

Índice de poluição atmosférica: uma proposta baseada em dados secundários para avaliação da qualidade do ar

Atmospheric pollution index: a proposal based on secondary data to assess air quality

Otávio Guilherme Seibert¹ , Wanderson de Paula Pinto^{1*} , Edson Zambon Monte² 

RESUMO

ABSTRACT

Este trabalho objetivou propor um método para avaliar a qualidade do ar de determinada região, com base em dados secundários. A metodologia proposta é fundamentada na elaboração de um índice de poluição atmosférica (IPA), desenvolvido por meio da aplicação do método *analytic hierarchy process*. O IPA utiliza dados secundários das fontes de emissões atmosféricas e dados relacionados com a poluição do ar. Essa relação gera um valor adimensional que classifica a qualidade do ar em cinco faixas. Com a aplicação da metodologia proposta, dados de 11 municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), cinco municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e quatro municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) foram analisados. Esses municípios possuem uma rede automática de monitoramento da qualidade do ar. Os resultados mostram que dez municípios da RMSP, quatro municípios da RMGV e três municípios da RMBH tiveram o IPA classificado como moderado, tendo como referência o ano de 2017. Essa informação é comprovada quando comparada com o índice de qualidade do ar do ano de 2017 desses municípios. Concluiu-se que a metodologia proposta se demonstrou um método apropriado para avaliação da qualidade do ar e pode ser empregada como uma ferramenta viável no gerenciamento da qualidade do ar atmosférico nos estados brasileiros ou em qualquer outro país.

This work aimed to propose a method to assess the air quality of a given region, based on secondary data. The proposed methodology is based on the elaboration of an air pollution index (API), developed from the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. API uses secondary data from the sources of atmospheric emissions and data related to air pollution. This relationship generates a dimensionless value that classifies air quality into five ranges. With the application of the proposed methodology, data from 11 municipalities in the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP), five municipalities in the Metropolitan Region of Belo Horizonte (MRBH) and four municipalities in the Metropolitan Region of Greater Vitória (MRGV) were analyzed. These municipalities have an automatic air quality monitoring network. Results show that ten municipalities in the MRSP, four municipalities in the MRGV and three municipalities in the MRBH had the API classified as moderate, with reference to the year 2017. This information is proven when compared with the air quality index (AQI) for the year 2017 of these municipalities. It was concluded that the proposed methodology proved to be an appropriate method for air quality assessment and can be used as a viable tool in the management of atmospheric air quality in Brazilian states or in any other country.

Palavras-chave: índice de qualidade do ar; poluição atmosférica; análise de dados.

Keywords: air quality index; atmospheric pollution; data analysis.

INTRODUÇÃO

De acordo com os dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição do ar doméstico e ambiental foi conjuntamente responsável por sete milhões de mortes em 2016 (WHO, 2019). Tendo em vista que a poluição atmosférica é considerada hoje o maior risco ambiental à saúde (WHO, 2016) e o quinto

principal fator de risco para mortalidade em todo o planeta (HEI, 2019), ter conhecimento da qualidade do ar de uma região é extremamente importante para a gestão ambiental de uma cidade (SILVA; ALONSO; OLIVEIRA, 2016).

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina por sua vez o surgimento de efeitos adversos

¹Faculdade da Região Serrana - Santa Maria de Jetibá (ES), Brasil.

²Universidade Federal do Espírito Santo - Vitória (ES), Brasil.

*Autor correspondente: wandersondpp@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 06/12/2021 - Aceito: 13/09/2022 - Reg. ABES: 20210321

da poluição do ar sobre os receptores (LISBOA, 2014). As implicações observadas da poluição atmosférica sobre a saúde humana consistem no comprometimento do coração, dos vasos sanguíneos, da circulação sanguínea e do sistema reprodutor (FERNANDES *et al.*, 2010), na incidência de doenças respiratórias e neurológicas e de diversos tipos de câncer (NASCIMENTO *et al.*, 2017), alterações na *performance* cognitiva humana (ZHANG; CHEN; ZHANG, 2018) e na diminuição da expectativa de vida (CHAY; GREENSTONE, 2003).

Vale dizer que a maior contribuição das emissões atmosféricas nas grandes cidades está associada principalmente ao setor de transportes e ao setor industrial, quase sempre correlacionada à alta densidade demográfica e ao crescimento econômico, comprovado nos trabalhos de González *et al.* (2017), Li *et al.* (2017), Yu, Deng e Chen (2018), Cui *et al.* (2018), Wong *et al.* (2019), Ghermandi *et al.* (2019), Guttikunda *et al.* (2019), Yang *et al.* (2020), Yu e Li (2020) e Zheng *et al.* (2020). Esses fatores têm colaborado com a elevação da concentração de poluentes na atmosfera dessas regiões.

Como medida de segurança, diversos países têm estabelecido padrões de qualidade do ar para os poluentes atmosféricos, baseados nas diretrizes publicadas pela OMS (WHO, 2005) e que podem ser entendidos como valores de concentração do poluente na atmosfera associado a um intervalo de tempo de exposição em que se preserve a qualidade de vida e do meio ambiente em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica (BRASIL, 2018).

Dessa forma, as redes de monitoramento da qualidade do ar são ferramentas essenciais utilizadas para determinar a concentração de um poluente na atmosfera e medir o grau de exposição dos receptores, além de fornecer informações que possibilitem a tomada de decisões necessárias para proteger a saúde e o bem-estar da população. Os sistemas de monitoramento da qualidade do ar, na maioria dos países de baixa e média renda, estão em fase de desenvolvimento e precisam ser fortalecidos para melhorar a gestão da qualidade do ar (GULIA *et al.*, 2020).

No Brasil a gestão da qualidade do ar foi iniciada com a implementação da Política Nacional do Meio Ambiente, editada pela Lei nº 6.938/1981, que coloca o monitoramento da qualidade do ar como instrumento de acompanhamento e de avaliação da qualidade do ar. Além disso, está em vigor a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 491/2018, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

Em porte dos dados de monitoramento da qualidade do ar, os órgãos gestores podem utilizar indicadores ambientais para informar a população diariamente as condições da qualidade do ar em determinado local. Os indicadores podem ser instrumentos de mudanças, divulgação e obtenção de conhecimento, precisam ser claros, objetivos e de fácil entendimento por parte da população em geral e na sua maioria são representados não apenas por números, como também por cores, símbolos e imagens (MEADOWS, 1998). Segundo Malheiros (2002), a função de um indicador é fornecer uma “pista” de um problema de grande importância ou tornar perceptível uma tendência que não está imediatamente visível.

Em termos de avaliação da qualidade do ar, no Brasil, assim como em vários outros países, é utilizado o índice de qualidade do ar (IQA). Segundo Lisboa (2014), esse índice foi concebido com base no *pollutant standards index* (PSI), cujo desenvolvimento se fundamentou numa experiência acumulada de vários anos nos Estados Unidos e Canadá. Ele foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos a fim de padronizar a divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação.

Para o cálculo do IQAr se faz necessário o monitoramento da qualidade do ar, ou seja, utilizar a concentração medida de determinado poluente, no entanto a maioria dos municípios brasileiros de porte médio não possui estações de monitoramento do ar (ANGEOLETTO *et al.*, 2016). Nas pequenas e médias cidades, tem-se dificuldades para avaliar as concentrações de poluentes atmosféricos. Estima-se que, globalmente, nove em cada dez pessoas que residem em áreas urbanas estão expostas à poluição do ar acima da média anual das diretrizes de qualidade do ar da OMS (WHO, 2019).

Assim, este trabalho objetivou propor um método para avaliar a qualidade do ar de determinada região, com base em dados secundários, sem a necessidade de uma implantação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar. A metodologia proposta é fundamentada na elaboração de um índice de poluição atmosférica (IPA), por meio de dados secundários das fontes de emissões atmosféricas e dados relacionados com a poluição do ar, que vão proporcionar informações sobre a qualidade do ar de dada localidade.

MATERIAS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo (Tabela 1) abrange a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) e a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), especificamente para os municípios que possuem uma rede de monitoramento da qualidade do ar instalada.

Obtenção dos dados das fontes de poluição atmosférica

Para determinar o IPA, foram inventariadas as fontes fixas e móveis de emissões atmosféricas com base em dados secundários para cada município da área de estudo, tendo como referência o ano de 2017. Os tipos de fonte de emissões atmosféricas, os parâmetros e o banco de dados utilizados estão retratados na Tabela 2.

Obtenção dos dados relacionados com a poluição atmosférica

O meio ambiente é essencial para o desenvolvimento econômico, pois é visto como uma fonte de recursos necessários para a produção de bens e serviços.

Tabela 1 – Municípios correspondentes a área de estudo.

Municípios RMSP	Municípios RMBH	Municípios RMGV
Carapicuíba	Belo Horizonte	Cariacica
Diadema	Betim	Serra
Guarulhos	Contagem	Vila Velha
Mauá	Ibirité	Vitória
Osasco	São José da Lapa	
Santo André		
São Bernardo do Campo		
São Caetano do Sul		
Taboão da Serra		
Mogi das Cruzes		
São Paulo		

RMBH: Região Metropolitana de Belo Horizonte; RMGV: Região Metropolitana da Grande Vitória; RMSP: Região Metropolitana de São Paulo.

Tabela 2 - Banco de dados das fontes de emissões atmosféricas.

Fonte de emissão atmosférica	Parâmetro	Banco de dados
Frota veicular	Números total de veículos	Departamento Nacional de Trânsito
Indústrias extrativistas	Número de indústrias extrativistas	Sistema IBGE de Recuperação Automática
Indústrias de transformação	Número de indústrias de transformação	Sistema IBGE de Recuperação Automática
Construção civil	Número de obras de infraestrutura, construção de edifícios e serviços especializados para construção	Sistema IBGE de Recuperação Automática
Agricultura	Área total utilizada com pastagens naturais, pastagens em boas ou más condições, lavouras temporárias, permanentes e cultivo de flores (hectares)	Censo Agropecuário
Pecuária	Número de galináceos, ovinos, bovinos, bubalinos, suínos, equinos e caprinos	Censo Agropecuário
Focos de queimada	Número de focos de queimadas	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Aeroportos	Número de aeródromos públicos e privados	Agência Nacional de Aviação Civil
Portos	Número de portos públicos, terminais de uso privado e estações de transbordo de cargas	Ministério de Infraestrutura do Brasil
Aterros e lixões	Número de lixões, aterro sanitário e controlado	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Ferrovias	Número de linhas ferroviárias	Ministério de Infraestrutura do Brasil

Fonte: Anac (2017), Brasil (2017; 2020), INPE (2017), Sistema IBGE de Recuperação Automática (2017a; 2017b; 2017c) e SNIS (2017).

O impacto ambiental cresce, essencialmente, em função do desenvolvimento econômico e social e da qualidade de vida (BIAGE, 2012). O desenvolvimento econômico pode intensificar as emissões de poluentes atmosféricos em uma região, afetando a qualidade do ar e, por conseguinte, a saúde dos receptores que estão expostos a essa poluição. Dessa forma, foram acrescentados ao IPA os dados de saúde, população e economia, conforme os parâmetros e banco de dados demonstrados na Tabela 3.

Índice de poluição atmosférica

O IPA é um método que propõe avaliar a qualidade do ar de uma região com base em dados públicos secundários, por meio da correlação de dois critérios: o critério das fontes de contribuição das emissões atmosféricas (CFE) e o critério dos dados relacionados com a poluição atmosférica (CDR). Cada critério possui subcritérios específicos, os quais possuem alternativas particulares.

O CFE detecta as fontes de poluição do ar presentes em uma região. Neste estudo foi verificada a presença ou não de 11 tipos de fonte de emissões atmosféricas em cada município, por intermédio do inventário de fontes de emissão atmosférica desenvolvido mediante dados secundários. Cada tipo de fonte é considerado um subcritério do CFE, e cada subcritério possui alternativas pertinentes. O CDR incorpora ao IPA dados associados com a poluição atmosférica. Para determinar o CDR, foram utilizados nesta pesquisa três subindicadores: população, saúde e economia, e cada subindicador possui alternativas próprias, conforme apresentado no diagrama da Figura 1.

Para definir os pesos dos critérios, dos subcritérios e das alternativas, foi aplicado o método *analytic hierarchy process* (AHP), que auxilia na tomada de decisão em problemas com múltiplos critérios pela elaboração de estruturas hierárquicas. Esse método foi desenvolvido pelo matemático Thomas Saaty e é muito utilizado para a tomada de decisões complexas. O método AHP constitui-se nos seguintes passos:

- Estruturar o problema de forma hierárquica: o nível mais alto é representado pelo objetivo geral. Em seguida, vêm os atributos (critérios) relacionados ao problema a ser decidido. Tais atributos poderão ser

Tabela 3 - Banco de dados das informações relacionadas com a poluição atmosférica.

Dados relacionados com a poluição atmosférica	Parâmetro	Banco de dados
População	Número total de habitantes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Saúde	Internações por doença do aparelho respiratório	Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
Economia	Valor do produto interno bruto	Instituto Jones dos Santos Neves

Fonte: IJSN (2011; 2017), Datasus (2017) e IBGE (2017; 2020).

divididos em um nível inferior (subcritérios). O último nível é representado pelas alternativas;

- Construir um conjunto de matrizes de comparação aos pares: em hierarquias simples, cada elemento de nível inferior afeta todos os elementos do nível superior;
- Fazer os julgamentos para completar as matrizes: preferencialmente, adequar a comparação à escala numérica elaborada por Saaty;
- Calcular os pesos das alternativas, dos subcritérios e dos critérios conforme a hierarquia estabelecida;
- Calcular o índice de consistência e a razão de consistência para avaliar se o julgamento feito pelo tomador de decisão é coerente e se não levará a uma decisão equivocada.

As matrizes de comparação são matrizes quadradas recíprocas, com valores unitários na diagonal principal. Durante o julgamento, compara-se cada elemento da linha com cada elemento da coluna, e registra-se o valor do julgamento na matriz na posição linha e coluna referente aos elementos comparados (RIBEIRO; SILVA ALVES, 2016). A Tabela 4 apresenta o formato geral

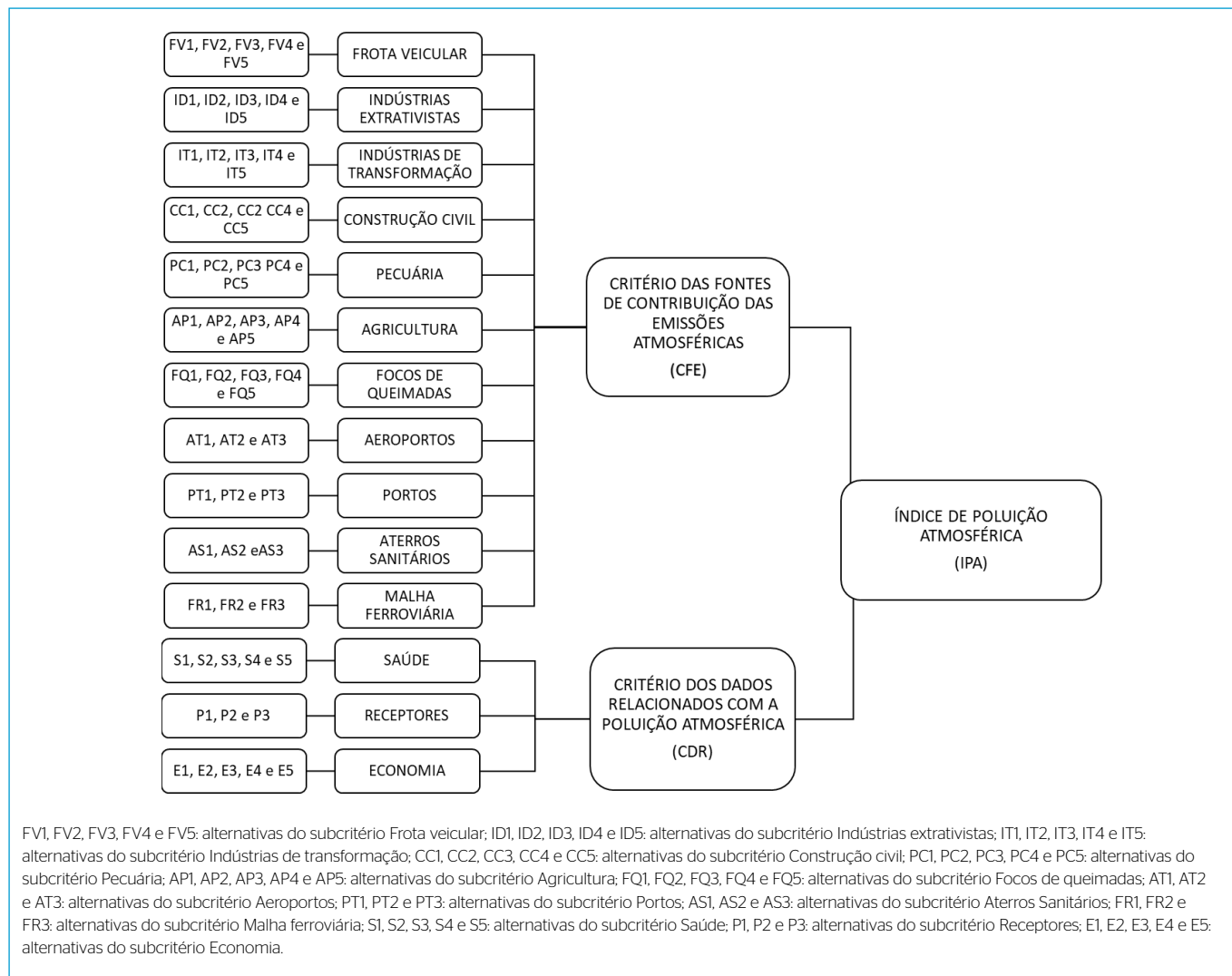


Figura 1 - Diagrama do índice de poluição atmosférica.

Tabela 4 - Formato geral da matriz de comparações.

C_i	a_1	a_2	...	a_n
a_1	1	x_{12}	...	x_{1n}
a_2	$1/x_{12}$	1	...	x_{2n}
...
a_n	$1/x_{n1}$	$1/x_{n2}$...	1

Fonte: Saaty (1991).

das matrizes de comparação das n alternativas (a_1, a_2, \dots, a_n) à luz do critério C_i , em que x_{ij} representa as entradas de julgamento variando i e j de 1 a n .

Conforme Saaty (1991), a matriz de comparação gera relações recíprocas. Assim, para cada julgamento registrado na posição de linha i e coluna j , representado por x_{ij} , há um valor igual a $\frac{1}{x_{ij}}$ na posição recíproca, isto é, na posição de linha j e coluna i . Considerando as posições de elementos de linha e coluna i e j , respectivamente, variando de 1 a n , os elementos x_{ij} obedecem às seguintes regras:

- Regra 1: Se $x_{ij} = a$, então $x_{ji} = \frac{1}{a}$ e $a \neq 0$, em que a é o valor numérico do julgamento baseado na escala de Saaty (1991). Logo, temos $x_{ji} = \frac{1}{x_{ij}}$.

- Regra 2: Se a_i é julgado de igual importância relativa a a_j , então $x_{ij} = 1$ e $x_{ji} = 1$; e, particularmente, $x_{ij} = 1$ e $i = j$.

Para fazer comparações, é necessária uma escala de números que indique quantas vezes mais um elemento importante ou dominante está sobre outro elemento no que diz respeito ao critério ou propriedade com a qual eles são comparados (SAATY, 2008). A escala recomendada por Saaty, apresentada na Tabela 5, sugeri o uso de uma escala padrão de valores que variam de 1 a 9, como forma de avaliar numericamente alternativas e critérios em um processo de decisão. Cada uma dessas alternativas está especificada nas Tabelas 6 e 7.

Segundo Saaty e Vargas (2001), a inconsistência é um fator inerente ao ser humano, e por isso deve haver tolerância conforme certos parâmetros para a sua aceitação. O cálculo do índice de consistência (IC) é realizado de acordo com a Equação 1:

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máx}} - n)}{(n - 1)} \tag{1}$$

Em que:

n : a ordem da matriz;

$\lambda_{\text{máx}}$: o autovalor da matriz de comparação.

O cálculo do autovalor da matriz de comparação é dado na Equação 2:

$$\lambda_{\max} = T \times W \quad (2)$$

Em que:

(*T*): o somatório das colunas das matrizes de comparação original;

(*W*): o autovetor normalizado da matriz de comparação, em que o somatório de seus elementos é igual a 1.

Para gerar o autovetor normalizado, foram adotados os procedimentos utilizados por Vargas (2010), que consistem em:

- Calcula-se o somatório dos julgamentos registrados em cada coluna da matriz de julgamentos;
- Cria-se uma matriz normalizada, na qual cada elemento é inicializado pelo elemento da matriz original dividido pelo total de sua respectiva coluna;
- Calcula-se a prioridade por meio da média aritmética dos elementos de cada linha da matriz normalizada.

Segundo Saaty e Vargas (2001), a gravidade da ocorrência de inconsistência é reduzida com o aumento da ordem da matriz de julgamentos. Com o objetivo de permitir a avaliação da inconsistência em função da ordem máxima da matriz de julgamento, Saaty e Vargas (2001) fazem uso da razão de consistência (*RC*), obtida pela Equação 3:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Em que:

IR: um índice randômico de consistência obtido para uma matriz recíproca, com elementos não negativos gerados de forma randômica.

A Tabela 6 ilustra os resultados para *IR* em função da ordem da matriz randômica utilizada.

Os julgamentos da matriz de decisão são considerados consistentes se *RC* = 0: para *n* = 2, *RC* < 0,05 para *n* = 3, *RC* < 0,09 para *n* = 4 e *RC* ≤ 0,10 para *n* = 4. Caso contrário, existe alguma inconsistência nos julgamentos, e o especialista deve ser solicitado a rever a sua opinião (ALVES; ALVES, 2015).

Para realizar as operações matemáticas, foi utilizado o *software* gratuito Super Decisions (CREATIVE DECISIONS FOUNDATION, 2020), pela facilidade do julgamento dos elementos e da definição do índice

Tabela 5 - Escala numérica de Saaty.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Pequena importância de uma sobre a outra	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande	O julgamento favorece muito fortemente uma atividade em relação à outra
9	Importância absoluta	Mais alto grau de certeza de favorecimento de uma atividade sobre a outra
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos	Condição intermediária entre as duas definições

Fonte: Saaty (1990).

Tabela 6 - Índices de consistência randômicos.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1991).

Tabela 7 - Pesos das alternativas dos subcritérios do critério dos dados relacionados com a poluição atmosférica.

Subcritérios	Alternativas	Sigla das alternativas	Pesos das alternativas	Inconsistência
Receptores	$NH \leq 100.000$	P1	0,08110	0,02795
	$100.001 \leq NH \leq 500.000$	P2	0,34200	
	$NH \geq 500.001$	P3	0,57690	
Saúde	$NI \leq 200$	S1	0,06177	0,01520
	$201 \leq NI \leq 300$	S2	0,09725	
	$301 \leq NI \leq 400$	S3	0,15992	
	$401 \leq NI \leq 500$	S4	0,26252	
	$NI \geq 501$	S5	0,41854	
Economia	$PIB \leq 300.000$	E1	0,06177	0,01520
	$300.001 \leq PIB \leq 600.000$	E2	0,09725	
	$600.001 \leq PIB \leq 900.000$	E3	0,15992	
	$900.001 \leq PIB \leq 1.200.000$	E4	0,26252	
	$PIB \geq 1.200.001$	E5	0,41854	

NH: número de habitantes; *NI*: número de internações hospitalares relacionadas à poluição do ar; *PIB*: produto interno bruto a preços correntes (x R\$ 1.000).

de consistência, que simplifica a tomada de decisão. O *software* Super Decisions implementa o AHP para tomada de decisão com dependência e *feedback*. A Figura 2 mostra a estrutura hierárquica do IPA gerada no *software* Super Decisions.

As Tabelas 7 e 8 mostram as alternativas utilizadas em cada subcritério, bem como os pesos encontrados com a aplicação do método AHP de cada alternativa que compõe os subcritérios de CDR e CFE, respectivamente.

A Tabela 9 expõem os pesos dos subcritérios e dos critérios.

Dessa forma, conforme as Tabelas 7, 8 e 9, o cálculo do CFE e do CDR é realizado conforme as Equações 4 e 5, respectivamente:

$$CFE = \sum_{i=1}^n (\text{Peso da alternativa} \times \text{Peso do subcritério correspondente}) \quad (4)$$

$$CDR = \sum_{i=1}^n (\text{Peso da alternativa} \times \text{Peso do subcritério correspondente}) \quad (5)$$

A determinação do IPA será feita pela Equação 6:

$$IPA = (CFE \times 0,75) + (CDR \times 0,25) \quad (6)$$

O IPA é classificado em cinco faixas, conforme apresentado na Tabela 10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia proposta para avaliação da qualidade do ar foi aplicada para os municípios descritos na Tabela 1. A Tabela 11 apresenta os resultados e a classificação do IPA para cada município. Sobre o parâmetro demográfico, foi empregada a classificação para cidades de pequeno porte (aquelas com até 100 mil habitantes), de porte médio (entre 100 e 500 mil habitantes) e de grande porte (com mais de 500 mil habitantes) (STAMM *et al.*, 2013).

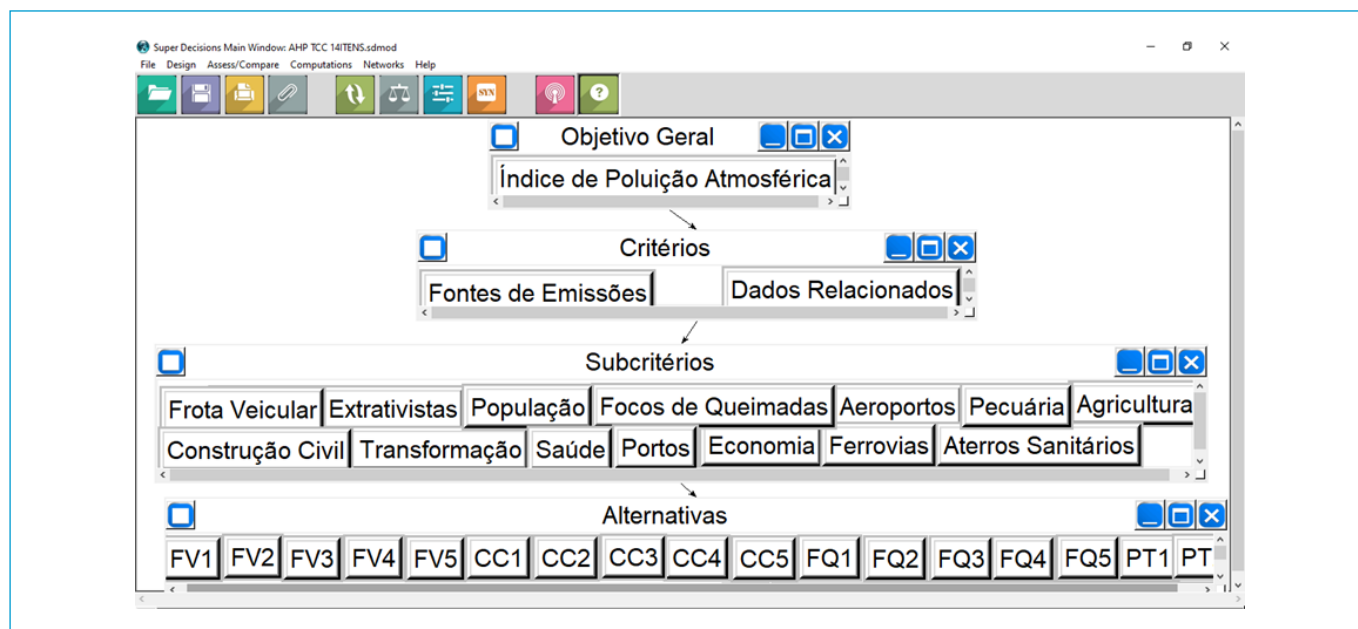


Figura 2 - Estrutura hierárquica do índice de poluição atmosférica gerada no *software* Super Decisions.

Tabela 8 - Pesos das alternativas dos subcritérios do critério das fontes de contribuição das emissões atmosféricas.

Subcritérios	Alternativas	Sigla das alternativas	Pesos das alternativas	Inconsistência
Frota veicular	$NV \leq 40.000$	FV1	0,06177	0,01520
	$40.001 \leq NV \leq 60.000$	FV2	0,09725	
	$60.001 \leq NV \leq 80.000$	FV3	0,15992	
	$80.001 \leq NV \leq 100.000$	FV4	0,26252	
	$NV \geq 100.001$	FV5	0,41854	
Indústrias extrativistas	$NID \leq 20$	ID1	0,06177	0,01520
	$21 \leq NID \leq 25$	ID2	0,09725	
	$26 \leq NID \leq 30$	ID3	0,15992	
	$31 \leq NID \leq 35$	ID4	0,26252	
	$NID \geq 36$	ID5	0,41854	

Continua...

Tabela 8 - Continuação.

Subcritérios	Alternativas	Sigla das alternativas	Pesos das alternativas	Inconsistência
Indústrias de transformação	$NID \leq 100$	IT1	0,06177	0,01520
	$101 \leq NID \leq 200$	IT2	0,09725	
	$201 \leq NID \leq 300$	IT3	0,15992	
	$301 \leq NID \leq 400$	IT4	0,26252	
	$NID \geq 401$	IT5	0,41854	
Construção civil	$NO \leq 100$	CC1	0,06177	0,01520
	$101 \leq NO \leq 200$	CC2	0,09725	
	$201 \leq NO \leq 300$	CC3	0,15992	
	$301 \leq NO \leq 400$	CC4	0,26252	
	$NO \geq 401$	CC5	0,41854	
Agricultura	$HEC \leq 5.000$	AP1	0,06177	0,01520
	$5.001 \leq HEC \leq 10.000$	AP2	0,09725	
	$10.001 \leq HEC \leq 20.000$	AP3	0,15992	
	$20.001 \leq HEC \leq 30.000$	AP4	0,26252	
	$HEC \geq 30.001$	AP5	0,41854	
Pecuária	$NR \leq 50.000$	PC1	0,06177	0,01520
	$50.001 \leq NR \leq 100.000$	PC2	0,09725	
	$100.001 \leq NR \leq 200.000$	PC3	0,15992	
	$200.001 \leq NR \leq 300.000$	PC4	0,26252	
	$NR \geq 300.001$	PC5	0,41854	
Focos de queimadas	$NQ \leq 50$	FQ1	0,06177	0,01520
	$51 \leq NQ \leq 100$	FQ2	0,09725	
	$101 \leq NQ \leq 200$	FQ3	0,15992	
	$201 \leq NQ \leq 300$	FQ4	0,26252	
	$NQ \geq 301$	FQ5	0,41854	
Aeroportos	$NA = 0$	AT1	0,08110	0,02795
	$NA = 1$	AT2	0,34200	
	$NA > 1$	AT3	0,57690	
Portos	$NP = 0$	PT1	0,08110	0,02795
	$NP = 1$	PT2	0,34200	
	$NP > 1$	PT3	0,57690	
Aterros e lixões	$NL = 0$	AS1	0,08110	0,02795
	$NL = 1$	AS2	0,34200	
	$NL > 1$	AS3	0,57690	
Ferrovias	$NF = 0$	FR1	0,08110	0,02795
	$NF = 1$	FR2	0,34200	
	$NF > 1$	FR3	0,57690	

NV: número de veículos; NID: número de indústrias; NO: número de obras da construção civil; HEC: a área, em hectares; NR: número do rebanho; NQ: número de focos de queimadas; NA: número de aeroportos; NP: número de portos; NL: número de aterros e lixões; NF: número de ferrovias.

Tabela 9 – Pesos dos subcritérios e dos critérios.

Critérios	Pesos dos critérios	Inconsistência	Subcritérios	Pesos dos subcritérios	Inconsistência
CFE	0,75000	0,00000	Frota veicular	0,40065	0,07325
			Indústrias extrativistas	0,07295	
			Indústrias de transformação	0,23614	
			Construção civil	0,06945	
			Agricultura	0,03121	
			Pecuária	0,04230	
			Focos de queimadas	0,03174	
			Aeroportos	0,03881	
			Portos	0,03855	
			Aterros e lixões	0,01910	
CDR	0,25000	0,00000	Ferrovias	0,01910	0,01759
			População	0,38737	
			Saúde	0,44343	
			Economia	0,16920	

CFE: critério das fontes de contribuição das emissões atmosféricas; CDR: critério dos dados relacionados com a poluição atmosférica.

Tabela 10 – Classificação do IPA.

IPA	IPA < 0,20	0,20 ≤ IPA < 0,40	0,40 ≤ IPA < 0,60	0,60 ≤ IPA < 0,80	IPA > 0,80
Classificação	Boa	Moderada	Ruim	Muito Ruim	Péssima

IPA: índice de poluição atmosférica.

De acordo com os resultados da Tabela 12, dez municípios da RMSP, quatro municípios da RMGV e três municípios da RMBH tiveram o IPA classificado como moderado no ano de 2017. Esses municípios tiveram a frota veicular e as indústrias de transformação como principais fontes de emissões atmosféricas e, conseqüentemente, apresentaram maiores números de casos de doenças relacionadas com a poluição do ar. Além disso, nota-se que eles são caracterizados como urbanizados e industrializados ou estão em processo de urbanização e industrialização. Esses fatores foram cruciais para que a classificação do IPA nesses municípios fosse moderada.

Apenas o município de São Paulo da RMSP teve a classificação do IPA ruim, justificada pela imensa frota veicular, que ultrapassa oito milhões de veículos automotores, para uma população de pouco mais de 12 milhões de pessoas. Além disso, o município possui quase 30 mil indústrias de transformação. Esses fatores contribuíram fortemente para a elevação de poluentes na atmosfera municipal e para o resultado da classificação do IPA como ruim.

Dois municípios da RMBH apresentaram classificação boa para o IPA, tendo em vista que são de pequeno porte e apresentam características semelhantes em relação às fontes de emissão atmosférica. Nesses municípios o agronegócio se destaca como a principal atividade econômica, e há poucas ou nenhuma indústria instalada e uma pequena frota veicular circulante. Levando-se em consideração que o elevado número de veículos torna as fontes móveis responsáveis pela maior contribuição das emissões nas cidades (UEDA; TOMAZ, 2011), isso justifica a classificação boa do IPA nesses municípios.

Validação do índice de poluição atmosférica

Para comprovar a eficácia do IPA foi feita uma comparação dele com o índice de qualidade do ar (IQA) do ano de 2017 dos municípios objeto deste estudo. Nesses municípios estão localizadas as estações que compõem a rede de monitoramento da qualidade do ar, onde é realizado o monitoramento da qualidade do ar, conforme demonstrado na Tabela 12.

Relevância do índice de poluição atmosférica

Um indicador é um valor representativo de um fenômeno que quantifica a informação mediante a agregação de diferentes dados, dando lugar à informação sintetizada. A importância dos indicadores ambientais está associada à sua utilização como um instrumento que a sociedade tem para avaliar seu progresso, sua evolução ou ainda de planejamento e gestão dos espaços urbanos e rurais (MATTAR NETO; KRÜGER; DZIEDZIC, 2009). Os indicadores ambientais são ferramentas de planejamento das cidades que proporcionam melhor aproveitamento dos recursos naturais, indicam a adoção de medidas preventivas de degradação ambiental e sinalizam possíveis prejuízos na saúde humana e na economia.

O IPA é um indicador dos recursos atmosféricos capaz de proporcionar informações sobre a qualidade do ar de determinada região de forma simples e com baixo custo, comparado ao dos equipamentos de medição convencionais, que requerem investimentos financeiros elevados para a realização do processo, o que torna inviável a gestão da qualidade do ar em muitos municípios brasileiros. Além disso, o IPA proposto neste trabalho pode fomentar legislações municipais, estaduais e federais no que se refere ao gerenciamento da qualidade do ar.

Tabela 11 – Resultado e classificação do IPA para os municípios da RMSP, RMBH e RMGV.

Municípios RMSP	IPA	Classificação
Carapicuíba	0,3022	Moderada
Diadema	0,3261	Moderada
Guarulhos	0,3683	Moderada
Mauá	0,3417	Moderada
Osasco	0,3644	Moderada
Santo André	0,3644	Moderada
São Bernardo do Campo	0,3569	Moderada
São Caetano do Sul	0,3298	Moderada
Taboão da Serra	0,3261	Moderada
Mogi das Cruzes	0,3501	Moderada
São Paulo	0,4051	Ruim
Municípios RMBH	IPA	Classificação
Belo Horizonte	0,3980	Moderada
Betim	0,3425	Moderada
Contagem	0,3607	Moderada
Ibirité	0,1977	Boa
São José da Lapa	0,0781	Boa
Municípios RMGV	IPA	Classificação
Cariacica	0,2982	Moderada
Serra	0,3653	Moderada
Vila Velha	0,3644	Moderada
Vitória	0,3675	Moderada

IPA: índice de poluição atmosférica; RMBH: Região Metropolitana de Belo Horizonte; RMGV: Região Metropolitana da Grande Vitória; RMSP: Região Metropolitana de São Paulo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo propor uma metodologia para avaliar a qualidade do ar com base em dados secundários de determinada região. A metodologia proposta é fundamentada na elaboração de um IPA, utilizando dados secundários das fontes de emissões atmosféricas e dados relacionados com a poluição do ar. Os resultados comprovam a eficácia do IPA como um instrumento capaz de contribuir com os órgãos gestores e regulamentadores na discussão de medidas de controle e gerenciamento da qualidade do ar, tendo em vista a capacidade de relacionar as fontes de emissão, a saúde humana e a população.

Foi possível verificar que a metodologia proposta apresentou resultados satisfatórios e condizentes com a realidade dos municípios avaliados, mostrando-se um método apropriado para avaliação da qualidade do ar que pode ser empregado no gerenciamento da qualidade do ar atmosférico nos estados brasileiros ou em qualquer outro país, principalmente nos municípios onde ainda não existem sistemas ou redes automáticas de monitoramento da qualidade do ar.

Tabela 12 – Comparação da classificação do IPA com o IQA dos municípios em estudo.

Municípios RMSP	Classificação do IQA - 2017	Classificação do IPA - 2017
Carapicuíba	Moderada	Moderada
Diadema	Moderada	Moderada
Guarulhos	Moderada	Moderada
Mauá	Moderada	Moderada
Osasco	Moderada	Moderada
Santo André	Moderada	Moderada
São Bernardo do Campo	Moderada	Moderada
São Caetano do Sul	Moderada	Moderada
Taboão da Serra	Moderada	Moderada
Mogi das Cruzes	Moderada	Moderada
São Paulo	Ruim	Ruim
Municípios RMBH	Classificação do IQA - 2017	Classificação do IPA - 2017
Belo Horizonte	Moderada	Moderada
Betim	Moderada	Moderada
Contagem	Moderada	Moderada
Ibirité	Moderada	Boa
São José da Lapa	Moderada	Boa
Municípios RMGV	Classificação do IQA - 2017	Classificação do IPA - 2017
Cariacica	Moderada	Moderada
Serra	Moderada	Moderada
Vila Velha	Moderada	Moderada
Vitória	Moderada	Moderada

IPA: índice de poluição atmosférica; RMBH: Região Metropolitana de Belo Horizonte; RMGV: Região Metropolitana da Grande Vitória; RMSP: Região Metropolitana de São Paulo; IQA: índice de qualidade do ar.

Diante do exposto, pôde-se concluir que este trabalho oferece à comunidade científica resultados importantes, principalmente por apresentar uma ferramenta simples e de baixo custo, para avaliar a qualidade do ar de uma cidade e informar a população sobre o risco de poluição atmosférica a qual estão expostos. Sugere-se para trabalhos futuros acrescentar ao IPA as informações topográficas e das condições meteorológicas das regiões em estudo, tendo em mente que a meteorologia tem importante relação na qualidade do ar, isso porque os eventos meteorológicos guiam a dispersão de poluentes e sua deposição no solo.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Seibert, O.G.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia. Pinto, W.P.: Supervisão, Validação, Investigação, Metodologia, Administração do Projeto. Monte, E.Z.: Escrita — Revisão; Validação; Visualização.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). *Aeródromos*. Brasil: ANAC, 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/acesso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/aerodromos>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- ALVES, J.R.X.; ALVES, J.M. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). *Production*, v. 25, n. 1, p. 13-26, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000023>
- ANGEOLETTO, F.; SANTOS, J.W.M.C.; SANZ, J.P.R.; SILVA, F.F.D.; ALBERTÍN, R.M. Tipología socio-ambiental de las ciudades medias de Brasil: aportes para um desarrollo urbano sostenible. *Urbe*, v. 8, n. 2, p. 272-287, 2016. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.008.002.A008>
- BIAGE, M. Relação entre crescimento econômico e impactos ambientais: uma análise da curva ambiental de Kuznets. *Revista Economia Ensaios*, v. 27, n. 1, p. 7-42, 2012.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018*. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 9 jul. 2020.
- BRASIL. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasil, 1981.
- BRASIL. Ministério da Infraestrutura. *Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN)*. Brasil: Ministério da Infraestrutura, 2017. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-denatran.html>. Acesso em: 19 mar. 2020.
- BRASIL. Ministério da Infraestrutura. *Mapas das Infraestruturas de todos os modos de transportes - Ferrovias*. Brasil: Ministério da Infraestrutura, 2020. Disponível em: <http://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/63-bit/5124-bitpublic.html#mapferro>. Acesso em: 19 mar. 2020.
- CHAY, K.Y.; GREENSTONE, M. The impact of air pollution on infant mortality: evidence from geographic variation in pollution shocks induced by a recession. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 118, n. 3, p. 1121-1167, 2003. <https://doi.org/10.1162/00335530360698513>
- CREATIVE DECISIONS FOUNDATION. *Super Decisions Software For Decision Making*. Creative Decisions Foundation, 2020. Disponível em: <http://www.superdecisions.com/>. Acesso em: 22 ago. 2020.
- CUI, L.; WANG, X.L.; HO, K.F.; GAO, Y.; LIU, C.; HO, S.S.H.; LI, H.W.; LEE, C.; WANG, X.W.; JIANG, B.H.; HUANG, Y.; CHOW, J.C.; WATSON, J.G.; CHEN, L.W. Decrease of VOC emissions from vehicular emissions in Hong Kong from 2003 to 2015: Results from a tunnel study. *Atmospheric Environment*, v. 177, p. 64-74, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.020>
- DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE (DATASUS). *Sistema de Informações Hospitalares do SUS*. Brasil: DATASUS, 2017. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/transferencia-de-arquivos/>. Acesso em: 24 jul. 2020.
- FERNANDES, J.S., CARVALHO, A.M.D., CAMPOS, J.F., COSTA FILHO, L.O. Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. *Revista Médica de Minas Gerais*, v. 20, n. 1, p. 92-101, 2010.
- GHERMANDI, G.; FABBI, S.; BIGI, A.; VERATTI, G.; DESPINI, F.; TEGGI, S.; BARBIERI, C.; TORREGGIANI, L. Impact assessment of vehicular exhaust emissions by microscale simulation using automatic traffic flow measurements. *Atmospheric Pollution Research*, v. 10, n. 5, p. 1473-1481, 2019.
- GONZÁLEZ, C.M.; GÓMEZ, C.D.; ROJAS, N.Y.; ACEVEDO, H.; ARISTIZÁBAL, B.H. Relative impact of on-road vehicular and point-source industrial emissions of air pollutants in a medium-sized Andean city. *Atmospheric Environment*, v. 152, p. 279-289, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.048>
- GULIA, S.; KHANNA, I.; SHUKLA, K.; KHARE, M. Ambient air pollutant monitoring and analysis protocol for low and middle income countries: An element of comprehensive urban air quality management framework. *Atmospheric Environment*, v. 222, 117120, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117120>
- GUTTIKUNDA, S.K.; NISHADH, K.A.; GOTA, S.; SINGH, P.; CHANDA, A.; JAWAHAR, P.; ASUNDI, J. Air quality, emissions, and source contributions analysis for the Greater Bengaluru region of India. *Atmospheric Pollution Research*, v. 10, n. 3, p. 941-953, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.002>
- HEALTH EFFECTS INSTITUTE (HEI). *State of Global Air/2019: a special report on global exposure to air pollution and its disease burden*. Boston: HEI, 2019. Disponível em: https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf. Acesso em: 19 jul. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades e Estados*. Brasília: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es.html>. Acesso em: 2 jun. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estimativas da população*. Brasília: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>. Acesso em: 2 jun. 2020.
- INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). *Mapeamento das áreas periurbanas do Espírito Santo*. Vitória: IJSN, 2011.
- INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). *Produto interno bruto (PIB) dos municípios*. Espírito Santo: IJSN, 2017. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/artigos/5505-produto-interno-bruto-pib-dos-municipios-2017>. Acesso em: 12 mar. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Banco de dados de queimadas*. Brasil: INPE, 2017. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- LI, B.; HO, S.S.H.; XUE, Y.; HUANG, Y.; WANG, L.; CHENG, Y.; DAI, W.; ZHONG, H.; CAO, J.; LEE, S. Characterizations of volatile organic compounds (VOCs) from vehicular emissions at roadside environment: The first comprehensive study in Northwestern China. *Atmospheric Environment*, v. 161, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.029>
- LISBOA, H.M. *Controle da poluição atmosférica*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina/Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. Disponível em: <http://repositorio.aces.edu.br/handle/123456789/418>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- MALHEIROS, T.F. *Indicadores ambientais de desenvolvimento sustentável local: um estudo de caso do uso de indicadores de qualidade do ar*. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

- MATTAR NETO, J.; KRÜGER, C.M.; DZIEDZIC, M. Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 205-213, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200008>
- MEADOWS, D. Indicators and information systems for sustainable development. In: SATTERTHWAIT, D. (org.). *The Earthscan reader in sustainable cities*. Routledge, 1998. p. 364-393.
- NASCIMENTO, A.P.; SANTOS, J.M.; MILL, J.G.; SOUZA, J.B.; REIS JÚNIOR, N.C.; REISEN, V.A. Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, p. 3, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2017051006523>
- RIBEIRO, M.C.D.C.R.; SILVA ALVES, A. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. *Sistemas & Gestão*, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n3.988>
- SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- SAATY, T.L. *Método de Análise Hierárquica*. Tradução de Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.
- SAATY, T.L. Tomada de decisão com o processo de hierarquia analítica. *Revista Internacional de Ciências de Serviços*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.
- SAATY, T.L.; VARGAS, L.G. *Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process*. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- SILVA, K.L.A.; ALONSO, M.F.; OLIVEIRA, L.P. Análise das emissões atmosféricas de fontes móveis para a cidade Pelotas-RS. *Ciência e Natura*, v. 38, p. 347-353, 2016. <https://doi.org/10.5902/2179460X20256>
- SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. *Cadastro central de empresas*. Banco de tabelas, tabela 993 - Empresas e outras organizações. Brasil: SIDRA, 2017a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/993>. Acesso em: 19 jul. 2020.
- SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. *Censo agropecuário*. Banco de tabelas, tabela 3939 - Efetivo dos rebanhos. Brasil: SIDRA, 2017b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: 19 jul. 2020.
- SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. *Censo agropecuário*. Banco de tabelas, tabela 6722 - Área dos estabelecimentos por utilização de terras. Brasil: SIDRA, 2017c. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017>. Acesso em: 19 jul. 2020.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). *Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos*. Brasil: SNIS, 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- STAMM, C.; STADUTO, J.A.R.; LIMA, J.F.D.; WADI, Y.M. A população urbana e a difusão das cidades de porte médio no Brasil. *Interações*, v. 14, n. 2, p. 251-265, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1518-70122013000200011>
- UEDA, A.C.; TOMAZ, E. Inventário de emissão de fontes veiculares da região metropolitana de campinas, São Paulo. *Química Nova*, v. 34, n. 9, p. 1496-1500, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000900003>
- VARGAS, R.V. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process-AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In: PMI GLOBAL CONGRESS, 2009. 2010.
- WONG, Y.K.; HUANG, X.H.; CHENG, Y.Y.; LOUIE, P.K.; YU, A.L.C.; TANG, A.W.; CHAN, D.H.L.; YU, J.Z. Estimating contributions of vehicular emissions to PM_{2.5} in a roadside environment: A multiple approach study. *Science of The Total Environment*, v. 672, p. 776-788, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.463>
- WHO air quality guidelines global update 2005. Genebra: WHO, 2005. Disponível em: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/147851/E87950.pdf. Acesso em: 29 jul. 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *World Health Statistics 2016: Monitoring health for the SDGs*. Genebra: WHO, 2016. Disponível em: https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/en/. Acesso em: 14 mar. 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals*. Genebra: World Health Organization, 2019. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/324835>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- YANG, H.H.; DHITAL, N.B.; WANG, Y.F.; HUANG, S.C.; ZHANG, H.Y. Effects of short-duration vehicular traffic control on volatile organic compounds in roadside atmosphere. *Atmospheric Pollution Research*, v. 11, n. 2, p. 419-428, 2020.
- YU, Y.; DENG, Y.-R.; CHEN, F.-F. Impact of population aging and industrial structure on CO₂ emissions and emissions trend prediction in China. *Atmospheric Pollution Research*, v. 9, n. 3, p. 446-454, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.11.008>
- YU, Y.; LIU, H. Economic growth, industrial structure and nitrogen oxide emissions reduction and prediction in China. *Atmospheric Pollution Research*, v. 11, n. 7, p. 1042-1050, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.03.011>
- ZHANG, X.; CHEN, X.; ZHANG, X. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n. 37, p. 9193-9197, 2018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809474115>
- ZHENG, H.; GAO, X.; SUN, Q.; HAN, X.; WANG, Z. The impact of regional industrial structure differences on carbon emission differences in China: An evolutionary perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 257, 120506, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120506>