

Análise de eventos críticos de poluição atmosférica em Itabira – Minas Gerais, Brasil

Critical air pollution events analysis in Itabira – Minas Gerais, Brazil

Análisis de eventos críticos de contaminación atmosférica em Itabira – Minas Gerais, Brasil

Recebido: 24/11/2020 | Revisado: 26/11/2020 | Aceito: 22/01/2021 | Publicado: 28/01/2021

Higor dos Santos Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3231-6494>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: higordossantosalves1@gmail.com

Ana Carolina Vasques Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-2607>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: ana.freitas@unifei.edu.br

Resumo

Os índices de poluição atmosférica estão aumentando no mundo com o passar dos anos, o que torna este tema cada vez mais preocupante. As condições meteorológicas, associadas a fatores antropogênicos, têm um papel fundamental na variação da qualidade do ar. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a influência dos fatores meteorológicos durante episódios críticos de poluição atmosférica na cidade de Itabira – Minas Gerais. Dados horários de qualidade do ar e de meteorologia, fornecidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) da Prefeitura Municipal de Itabira, foram utilizados nesta análise. Foi feita uma seleção dos eventos críticos e, após isto, foram calculados os compostos e anomalias diárias para cada evento. Os resultados obtidos mostraram que nos dias críticos de poluição ocorrem, predominantemente, anomalias negativas de precipitação, pressão atmosférica, umidade relativa e velocidade do vento. Já para a temperatura, radiação solar e direção do vento as anomalias são positivas durante os dias críticos. Em termos de fontes emissoras, verificou-se um aumento crescente na frota veicular desde 2014, com tendência positiva de 1.151 veículos/ano. Além disso, 111 focos de queimadas foram observados no dia mais crítico de todos os eventos. É importante ressaltar o papel do controle e monitoramento da qualidade do ar, juntamente com a análise das condições meteorológicas, pois, atualmente, os valores máximos estabelecidos pela legislação não contemplam as alterações nas condições meteorológicas, que podem agravar a qualidade do ar e prejudicar a saúde da população.

Palavras-chave: Fatores meteorológicos; Episódios críticos; Qualidade do ar; Material particulado; Composto; Anomalia.

Abstract

The rates of atmospheric pollution are increasing in world over the years, which makes this topic more and more concerning. Weather conditions, associated with anthropogenic factors, play a fundamental role in modifying the air quality. In this context, this article aims to analyze the influence of meteorological factors during critical episodes of air pollution in the city of Itabira – Minas Gerais. Hourly air quality and meteorological data, provided by the Municipal Environment Secretariat (SMMA) of the Itabira City Hall, were used in this analysis. A selection of the critical events was made and, after that, the composites and daily anomalies for each event were calculated. The results obtained showed that in the critical days of pollution negative anomalies of precipitation, atmospheric pressure, relative humidity and wind speed were observed. For temperature, solar radiation and wind direction the anomalies are positive during critical days. In terms of emitting sources, there has been an increase in the vehicle fleet since 2014, presenting a positive trend of 1.151 vehicles per year. In addition, a number of 111 fire outbreaks were observed on the most critical day of all events. It is important to highlight the role of air quality control and monitoring, together with the analysis of meteorological conditions, as, currently, the maximum values established by legislation do not include changes in weather conditions, that can worsen air quality and harm the health of the population.

Keywords: Meteorological factors; Critical episodes; Air quality; Particulate matter; Composite; Anomaly.

Resumen

Las tasas de contaminación atmosférica están aumentando en el mundo con los años, lo que hace que este tema sea cada vez más preocupante. Las condiciones climáticas asociadas con factores antropogénicos juegan un papel fundamental en la variación de la calidad del aire. En este contexto, este artículo tiene como objetivo analizar la influencia de factores meteorológicos durante episodios críticos de contaminación atmosférica en la ciudad de Itabira – Minas Gerais. En este análisis se utilizaron datos horarios de calidad del aire y meteorológicos, proporcionados por la Secretaría Municipal de Medio Ambiente (SMMA) del Ayuntamiento de Itabira. Se realizó una selección de los eventos críticos y, posteriormente, se calcularon los compuestos y anomalías diarias para cada evento. Los resultados obtenidos mostraron que en los días críticos de contaminación ocurren anomalías predominantemente negativas de

precipitação, pressão atmosférica, humidade relativa e velocidade do vento. Em quanto a temperatura, radiação solar e direcção do vento, as anomalias são positivas durante os dias críticos. Em termos de fontes emisoras, houve um aumento crescente na frota de veículos desde 2014, com uma tendência positiva de 1.151 veículos/ano. Além disso, observaram-se 111 incêndios no dia mais crítico de todos os eventos. É importante destacar o papel do controle e acompanhamento da qualidade do ar, juntamente com a análise das condições meteorológicas, já que, atualmente, os valores máximos estabelecidos pela legislação não incluem mudanças nas condições meteorológicas que possam piorar a qualidade do ar e prejudicar a saúde da população.

Palavras chave: Fatores meteorológicos; Episódios críticos; Qualidade do ar; Material particulado; Compost; Anomalia.

1. Introdução

A Resolução nº 491 de 2018 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), define poluente atmosférico como “qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade”.

Com o passar dos anos a poluição atmosférica tem se tornado um motivo de grande preocupação ao redor do mundo, uma vez que nos grandes centros urbanos os índices de contaminação atmosférica estão cada vez mais elevados, interferindo diretamente na saúde da população e na alteração do clima global. Segundo Nakagawa *et al.* (2010), esse aumento nos índices de contaminação é decorrente principalmente do aumento da frota veicular e da atividade industrial.

Segundo Cavalcanti (2003, apud HOFF, 2008, p.4) as fontes de poluição do ar podem ser classificadas como: a) fontes estacionárias ou fixas, as quais podem ser subdivididas em dois grupos: um abrangendo atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como queimadas e queima de combustíveis por atividades não industriais, e outro formado por atividades individualmente significativas como a poluição proveniente dos processos industriais; b) fontes móveis, que são todos os meios de transporte que utilizam motores à combustão; e c) fontes naturais, que são poluentes provenientes de processos naturais, tais como atividades vulcânicas, aerossóis marinhos, liberação de hidrocarbonetos pelas plantas, entre outros.

Moreira, Tirabassi e Moraes (2008), afirmam que a meteorologia tem um papel fundamental em relação à qualidade do ar e que, na verdade, uma vez que os poluentes são inseridos na atmosfera, sua dispersão, bem como sua deposição no solo, é controlada pelos eventos meteorológicos. Segundo os autores, a turbulência atmosférica, que é o movimento caótico do ar, o qual é limitado pela altura da Camada Limite Planetária (CLP), que é camada mais próxima da superfície terrestre, é produzida pela “interação do vento com o solo e o aquecimento do mesmo, devido à radiação solar, ou seu resfriamento durante a noite por irradiação terrestre”.

Neste contexto, vale ressaltar como a exposição do homem à poluição atmosférica pode trazer graves consequências para a saúde. Braga *et al.* (2001, p 58-71), mostraram que, em grandes cidades, as concentrações de poluentes atmosféricos resultam em afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar. Portanto, segundo os autores, há uma forte associação entre poluição atmosférica e a mortalidade por patologias do sistema respiratório, sendo que as populações mais vulneráveis são as que já apresentam doenças respiratórias, além das crianças e idosos. Finalmente, os autores alertam que os atuais padrões de qualidade do ar são inadequados para a proteção da população mais suscetível à poluição atmosférica.

Gongaza e Freitas (2020) afirmam que as condições meteorológicas, a saúde humana e ambiental são fatores interligados. Os autores verificaram que a poluição atmosférica e as condições meteorológicas são elementos que podem potencializar a transmissão de doenças infectocontagiosas virais.

Galvani *et al.* (2019) relatam, em um estudo feito no estado de São Paulo, que as condições meteorológicas associadas à poluição atmosférica são as principais causas ambientais que influenciam a ocorrência de doenças respiratórias, sendo que a umidade relativa e a precipitação são as variáveis meteorológicas mais diretamente responsáveis por essa associação.

O material particulado (MP) é um dos poluentes com maior efeito sobre a saúde, consistindo de uma mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar. Sua composição e tamanho podem variar de acordo com a fonte emissora e as condições meteorológicas. A classificação destas partículas é feita de acordo com suas propriedades aerodinâmicas, especialmente seus diâmetros (WHO, p.5, 2006). As partículas totais em suspensão (TSP) compreendem todas as partículas atmosféricas. Já as partículas denominadas de inaláveis podem ser classificadas em grossas e finas. As partículas com diâmetro menor que 10 μm são denominadas como MP_{10} ou partículas inaláveis grossas, e aquelas com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 μm são denominadas $\text{PM}_{2,5}$ ou partículas inaláveis finas (ALBUQUERQUE, 2005, apud SOARES *et al.* 2019). Há ainda as partículas inaláveis ultrafinas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 1 μm . Segundo Rodrigues *et al.* (2015), o tamanho da partícula apresenta uma relação inversamente proporcional ao potencial de deposição no trato respiratório e, conseqüentemente, aos efeitos na saúde associados.

Segundo Freitas e Solci (2009), o material particulado presente na atmosfera apresenta diferentes características, e uma delas é a acidez causada pela concentração de sulfatos e nitratos presente nestas partículas. Segundo as conclusões do estudo de Gonzaga (2020), esta característica é extremamente prejudicial à saúde humana, pois uma vez que esse material particulado com elevada acidez atinge o trato respiratório, as trocas gasosas entre o sangue e o ar absorvido na respiração, são prejudicadas (Braga & Saldiva, 2001).

No Brasil os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491 de 2018. Estes podem ser divididos em duas categorias:

I - padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

II - padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005;

Os valores dos padrões intermediários são divididos em três níveis diferentes, PI-1, PI-2, e PI-3; esses valores foram implementados pelo governo federal com o intuito de ter tempo hábil para tomar as medidas necessárias para reduzir gradativamente a concentração de poluentes e atingir os padrões finais estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde. Porém os prazos para cumprimento dos valores intermediários ainda não foram definidos.

Os parâmetros regulamentados pela legislação ambiental são os seguintes: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e chumbo (PB). A Tabela 1 abaixo apresenta os padrões de qualidade do ar estabelecidos para estes poluentes.

Tabela 1: Padrões da qualidade do ar segundo a Resolução nº491 de 2018 do CONAMA.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI - 1	PI - 2	PI - 3	PF	ppm
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	
	Anual	40	35	30	20	
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	
	Anual	20	17	15	10	
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	
	Anual	40	30	20	-	
Dióxido de Nitrogenio - NO ₂	1 Hora	260	240	220	200	
	Anual	60	50	45	40	
Ozônio O ₃	8 horas	140	130	120	100	
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	
	Anual	40	35	30	20	
Monóxido de Carbono	8 horas	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	-	-	-	240	
	Anual	-	-	-	80	
Chumbo Pb ₅	Anual	-	-	-	0,5	

Fonte: Autor deste trabalho com base em dados do Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Pode-se notar, a partir da Tabela 1, que o padrão de qualidade do ar final (PF) para o material particulado grosso (MP₁₀) é 50 µg/m³ para um período de 24 horas. O município de Itabira está inserido no maior complexo minerador do Brasil e o principal poluente emitido a partir das atividades de mineração é o material particulado, devido a desagregação mecânica do solo pelo uso de explosivos e pela escavação, além da movimentação de máquinas e equipamentos, o tráfego de veículos pesados na frente de lavras, pela ação do vento nas pilhas de estéril e nos taludes descobertos das frentes de lavra; nas plantas de beneficiamento de minério, entre outros (Santi *et al.*, 2000). Portanto, a quantidade de partículas suspensas no ar é elevada, devido também a proximidade das minas a céu aberto em relação a zona urbana da cidade. Contudo, deve-se ressaltar, que existem outras fontes de poluição atmosférica no município, que não devem ser desconsideradas.

Neste contexto, e considerando a importante influência das condições meteorológicas na dispersão da poluição, este estudo pretende analisar alguns casos de eventos críticos de poluição atmosférica na cidade de Itabira, de modo a verificar quais foram os fatores que podem ter contribuído para a ocorrência destes episódios.

2. Metodologia

O presente estudo é caracterizado como pesquisa descritiva, pois o objetivo é identificar relações entre as variáveis de estudo, e quantitativa, pois foram coletados dados numéricos que, posteriormente, foram analisados através de métodos estatísticos (Koche, 2011; Ludke & Andre, 2013; Pereira *et al.*, 2018).

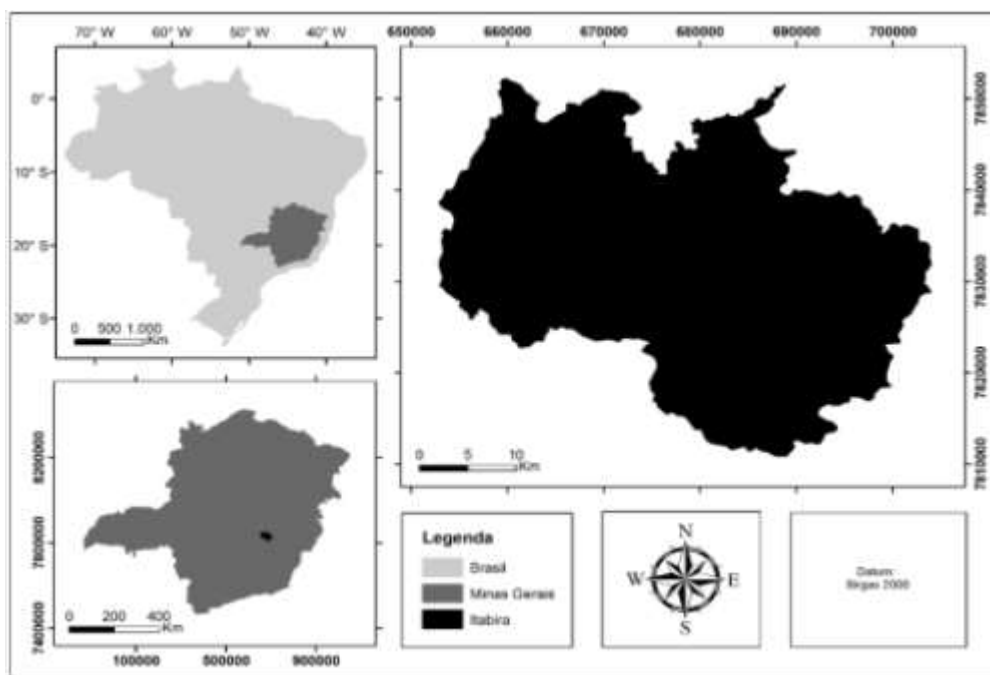
2.1. Área de Estudo

O município de Itabira está inserido no estado de Minas Gerais, região sudeste do país, e se encontra localizado a aproximadamente 110 km a leste da capital do estado (Belo Horizonte), na bacia federal do rio Doce. Segundo o IBGE (2010), Itabira tem uma população estimada de 120.904 pessoas, com uma área territorial de 1.263,704 km². Além disso, Itabira possui

PIB per capita de R\$ 43.763,91 e IDH de 0,756, que a coloca em 33º neste ranking entre as cidades de Minas Gerais, segundo levantamento do IBGE (2010).

Itabira faz divisa com nove cidades, sendo elas: João Monlevade, São Gonçalo do Rio Abaixo, Bom Jesus do Amparo, Nova União, Jaboticatubas, Itambé do Mato Dentro, Santa Maria de Itabira, Nova Era e Bela Vista de Minas. A Figura 1 apresenta o mapa de localização do município.

Figura 1: Mapa de localização do município de Itabira.



Fonte: Alvarenga *et al.* (2018).

Assim como todas as cidades da microrregião em que está localizada, Itabira faz parte do chamado Quadrilátero Ferrífero por apresentar grandes reservas minerais, tendo como principal reserva o minério de ferro. Desta forma, de acordo com a Engecorps Engenharia S.A (2015, p. 16, apud SAAE Itabira, 2010), a mineração de ferro representa a maior atividade econômica da cidade.

Quando se trata de estradas e ferrovias, Itabira está muito bem localizada, tendo como principal rodovia a BR 381 que se inicia no estado do Espírito Santo, passa por Minas Gerais e termina no estado de São Paulo. Itabira também é contemplada com a ferrovia EF - 262, que interliga as capitais Belo Horizonte - MG a Vitória- ES.

2.2. Dados

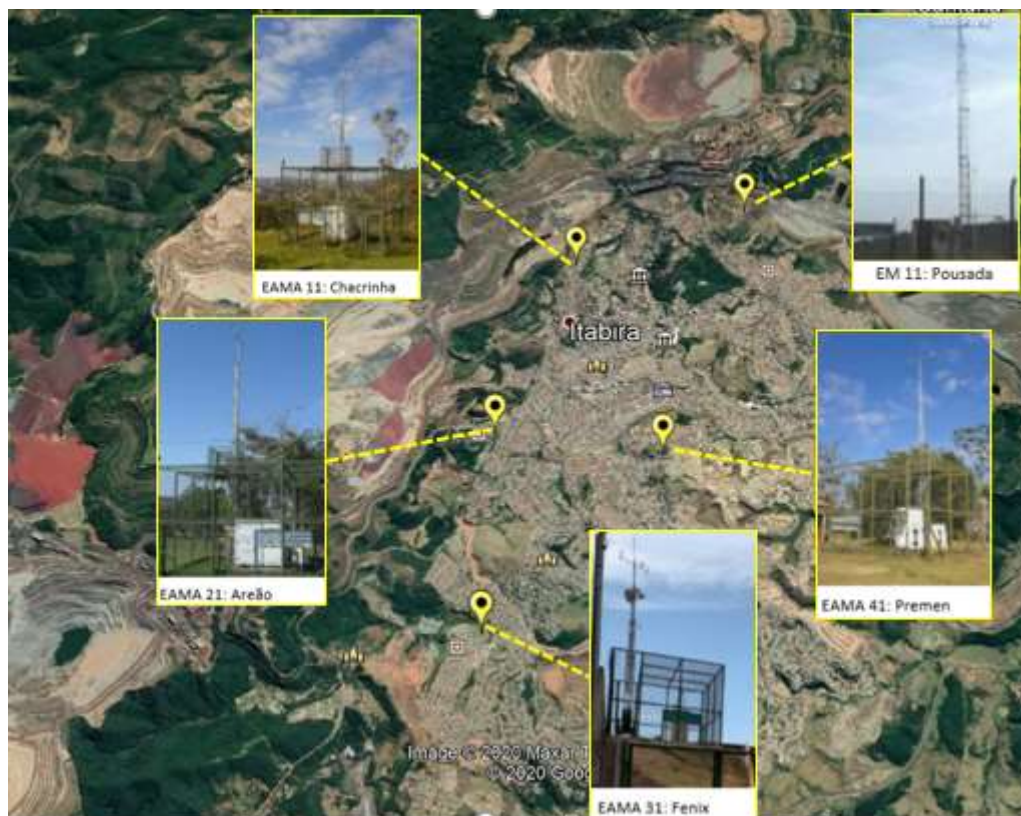
Para a realização desta pesquisa foram utilizados dados meteorológicos e de qualidade do ar provenientes da rede de monitoramento da cidade, além do número de focos de queimadas e número de veículos no município, os quais são descritos a seguir.

2.3. Rede de Monitoramento

Itabira possui uma Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar, que foi implantada, e é mantida pela companhia Vale S.A. Esta rede é composta de 5 estações, uma Estação Meteorológica (EM) e as restantes são Estações Automáticas de Monitoramento do Ar (EAMAs), sendo suas localizações apresentadas na Figura 2:

1. EAMA 11 (Chacrinha) – localizada no Bairro Vila Paciência;
2. EAMA 21 (Areão) – localizada na Praça do Bairro Areão;
3. EAMA 31 (Batalhão da Polícia Militar) – localizada no Bairro Fênix. Esta estação foi realocada para o Bairro João XXIII no final do ano de 2016;
4. EAMA 41 (Escola PREMEN) – localizada no Bairro São Marcos;
5. EM11 (Pousada) – localizada no Bairro Campestre.

Figura 2: Localização das estações de monitoramento do município de Itabira.



Fonte: Autor deste trabalho com base em imagem do Google Earth.

Destas estações, a EM11 (Figura 2) monitora somente parâmetros meteorológicos, sendo eles: direção escalar do vento, precipitação pluviométrica, pressão atmosférica, radiação solar global, temperatura, umidade relativa e velocidade escalar do vento.

As demais estações monitoram apenas os parâmetros de qualidade do ar, que são as partículas inaláveis ($<10\mu\text{m} - \text{MP}_{10}$) e as partículas totais em suspensão (PTS). O monitoramento é contínuo com geração de médias horárias dos parâmetros de PTS e MP_{10} durante 24 horas por dia.

2.3.1. Dados de Qualidade do Ar e Meteorológicos

Os dados gerados pela Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar de Itabira são automaticamente repassados para a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM) e Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) da Prefeitura Municipal de Itabira. Portanto, os dados de qualidade do ar e meteorológicos utilizados neste estudo para o período de 01/01/2014 a 31/08/2019 foram obtidos através da SMMA. Além disso, informações meteorológicas disponibilizadas nos Boletins Climanálise e Infoclima, disponíveis no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos

Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), bem como informações obtidas no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), também foram utilizadas para auxiliar na análise das condições meteorológicas durante os meses em que ocorreram os episódios críticos de poluição analisados neste estudo.

2.3.2. Focos de Queimadas

De modo a verificar a contribuição de outras fontes de poluição atmosférica para a ocorrência de episódios críticos, foram utilizados dados de focos de queimadas diários obtidos por meio do Programa Queimadas do INPE. Estes dados para a cidade de Itabira no período de estudo estão disponíveis no seguinte endereço: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Estes dados serão utilizados para analisar a ocorrência de queimadas durante os eventos críticos selecionados. Além disso, foi também considerado o número de focos 1 dia antes da ocorrência de cada evento crítico, uma vez que a poluição atmosférica gerada por estes focos pode também ter contribuído para a ocorrência dos eventos críticos.

2.3.3. Veículos

O levantamento do número de veículos automotores na cidade de Itabira foi realizado através dos dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Uma análise de tendência foi realizada para verificar se o número de veículos está aumentando ou diminuindo com o passar do tempo. A significância estatística ao nível de 95% (p -valor < 0.05) será utilizada para a análise da tendência. Esta informação também auxilia na análise da contribuição de outras fontes poluidoras no município.

2.4 Metodologia

2.4.1 Seleção dos Eventos Críticos

Para o presente estudo foram selecionados 10 eventos críticos no período de 01/01/2014 a 31/08/2019, sendo que os mesmos foram selecionados a partir da média diária da concentração de partículas inaláveis ($< 10 \mu\text{m}$) para todas as estações de monitoramento. Para serem classificados como críticos, considerou-se o limite estipulado pela Resolução nº491 de 2018 do CONAMA, onde a média diária não deve ultrapassar a concentração de 50 mg/m^3 em todas as estações de monitoramento da qualidade do ar. Além disso, só foram selecionados eventos que possuíssem a maioria dos dados meteorológicos disponíveis para os dias de ocorrência do mesmo.

2.4.2 Análise dos Eventos

Para analisar os eventos críticos selecionados na etapa anterior, foram calculadas as médias diárias, mensais e anuais, os compostos dos eventos e as anomalias para cada variável meteorológica e para o MP_{10} em todas as estações de monitoramento para cada dia crítico selecionado.

Os compostos representam a média de cada variável meteorológica e de qualidade do ar durante todos os dias classificados como eventos críticos. Por sua vez, as anomalias representam o desvio da média dos dados. Desta forma, quando o resultado da anomalia for positivo, isto indica que o valor da variável medida é maior do que o valor médio mensal, e se o resultado for negativo, o valor da variável é menor do que o valor médio mensal.

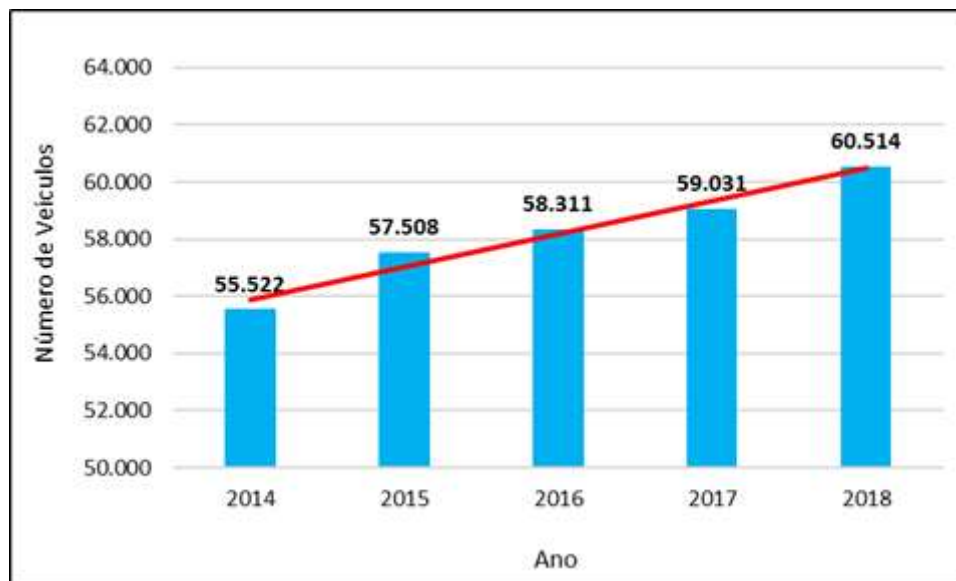
Assim, a partir das médias mensais foi possível calcular a anomalia diária, subtraindo os valores dos dados meteorológicos e de qualidade do ar em cada dia de evento crítico pelo valor médio de todos os dias do mês em que ocorreu o evento.

3. Resultados e Discussão

3.1 Frota veicular

A Figura 3 apresenta o número de veículos por ano na cidade de Itabira juntamente com a linha de tendência. Analisando a frota veicular, pode-se concluir que, com o passar dos anos, o número de veículos apresenta um crescimento contínuo, com tendência positiva de aumento de 1.151 veículos/ano, que é significativa ao nível de 95% de acordo com o teste t de Student.

Figura 3: Gráfico da frota veicular versus ano na cidade de Itabira, juntamente com a linha de tendência.



Fonte: Autor deste trabalho.

Pode-se notar, a partir da Figura 3, que do ano de 2014 até 2015 o aumento foi de 3,57%; já no ano de 2016 o crescimento da frota foi de 1,39%, e no ano de 2017 foi de 1,23%. Finalmente, no ano de 2018 o aumento foi de 2,51% em relação ao ano de 2017. Este crescimento não é muito elevado se comparado com os grandes centros urbanos das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro que, em determinados anos, ultrapassa os 5% (IBGE, 2018). Contudo, para uma cidade de 120.904 habitantes, este crescimento não deixa de ser expressivo e representar uma fonte de poluição atmosférica importante, que não deve ser desconsiderada.

3.2 Análise dos eventos

3.2.1 Parâmetros de qualidade do ar

Os parâmetros de qualidade do ar, que determinaram os dias considerados como críticos, são apresentados na Tabela 2, onde consta as medições das concentrações de partículas inaláveis (MP_{10}) para cada estação de monitoramento nos dias selecionados como eventos críticos. O composto, representado pela última linha da tabela mostra a média dos valores medidos nos dias críticos.

Tabela 2: Concentração média diária de MP₁₀ (µm/m³) para cada dia de eventos críticos, juntamente com o composto dos eventos.

Eventos Críticos					
Partículas Inaláveis <10µm (MP10)					
Data	EAMA11 CHACRINHA	EAMA21 AREÃO	EAMA31 FÊNIX	EAMA41 PREMEN	MÉDIA
02/09/2014	58,0	54,0	56,0	69,0	59,3
21/09/2014	73,0	64,0	-	55,0	64,0
26/09/2015	65,4	58,8	51,2	67,6	60,8
17/10/2015	86,0	74,3	52,8	73,6	71,7
18/10/2015	68,8	61,5	55,4	67,3	63,3
09/08/2017	68,9	75,8	65,8	62,3	68,2
10/08/2017	72,3	71,3	67,8	69,4	70,2
16/07/2019	51,0	56,0	62,0	58,0	56,8
19/08/2019	53,0	69,0	61,0	56,0	59,8
20/08/2019	58,0	57,0	58,0	57,0	57,5
Composto	65,4	64,2	58,9	63,5	63,0

Fonte: Autor deste trabalho.

Pode-se perceber, a partir da Tabela 2, que as concentrações para todas as estações de monitoramento ficaram acima do limite diário estabelecido pela Resolução nº491 de 2018 do CONAMA, que é de 50 µm/m³. No dia 21/09/2014 não há medições disponíveis para os dados de qualidade do ar na EAMA 31 (Tabela 2), mas como em todas as outras estações os valores das concentrações de MP₁₀ foram superiores a 50 µm/m³, este dia também foi considerado como sendo um dia de evento crítico. Para uma melhor análise dos eventos críticos, foram calculadas as anomalias diárias para cada evento, conforme é apresentado na Tabela 3 a seguir. É válido lembrar que, a partir da anomalia, pode-se verificar o desvio que o valor da concentração de MP₁₀ apresenta em relação à média para todos os dias do mês de ocorrência do evento crítico.

Tabela 3: Anomalia diária das concentrações de MP₁₀ µm/m³ para cada dia de evento crítico, juntamente com o composto dos eventos.

Anomalia Diária										
Partículas Inaláveis <10µm (MP10)										
DATA	EAMA11 CHACRINHA	MÉDIA MENSAL	EAMA21 AREÃO	MÉDIA MENSAL	EAMA31 FÊNIX	MÉDIA MENSAL	EAMA41 PREMEN	MÉDIA MENSAL	MÉDIA ESTAÇÕES	MÉDIA MENSAL
02/09/2014		35,0	21,0	33,0	20,2	35,8	37,6	31,4	25,5	33,8
21/09/2014	23,0	35,0	31,0	33,0	-	35,8	23,6	31,4	30,2	33,8
26/09/2015	38,0	38,0	22,5	36,3	22,8	28,4	29,1	38,5	25,4	35,3
17/10/2015	46,3	39,7	37,8	36,5	23,5	29,3	34,7	38,9	35,6	36,1
18/10/2015	29,1	39,7	25,0	36,5	26,1	29,3	28,4	38,9	27,1	36,1
09/08/2017	32,2	36,7	40,0	35,8	30,8	35,0	31,2	31,1	33,5	34,7
10/08/2017	35,6	36,7	35,5	35,8	32,8	35,0	38,3	31,1	35,5	34,7
16/07/2019	16,7	34,4	21,5	34,5	27,0	35,0	23,3	34,7	20,9	35,9
19/08/2019	26,2	26,8	37,5	31,5	26,8	34,2	27,7	28,3	29,6	30,2
20/08/2019	31,2	26,8	25,5	31,5	23,8	34,2	28,7	28,3	27,3	30,2
Composto	30,6	34,9	29,7	34,4	26,0	33,2	30,3	33,3	29,1	34,1

Fonte: Autor deste trabalho.

Pode-se notar, a partir da Tabela 3, que a anomalia é positiva em todos os dias de eventos críticos e em todas as estações. Isto significa que a concentração de material particulado esteve acima da média em todas as estações em todos os dias de eventos críticos.

Além disso, considerando a anomalia média para todas as estações (última coluna da Tabela 3), o valor anômalo mínimo nos dias analisados é encontrado no dia 16/07/2019, sendo de 20,9 µm/m³, o que representa um aumento de 58,2% em

relação ao valor médio mensal. Já o valor anômalo máximo é observado no dia 17/10/2015, chegando a 35,6 μm^3 , o que representa um aumento de 98,5% em relação ao valor médio mensal.

Analisando cada estação de monitoramento, percebe-se que em 50% dos dias analisados os valores de concentração foram sempre maiores na EAMA11, mostrando que a qualidade do ar na região onde está localizada esta estação tende a ser pior, se comparada com as outras estações. Já a EAMA31 apresentou os menores valores de concentração em 40% dos dias em análise, sendo esta estação a que apresenta um número maior de dias com valores menores do que as demais estações.

O composto das anomalias (última linha da Tabela 3) reforça esta conclusão de que as concentrações de material particulado são maiores na EAMA11. Isto pode ser explicado devido à proximidade desta estação em relação ao complexo minerador (Figura 2), sendo, assim, negativamente afetada, especialmente nos dias de eventos críticos. Pelo contrário, a região onde está localizada a EAMA31 é a mais afastada do complexo minerador e, portanto, a que apresenta menor concentração nesses dias, uma vez que a concentração do poluente é, de forma geral, inversamente proporcional a distância entre a fonte emissora e o receptor.

3.2.1.1 Focos de Queimadas

A Tabela 4 a seguir mostra o número de focos de queimadas registradas na cidade de Itabira pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no dia de cada evento crítico e um dia antes do evento. Os números de focos de queimadas são relatados em um período de 24 horas do dia em questão.

Tabela 4: Número de focos de queimadas na cidade de Itabira.

Data	Focos de Queimadas	
	Número de focos 1 dia antes.	Número de focos no dia do evento.
02/09/2014	3	0
21/09/2014	0	6
26/09/2015	0	3
17/10/2015	79	111
18/10/2015	111	121
09/08/2017	0	1
10/08/2017	1	8
16/07/2019	0	0
19/08/2019	1	0
20/08/2019	0	0

Fonte: Autor deste trabalho.

De acordo com a Tabela 4, dos dez eventos críticos selecionados, oito deles coincidem com as datas em que houve registro de focos de queimadas no dia e/ou um dia antes do evento na cidade de Itabira. Nos dias 16/10/2015, 17/10/2015 e 18/10/2015 ocorreram quantidades elevadas de focos de queimadas, chegando a 121 focos no dia 18/10/2015 (Tabela 4). A partir dos dados de queimadas do INPE para o Estado de Minas Gerais (Figura não mostrada), pode-se notar que desde 2012, com exceção de 2016, os meses com maior número de focos de queimadas são outubro e setembro, seguidos por agosto, com exceção de 2015 (cujo terceiro mês com maior número de focos foi novembro).

A média para todos os dias de eventos críticos é de 25 focos. Isto significa que, retirando os dias em que os valores foram muito elevados (17/10/2015 e 18/10/2015), a média cai para 2,25 focos. Portanto, esses dois dias elevaram a média em mais de 1.000%. Vale a pena também ressaltar que o dia 17/10/2015, conforme mencionado anteriormente, apresentou o valor

anômalo máximo entre os dias de eventos críticos. Portanto, as queimadas que ocorreram neste dia representaram uma fonte adicional de poluição atmosférica, resultando em um evento crítico de maior grau entre os eventos analisados. No dia 18/10/2015 a concentração de material particulado foi menor que no dia 17 (Tabela 2), embora o número de focos tenha sido maior neste dia. Elementos adicionais, tais como fatores meteorológicos, que serão discutidos a seguir, podem ter contribuído para reduzir a concentração neste dia mesmo com o aumento no número de focos.

3.2.2 Parâmetros meteorológicos

A Tabela 5 a seguir detalha as medições das variáveis meteorológicas (direção escalar do vento, precipitação pluviométrica, pressão atmosférica, radiação solar global, temperatura, umidade relativa e velocidade escalar do vento) que são monitoradas pela estação meteorológica de Itabira (EM11) nos dias selecionados como eventos críticos. O composto, representado pela última linha da tabela mostra a média dos valores de cada variável medidas nos dias críticos.

Tabela 5: Valores médios diários das variáveis meteorológicas nos dias dos eventos críticos, juntamente com o composto dos eventos.

Eventos Críticos							
Meteorologia							
Data	Direção Escalar do Vento (°)	Precipitação Pluviométrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Radiação Solar Global (W/m ²)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade Escalar do Vento (m/s)
02/09/2014	189,8	0,0	-	245,1	28,4	42,8	1,7
21/09/2014	209,4	0,0	902,7	289,2	25,9	48,7	3,5
26/09/2015	129,3	0,0	954,7	234,0	27,8	47,4	2,7
17/10/2015	118,9	0,0	955,3	272,0	29,5	28,1	2,5
18/10/2015	77,1	0,0	958,7	108,4	24,0	59,5	2,5
09/08/2017	288,1	0,0	954,5	287,5	21,9	47,8	3,9
10/08/2017	239,9	0,0	954,8	348,9	24,3	38,4	3,3
16/07/2019	261,9	0,0	909,1	-	23,1	37,8	4,0
19/08/2019	154,0	0,0	910,4	-	23,4	42,7	2,8
20/08/2019	154,3	0,0	912,2	-	21,8	58,3	2,7
Composto	182,1	0,0	934,5	252,2	25,0	44,9	2,9

Fonte: Autor deste trabalho.

Conforme pode-se notar na Tabela 5, nos dias 16/07/2019, 19/08/2019 e 20/08/2019 não houve medição dos dados de radiação solar. O comportamento de cada variável meteorológica, bem como as anomalias, para cada dia de evento crítico, será discutido a seguir com base nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 6: Anomalia diária das variáveis meteorológicas para cada dia de evento crítico, juntamente com o composto dos eventos.

Anomalia Mensal							
Data	Meteorologia						
	Direção Escalar do Vento (°)	Precipitação Pluviométrica (mm)	Pressão Atmosférica (mbar)	Radiação Solar Global (W/m ²)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade Escalar do Vento (m/s)
02/09/2014	84,7	-0,3	-	22,0	8,0	-18,2	-2,3
21/09/2014	104,4	-0,3	-3,7	66,2	5,5	-12,1	-0,6
26/09/2015	-20,4	-1,1	-0,6	47,6	5,0	-18,6	-0,6
17/10/2015	5,6	-1,4	0,1	63,7	5,1	-32,0	-0,9
18/10/2015	-34,2	-1,4	1,5	-100,0	-0,4	-0,6	-0,9
09/08/2017	156,9	0,0	-1,8	40,8	3,3	-16,9	0,6
10/08/2017	108,8	0,0	-1,5	122,1	5,7	-26,1	0,0
16/07/2019	118,9	-0,3	-3,6	-	3,3	-20,6	1,2
19/08/2019	51,6	0,0	-3,9	-	4,4	-21,7	-0,2
20/08/2019	51,9	0,0	-2,1	-	2,7	-8,1	-0,3
Composto	62,8	-0,5	-1,7	37,5	4,3	-17,5	-0,4

Fonte: Autor deste trabalho.

A Tabela 6 mostra os valores de anomalia diária para cada variável meteorológica, calculada a partir das médias mensais de cada variável medida na estação meteorológica. O composto, representado pela última linha da tabela mostra a média das anomalias para cada dia de evento crítico.

3.2.2.1 Direção e velocidade do vento

A Tabela 7 a seguir apresenta alguns parâmetros estatísticos para a direção escalar do vento nos anos em que foram selecionados os dias de eventos críticos. Estes parâmetros auxiliam no entendimento e análise das condições meteorológicas prevalentes na região de Itabira.

Tabela 7: Alguns parâmetros de estatística descritiva a partir dos dados médios diários de direção do vento (°).

Direção Escalar do Vento				
Anos	2014	2015	2017	2019
Dados ausentes	16,0	0,0	2,0	0,0
Valor máximo anual	312,1	340,6	318,4	288,3
Valor mínimo anual	11,3	15,7	12,1	17,2
Média anual	149,9	146,4	116,8	108,0
% de dados ausentes	4,4	0,0	0,5	0,0

Fonte: Autor deste trabalho.

Conforme mostra a Tabela 7, obteve-se uma boa amostragem de dados, pois apenas nos anos de 2014 e 2017 há dados faltantes, representando 4,4% e 0,5%, respectivamente, do total anual. Os valores máximos anuais representam as direções oeste-noroeste, noroeste e norte-noroeste. Já os valores mínimos anuais estão todos dentro da faixa da direção norte-nordeste. Finalmente, os valores médio anuais representam as direções sul-sudeste e leste-sudeste. As Tabelas 5 e 6 também mostram que o composto dos eventos apresenta direção sul (182,1°) e o composto das anomalias (62,8°) apresenta direção leste-nordeste.

A Tabela 8 apresenta os parâmetros estatísticos para a velocidade do vento nos anos em que foram selecionados os dias de eventos críticos.

Tabela 8: Alguns parâmetros de estatística descritiva a partir dos dados médios diários de velocidade escalar do vento (m/s).

Velocidade Escalar do Vento				
Anos	2014	2015	2017	2019
Dados ausentes	16,0	0,0	4,0	0,0
Valor máximo anual	6,4	5,0	6,0	5,5
Valor mínimo anual	0,4	1,3	1,4	1,1
Média anual	3,0	3,0	3,1	2,9
% de dados ausentes	4,4	0,0	1,1	0,0

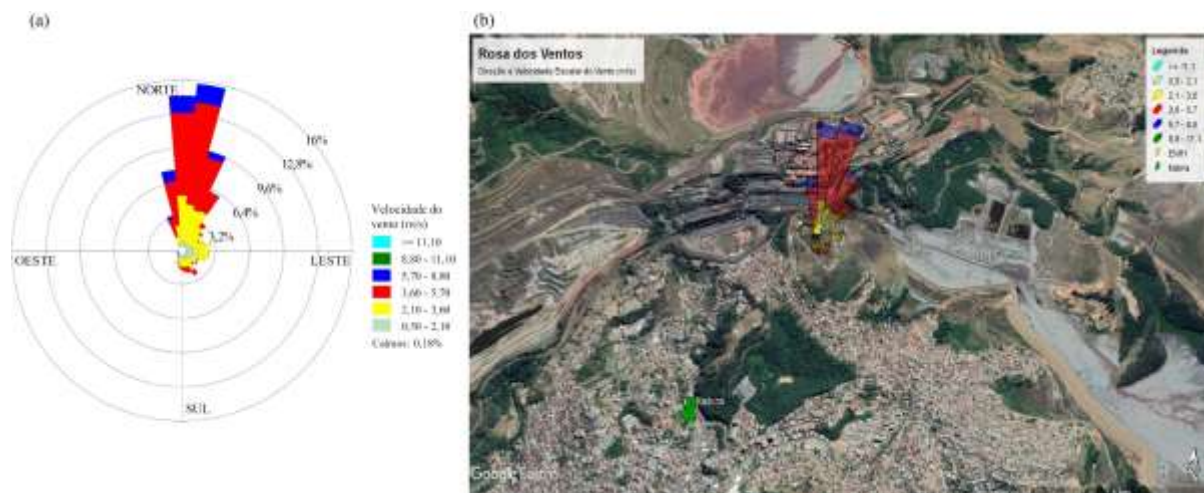
Fonte: Autor deste trabalho.

De acordo com a Tabela 8, há poucos dias com dados ausentes, especificamente durante os anos de 2014 (4,4% do total anual) e 2017 (1,1%). Além disso, pode-se notar, a partir das Tabelas 5 e 8, que, comparando o composto da velocidade dos ventos nos dias críticos que é de 2,9 m/s (Tabela 5), com os valores mínimos e máximos anuais apresentados na Tabela 8, observa-se que a velocidade média dos ventos ocupa uma faixa intermediária. Entretanto, é importante ressaltar que todos os dias de eventos críticos, com exceção de 09/08/2017 e 16/07/2019, apresentaram anomalias negativas (Tabela 6), indicando que a velocidade do vento nos dias críticos fica abaixo do valor médio mensal.

Segundo Derisio (2012), o vento é o principal mecanismo de transporte quando se trata de emissão de material particulado. Dessa forma, a direção e a velocidade do vento são fatores que influenciam diretamente na movimentação e na suspensão de material particulado.

Assim, a partir dos dados horários de direção e velocidade escalar do vento, obtidos por meio da EM11, para todos os dias dos meses em que ocorreram os eventos críticos, foi possível obter o mapa que apresenta a direção predominante do vento (Figura 4) em Itabira, bem como sua frequência de acordo com a classe de velocidade do vento (Figura 5). O mapa foi obtido utilizando o programa WRPLOT da empresa *Lakes Environmental*.

Figura 4: (a) Rosa dos ventos a partir dos dados horários da EM11, bem como sua (b) localização, para os meses em que ocorreram os eventos críticos.



Fonte: Autor deste trabalho com base em imagem do Google Earth.

Pode-se notar, a partir da Figura 4, que o vento predominante na cidade de Itabira, para os meses em que ocorreram os eventos críticos (09/2014, 09/2015, 10/2015, 08/2017, 07/2019, 08/2019), é proveniente da direção norte-nordeste. A Tabela 9 detalha a direção dos ventos na cidade de Itabira em cada dia selecionado como evento crítico, sendo que na segunda coluna temos a direção a partir da orientação da rosa dos ventos e na terceira coluna temos a faixa de direção correspondente em graus.

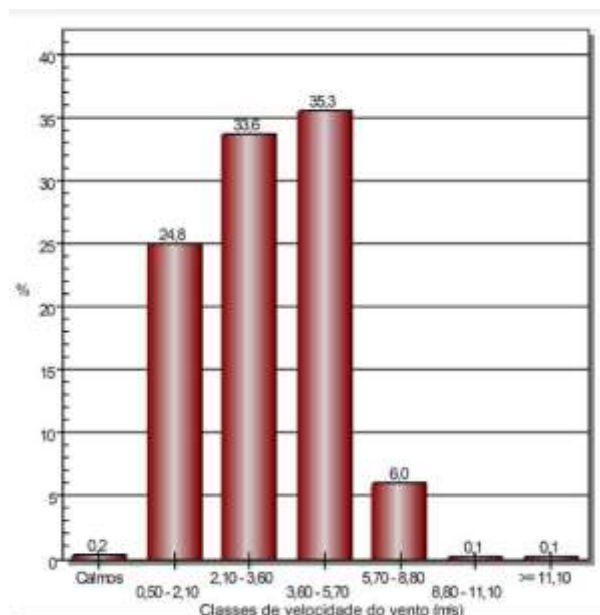
Tabela 9: Direção dos ventos e correspondente faixa em graus, nos dias de eventos críticos.

Data	Direção do Ventos	Direção em graus
02/09/2014	S	168.75 - 191.25
21/09/2014	SSW	191.25 - 213.75
26/09/2015	SE	123.75 - 146.25
17/10/2015	ESE	101.25 - 123.75
18/10/2015	ENE	56.25 - 78.75
09/08/2017	WNW	281.25 - 303.75
10/08/2017	WSW	236.25 - 258.75
16/07/2019	W	258.75 - 281.25
19/08/2019	SSE	146.25 - 168.75
20/08/2019	SSE	146.25 - 168.75

Fonte: Autor deste trabalho.

Pode-se verificar, a partir da Tabela 9, que a direção do vento nos dias críticos foram: sul, sul-sudoeste, sudoeste, leste-sudoeste, leste-nordeste, oeste-noroeste, oeste-sudoeste, oeste e sul-sudeste. Portanto, conforme é esperado, a direção do vento nos dias críticos é anômala, comparado ao restante dos dias do mês. Se a direção do vento nos dias críticos fosse igual a direção predominante na cidade, Itabira teria constantes episódios críticos de poluição. A Figura 5 apresenta a seguir o gráfico de frequência versus classe de velocidade do vento nos dias selecionados como eventos críticos.

Figura 5: Gráfico de classes de velocidade do vento (m/s) versus frequência (%) para os meses em que ocorreram os eventos críticos.



Fonte: Autor deste trabalho.

De acordo com a Figura 5, os ventos em Itabira nos meses de ocorrência de episódios críticos predominam na faixa de velocidade de 3,6 a 5,7 m/s. Contudo, conforme mencionado anteriormente, a velocidade do vento nos dias críticos esteve abaixo da média (Tabela 6), principalmente na classe de ventos fracos e moderados (Tabela 5 e Figura 5). O menor valor de velocidade do vento ocorreu no dia 02/09/2014 (Tabela 5) na direção sul. A concentração de MP_{10} neste dia foi acima da média, porém este não foi o dia mais crítico entre os dias críticos.

Os maiores valores de velocidade do vento nos dias críticos ocorreram quando o vento estava na direção oeste (16/07/2019) e oeste-noroeste (09/08/2017) (Tabela 5). Nestes dias a concentração de material particulado esteve elevada na EAMA31, que é a estação mais distante do complexo minerador, indicando que a velocidade do vento mais forte pode favorecer o transporte de poluentes para regiões mais distantes. Outro aspecto interessante é que os valores de concentração de material particulado (Tabela 2) mais elevados na EAMA31 ocorreram quando o vento estava na direção oeste-sudoeste (10/08/2017), já na EAMA21 ocorreu quando o vento estava na direção oeste-noroeste (09/08/2017) e, na EAMA11 e EAMA41 ocorreu na direção leste-sudeste. Em todos os casos, pode-se verificar na Figura 2 que estas estações estão alinhadas com o fluxo do vento nestas direções, o que indica que as concentrações aumentaram nestas estações devido ao carregamento de poluentes na direção do vento. Deve-se ressaltar ainda que a cidade de Itabira também possui um distrito industrial localizado na direção sul-sudeste, que também pode contribuir para a poluição atmosférica no município.

3.2.2.2 Precipitação pluviométrica

A Tabela 10 apresenta os parâmetros estatísticos para a precipitação pluviométrica nos anos em que foram selecionados os dias de eventos críticos.

Tabela 10: Alguns parâmetros de estatística descritiva a partir dos dados médios diários de precipitação pluviométrica (mm).

Precipitação Pluviométrica				
Anos	2014	2015	2017	2019
Dados ausentes	0,0	9,0	0,0	0,0
Valor máximo anual	78,0	41,0	70,0	100,8
Valor mínimo anual	0,0	0,0	0,0	0,0
Média anual	1,9	1,7	3,0	3,5
% de dados ausentes	0,0	2,5	0,0	0,0

Fonte: Autor deste trabalho.

De acordo com a Tabela 10, o único ano com dados ausentes de chuva foi o ano de 2015, que apresentou nove dias sem medição desta variável, o que representa apenas 2,5% dos dias com ausência de dados em relação ao total anual. Além disso, o valor máximo de precipitação foi igual ou acima de 70 mm em todos os anos analisados, com exceção de 2015, que apresentou um valor máximo diário para este ano de 41 mm. Segundo Freitas e Solci (2009) a precipitação pluviométrica é um ótimo agente na remoção do material particulado que está suspenso na atmosfera. Assim sendo, em dias em que não há chuva, normalmente há uma deterioração na qualidade do ar.

De acordo com o boletim Climanálise, durante o mês de setembro de 2014 choveu abaixo da média histórica em grande parte da Região Sudeste, em particular em Minas Gerais, no Rio de Janeiro e no Espírito Santo, sendo que os acumulados mensais foram inferiores a 25 mm. Nestas áreas, de acordo com o boletim, o déficit pluviométrico foi associado principalmente à maior proximidade do anticiclone subtropical sobre o oceano adjacente.

Já o mês de setembro de 2015, de acordo com o boletim Infoclima, foi marcado por chuvas abaixo da média histórica em grande parte do Brasil, com exceção da região centro-sul do país. Segundo o boletim, isto se deveu a evolução do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que atingiu uma condição intensa, com valores da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) excedendo em até 3°C os valores médios históricos na área mais central do Pacífico Equatorial. Em setembro deste mesmo ano, o boletim apontou que Minas Gerais teve chuvas escassas e baixos valores de umidade relativa do ar associados ao início tardio da estação chuvosa.

Em agosto de 2017 a presença de um escoamento anticiclônico mais intenso que o normal na região do Atlântico Sul, resultou em escassez das chuvas nas regiões oeste e sul do Brasil. Em agosto de 2019, segundo dados do INMET, a precipitação ficou abaixo da média para o mês na região de Itabira.

Como observado anteriormente na Tabela 5, em todos os dias de eventos críticos a precipitação pluviométrica foi igual a 0 mm. As anomalias também foram iguais a zero ou negativas para todos os eventos críticos (Tabela 6). A falta de chuva acarreta em um solo pouco úmido, deixando, assim, as partículas constituintes do mesmo mais propensas a suspensão, o que pode agravar a poluição atmosférica.

3.2.2.3 Pressão Atmosférica

Os parâmetros estatísticos para a pressão atmosférica nos anos em que foram selecionados os dias de eventos críticos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Alguns parâmetros de estatística descritiva a partir dos dados médios diários de pressão atmosférica (mb).

Pressão Atmosférica				
Anos	2014	2015	2017	2019
Dados ausentes	89,0	11,0	126,0	4,0
Valor máximo anual	911,5	982,3	969,9	919,2
Valor mínimo anual	902,7	919,5	928,1	903,5
Média anual	908,2	960,4	954,2	910,2
% de dados ausentes	24,4	3,0	34,5	1,1

Fonte: Autor deste trabalho.

Pode-se notar, a partir da Tabela 11, que a pressão atmosférica foi uma das variáveis meteorológicas onde houve menor representatividade dos dados durante os anos analisados. O ano de 2017 foi o que apresentou maior número de dados ausentes, com uma porcentagem equivalente a 34,5% do total de dias neste ano, seguido pelo ano de 2014 com porcentagem de 24,4% do total. Portanto, devido ao grande número de dados ausentes, a análise do impacto da pressão atmosférica nos dias críticos fica comprometida nos anos de 2014 e 2017. Os valores máximo e mínimo anuais diferem muito pouco (Tabela 11).

As anomalias de pressão nos dias críticos são todas negativas, com exceção dos eventos ocorridos nos dias 17 e 18/10/2015 (Tabela 6), sendo que a maior anomalia negativa de pressão ocorreu no dia 19/08/2019 (Tabela 6), que não foi o dia mais crítico entre todos os eventos. Segundo Barros (2014), o aumento da pressão atmosférica dificulta o transporte do material particulado para outras regiões. Isto ocorre porque uma região com alta pressão apresenta um movimento descendente do ar, mantendo a poluição próxima a superfície.

3.2.2.4 Radiação solar global e temperatura

Os parâmetros estatísticos para a radiação solar global nos anos em que foram selecionados os dias de eventos críticos são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Alguns parâmetros de estatística descritiva a partir dos dados médios diários de radiação solar global (W/m²).

Radiação Global				
Anos	2014	2015	2017	2019
Dados ausentes	0,0	23,0	3,0	365,0
Valor máximo anual	334,9	303,7	392,2	0,0
Valor mínimo anual	21,4	11,8	0,1	0,0
Média anual	184,3	139,7	200,3	-
% de dados ausentes	0,0	6,3	0,8	100,0

Fonte: Autor deste trabalho.

Conforme pode-se notar na Tabela 12, durante os anos de 2014, 2015 e 2017 houve uma baixa porcentagem de dados ausentes referentes a radiação global. Já no ano de 2019 a estação meteorológica não fez nenhuma medição, totalizando 100% de dados ausentes, o que compromete a análise da radiação global para os três eventos ocorridos em 2019.

Os valores de radiação solar global nos dias de eventos críticos (Tabela 5) ficaram todos abaixo dos valores máximos anuais (Tabela 12). Contudo, quando comparado a média mensal, as anomalias foram todas positivas, com exceção do dia 18/10/2015 (Tabela 6). O maior valor anômalo foi observado no dia 10/08/2017, que é o segundo evento mais crítico dentre todos os outros (Tabelas 2 e 3). Há uma estreita relação entre a radiação e a temperatura. A Tabela 13 apresenta os parâmetros estatísticos para a temperatura.

Tabela 13: Alguns parâmetros de estatística descritiva a partir dos dados médios diários de temperatura (°C).

Temperatura				
Anos	2014	2015	2017	2019
Dados ausentes	89,0	0,0	4,0	0,0
Valor máximo anual	26,1	29,6	26,8	28,4
Valor mínimo anual	15,3	14,8	14,7	10,5
Média anual	21,8	21,2	19,8	21,7
% de dados ausentes	24,4	0,0	1,1	0,0

Fonte: Autor deste trabalho.

Pode-se notar, a partir da Tabela 13, que os dados ausentes de temperatura só ocorreram no ano de 2014, representando 24,4% em relação ao total, e no de 2017, com 4 dias sem medições de temperatura, o que representa 1,1%. Portanto, a análise da temperatura para os dois eventos de 2014 fica comprometida devido ao alto número de dados ausentes neste ano. Assim, como visto para a radiação solar, os valores de temperatura ficaram todos abaixo dos valores máximos anuais (Tabela 13); já, comparado com a média mensal, as anomalias foram todas positivas, com exceção do dia 18/10/2015 (Tabela 6). O maior valor anômalo também foi observado no dia 10/08/2017, se desconsiderarmos o valor do dia 02/09/2014, dado que este ano apresentou muitos dados ausentes.

Noldari e Saldanha (2016), retratam que a temperatura causa influência na poluição atmosférica devido a dois fenômenos sendo eles a inversão térmica e as ilhas de calor. A inversão térmica faz o ar frio permanecer próximo à superfície, enquanto o ar quente fica imediatamente acima desta camada fria, desfavorecendo as correntes verticais de ar e causando uma estabilização da circulação. Já as ilhas de calor correspondem à diferença das temperaturas encontradas nas zonas rurais e urbanas, sendo que nas últimas a temperatura é maior devido a urbanização. Dias com alta temperatura e valores altos de radiação solar favorecem maior movimentação do ar e também a formação de poluentes secundários.

3.2.2.5 Umidade Relativa

A Tabela 14 apresenta a seguir os parâmetros estatísticos para a umidade relativa nos anos em que foram selecionados os dias de eventos críticos.

Tabela 14: Alguns parâmetros de estatística descritiva a partir dos dados médios diários de umidade relativa (%).

Umidade Relativa				
Anos	2014	2015	2017	2019
Dados ausentes	89,0	0,0	35,0	0,0
Valor máximo anual	96,6	98,9	95,7	90,8
Valor mínimo anual	48,7	28,1	39,8	35,8
Média anual	74,5	73,1	72,2	68,0
% de dados ausentes	24,4	0,0	9,6	0,0

Fonte: Autor deste trabalho.

Conforme pode-se verificar na Tabela 14, assim como foi observado para os dados de temperatura, no ano de 2015 e 2019 não houve ocorrência de dados ausentes, porém, no ano de 2014, 24,4% do total foram de dados faltantes. Assim, a análise da umidade relativa para os dois eventos ocorridos neste ano fica comprometida. Os valores desta variável nos dias críticos (Tabela 5) ficaram todos abaixo dos valores máximos e médios anuais (Tabela 14).

Analisando a tabela de anomalias das variáveis meteorológicas (Tabela 6), pode-se notar que todas as anomalias nos dias de eventos críticos deram negativas, o que indica que nestes dias a umidade relativa do ar ficou abaixo da média mensal. De forma geral, dias em que a umidade relativa do ar está baixa, há probabilidade de ocorrência de um evento crítico. Pode-se notar na Tabela 6, que o maior valor anômalo de umidade relativa ocorreu no dia 17/10/2015, que foi justamente o dia mais crítico entre todos os eventos (maior valor de concentração de MP_{10} - veja Tabelas 2 e 3). O segundo evento mais crítico ocorreu em 10/08/2017, que é justamente o segundo dia com maior valor anômalo para a umidade relativa (Tabelas 2, 3 e 6).

Anteriormente foi mencionado que no dia 18/10/2015 a concentração de material particulado foi menor (11,7%) que no dia 17 (que é o dia mais crítico), embora o número de focos tenha sido maior neste dia. Foi sugerido que elementos adicionais, tais como os fatores meteorológicos, poderiam ter contribuído para reduzir a concentração neste dia mesmo com o aumento no número de focos. Ao analisarmos a Tabela 5 nestes dias, pode-se notar que ocorreram algumas mudanças expressivas nos parâmetros meteorológicos, do dia 17 para o dia 18: mudança na direção do vento (leste-sudeste para leste-nordeste), diminuição da temperatura, aumento da umidade relativa e diminuição da radiação solar. Todos esses fatores juntos possibilitaram uma relativa melhora na qualidade do ar em relação ao dia 17. Assim, este exemplo mostra como os fatores meteorológicos podem exercer uma influência significativa na qualidade do ar.

4. Considerações Finais

Além dos fatores antropogênicos, que contribuem para o aumento da concentração de MP_{10} , outros fatores, tais como os meteorológicos, podem ser decisivos para uma boa qualidade do ar. Dentre os fatores meteorológicos, alguns se destacam como agentes influentes na modificação da qualidade do ar, tais como a direção e velocidade escalar do vento, precipitação pluviométrica, radiação solar, temperatura, e umidade relativa. Neste contexto, este estudo buscou analisar como estas variáveis meteorológicas influenciam na ocorrência de dias críticos de poluição atmosférica na cidade de Itabira-MG.

Por meio da análise da direção predominante dos ventos foi possível notar que a direção dos ventos nos dias classificados como críticos não é a predominante na cidade de Itabira, ou seja, a mudança da direção influencia na alteração da qualidade do ar, uma vez que os poluentes são carregados na direção do vento. A velocidade do vento, por sua vez, implica na distância que os poluentes podem ser transportados, bem como no processo de dispersão dos mesmos, sendo que valores elevados de velocidade aumentam a dispersão, mas também facilitam o transporte de poluentes para regiões mais distantes.

A falta de precipitação pluviométrica e a baixa umidade do ar em todos os eventos mostram que há uma estreita relação entre essas duas variáveis e a concentração de material particulado, podendo contribuir para aumentar ou diminuir esta concentração na atmosfera. Portanto, os dias em que a umidade relativa do ar se encontra baixa, é provável que sejam caracterizados como críticos. A análise da umidade relativa e das anomalias nesses dias mostraram que os valores foram abaixo da média mensal, e nos dois dias onde houve uma maior concentração de MP_{10} ocorreu também as duas menores medições de umidade relativa. Além disso, a umidade do solo está diretamente ligada a precipitação, dessa forma, os valores de precipitação iguais a zero nos dias de eventos críticos, tornaram mais propícia a suspensão de material particulado proveniente do solo.

Com relação às anomalias de pressão atmosférica, 77,8% dos eventos críticos analisados apresentaram anomalias negativas, assim sendo, a maioria dos eventos ocorreram quando a pressão atmosférica estava abaixo da média mensal. Era esperado pressões mais altas do que a média mensal em dias de eventos críticos, mas pela grande ausência de dados não foi possível estabelecer uma relação muito assertiva entre a pressão atmosférica e a concentração de MP_{10} . Já para temperatura e radiação solar as anomalias são predominantemente positivas durante os episódios críticos.

Os fatores antropogênicos são de grande relevância para alteração da qualidade do ar. Em Itabira, foi possível verificar o aumento da frota veicular na cidade com o passar do tempo, sendo assim uma fonte adicional de poluição atmosférica no município. Contudo, é necessário ainda, em um estudo futuro, avaliar a idade da frota veicular da cidade, uma vez que os carros mais antigos são mais poluidores do que os novos.

A cidade de Itabira também possui um distrito industrial localizado na direção sul-sudeste, que também pode contribuir para a poluição atmosférica no município. Além disso, a prática de queimadas é outra fonte preocupante de poluição, sem mencionar o transporte a longa distância de poluentes que chegam na cidade proveniente das regiões vizinhas. De qualquer forma, é importante ressaltar a necessidade de análise constante das condições meteorológicas para o melhor controle da qualidade do ar, pois atualmente os valores máximos estabelecidos pela legislação não contemplam as alterações nestas condições, que podem agravar a qualidade do ar e prejudicar a saúde da população.

Por fim, sugere-se uma pesquisa mais aprofundada no que se refere a contribuição da frota veicular na poluição atmosférica da cidade, considerando a idade da mesma, conforme mencionado anteriormente, bem como a circulação de veículos e sua interferência na qualidade do ar. Além disso, é importante realizar um levantamento da localização espacial das queimadas que ocorreram nos dias críticos em relação a localização das estações de monitoramento da qualidade do ar, de modo a avaliar a influência nas concentrações medidas de MP_{10} .

Referências

- Alvarenga, C. A. et al. (2018). Trilha interpretativa para promoção da educação ambiental na Funcesi, Itabira, Minas Gerais, *Research Society and Development*, 7(1).
- Barros, L. V. L. (2014). *Avaliação da relação entre parâmetros meteorológicos e concentrações de material particulado inalável (MP_{10}) no campus da UFSC*, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Braga, A., Böhm, G. M., Pereira, L. A. A. & Saldiva, P. (2001). *Revista da USP*, São Paulo, 51, 58-71, setembro/novembro.
- Braga, A. L. F., & Saldiva, P. H. N. (2001). Poluição e saúde. *Jornal de Pneumologia*, S10-S16.
- Derisio, J. C. (2012). *Introdução ao controle de poluição ambiental*, São Paulo (4ª Ed.) Oficina de Textos.
- Diário oficial da União. (2018). *Resolução N° 491, de 19 de Novembro de 2018*, ed. 223, p. 155. http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895 link.
- Engencomps Engenharia. S.A. (2015). *Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Itabira*. Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos Serviços de Saneamento Básico, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, Instituto BioAtlântica.
- Freitas, A. M., & Solci, M. C. (2009). Caracterização do MP_{10} e $MP_{2,5}$ e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina, (São Paulo), Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. Universidade Estadual de Londrina, *Quím. Nova*, 32(7).
- Galvani, E. et al. (2019). Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com internações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. *Rio de Janeiro, Cad. Saúde Pública*, 35(7).

- Gonzaga, A., & Freitas, A.C.V. (2020). Análise da relação entre condições meteorológicas, poluição atmosférica e infecções respiratórias virais: o caso COVID-19. *Research Society and Development*, 9(8).
- Koche, J. C. (2011). *Fundamentos de metodologia científica*. Petrópolis: Vozes. <http://www.brunovivas.com/wp-content/uploads/sites/10/2018/07/K%C3%B6che-Jos%C3%A9-Carlos0D0AFundamentos-de-metodologia-cient%C3%ADfica--teoria-da0D0Aci%C3%AAncia-e-inicia%C3%A7%C3%A3o-%C3%A0-pesquisa.pdf>
- Ludke, M., & Andre, M. E. D. A. (2013). *Pesquisas em educação: uma abordagem qualitativa*: E.P.U. E.
- Ministério do Meio Ambiente - MMA. (2018). *Padrões de qualidade do ar*. <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-dequalidade-do-ar.html> link.
- Moreira, D. M., Tirabassi, T., & Moraes, M. R. (2008). Meteorologia e poluição atmosférica. *Ambiente e Sociedade*, 11, 1-13.
- Nakagawa, L. et al. (2010). Impactos na Qualidade do Ar e na Saúde Humana da Poluição Atmosférica na Região Metropolitana de São Paulo – SP: pesquisa quantitativa e qualitativa. Florianópolis – SC. *Anais do V Encontro Nacional da Anppas*. <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT3-150-302-20100901143452.pdf>
- Noldari, A. S., & Saldanha, C. B. (2016). Análise das condições meteorológicas durante episódios críticos de poluição atmosférica no município de Porto Alegre/RS. Porto Alegre. *Anais do 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, PUCRS. http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20160910113702000000650.pdf
- Pereira, A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free ebook]. Santa Maria: UAB/NTE/UFSM. https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/358/2019/02/Metodologia-da-Pesquisa-Cientifica_final.pdf
- Pinto, J. A. et al. (2019). Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP_{2,5}) em Belo Horizonte, MG. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24 (2).
- Rodrigues, C. G. et al. (2015). Projeção da mortalidade e internações hospitalares na rede pública de saúde atribuíveis à poluição atmosférica no Estado de São Paulo entre 2012 e 2030. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 32(3), 489-509.
- Santi, A. M. M., Suzuki, R. Y., & Oliveira, R. G. (2000). Monitoramento da qualidade do ar no município de Itabira, MG: Avaliação dos resultados em anos recentes (1997/99) e das perspectivas de modernização da rede de monitoramento no contexto do licenciamento ambiental corretivo da CVRD. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Anais do 27º congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 12.
- Santos, T. C. et al. (2016). Avaliação da influência das condições meteorológicas em dias com altas concentrações de material particulado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(2).
- World Health Organization. (2006). *Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution*. <http://www.euro.who.int/document/e88189.pdf> link.