbank.org/curated/pt/781521473177013155/pdf/108141-REVISED-Cost-of-PollutionWebCORRECTEDfile.pdf>. Acesso em 25 març. 2018.

WORLD COAL ASSOCIATION. **Coalfacts 2015**. Disponível em: <http://www.worldcoal.org/resources>. Acesso em: 06 set. 2017.

Recebido em janeiro 2021.

Revisão realizada em junho de 2021.

Aceito para publicação em junho de 2021.