

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS - CCNE
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTATÍSTICA MODELAGEM E
QUANTITATIVA**

CÍNTIA MORALLES CAMILLO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FATORES POLUENTES E
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO PERÍODO DE 2010 A 2015**

**Santa Maria, RS
2016**

Cíntia Moralles Camillo

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FATORES POLUENTES E VARIÁVEIS
CLIMÁTICAS NO PERÍODO DE 2010 A 2015**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Estatística Modelagem e Quantitativa da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Estatística e Modelagem Quantitativa.**

Orientador: Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza

**Santa Maria
2016**

Cíntia Moralles Camillo

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FATORES POLUENTES E VARIÁVEIS
CLIMÁTICAS NO PERÍODO DE 2010 A 2015**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Estatística Modelagem e Quantitativa da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Estatística e Modelagem Quantitativa.**

Aprovado em 12 de dezembro de 2016:


Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Luciane Flores Jacobi, Dra. (UFSM)


Roselaine Ruviano Zanini, Dra. (UFSM)

Santa Maria
2016

RESUMO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FATORES POLUENTES E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO PERÍODO DE 2010 A 2015

AUTORA: Cíntia Moralles Camillo
ORIENTADOR: Adriano Mendonça Souza

É possível observar que, ao longo dos últimos anos, é crescente a preocupação da população acerca dos possíveis efeitos adversos à saúde causados pela exposição à poluição do ar, particularmente nas grandes metrópoles. O presente estudo, objetiva realizar um estudo estatístico sobre poluição do ar e condições climáticas, por meio da Análise Multivariadas aplicando Análise de agrupamentos e Análise Fatorial. Para tal, inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática de artigos do período entre 2010 a 2015, que serviu de embasamento teórico para o estudo. Pode-se verificar por meio da Análise Multivariada que as condições climáticas influenciam na poluição atmosférica.

Palavras-chave: Análise Multivariada. Análise de Agrupamento. Análise Fatorial. Poluição Atmosférica. Revisão Sistemática.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE INTERRELATION OF POLLUANT FACTORS IN THE HUMAN HEALTH BASED ON A SYSTEMATIC REVIEW FROM 2010 TO 2015

AUTHOR: CÍNTIA MORALLES CAMILLO
ADVISOR: ADRIANO MENDONÇA SOUZA

It is possible to observe that, in the last years, the population's concern about the possible adverse effects to the health caused by the exposure to the air pollution, particularly in the great metropolises, has grown. The present study aims to perform a statistical study on air pollution and climatic conditions, through the Multivariate Analysis applying cluster analysis and Factor Analysis. To do this, a systematic review of articles from the period between 2010 and 2015 was carried out, which served as a theoretical basis for the study. It can be verified through the Multivariate Analysis that climatic conditions influence atmospheric pollution.

Keywords: Multivariate analysis. Group Analysis. Factor analysis. Atmospheric pollution. Systematic review.

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de distâncias.....	20
Quadro 2 - Planejamento de uma análise fatorial em três estágios.....	26
Quadro 3 - Dados das estações meteorológicas.....	29
Quadro 4 - Valores de concentração dos poluentes.....	30

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Planejando as fases do processo de revisão sistemática.....	15
Figura 2 -	Métodos de aglomeração.....	22
Figura 3 -	Esquema da aplicação da Análise de Componentes Principais.....	24
Figura 4 -	Representação gráfica dos autovalores e autovetores.....	24
Figura 5 -	Índice de Precipitação Padronizada (SPI)	29
Figura 6 -	Dados sobre morbidade no aparelho respiratório, no ano de 2010.....	37
Figura 7 -	Dendrograma envolvendo as variáveis em estudo (poluentes e condições climáticas)	39
Figura 8 -	Relação entre os fatores 1 e 2 (poluentes em suspensão e poluentes derivados de CO ₂) com rotação Varimax.....	43
Figura 9 -	Relação entre os fatores 1 e 2 (poluentes e condições climáticas com rotação Varimax.....	45
Figura 10 -	Círculo de Correlação Unitária das Variáveis.....	46

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais doenças, poluentes, variações de temperatura e umidade relativa do ar (2010-2015).....	33
Tabela 2 -	Estatística Descritiva dos poluentes.....	35
Tabela 3 -	Médias anuais da umidade relativa do ar (UR), precipitação (PREC) e temperatura do ar (TA)	36
Tabela 4 -	Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente.....	40
Tabela 5 -	Resultado dos autovetores.....	40
Tabela 6 -	Correlações entre as variáveis originais e os componentes principais...	41
Tabela 7 -	Composição dos fatores Varimax Normalizada.....	42
Tabela 8 -	Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente.....	43
Tabela 9 -	Resultado dos autovetores (poluentes e condições climáticas)	44
Tabela 10 -	Matriz de correlação entre as variáveis originais e os componentes principais (poluentes e condições climáticas)	44
Tabela 11 -	Composição dos fatores Varimax Normalizada.....	45
Tabela 12 -	Matriz de Correlação entre O ₃ , CO ₂ , PM ₁₀ e PREC.....	47
Tabela 13 -	Matriz de Correlação entre UR, PTS, NO ₂ e SO ₂	48

LISTAS DE ABREVIATURAS

AA	Análise de Agrupamento
AF	Análise Fatorial
ACP	Análise Componentes Principais
APHEA	<i>Agency for Public Health Education Accreditation</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO	Monócito de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EUA	Estados Unidos da América
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente
IIMR	Instrumento de Identificação de Municípios de Risco
INEA	Instituto Nacional do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LILACS	Biblioteca Virtual em Saúde
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
OMS	Organização Mundial de Saúde
O ₃	Ozônio
PM ₁₀	Partículas inaláveis
PNQA	Plano Nacional de Qualidade do Ar
PREC	Precipitação
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SEMA	Secretária do Meio Ambiente de Mato Grosso
SEMARH	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TA	Temperatura do Ar
UR	Umidade Relativa do Ar
VIGIAR	Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade do Ar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
1.3	JUSTIFICATIVA.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA.....	14
2.2	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	16
2.2.1	Poluição atmosférica, meio ambiente e saúde	16
2.3	MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS.....	20
2.3.1	Análise de Agrupamento ou Cluster (AA)	20
2.3.2	Análise de Componentes Principais (ACP)	23
2.3.3	Análise Fatorial (AF)	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	REVISÃO SISTEMÁTICA.....	32
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
4.2.1	Estatística Descritiva	35
4.2.2	Análise de Agrupamentos (AA)	37
4.2.3	Análise Fatorial (AF)	39
5	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial trouxe muitas consequências para a humanidade e para o meio ambiente e foi a partir daí que a poluição passou a causar problemas. É sabido que a poluição sempre existiu, mas o grau de poluição aumentou muito com a industrialização e urbanização, tornando-se um problema mundial. Nas grandes cidades, a poluição do ar tornou-se uma grave ameaça à qualidade de vida da população, trazendo consequências graves para a saúde, principalmente para idosos e crianças (TESTA, 2015).

É preciso considerar que o mundo vive uma intensa era tecnológica, inúmeras atividades econômicas, grandes concentrações humanas em algumas cidades, implicando diretamente em lançamento de poluentes no meio ambiente. A própria aglomeração urbana por si só, já é uma fonte de poluição, com o acúmulo de lixo, o enorme volume de esgotos nas cidades e o tráfego de veículos. Com isso surgiram muitas doenças, como os problemas respiratórios, cardíacos, alergias, irritações e câncer que são exemplos de agravos que trazem prejuízos a qualidade de vida da população exposta. Os efeitos dos poluentes sobre a saúde das pessoas podem ser agudos ou crônicos, manifestando-se após um curto espaço de tempo ou até mesmo após anos ou décadas (ARBEX, et al., 2012).

Diversos estudos já foram desenvolvidos para avaliar a associação entre a poluição do ar e os casos de morbidade e/ou mortalidade humana em diversas partes do mundo, mostrando que a poluição atmosférica está, diretamente, relacionada a mortes e internações hospitalares. Episódios de poluição excessiva causaram o aumento no número de mortes em algumas cidades na Europa e nos Estados Unidos (BRAGA, PEREIRA, SALDIVA, 2002; VIGIAR, 2006).

Como resultado das altas concentrações de material particulado (PM₁₀) e outros poluentes pode-se dizer que a poluição do ar possui diversas causas e pode ser agravada pela ocorrência de fatores climáticos que dificultam a dispersão dos poluentes, piorando a qualidade do ar (SALDIVA, 2008).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), mais de 7 milhões de pessoas morrem anualmente por causa da contaminação do ar. Apenas 12% da população mundial vive em cidades consideradas com ar limpo, e metade dos habitantes do planeta está em locais onde as taxas de poluição são mais de duas vezes a taxa considerada como razoável pela OMS. As estatísticas apontam que uma

a cada oito mortes no mundo está relacionada com a exposição a ambientes contaminados.

Vários estudos realizados no Brasil, tem mostrado resultados importantes que determinam as principais doenças relacionadas a poluição, existência de grupos e fatores de risco, facilitando o direcionamento das políticas públicas voltadas à resolução do problema ambiental em questão (ROMAN et al., 2015).

No ano de 2012, as doenças respiratórias foram responsáveis por mais de 1,3 milhão de internações no Brasil, sendo que em São Paulo foram cerca de 240 mil, gerando custos da ordem de R\$ 1,3 bilhão. Neste mesmo ano foram relatadas 125 mil mortes por doenças respiratórias, 34 mil em São Paulo (PAIVA, 2014).

Segundo os pesquisadores Lim et al. (2012), no ano de 2000, 800 mil pessoas morreram afetadas pela poluição do ar em todo o mundo, já em 2010, atingiu-se um novo recorde, 3,2 milhões de pessoas vieram a óbito devido a poluição do ar.

Apesar dos esforços empreendidos, das fortes campanhas para a redução de poluentes, os padrões de qualidade do ar são frequentemente ultrapassados. No Brasil, assim como em diversos países, existem padrões de qualidade do ar, estabelecendo limites de tolerância, para assegurar que a população tenha uma melhor qualidade de vida. E como resposta a problemas enfrentados referente a poluição o Ministério da Saúde (MS), por meio da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, estruturou a partir de 2001, o Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade do Ar (Vigiar).

O Vigiar tem como objetivo a promoção da saúde e o desenvolvimento de ações de vigilância para populações expostas a poluentes atmosféricos. Seu campo de atuação prioriza as regiões onde existam diferentes atividades de natureza econômica ou social provenientes de poluições atmosféricas, sejam provenientes de regiões metropolitanas, onde os principais agentes são os veículos automotores, sejam oriundos de centros industriais, áreas sob o impacto de minerações ou áreas sob a influência da queima de biomassa. Para atuação o Vigiar utiliza o Instrumento de Identificação de Municípios de Risco (IIMR) e a estratégia de Unidade Sentinela como principais ferramentas para uma melhor vigilância.

1.2 OBJETIVOS

Para responder ao problema de pesquisa foram propostos os seguintes objetivos:

1.2.1 Objetivo geral

Será realizada uma revisão sistemática, com o objetivo de servir de embasamento teórico para o estudo estatístico por meio da análise multivariada. Relacionando as variáveis poluentes mais expressivas de acordo com o *site* do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), nas cidades: Recife/PE, São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ, Belo Horizonte/BH, Porto Alegre/RS, Salvador/BA, Curitiba/PR e Vitória/ES, no período de 1995 a 2010.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) realizar uma revisão sistemática de artigos sobre a poluição do ar como fator de risco para saúde, as variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar, no período entre 2010 a 2015, a fim de detectar quais os poluentes e doenças foram estudadas, e se a temperatura do ar e a umidade foram significativas para os estudos analisados.
- b) realizar a análise multivariada, aplicando a análise de agrupamentos e análise fatorial. Onde as variáveis que representam os poluentes são: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PM_{10}), Dióxido de Enxofre (SO_2), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Ozônio (O_3) e Dióxido de Carbono (CO_2) e as variáveis condições climáticas: temperatura do ar (TA), umidade relativa do ar (UR) e precipitação (PREC).

1.3 JUSTIFICATIVA

O presente estudo aborda um tema atual que atinge parte significativa da população, partindo do pressuposto de que todos na sociedade devem e têm a responsabilidade de contribuir com o processo de mudança para um novo padrão de comportamento frente aos recursos naturais, que são elementos da natureza essenciais para a sobrevivência do ser humano. Tais recursos como a água, vento, energia solar, o solo, as florestas, os minérios, dentre outros.

Os resultados deste estudo permitirão analisar como os poluentes Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PM_{10}), Dióxido de Enxofre (SO_2), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Ozônio (O_3) e Dióxido de Carbono (CO_2) e as variáveis condições climáticas: temperatura do ar (TA), umidade relativa do ar (UR) e precipitação pluviométricas (PREC), interferem na qualidade de vida da população brasileira. Verificando também se a análise multivariada consegue captar o inter-relacionamento entre os poluentes e as variáveis climáticas.

Para a sociedade esse tema é de grande importância, uma vez que esta abordagem permite uma reflexão profunda sobre o problema. Adotar um modo consciente de mudança de hábitos no dia a dia é adotar uma mudança de comportamento, algo que leva tempo e amadurecimento do ser humano, mas é acelerada quando a sociedade busca novos caminhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a revisão teórica realizada a partir da literatura visando subsidiar o desenvolvimento do trabalho o qual está dividido em duas partes. Primeiramente, aborda-se a revisão sistemática e logo após a análise estatística.

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

A revisão sistemática (RS) é uma forma de pesquisa que se utiliza como fonte de dados a literatura. Este tipo de estudo, possibilita um resumo das evidências de estratégias de intervenção específica. A RS pode ser formalmente planejada e executada de maneira metódica, dessa forma garante a reprodutibilidade da pesquisa, proporcionando maior credibilidade científica (LINS et al., 2016).

A revisão sistemática é reconhecida por ser metódica, transparente e ser replicável, conforme argumentam Cook et al. (1997) e Cooper (1998). Na área da medicina e suas inúmeras subáreas, o uso de revisão sistemática é constante, e recentemente começa a ganhar adeptos nas pesquisas em gestão e outras áreas do conhecimento (TRANFIELD et al., 2003). Isso pode ser confirmado por artigos recentes como o estudo de (DYBA e DINGSOYR 2008).

Medina e Pailaquilén (2010, p. 7) acreditam que a revisão sistemática vem sendo utilizada como método para suprir a lacuna da falta de conclusão deixada pelas revisões narrativas, resumindo os dados existentes, refinando hipóteses, estimando tamanhos de amostra e ajudando a definir agendas de trabalho futuro considerados como seus sujeitos.

Para Levy e Ellis (2006), conhecer o atual estágio do corpo de conhecimentos sobre o assunto que se pretende estudar é o primeiro passo em um projeto de pesquisa. Assim, uma revisão bibliográfica sistemática é útil para (LEVY e ELLIS, 2006):

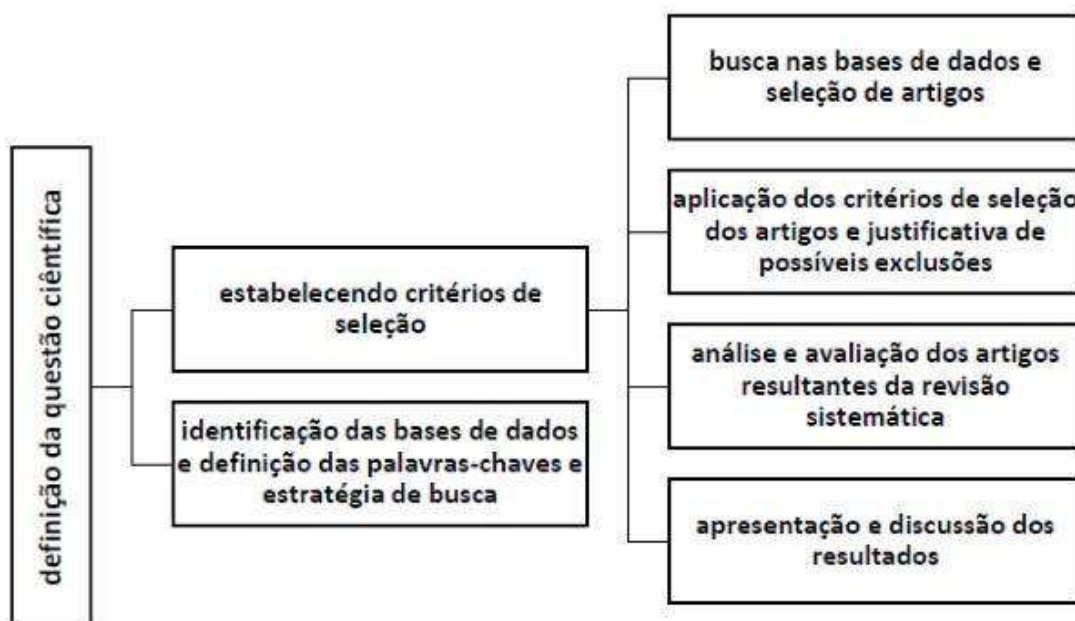
- ajudar o pesquisador no dimensionamento e compreensão do corpo de conhecimento referente a um determinado assunto, incluindo identificar pesquisas que já foram realizadas, o que falta pesquisar, quais são as lacunas;
- prover um embasamento teórico sólido para o estudo proposto, como complemento ao item anterior;

- prover evidência e o devido embasamento para o problema de pesquisa que guiará a investigação;
- apresentar as devidas justificativas para a condução do estudo, e qual a contribuição original para o corpo de conhecimento e/ou teoria;
- contribuir para melhor definir e estruturar o método de pesquisa, objetivos e questões para o estudo proposto.

Na Figura 1 é ilustrado o planejamento das etapas do processo da revisão sistemática.

Sampaio e Mancini (2006) destacam que a revisão sistemática é um tipo de estudo que serve para nortear o desenvolvimento de projetos, indicando novos rumos para futuras investigações e identificando quais métodos de pesquisa foram utilizados em uma área.

Figura 1 - Planejando as fases do processo de revisão sistemática



Fonte: Adaptado de Sampaio e Mancini (2007).

A revisão sistemática da literatura é adequada para buscar consenso sobre alguma temática específica e sintetizar o conhecimento de uma dada área por meio da formulação de uma pergunta, identificação, seleção e avaliação crítica de estudos científicos contidos em bases de dados eletrônicas. Assim, revisões sistemáticas bem estruturadas podem auxiliar na atualização e construção de novas diretrizes para

atuação profissional ou ida a campo em busca de soluções para artigos originais (GOMES e CAMINHA, 2014).

2.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Dentre os diferentes tipos de poluição observados no meio ambiente, a contaminação do ar atmosférico, tem sido tema de constantes discussões e estudos científicos, nas últimas décadas. A poluição do ar, tem sido vista como fator de risco direto para a saúde humana, assim como para o ecossistema.

2.2.1 Poluição atmosférica, meio ambiente e saúde

O ar poluído é uma mistura de partículas - material particulado (MP_{10}) - e gases de partículas sólidas (poeiras, fuligens e fumaças), que são emitidos para a atmosfera, principalmente, por indústrias, veículos automotivos, termoelétricas, queima de biomassa e de combustíveis fósseis. Os poluentes podem ser classificados em primários e secundários. Os poluentes primários são emitidos diretamente para a atmosfera, como por exemplo o monóxido de carbono (CO), e os secundários como o ozônio (O_3), são resultantes de reações químicas entre os poluentes primários.

Conhecida como a camada de gases que envolve e protege a Terra, a atmosfera é composta pelo conjunto de vários gases, entre os principais tem-se: o nitrogênio (N_2), o oxigênio (O_2), o argônio (Ar) e o gás carbônico (CO_2). Em porcentagens menores, tem-se neônio, hélio, criptônio, xenônio, hidrogênio, metano, dióxido de nitrogênio (NO_2) e entre estes o ozônio (O_3) responsável por impedir que os raios ultravioletas incidam diretamente sobre a superfície e que venham a provocar efeitos danosos ao meio ambiente (BRAGA et al., 2005).

Um dos principais fatores para o aumento da poluição, indiscutivelmente, é o processo acelerado da urbanização, sem um planejamento prévio. Criando problemas ambientais, repercutindo na qualidade de vida dos habitantes de áreas urbanas, atingindo inclusive a área rural. Atualmente, aproximadamente 50% da população do planeta vive em cidades e aglomerados urbanos e estão expostas a níveis progressivamente maiores de poluentes do ar (SALVI e BARNES, 2009).

As estações de monitoramento, são responsáveis pelos boletins e relatórios da qualidade do ar, mas nem sempre estão atualizadas. A estação do IEMA (Instituto

Estadual de Meio Ambiente do Espírito Santo), disponibiliza relatórios pela *website*, a SEMARH (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás) disponibiliza informações por meio de boletins mensais da qualidade do ar, a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul), oferece boletins diários, porém algumas estações carecem de registros de dados e seus relatórios também não possuem atualização. O IBRAM (Instituto Brasília Ambiental do Distrito Federal) disponibiliza boletins mensais com dados semanais do monitoramento, a SEMA (Secretária do Meio Ambiente de Mato Grosso), oferece boletins diários da qualidade do ar por modelagem, e a FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais), disponibiliza dados diários da qualidade do ar, o IAP (Instituto Ambiental do Paraná), produz boletins mensais com dados diários da qualidade do ar atualizados e relatórios anuais, e o INEA (Instituto Nacional do Ambiente do Rio de Janeiro), além de boletins mensais, produz dados por meio de relatórios anuais, (VORMITTAG, E. et al., 2014).

Conforme o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), os poluentes podem ser divididos em duas categorias, os poluentes primários que são aqueles diretamente emitidos pelas fontes de poluição e os poluentes secundários, aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e os constituintes naturais da atmosfera.

A determinação sistemática da qualidade do ar, fontes e efeitos, de alguns poluentes, segundo o CONAMA, se dá pela medição dos seguintes parâmetros:

- **Material Particulado Total em Suspensão, Fumaça e Partículas Inaláveis**
 - Estes Indicadores representam o material sólido emitido pelas fontes poluidoras ou em suspensão na atmosfera (poeira, fumaça, fuligem), sendo o tamanho das partículas sólidas o critério utilizado para sua classificação. Partículas mais grossas ficam retidas no nariz e na garganta, provocando incômodo e irritação, além de facilitar que doenças, como a gripe, se instale no organismo. Poeiras mais finas podem causar danos às partes internas do aparelho respiratório, carregando partículas e outros poluentes para os alvéolos pulmonares e provocando efeitos mais severos do que os causados pelos poluentes de forma isolada. Caso as pessoas permaneçam em locais muito poluídos por material particulado, ficam mais vulneráveis a uma crise aguda de doenças respiratórias.

- **Dióxido de Enxofre (SO₂)** - A emissão de dióxido de enxofre está, principalmente, relacionada com o uso de combustíveis de origem fóssil contendo enxofre, tanto em veículos quanto em instalações industriais. Sendo um gás altamente solúvel nas mucosas do trato aéreo superior, pode provocar irritação e aumento na produção de muco. Outro efeito relacionado ao dióxido de enxofre refere-se ao fato de ser este um dos poluentes precursores da chuva ácida, efeito global de poluição atmosférica responsável pela deterioração de diversos materiais, acidificação de corpos d'água e destruição de florestas.
- **Monóxido de Carbono (CO)** - A emissão de monóxido de carbono está relacionada, principalmente, com o processo de combustão tanto em fontes móveis, motores à gasolina, diesel ou álcool, quanto de fontes fixas industriais. Os efeitos da exposição dos seres humanos ao monóxido de carbono estão associados à capacidade de transporte de oxigênio na combinação com a hemoglobina do sangue, uma vez que a afinidade da hemoglobina pelo monóxido de carbono é 210 vezes maior que pelo oxigênio. Baixos níveis de carboxihemoglobina, podem trazer graves consequências aos seres humanos.
- **Ozônio (O₃)** - O ozônio é um gás invisível, com cheiro marcante, composto por três átomos de oxigênio, altamente reativo que está presente na alta atmosfera e na superfície. Quando presente nas altas camadas da atmosfera nos protege dos raios ultravioletas do sol, quando formado próximo ao solo comporta-se como poluente. É o principal representante do grupo de poluentes designados genericamente por oxidantes fotoquímicos, sendo formado pela reação dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio presentes no ar, sob ação da radiação solar. Pode causar irritação dos olhos, redução da capacidade pulmonar, agravamento de doenças respiratórias, interferência na fotossíntese e danos às obras de arte e estruturas metálicas.
- **Dióxido de Nitrogênio (NO₂)** - É formado pela reação do óxido de nitrogênio e do oxigênio reativo, presentes na atmosfera. Pode provocar irritação da mucosa do nariz manifestada através de coriza e danos severos aos pulmões, semelhantes aos provocados pelo enfisema pulmonar. Além dos efeitos diretos à saúde, o dióxido de nitrogênio também está relacionado à formação do ozônio e da chuva ácida.

A poluição do ar tem sido, desde a primeira metade do século XX, um grave problema nos centros urbanos, com a presença cada vez maior dos veículos motorizados e que vieram a somar com as indústrias, como fontes poluidoras. Além de provocarem efeitos na saúde da população e no meio ambiente, os problemas causados pela poluição do ar acabam refletindo na economia e na qualidade de vida dos brasileiros.

Entre os dez principais agentes de poluição com influência no meio ambiente e na saúde, classificados pela Organização das Nações Unidas, estão substâncias como metais, petróleo, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Existem leis e normas que estabelecem a quantidade permitida desses poluentes no ar, mas infelizmente nem sempre são respeitadas.

A concentração de substâncias tóxicas no organismo humano, podem trazer sérias consequências, como doenças respiratórias, cardíacas, e até mesmo a morte.

A literatura biomédica está repleta de estudos sobre os efeitos agudos da poluição do ar sobre a saúde (BRUNEKREEF e HOLTGATE, 2002). A maior ênfase é dada a dois desfechos: mortalidade e internações hospitalares.

Mortalidade e internações hospitalares por doenças respiratórias, e exposição à poluição do ar tem sido investigada, de forma mais sistemática, desde o começo da década de 1990, (SCHWARTZ e DOCKERY, 1992). O projeto APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach), envolvendo 43 milhões de pessoas em 29 cidades europeias, analisou as internações hospitalares por asma e doença pulmonar obstrutiva crônica entre indivíduos com mais de 65 anos e encontrou um aumento de 1% (intervalo de confiança IC95%: 0,4 - 1,5) nas internações por doença pulmonar obstrutiva crônica para um aumento de 10 g/m³ na concentração de Partículas Inaláveis (PM₁₀) (ATKINSON et al., 2001).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2009), realizou uma pesquisa estatística nos Estados Unidos e Canadá, no qual as partículas inaláveis (PM₁₀), encontra-se relacionada com a mortalidade total, mortalidade cardiovascular e respiratória, relacionados com poluição do ar. Os resultados demonstram que para cada 10µg/m³, na concentração de partículas inaláveis (PM₁₀), o risco de morte aumenta 0,21%.

A partir do Compromisso pela Qualidade do Ar e Saúde Ambiental, o Governo Federal do Brasil, assumiu a responsabilidade de trazer à reflexão as necessidade e

desafios deste tema, que visem a proteção da qualidade do ar e da saúde ambiental do país, como parte integrante de um Plano Nacional de Qualidade do Ar (PNQA), concebido de forma coletiva, com os Estados e com as demais instituições. Com o objetivo primordial de "proteger o meio ambiente e a saúde humana dos efeitos da contaminação atmosférica, por meio da implantação de uma política contínua e integrada de gestão da qualidade do ar no país", o Ministério do Meio Ambiente se propôs a atualizar os marcos normativos destinados à gestão, adotar medidas preventivas e corretivas, e permitir a retomada de políticas públicas que corrijam as assimetrias nacionais profundas no trato desse tema (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

2.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS

A aplicação da estatística está presente em quase todas as áreas do conhecimento, auxiliando na organização, análise dos dados e interpretação, melhorando a qualidade dos resultados e ajudando na tomada de decisão e possibilitando uma previsão de futuras ocorrências.

Os métodos de análise de dados multivariados são amplamente utilizados quando se deseja promover a redução do número de variáveis com o mínimo de perda de informação (ANDRADE et al., 2007; HELENA et al., 2000).

A associação entre as variáveis que influenciam a qualidade do ar, tais como: os poluentes, a temperatura, a umidade e a precipitação, nas cidades estudadas no presente trabalho, foram identificadas mediante o uso da análise estatística multivariada, por meio da Análise de Agrupamento e da Análise Fatorial. Para a análise dos dados utilizou-se o *software Statistica®*, versão 10.0.

2.3.1 Análise de Agrupamento ou *Cluster* (AA)

Análise de agrupamento, ou *cluster*, é o nome dado para o grupo de técnicas estatísticas, cujo propósito consiste em separar objetos em grupos, baseando-se nas características que estes objetos possuem. A ideia básica consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado. Esse critério baseia-se em dissimilaridade, função esta que define a

distância entre dois objetos. Para Hair et al. (2006, p. 555) a “análise de conglomerados agrupa indivíduos ou objetos em clusters de modo que objetos em um mesmo cluster são mais parecidos entre si do que em relação a outros clusters”.

Cada objeto representa uma entrada de dados que pode ser constituída por um vetor de atributos que são campos numéricos ou categóricos (GORDON, 1981).

Uma análise de *cluster* criteriosa exige métodos que apresentem as seguintes características (ZAIANE, 2003):

- Ser capaz de lidar com dados com alta dimensionalidade;
- Ser “escalável” com o número de dimensões e com a quantidade de elementos a serem agrupados;
- Ter habilidade para lidar com diferentes tipos de dados;
- Ter capacidade de definir agrupamentos de diferentes tamanhos e formas;
- Exigir o mínimo de conhecimento para a determinação dos parâmetros de entrada;
- Ser robusto à presença de ruído;
- Apresentar resultado consistente, independente da ordem em que os dados são apresentados.

A maioria dos métodos da análise de agrupamentos requer uma medida de similaridade entre os elementos a serem agrupados, normalmente expressa como uma função distância, para tal se deve escolher a que melhor se adapta no estudo.

No quadro 1 estão citados alguns tipos de distância utilizadas em análise de aglomeração, como: Distância Euclidiana, Euclidiana Quadrada, City-block (Manhattan) e Percentagem de Discordância.

Quadro 1 –Tipos de distâncias

Tipo de distância	Fórmula	Observações
Euclidiana	$D(x,y)=\{\sum_i(x_i-y_i)^2\}^{1/2}$	Usa dados brutos. Não é afetada por adição, mas por mudança de escala.
Euclidiana quadrada	$D(x,y)=\sum_i(x_i-y_i)^2$	Quando se quer colocar maior peso nos objetos que estão mais separados.
City-block (Manhattan)	$D(x,y)=\sum_i x_i-y_i $	Semelhante à distância Euclidiana simples.
Percentagem de discordância	$D(x,y)=\text{número de } \sum_i(x_i \neq y_i)/i$	Útil se os dados incluídos na análise são categóricos (ou nominais) por natureza.

Fonte: Próprio autor

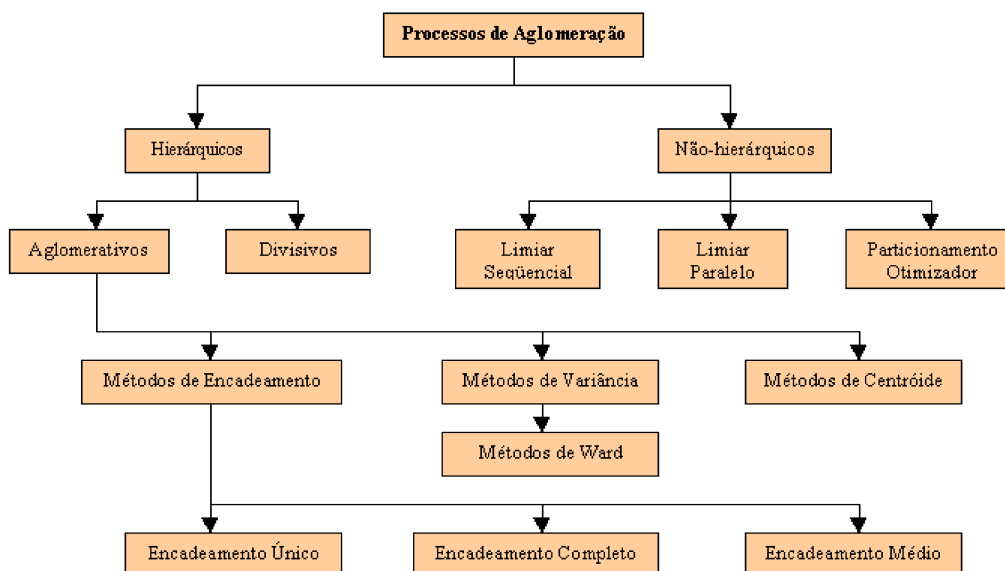
A análise de agrupamento consiste em uma série de sucessivos agrupamentos ou sucessivas divisões de elementos, onde os elementos são agregados ou desagregados. Os métodos hierárquicos são subdivididos em métodos aglomerativos e divisivos.

Os métodos hierárquicos, são geralmente representados por um diagrama bidimensional chamado de dendrograma. Neste diagrama, cada ramo representa um elemento, enquanto a raiz representa o agrupamento de todos os elementos.

Existe uma variedade de métodos aglomerativos, que são caracterizados de acordo com o critério utilizado para definir as distâncias entre grupos. Entretanto, a maioria dos métodos parecem ser formulações alternativas de conceitos de agrupamento aglomerativo (ANDERBERG, 1973).

Como pode-se observar na Figura 2, os processos de agrupamento podem ser divididos em dois grupos, hierárquicos ou não-hierárquicos. Os métodos hierárquicos são divididos em aglomerativos e divisivos. O objetivo é reunir em grupo os objetos que tem maior similaridade entre si. Para calcular a similaridade, segundo Valentin (2001) o método de cálculo depende do método de aglomeração escolhido.

Figura 2 - Métodos de aglomeração



Fonte: Malhotra (2001)

Conforme Vincini (2005), os métodos aglomerativos são de uso comum e são constituídos de métodos de encadeamento, métodos de erros de somas de quadrados, ou métodos de variância e métodos centróides. Os métodos de

encadeamento podem ser: único (*Single Linkage*), completo (*Complete Linkage*), médio, de variância, centroide, métodos não hierárquicos, limiar sequencial e paralelo.

A escolha do método de aglomeração e a escolha da medida da distância estão inter-relacionadas. Segundo Malhota (2001), quando se usa quadrados das distâncias euclidianas deve-se usar os métodos de Ward e dos centróides.

Por fim, busca-se validar os resultados por meio da análise de agrupamento. A validação consiste em garantir que a solução encontrada seja representativa. Visto que, por meio da análise de agrupamentos é possível agrupar os poluentes e as variáveis condições climáticas por similaridade, e pela dissimilaridade saber a distância destas variáveis.

2.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

O método de Análise de Componentes Principais é um dos mais usados para resolver problemas clássicos de Análise Fatorial. Esta análise permite a redução do número de variáveis facilitando a extração de informações (ANDRADE et al., 2007).

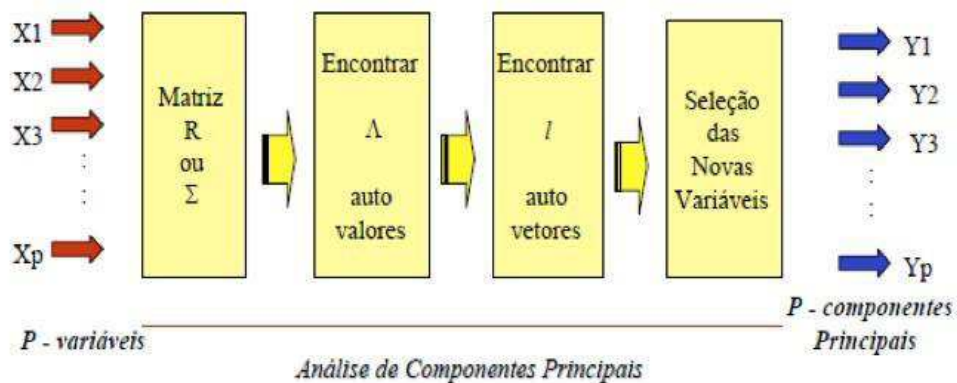
A ACP é bastante útil quando os vetores de características têm muitas dimensões, quando uma representação gráfica não é possível, mas também pode ser útil em dimensões menores.

A importância de um componente principal é avaliada por meio de sua contribuição, isto é, pela proporção de variância total explicada pelo componente. A soma dos primeiros “k” autovalores representa a proporção de informação retida na redução de p para “k” dimensões. Com essa informação se pode decidir quantos componentes deve-se usar na análise, isto é, quantos componentes serão utilizados para diferenciar os indivíduos. Segundo Regazzi (2000) para aplicações em diversas áreas do conhecimento o número de componentes utilizados tem sido aquele que acumula 70% ou mais de proporção da variância total.

Segundo Varella (2008) se o objetivo da análise é comparar ou agrupar indivíduos, a análise continua e é necessário calcular os escores para cada componente principal que será utilizado na análise.

A Análise de Componentes Principais nada mais é que o cálculo dos autovalores e autovetores de uma matriz de variâncias, covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis, conforme na Figura 3.

Figura 3 - Esquema da aplicação da Análise de Componentes Principais

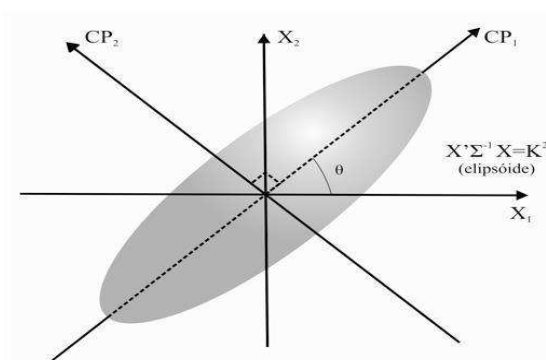


Fonte: Adaptado de Souza, 2000.

Quando as variáveis, devido a escalas diferentes de mensurações empregadas, não podem ser diretamente comparadas, torna-se necessário a padronização, de modo que as variáveis transformadas passem a ter média zero e variância unitária, tornando-se idênticas, acarretando uma forte influência na estrutura da matriz de variâncias e covariâncias. A análise dos componentes principais consiste numa transformação linear, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante e assim por diante, até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada, (TINO, F. V., 2005).

Supondo-se que na Análise de Componentes Principais que será realizada exista apenas duas variáveis X1 e X2, conforme ilustra a Figura 4, será se observada o elipsóide de densidade de probabilidade constante.

Figura 4 - Representação gráfica dos autovalores e autovetores



Fonte: Adaptado de Lopes (2001)

Segundo Johnson e Wichern (1992) e mais recentemente Lopes (2001), o primeiro componente corresponde ao maior eixo da elipse (CP_1) e o comprimento desse eixo é proporcional a $\sqrt{\lambda_1}$. O eixo de menor variância (CP_2) é perpendicular ao eixo maior. Esse eixo chama-se segundo componente principal e seu comprimento é proporcional a $\sqrt{\lambda_2}$. Assim, a análise dos componentes principais toma os eixos X_1 e X_2 e coloca-os na direção da maior variabilidade.

Assim, a Análise dos Componentes Principais é um método estatístico linear que calcula os autovalores e autovetores da matriz de covariância dos dados e, com esse resultado, irá possibilitar a redução dimensional dos dados desta pesquisa e a análise dos padrões principais de variabilidade presentes.

Da álgebra matricial, sabe-se que uma transformação ortogonal corresponde a uma rotação dos eixos coordenados. Por esta razão, uma transformação ortogonal das cargas dos fatores, e a transformação consequente dos fatores, é chamada de rotação dos fatores, pode-se então rotacionar esses fatores, por meio da Rotação Varimax (VINCINI, 2005).

A Rotação Varimax é um método de rotação ortogonal e pretende que, para cada componente principal, exista apenas alguns pesos significativos e que todos os outros sejam próximos de zero, isto é, o objetivo é maximizar a variação entre os pesos de cada componente principal. Existem outros métodos de rotação, Quartimax e Equimax, ambos são métodos de rotação. Segundo Amaral (2011), a ideia básica da Rotação Varimax é identificar alguns fatores que possuam variáveis que tenham alta correlação e outros com variáveis que possuam baixa correlação.

Neste contexto, objetivando obter melhores resultados e uma interpretação mais precisa, esta pesquisa utilizará o Método de Rotação Ortogonal Varimax.

2.4.3 Análise Fatorial (AF)

Análise Fatorial é uma técnica de interdependência nas quais todas as variáveis são, simultaneamente consideradas, cada uma relacionada com todas as outras, empregando ainda o conceito da variável estatística, a composição linear de variáveis. No entanto, atribui-se aos trabalhos de Charles Spearman e Karl Pearson os primeiros passos da Análise Fatorial (ZELLER e CARMINES, 1980). Spearman

(1904) testou a hipótese de que diferentes testes de habilidade mental - habilidades em matemática, verbais, raciocínio lógico, entre outras - poderiam ser explicadas por um fator comum de inteligência que ele denominou "g". De acordo com Kaplunovsky (2009) outra contribuição relevante foi feita por Thurstone (1935), ao desenvolver a ideia de *multiple factor analysis*. Dessa forma, o desenvolvimento das diferentes técnicas de análise fatorial pode ser explicado a partir do de diferentes estudos realizados.

De acordo com King (2001) no modelo da AF, há muitas variáveis observadas cujo objetivo é gerar fatores subjacentes não observados, ou seja, a principal função da AF é reduzir e resumir uma grande quantidade de dados.

Quando se aplica a AF é necessário observar quais os requisitos que precisam ser satisfeitos para a sua utilização (TABACHINICK e FIDELL, 2007). No Quadro 2, é sintetizado o planejamento de uma AF em três estágios.

Quadro 2 - Planejamento de AF em três estágios

Procedimentos	O que deve ser observado
Verificar a adequabilidade da base de dados	Nível de mensuração das variáveis, tamanho da amostra e padrão de correlação entre as variáveis.
Determinar a técnica de extração e o número de fatores a serem extraídos	O tipo de extração (principais componentes, principal factors, image factoring, maximum likelihood factoring, alpha factoring, unweight least squares, generalized least squares).
Decidir o tipo de rotação dos fatores	Se for ortogonal (Varimax, Quartimax, Equamax), se for oblíqua (direct oblimin, Promax).

Fonte: Figueiredo Filho et al (2014).

No modelo de Análise Fatorial, cada uma das "n" variáveis representa uma combinação linear de "m" fatores comuns e de um fator específico. Para o i-ésimo indicador tem-se:

$$X_i = \alpha_{i1}F_1 + \alpha_{i2}F_2 + \alpha_{i3}F_3 + \dots + \alpha_{im}F_m + e_i, \text{ onde:} \quad (1)$$

X_i : variáveis observadas, $i = 1, 2, \dots, p$;

α_{ij} : cargas fatoriais associadas ao j-ésimo fator na i-ésima variável;

F_m : fatores comuns, $j = 1, 2, \dots, m$;

e_i : erro que capta a variação não explicada pela combinação linear, específica da variável X_i , com:

$$F_j = W_{j1}X_1 + W_{j2}X_2 + W_{j3}X_3 + \dots + W_{jp}X_p, \text{ sendo:} \quad (2)$$

F_j : estimativa (escore) do j -ésimo fator comum;

W_j : peso ou coeficiente do escore fatorial;

X_i : i -ésima variável de decisão (variável independente);

p : número de variáveis de decisão (variáveis independentes)

Sharma (1996) admite que todos os fatores são variáveis, com média zero e variância unitária. Desta forma, a análise fatorial fornece uma clara compreensão sobre quais variáveis podem atuar juntas e quantas variáveis podem realmente ser consideradas como tendo impacto na análise. Pode-se considerar também que a análise fatorial é uma técnica que, muitas vezes, é utilizada em conjunto com outra técnica multivariada, a Análise de Agrupamento (RODRIGUES, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No primeiro instante, a pesquisa consiste em uma revisão sistemática, afim de servir de fundamentação teórica com base em estudos sobre a associação da poluição do ar, temperatura do ar e umidade relativa do ar. Optou-se por não incluir a precipitação pluviométrica na revisão sistemática devido ao estudo ficar limitado pela falta de artigos que relacionem tal condição climática com a poluição do ar.

Para obtenção dos artigos analisados na revisão sistemática, utilizaram-se os descritores “poluição do ar”, “poluentes”, “temperatura do ar” e “umidade do ar”, na base de dados Scielo (*Scientific Electronic Library Online*) e Lilacs (Biblioteca Virtual em Saúde), o período de pesquisa incluiu artigos publicados de 2010 a 2015.

A inclusão ou exclusão dos artigos foi definida num primeiro instante pela análise dos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos publicados nos portais. Logo após foi realizada a leitura na integra dos estudos pré-selecionados para definir se a publicação se enquadrava ou não no presente estudo.

Para a análise multivariada, os dados sobre os poluentes (PTS, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃, CO₂) foram pesquisados e retirados do *site* do IBGE, do ano de 1995 a 2010, das cidades: Recife/PE, São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ, Belo Horizonte/BH, Porto Alegre/RS, Salvador/BA, Curitiba/PR e Vitória/ES. O período não é o mesmo correspondente ao da revisão sistemática, pois o IBGE só disponibiliza estes dados para o período de 1995 a 2010, a escolha das cidades e dos poluentes deu-se por serem as únicas disponíveis no *site* do IBGE.

Os dados sobre temperatura do ar (TA), umidade relativa do ar (UR) e a precipitação pluviométrica (PREC) foram pesquisados no *site* ICEA (Sistema de Geração e Disponibilização de Informação Climatológicas), também no mesmo período de 1995 a 2010. Decidiu-se incluir a PREC devido a ter mais uma variável de estudo, com o objetivo de explicar melhor se as condições climáticas influenciam na poluição do ar.

Segundo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), é muito difícil ter uma escala para avaliar níveis de precipitação, devido as regiões do país apresentarem períodos do ano com climas bastante diferenciados. O Índice de Precipitação Padronizada (SPI), é um valor que é associado a variável precipitação, tecnicamente, o SPI corresponde ao número de desvios padrão de que a precipitação cumulativa

observada se afasta da média climatológica, para uma variável aleatória com distribuição normal. Segue a figura 5 com os respectivos valores do SPI para a precipitação.

Figura 5 - Índice de Precipitação Padronizada (SPI)

Valores SPI	Categoria
> +2	Extremamente Úmido
+1,50 a +1,99	Severamente Úmido
+1,00 a +1,49	Moderadamente Úmido
-0,99 a +0,99	Próximo a Normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente Seco
-1,50 a -1,99	Severamente Seco
< -2,00	Extremamente Seco

Fonte: INMET

No Quadro 3 são apresentados os dados referentes a cada estação meteorológica do estudo, disponibilizados pelo *site* do ICEA.

Quadro 3 – Dados das estações meteorológicas

Cidade	Estação	Altitude	Latitude	Longitude	Fuso
Belo Horizonte/MG	Pampulha	77	19515	4357W	3
Curitiba/PR	Afonso Pena	910	25315	4911W	3
Porto Alegre/RS	Porto Alegre	4	30005	3111W	3
Recife/PE	Dos Guararapes	11	08085	3455W	3
Rio de Janeiro/RJ	Santos Dumont	3	22545	4310W	3
Salvador/BA	Dep. Luis Eduardo Magalhães	13	12545	3820W	3
São Paulo/SP	Congonhas	789	23375	4639W	3
Vitória/ES	Eurico de Aguiar Salles	3	20155	4017W	3

Fonte: ICEA (Sistema de Geração e Disponibilização de Informação Climatológicas), (2016)

Para a análise multivariada, primeiramente foi realizada a estatística descritiva, afim de verificar a amplitude atribuída as variáveis poluentes e das condições climáticas, bem como a homogeneidade em relação à média, mediana, desvio padrão

e coeficiente de variação, todas as variáveis foram padronizadas. Pelo site do IBGE é disponibilizado uma média mensal por ano da concentração de cada poluente em suas respectivas cidades, no estudo foi realizado uma média anual com o propósito de uma melhor visualização.

Conforme o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1990), são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Para tanto, o CONAMA estabeleceu padrões em que os poluentes não podem passar de certas concentrações, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. E também, estabeleceu padrões mínimos o que seria próximo do ideal, para o bem-estar da população e do meio ambiente. Segue abaixo o Quadro 4, com os respectivos valores de concentração dos poluentes, conforme o CONAMA.

É importante frisar que em 2008, o Estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS (Organização Mundial da Saúde), com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo.

Quadro 4 - Valores de concentração dos poluentes

Poluentes	Máximo	Mínimo	Concentração para o Estado de São Paulo (máximo)
PTS Partículas Totais em Suspensão	80 microgramas (Média anual)	60 microgramas (Média anua)	120 microgramas (Média anual)
CO Monócito de Carbono	10.000 microgramas/9ppm Em 8 horas	40.000 microgramas/35ppm Em 1 hora	10.000 microgramas/9ppm Em 8 horas
SO2 Dióxido de Enxofre	80 microgramas (Média anual)	40 microgramas (Média anual)	60 microgramas (Média anual)
O3 Ozônio	160 microgramas Em 1 hora	160 microgramas Em 1 hora	140 microgramas Em 1 hora
NO2 Dióxido de Nitrogênio	100 microgramas (Média anual)	100 microgramas (Média anual)	260 microgramas (Média anual)

Fonte: CONAMA (1990)

Prosseguindo a pesquisa, foi feito a análise de agrupamento dos dados, utilizando-se então o processo de aglomeração hierárquica, com o método de variância de Ward e distância euclidiana.

Para a verificação da relação entre as variáveis, utilizou-se a Análise Fatorial para derivar os fatores. O primeiro passo para a realização da Análise Fatorial foi determinar os autovalores, e o percentual de explicação de cada fator e também a variância acumulada. Com os resultados dos autovetores, se define a direção dos eixos para a análise de componentes principais.

A obtenção das respostas para o estudo se fez pela interpretação das cargas da matriz rotada (Rotação Varimax). Além disso, os autovalores associados a cada fator e a informação da porcentagem da variação total explicada por cada fator gerado, proporcionam o grau de importância de cada fator na explicação do problema proposto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresenta-se os resultados e discussões relativos a revisão sistemática e a análise multivariadas.

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

É importante observar que a produção científica sobre poluição do ar relacionada a variáveis como doenças e condições climáticas são pouco exploradas. Foram encontrados no total 32 artigos na base de dados Scielo, dos quais quatro se encaixaram nos critérios de inclusão e foram selecionados para a análise. Na base de dados Lilacs, foram encontrados 48 artigos, mas somente quatro se encaixavam nos critérios propostos.

Na Tabela 1 são apresentados os estudos selecionados e que foram realizados no período de 2010 a 2015 e publicados em periódicos nacionais, assim como também são apresentadas as principais doenças, poluentes, poluentes com maior concentração, poluentes com menor concentração, condições climáticas como a temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Roman et al. (2015) avaliaram através de um modelo matemático CATT-BRAMS, a associação de poluentes com doenças respiratórias, o estudo foi realizado na cidade de Taubaté (SP). Os resultados mostraram que é possível associar a exposição ao NO₂ à internação por doença respiratória utilizando dados estimados pelo modelo matemático. Mesmo que a resolução espacial representada pelo modelo não seja a mesma da área de abrangência da população exposta aos poluentes do ar, a utilização deste modelo em cidades onde não há medidores de agências ambientais torna-se uma possibilidade, permitindo aos gestores públicos implantação de políticas de controle da emissão de poluentes.

Paiva (2014) estudou os casos de internação hospitalar por doenças respiratórias associados aos níveis de poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda (RJ). A análise dos resultados indica que a poluição atmosférica, no período estudado está relacionada a internações por doenças respiratórias, principalmente pela exposição dos indivíduos ao monóxido de carbono. A variável temperatura, apresentou significância em relação a ocorrência de doenças respiratórias.

Tabela 1 – Principais doenças, poluentes, variações de temperatura e umidade relativa do ar (2010-2015)

Autor, ano e cidade	Variáveis		Poluentes > Concentração	Poluentes < Concentração	TA	UR
	Doenças	Poluentes				
Evo et al., 2010/Santo André-SP	Insuficiência cardíaca congestiva	PM ₁₀	PM ₁₀	Nada consta	Signif.	Signif.
Cesar, Nascimento e Carvalho 2013/São Paulo-SP	Internação hospitalar por doenças respiratórias	CO, O ₃ , NO ₂ , PM _{2.5}	PM _{2.5}	CO, O ₃ , NO ₂	Signif.	Nada consta
Nardocci et al., 2013/Cubatão-SP	Doença respiratória	PM ₁₀ , NO ₂ , O ₃ , SO ₂	PM ₁₀	SO ₂	Nada consta	Nada consta
Silva et al., 2013/Cuiabá-MT	Doença respiratória	PM _{2.5}	PM _{2.5}	Nada consta	Signif.	Signif.
Paiva, 2014/Volta Redonda/RJ	Internação hospitalar por doenças respiratórias	PM ₁₀ , CO, PTS	CO	PM ₁₀ e PTS	Signif.	Nada consta
Barbosa et al., 2015/São Paulo-SP	Anemia Falciforme	PM ₁₀ , NO ₂ , SO ₂ , CO e O ₃	PM ₁₀ , NO ₂ , SO ₂	CO e O ₃	Signif.	Signif.
Roman et al., 2015/Taubaté/SP	Doença respiratória	CO, PM _{2.5} , O ₃ , NO ₂	NO ₂	PM _{2.5} , CO e O ₃	Nada consta	Nada consta
Tuan, Venâncio e Nascimento, 2015/Cubatão-SP	Doença respiratória	PM ₁₀ , SO ₂ , CO, O ₃	CO, O ₃	PM ₁₀ , SO ₂	Signif.	Signif.

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Cesar, Nascimento e Carvalho (2013) estimaram a associação entre exposição a material particulado com menos de 2,5 micra de diâmetro aerodinâmico e internações por doenças respiratórias em crianças. Os autores realizaram um estudo ecológico de séries temporais com indicadores diários de internação por doenças respiratórias, em crianças de zero a 10 anos de idade, residentes em Piracicaba, São Paulo. Neste estudo observaram correlação negativa entre internações e temperatura aparente, que considera a experiência fisiológica da exposição combinada da umidade e temperatura. Isso permitiu avaliar a resposta dessas variáveis sobre a saúde do indivíduo com maior eficiência. Em conclusão, a exposição ao material

particulado com menos de 2,5 micra de diâmetro aerodinâmico (PM_{2.5}) esteve associada às internações por doenças respiratórias em crianças.

No estudo de Nardoci et al. (2013) foi avaliado o impacto da poluição do ar nas internações por doenças respiratórias e cardiovasculares em residentes do Município de Cubatão (SP). Utilizaram-se modelos de séries temporais, com modelos aditivos generalizados, em regressão de Poisson. Os estudos de séries temporais encontraram associação significativa entre as concentrações de PM₁₀ no ar e internações por doenças respiratórias.

Tuan, Venâncio e Nascimento (2015) realizaram um estudo ecológico de séries temporais com dados diários de internações por pneumonia, dos poluentes CO, O₃, PM₁₀, SO₂ além de temperatura e umidade de São José dos Campos (SP). Este estudo mostrou uma forte significância da temperatura e da umidade do ar em relação as internações por pneumonia assim como os poluentes CO e O₃.

No estudo de Barbosa et al. (2015), avaliaram a associação entre a poluição do ar e atendimentos de emergência pediátrica de pacientes portadores de anemia falciforme em São Paulo (SP). Houve uma forte significância para todos os poluentes, menos para O₃ e em relação a temperatura e umidade do ar, mostrando que esses valores são muito inferiores aos níveis de significância usuais.

Silva et al. (2013) estudaram os efeitos da exposição de partículas finas de queimadas sobre as internações por doenças respiratórias em crianças e idosos, na cidade de Cuiabá (MT). Houve correlação estatisticamente significante entre temperatura e internação de crianças com doenças respiratórias e correlações inversas entre umidade e PM_{2.5} e umidade e temperatura, ambas estatisticamente significantes.

Evo et al. (2010) avaliaram a relação entre a poluição do ar e as internações de idosos por insuficiência cardíaca congestiva (ICC), no município de Santo André (SP). O estudo mostrou um efeito agudo dos níveis de PM₁₀ sobre as internações de idosos e as variáveis temperatura e umidade do ar se mostraram bastante significativas.

Com base nos estudos encontrados, pode-se observar que a principal doença relacionada com a poluição do ar, se refere a doenças respiratórias, havendo o agravante das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Anemia falciforme, insuficiência cardíaca congestiva e até mesmo internações hospitalares devido a doenças respiratórias, também foram relacionados com a

poluição do ar, temperatura e umidade do ar. Apresentando uma forte relação com os poluentes estudados

Por meio da revisão sistemática pode-se analisar quais as variáveis poluentes, variações de temperatura e umidade relativa do ar estão interferindo na saúde humana, principalmente os poluentes PM_{10} e $PM_{2,5}$.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Neste capítulo é apresentada a análise estatística da pesquisa, iniciando-se com a estatística descritiva, logo após com a análise de agrupamentos e, por fim, com a análise fatorial.

4.2.1 Estatística Descritiva

Procedeu-se inicialmente, com a padronização dos dados visto que, as unidades de medidas das variáveis poluentes são diferentes, para após seguir com a determinação da estatística descritiva das variáveis estudadas. Na Tabela 2 é apresentada a estatística descritiva dos dados do estudo, no período entre 1995 a 2010.

Tabela 2 - Estatística Descritiva dos poluentes

Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coef. De Variação
PTS	0,02	-0,75	1,00	9,00
PM_{10}	0,01	-0,08	1,00	9,00
SO_2	-0,01	-0,27	0,99	-4,48
NO_2	0,01	-0,19	1,00	1,50
O_3	0,01	-0,13	0,99	2,24
CO_2	0,01	-0,09	1,00	4,50

Fonte: IBGE (2016)

Pode-se observar que os poluentes PTS e PM_{10} seguido de do SO_2 e CO_2 são os que mais se destacam e merecem uma maior atenção, apresentando um coeficiente de variação mais elevado do que os outros poluentes.

Na Tabela 3, são apresentados os anos em que houve elevação nas médias da umidade relativa do ar (UR), precipitação (PREC) e temperatura do ar (TA). Pode-se analisar em relação a PREC que Salvador, Curitiba e Recife apresentaram médias anuais bastante elevadas nos anos (1999, 1999, 2000) respectivamente. Salvador e Recife, apresentam as médias de temperatura do ar (TA) mais altas das cidades estudadas, respectivamente no ano de 1995 e 1998. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o nível ideal da UR para o organismo humano é entre 40% e 70%. Acima desses valores, o ar fica praticamente saturado de vapor d'água, o que interfere no nosso mecanismo de controle da temperatura corporal exercido pela transpiração. Pode-se verificar que em todas as cidades o nível de UR foi bem maior que o indicado pela OMS.

A temperatura do ar constitui um parâmetro de interesse para o estudo da dispersão de poluentes, temperaturas mais elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), gerando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados. Por outro lado, temperaturas mais baixas não induzem aos movimentos verticais termicamente induzidos, o que permite a manutenção de poluentes atmosféricos em níveis mais baixos, (DAMILANO E JORGE, 2006).

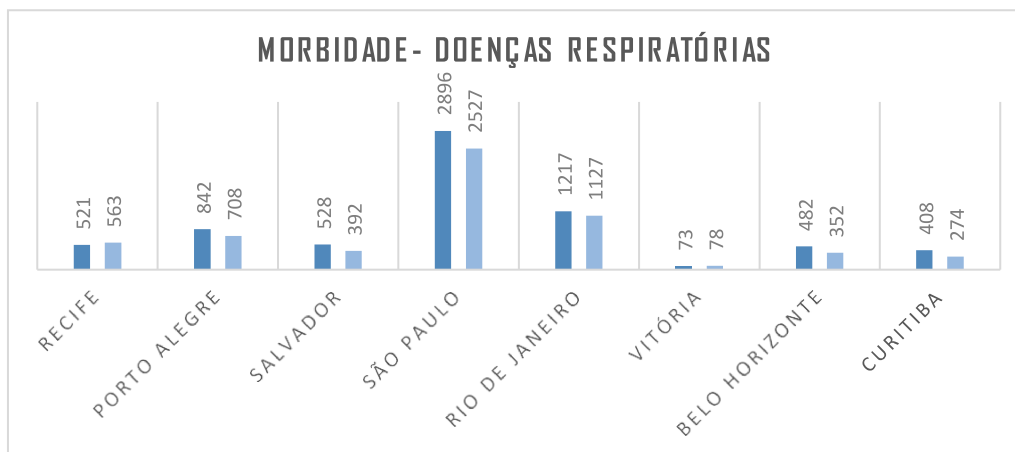
Tabela 3 - Médias anuais da umidade relativa do ar (UR), precipitação (PREC) e temperatura do ar (TA)

Cidade	Umidade Relativa do Ar Ano/Concentração	Precipitação (PREC) Ano/Concentração	Temperatura do Ar (TA) Ano/Concentração (° C)
Vitória	2001/82,37	2005/1,82	1998/26,30
Porto Alegre	2010/85,30	2003/1,50	2001/20,50
Curitiba	1999/88,80	1999/2,05	2002/18,00
São Paulo	1996/82,70	2009/1,87	2001/21,00
Belo Horizonte	2006/72,50	1995/1,86	1998/23,00
Salvador	1999/2000/2009/ 83,00	1999/2,12	1995/28,00
Rio de Janeiro	2009/82,70	2010/1,76	1998/24,50
Recife	2000/79,00	2000/3,84	1998/29,00

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

No Figura 6 a seguir, tem-se pelo site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) alguns números sobre morbidade no aparelho respiratório, no ano de 2010.

Figura 6 - Números sobre morbidade no aparelho respiratório, no ano de 2010



Fonte: IBGE (2010)

Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), existe um grande número de morbidades causado por doenças respiratórias principalmente em São Paulo/SP, seguido da cidade do Rio de Janeiro. Em 2015, a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou a perda precoce de cerca de oito milhões de vidas no mundo pela poluição do ar. Desses, cerca de 3,7 milhões devem ser relacionadas à poluição do ar externa, o que representa 46% de todas as fontes de poluentes relacionadas ao ar.

4.2.2 Análise de Agrupamentos (AA)

Para verificar e identificar quais variáveis pertencem ao mesmo agrupamento, procede-se, a padronização dos dados antes de utilizar a análise de agrupamentos.

Segundo Wilks (2006), após a construção da matriz original de dados deve-se analisar a ordem de grandeza das variáveis uma vez que variáveis com ordem de grandeza discrepante devem ser padronizadas, para evitar que o fator de escala influencie nas decisões finais de estudo, dando maior ênfase a uma variável de escala

maior (com maior módulo da variância em seus dados) em relação a uma variável de escala menor. Desta forma as variáveis foram padronizadas dividindo-se os desvios em relação à média de cada variável por seu desvio padrão.

Feito a padronização, utilizou-se o processo de aglomeração hierárquica, com o método de variância de Ward e distância euclidiana.

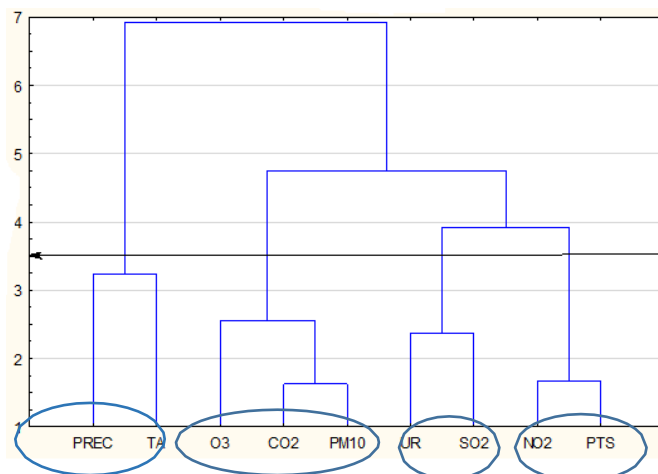
Na Figura 7 mostra-se o comportamento do dendrograma com todas as variáveis, os poluentes e condições climáticas, do período de 1995 a 2010. Pode-se observar a formação de quatro grupos, os quais possuem as variáveis de maior relevância dentro do conjunto.

O primeiro agrupamento é formado pelas variáveis precipitação (PREC) e temperatura do ar (TA), o segundo por ozônio (O_3), dióxido de carbono (CO_2) e partículas de inaláveis (PM_{10}), o terceiro pela umidade relativa do ar (UR) e dióxido de enxofre (SO_2) e o quarto grupo pelos poluentes dióxido de nitrogênio (NO_2) e partículas totais em suspensão (PTS).

Observando o dendrograma ainda pode-se concluir que a precipitação está relacionada com a temperatura, formando assim o primeiro grupo por similaridade. É notório que dependendo da região onde se encontram as cidades citadas no estudo, a precipitação (chuvas, neve, granizo) e a temperatura (elevadas, amenas ou baixas) irão influenciar diretamente uma na outra.

No segundo grupo aparecem as partículas inaláveis (PM_{10}) que são emitidas principalmente pelos veículos a Diesel, assim como o dióxido de carbono (CO_2), responsável pela combustão e pelo efeito estufa. Outro poluente que também faz parte desse grupo é o ozônio (O_3) que está presente nas zonas urbanas, responsável pela radiação UV.

Figura 7 - Dendrograma envolvendo as variáveis em estudo (poluentes e condições Climáticas)



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

A umidade do ar é responsável pela formação das nuvens e está diretamente relacionada com a água. Mas quando não há umidade, o ar está seco, isto é, isento de água e composto por gases. O terceiro grupo onde aparecem a umidade relativa do ar (UR) e o dióxido de carbono (SO_2) se unem por similaridade.

No último grupo aparecem os poluentes dióxido de nitrogênio (NO_2), responsável pela combustão e o PTS (partícula em suspensão) também responsável por combustão na atmosfera.

Logo pode-se dizer que os grupos formados pelas variáveis poluentes e as condições climáticas tem uma similaridade.

4.2.3 Análise Fatorial

De acordo com Hair et al. (1998), no modelo de análise fatorial, cada uma das variáveis pode ser definida como uma combinação linear dos fatores comuns que irão explicar a parcela da variância de cada variável.

O primeiro passo para a realização da análise fatorial é determinar os autovalores, e o percentual de explicação de cada fator e também a variância acumulada.

Considerando as variáveis poluentes, como pode-se observar na Tabela 4, os dois primeiros valores representam cerca de 75,8612% da variância explicada

acumulada. Portanto, as variáveis foram resumidas pelas duas primeiras componentes principais. Pode-se também fazer essa seleção por um critério sugerido por Kaiser (1960) *apud* Mardia (1979), que nos diz que podemos incluir somente aquelas componentes cujos valores próprios são maiores do que 1. Tem-se neste caso, dois autovalores.

Tabela 4 - Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente

Autovalores Extração dos componentes principais				
Número de componentes	Autovalores	Percentual da variância explicada	Autovalores acumulados	Percentual da variância explicada acumulada
1	3,16	52,63	3,15	52,63
2	1,39	23,22	4,55	75,86
3	0,97	16,19	5,52	92,05
4	0,38	6,36	5,90	98,42
5	0,09	1,54	5,99	99,96
6	0,002	0,03	6,00	100,00

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Analisando ainda a Tabela 6, pode-se observar que os dois primeiros fatores possuem autovalores, que correspondem 52,66% e 23,22% da variância total, explicada pelos autovalores do modelo, ou seja, explicam juntos 75,86% das variações das medidas originais.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos autovetores, que definem a direção dos eixos para a análise de componentes principais. Neste caso foram selecionadas as variáveis poluentes para o estudo. É importante ressaltar que para as seis variáveis (poluentes) foram encontrados seis fatores, mas deve-se considerar apenas dois fatores, seguindo o critério de Kaiser (1960) *apud* Mardia (1979), conforme já foi mostrado anteriormente.

Tabela 5 – Resultado dos autovetores

Variáveis	Autovetores					
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
PTS	-0,259015	-0,235486	0,450292	-0,05128	-1,90455	8,7026
PM10	-0,272268	0,170581	0,018667	-1,12286	1,52348	3,5057
SO2	-0,107093	-0,473198	-0,660856	-0,46767	-0,86430	-5,6507
NO2	-0,228958	-0,416129	0,130268	0,80836	1,85709	-1,8596
O3	-0,194701	0,337340	-0,596259	0,66494	-0,20006	9,3256
CO2	-0,271362	0,349432	0,130176	0,20099	-0,79293	-14,7161

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Como os dados estavam em unidades de medidas diferentes, os mesmos foram padronizados, para eliminar qualquer influência que uma variável possa causar sobre a outra. Logo após, foi encontrada a contribuição de cada variável em relação aos fatores.

Na Tabela 6 mostra-se as correlações entre as variáveis originais e os componentes principais e a contribuição de cada variável em relação a cada fator.

Tabela 6 - Correlações entre as variáveis originais e os componentes principais

Variável	Correlações	
	Fator 1	Fator 2
PTS	-0,82	-0,33
PM10	-0,86	0,23
SO2	-0,34	-0,66
NO2	-0,73	-0,56
O3	-0,61	0,47
CO2	-0,86	0,49

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Os valores que se encontram em destaque no fator 1 são as que melhor explicam esse fator, no caso são as variáveis: PTS (partículas em suspensão), PM₁₀ (partículas inaláveis), NO₂ (dióxido de nitrogênio) e CO₂ (dióxido de carbono). No fator 2 a variável que mais se aproxima de explicar o fator é o poluente SO₂ (dióxido de enxofre).

Na Tabela 7 pode-se verificar o resultado da extração dos componentes principais, por meio da Rotação Varimax Normalizada, o qual possibilitou uma melhor visualização dos fatores. Pode ser verificado também que, os valores em destaque possuem uma significância superior 0,7, valor o qual foi estipulado como valor de significância. Neste estudo, será utilizado apenas os primeiros dois fatores, pois segundo Cattell (1966), esses fatores explicam uma maior variância através do Método Gráfico.

Tabela 7 – Composição em relação a rotação

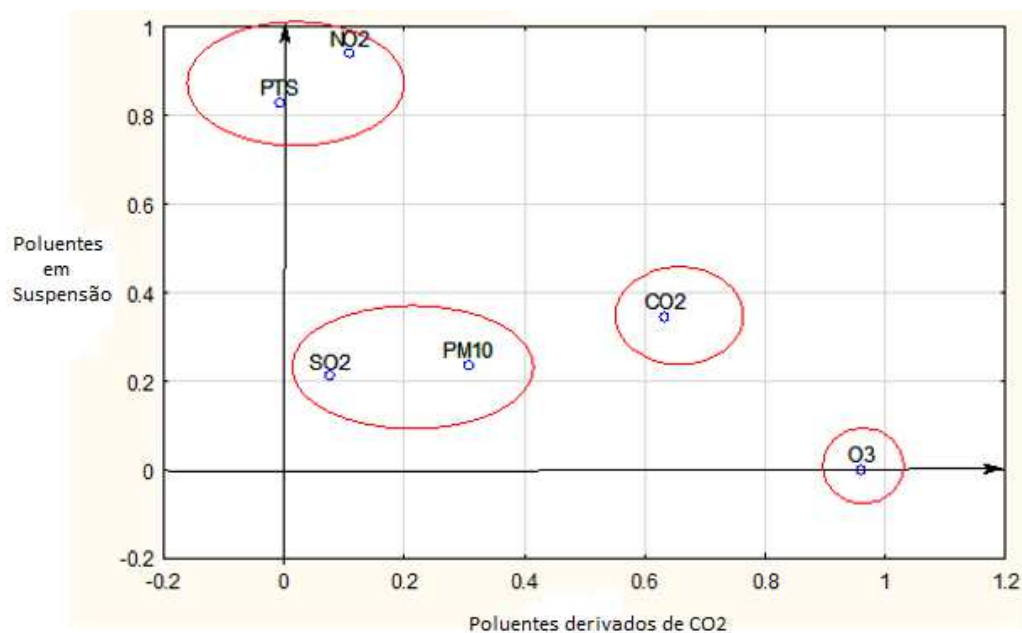
Variáveis	Fatores	
	Fator 1	Fator 2
PTS	-0,006	0,82
PM10	0,30	0,23
SO2	0,07	0,20
NO2	0,10	0,94
O3	0,96	-0,001
CO2	0,63	0,34

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Pode-se concluir, que o fator 1 é derivado do maior autovalor 0,96 representado pelo poluente O₃, e o fator 2 é explicado por duas variáveis NO₂ e PTS. Para uma melhor visualização desses fatores estudados, optou-se pela utilização dos gráficos de dispersão, onde pode ser a localização das variáveis num sistema de coordenadas criado pelos fatores, primeiramente serão relacionados o fator 1 e o fator 2.

Conforme a Figura 8, observa-se que as variáveis formaram quatro grupos por similaridade de explicação, isto é, agrupadas por fatores, a variável que está distante da origem, no eixo x é o poluente O₃ e no eixo y, as variáveis PTS e NO₂, são as variáveis que melhor explicam e que tem mais representatividade. Ainda temos o poluente CO₂ que também se encontra longe da origem, mais longe dos eixos. As variáveis SO₂ e PM₁₀, possuem baixa representatividade, por estarem localizadas próximas à origem do plano fatorial.

Figura 8 - Relação entre os fatores 1 e 2 (poluentes em suspensão e poluentes derivados de CO₂) com rotação Varimax



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Quando se analisa todas as variáveis do estudo (poluentes e condições climáticas), temos 83,6743% de variância explicada acumulada, conforme Tabela 8. Portanto, as variáveis foram resumidas pelas três primeiras componentes principais. Ainda, é possível observar que os três primeiros fatores possuem autovalores, que correspondem a 44,83%, 25,967% e 12,87% da variância total.

Tabela 8 - Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente

Número de componente	Autovalores			
	Extração dos componentes principais			
	Autovalores	Percentual da variância explicada	Autovalores acumulados	Percentual da variância explicada acumulada
1	4,034770	44,83078	4,034770	44,8308
2	2,337105	25,96783	6,371875	70,7986
3	1,158808	12,87564	7,530683	83,6743
4	0,728703	8,09670	8,259386	91,7710
5	0,524487	5,82763	8,783873	97,5986
6	0,210397	2,33774	8,994270	99,9363
7	0,005730	0,06367	9,000000	100,0000

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos autovetores, que definem a direção dos eixos para a análise de componentes principais. Neste caso foram

selecionadas as variáveis poluentes e das condições climáticas, serão considerados apenas os três primeiros fatores.

Tabela 9 - Resultado dos autovetores (poluentes e condições climáticas)

Variáveis	Autovetores		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
PTS	-0,193414	0,046579	0,463994
PM ₁₀	-0,201233	0,170988	-0,025955
SO ₂	-0,143426	-0,327027	-0,181918
NO ₂	-0,179121	-0,069971	0,443708
O ₃	-0,138106	0,154492	-0,556566
CO ₂	-0,169916	0,300954	-0,068723
TA	0,178244	0,018323	-0,056725
UR	-0,174374	-0,112569	-0,307426
PREC	0,084644	0,396462	0,069314

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Como os dados estavam em unidades de medidas diferentes, os mesmos foram padronizados, para eliminar qualquer influência que uma variável poderá causar sobre a outra. Logo após, foi encontrado a contribuição de cada variável em relação aos fatores.

Na Tabela 10 é apresentada as correlações entre as variáveis originais e os componentes principais de todas as variáveis do estudo, e a contribuição de cada variável em relação a cada fator.

Tabela 10 - Matriz de correlação entre as variáveis originais e os componentes principais (poluentes e condições climáticas)

Variável	Matriz de Correlação		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
PTS	-0,780380	0,108860	0,537680
PM10	-0,811929	0,399616	-0,030076
SO2	-0,578691	-0,764295	-0,210808
NO2	-0,722711	-0,163529	0,514173
O3	-0,557225	0,361064	-0,644952
CO2	-0,685573	0,703362	-0,079637
TA	0,719175	0,042822	-0,065733
UR	-0,703560	-0,263085	-0,356248
PREC	0,341520	0,926574	0,080321

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Pode-se verificar, na Tabela 11, o resultado da extração dos componentes principais, através da Rotação Varimax Normalizada, para todas as variáveis do estudo, poluentes e condições climáticas.

Tabela 11 – Composição dos fatores Varimax Normalizada

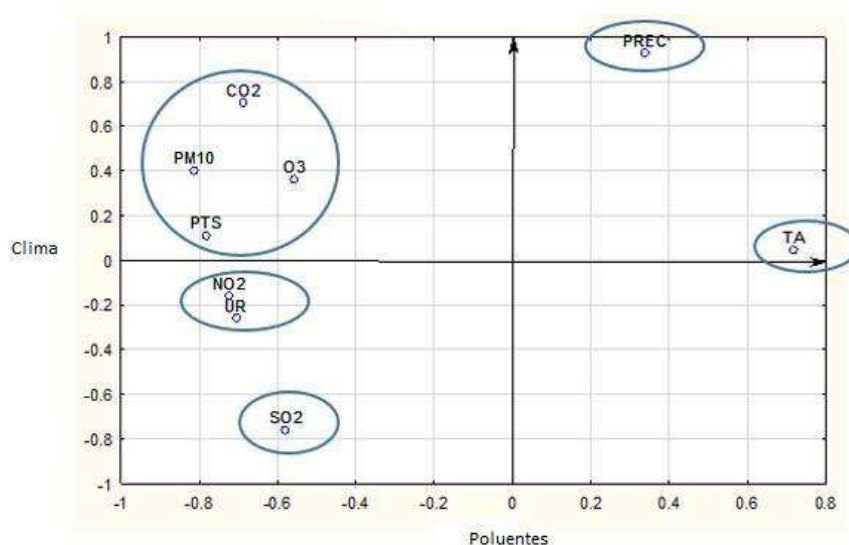
Variáveis	Fatores - Rotação Varimax		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
PTS	-0.043099	0.006473	0.843129
PM10	0.332984	-0.008245	0.254876
SO2	0.143546	0.945086	0.172223
NO2	0.136319	0.290675	0.926785
O3	0.969540	0.043589	0.010762
CO2	0.598112	-0.356483	0.386213
TA	-0.118981	-0.203163	-0.222217
UR	0.252378	0.397426	0.149408
PREC	0.167084	-0.960406	-0.090319

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Logo, conclui-se que o fator 1 é derivado do maior autovalor 0,969540 representado pelo poluente O₃, o fator 2 é explicado duas vezes pelo poluente SO₂ e pela variável precipitação (PREC). E o fator 3 é explicado pelos poluentes PTS e NO₂.

Na Figura 9 é apresentado a projeção do mapa perceptual, relacionando todos os poluentes com as condições climáticas: temperatura do ar (TA), umidade relativa do ar (UR) e precipitação (PREC).

Figura 9 - Relação entre os fatores 1 e 2 (poluentes e condições climáticas com Rotação Varimax)

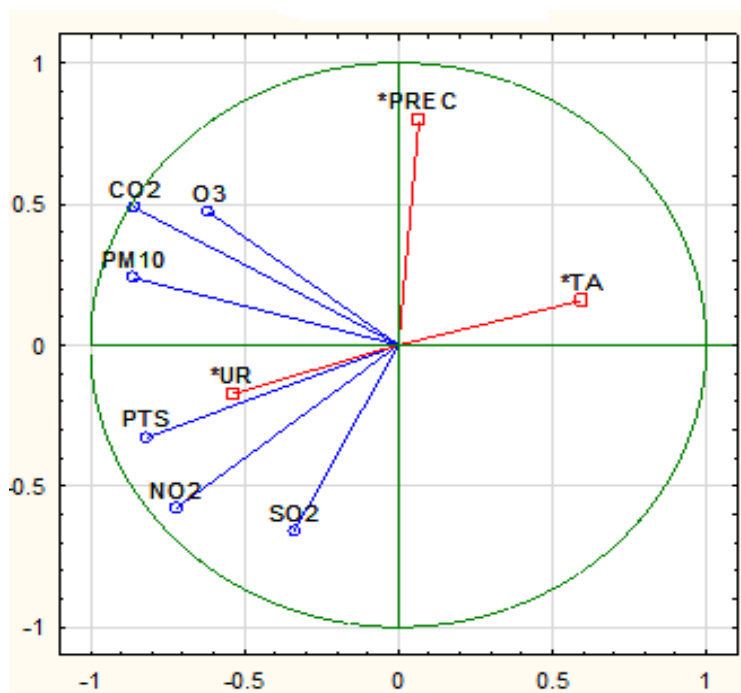


Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Pode-se analisar quando relacionamos os poluentes com a temperatura (TA), precipitação (PREC) e umidade relativa do ar (UR), temos que nenhuma variável se encontra perto da origem, portanto nenhuma variável apresenta baixa representatividade. Alguns grupos por similaridade se formaram, dióxido de carbono (CO_2), partículas inaláveis (PM_{10}), partículas em suspensão (PTS), ozônio (O_3) aparecem no mesmo quadrante, e com uma boa representatividade, perto do eixo do x. O poluente dióxido de nitrogênio (NO_2) está correlacionado com a umidade relativa do ar (UR), além de estar perto do eixo do x. O poluente dióxido de enxofre (SO_2) e a precipitação (PREC) se encontram longe da origem e longe dos eixos, portanto as duas variáveis possuem baixa representatividade.

Com o intuito de seguir com a análise, foi projetado o gráfico da distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações, conforme Figura 10. Uma das utilizações do círculo unitário é a realização da sobreposição deste sobre o primeiro plano fatorial, sendo assim é possível identificar, visualmente que variáveis estão relacionadas com o caso em estudo (VICINI, L., 2005).

Figura 10 – Círculo de Correlação Unitária das Variáveis



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observa-se que nenhuma variável está sobreposta à outra, mostrando assim que elas não possuem a mesma representatividade. Outro fato importante é que

algumas variáveis estão bem próximas do círculo unitário, mostrando assim uma maior representatividade em relação as outras variáveis.

Conforme é mostrado no círculo unitário tem-se:

- A umidade relativa do ar (UR) forma um ângulo muito pequeno com o poluente PTS, mostrando assim, que a UR interfere na PTS;

- A precipitação (PREC) está relacionado com a temperatura do ar (TA);

- Os poluentes CO₂, O₃ e PM₁₀ estão todos no mesmo quadrante II;

- Umidade relativa do ar (UR) está influenciando nos poluentes PTS, NO₂ e SO₂;

- UR está influenciando nos poluentes do quadrante II;

- CO₂ e O₃ sofrem influência da precipitação (PREC);

- CO₂ é o poluente mais distante da origem, porém o mais próximo do círculo unitário.

Na Tabela 12, apresenta-se o resultado da matriz de correlação entre os poluentes PM₁₀, CO₂, O₃ e a variável PREC. No sentido de verificar se as mesmas estão interligadas.

Tabela 12 – Resultados da Matriz de Correlação entre O₃, CO₂, PM₁₀ e PREC

Variáveis	Correlação			
	O ₃	CO ₂	PM ₁₀	PREC
O ₃	1	0,70	0,52	0,10
CO ₂		1	0,81	0,40
PM ₁₀			1	0,05
PREC				1

Fonte: Dados da pesquisa

Com a matriz de correlação, da Tabela 12, é possível observar que existe uma correlação forte entre as variáveis CO₂ e PM₁₀, e ainda uma correlação moderada entre CO₂ e O₃. Sendo assim, pode-se concluir que a variável CO₂ está interligada com o poluente O₃ e PM₁₀.

Já na Tabela 13, verificamos o resultado da matriz de correlação entre os poluentes PTS, NO₂ e SO₂ e a variável UR. No sentido de verificar se as mesmas estão interligadas entre elas.

Tabela 13 – Resultados da Matriz de Correlação entre UR, PTS, NO₂ e SO₂

Variáveis	Correlação			
	UR	PTS	NO ₂	SO ₂
UR	1	0,47	0,27	0,59
PTS		1	0,80	0,22
NO ₂			1	0,47
SO ₂				1

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Pode-se observar por meio da matriz de correlação, que os poluentes PTS e NO₂ possuem uma forte correlação entre eles, indicando que essas variáveis estão interligadas.

5 CONCLUSÃO

Estimativas globais sugerem que a poluição ambiental externa cause 1,15 milhões de óbitos em todo o mundo (correspondendo a cerca de 2% do total de óbitos) e seja responsável por 8,75 milhões de anos vividos a menos ou com incapacidade, segundo *World Health Organization* (2009), enquanto que a poluição no interior dos domicílios cause aproximadamente 2 milhões de óbitos prematuros e 41 milhões de anos vividos a menos ou com incapacidade. Para o Brasil, a OMS estima que a poluição atmosférica cause cerca de 20 mil óbitos/ano, valor cinco vezes superior ao número de óbitos estimado pelo tabagismo ambiental/passivo e 10,7 mil óbitos/ano decorrentes da poluição do ar em ambientes internos.

Para esta pesquisa ser realizada, foram encontradas muitas dificuldades em relação a obtenção dos dados para o estudo. O IBGE infelizmente não disponibiliza dados mais recentes sobre os efeitos da poluição atmosférica nas cidades que foram incluídas no estudo. Inclusive não há outras cidades no *site* do IBGE para incluir, que estejam relacionadas com a revisão sistemática.

Com base nos estudos encontrados na revisão sistemática, no período de 2010 a 2015, pode-se observar que a principal doença relacionada com a poluição do ar, se refere a doenças respiratórias, havendo o agravante das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar. Os poluentes que tiveram maior destaque no estudo da revisão sistemática foram: dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de carbono (CO₂), partículas inaláveis (PM₁₀), partículas em suspensão (PTS), ozônio (O₃) e o dióxido de enxofre (SO₂).

A anemia falciforme, a insuficiência cardíaca congestiva e até mesmo as internações hospitalares devido a doenças respiratórias, também foram relacionados com a poluição do ar, temperatura e umidade do ar, apresentando uma forte relação com os poluentes estudados.

Realizado a estatística descritiva, com os dados obtidos pelo IBGE do ano de 1995 a 2010. Pode-se observar que os poluentes PTS e PM₁₀ seguido dos poluentes SO₂ e CO₂ são os que mais se destacam e merecem uma maior atenção, apresentando um coeficiente de variação mais elevado do que os outros poluentes.

Pode-se analisar por meio de dados obtidos no portal do IBGE, sobre morbidade no aparelho respiratório, que a cidade de São Paulo/SP aparece em primeiro lugar, com uma maior taxa de portadores de doenças respiratórias, seguido por Rio de Janeiro/RJ. Também é importante frisar que em 2010, o nível de poluição vem diminuindo gradativamente, mas ainda ultrapassa os limites impostos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Amato et al. (2011) diz que a poluição atmosférica está relacionada com o aumento da morbidade e mortalidade respiratória e cardiovascular, principalmente devido às alterações provocadas pela constante exposição aos elevados níveis de poluição que promovem a disrupção da barreira muco ciliar, promovendo a inflamação das vias aéreas e facilitação das respostas inflamatórias primárias induzidas pelos alergênicos, devido ao aumento da penetração e contato com as células do sistema imunitário. Os autores ainda afirmam que os poluentes O_3 , NO_2 , SO_2 , PM associados a áreas urbanas e de intenso tráfego automóvel, são responsáveis por estes problemas respiratórios.

A análise multivariada aplicada nos dados da pesquisa, confirma que todos os poluentes do estudo em questão, vem contribuindo muito para a poluição atmosférica desde o ano de 1995. A análise de agrupamento foi capaz de identificar comitantemente as variáveis pertencentes a cada grupo de acordo com a literatura.

Por meio da análise fatorial, foi possível identificar dois fatores como os mais importantes com uma explicação de 75,86%, quando analisamos somente os poluentes. Ao analisar todas as variáveis (poluentes e condições climáticas), foi possível identificar três fatores com uma explicação de 83,6743%. Do círculo de correlação unitária das variáveis, rotacionada para todas as variáveis do estudo, a precipitação está relacionada com a temperatura do ar, pois o ângulo formado entre as variáveis é menor do que 90° , e estas variáveis estão localizadas no primeiro quadrante.

Os poluentes do segundo quadrante, possuem todos um ângulo menor de 90° , sofrendo influência da umidade do ar que está no terceiro quadrante, por formar um ângulo menor que 90° . Pode-se verificar que as variáveis CO_2 e O_3 no segundo quadrante sofrem influência da precipitação, e que CO_2 é o poluente que melhor representa o fator 1 em relação ao fator 2, e se mostra bem próximo ao círculo unitário o que configura como o poluente mais representativo.

Já no terceiro quadrante a umidade do ar está influenciando nos poluentes PTS, NO₂ e SO₂ e conseqüentemente. Logo, precipitação (PREC) e umidade relativa do ar (UR) são bons índices para auxiliar na elevação ou queda destes poluentes.

Este estudo será ampliado para investigar outras pesquisas realizadas em outros países, relacionando os efeitos da poluição do ar na saúde humana e as conseqüências nas condições climáticas.

REFERÊNCIAS

AMARAL E. **Correlação e Análise Fatorial**. Disponível em: <<http://www.ernestoamaral.com/docs/dcp046-111/Aula28.pdf>> Acesso em: 02 de novembro de 2016.

AMATO, G. et al. **Climate Change, Migration, and Allergic Respiratory Diseases: An Update for the Allergist**. World Allergy Organization Journal. 2011; 4: 120–125.

ANDRADE, E. M. et al. **Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada**. Engenharia Agrícola, v.27, p.683-690, 2007a.

ANDERBERG, Michael R. **Cluster analysis for applications**. New York: Academic Press, 1973.

ARBEX M.A. et al. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. J Bras Pneumol. 2012;38(5):643-655.

ATKINSON R.W., et al. **Acute effects of particulate air pollution on respiratory admission: results from APHEA 2 project**. Air pollution and health: a European Approach. Am J Respir Crit Care 2001.

BANCO DE DADOS CLIMATOLÓGICOS DA AERONÁUTICA. **ICEA**. Disponível em: <http://clima.icea.gov.br/clima/> Acesso em: 20 de junho de 2016.

BARBOSA, S. M. M. et al. **Poluição do ar e a saúde das crianças: a doença falciforme**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.31, n.2, p.265-75. 2015.

BIBLIOTECA VIRTUAL EM SAÚDE. LILACS, 2016. Disponível em: <<http://lilacs.bvsalud.org/>> Acesso em: 20 de junho de 2016.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 313 p.

BRAGA, A.L.F.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana**. In: COM CIÊNCIA. Cidades, 2002. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/revusp/article/viewFile/35099/37838>> Acesso em: 10 out. 2016.

BRUNEKREE, B.; HOLGATE, S.T. **Air pollution and health**. Lancet. 2002;360(9341):1233-42.

CATTEL, R. B. **The scree test for the number of factors**. In: ---. Multivariate behavior research. v.1, p. 245-276, 1966.

CESAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A. J. **Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças**. Revista de Saúde Pública, v.47, n.6, p.1209-12, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Controle da poluição do ar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>> Acesso em: 01 julho de 2016.

COOK, D.J.; Mulrow, C.D.; Haynes, R.B. **Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions**. Annals of Internal Medicine, v.126, n.5, pp.376-380, 1997.

COOPER, H. **Synthesizing Research**. Thousand Oaks: Sage, 1998.

DAMILANO, D. C. R.; JORGE, M. P. P. M. **Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos**. In: SICINPE – 2006, p. 44 p. (INPE-14042-PRE/9216).

DYBA, T.; DINGSOYR, T. **Empirical studies of agile software development: a systematic review**. Information and Software Technology, v.50, pp.833-859, 2008.

EVO, C. et al. **Poluição do ar e internação por insuficiência cardíaca congestiva em idosos no município de Santo André**. Disponível em: <<http://files.bvs.br/upload/S/1983-2451/2011/v36n1/a1917.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

FEPAM. **Qualidade Ambiental**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes.asp>> Acesso em: 01 julho 2016.

GÓES, R. C. **Toxicologia industrial**. Rio de Janeiro: Revinter; 1997.

FIGUEIREDO FILHO et al. **HAPPY TOGETHER: Como utilizar análise fatorial e análise de cluster para mensurar a qualidade das políticas públicas**. Disponível em: <<http://www.fafich.ufmg.br/revistasociedade/index.php/rts/article/viewFile/197/143>> Acesso em: 02 de novembro de 2016.

GOMES, I. S.; CAMINHA, I. O. **Guia para estudos de revisão sistemática: uma opção metodológica para as Ciências do Movimento Humano**. In Movimento, Porto Alegre, v. 20, n. 01, p. 395-411, jan/mar de 2014.

GORDON, A. D, 1981, **Classification**, Chapman and Hall. Ed., 1981.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate data analysis**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

HAIR, Jr. et al. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HELENA, B. et tal. **Temporal evolution of groundwater composition in na alluvial aquifer**. (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. Water Research, v.34, p.807- 816, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET**, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=informacoes/cartaProdutoServicoCidadaoView&id=25>> Acesso em: 03 nov. 2016.

JONHSON, R.A.; WICHERN, D.W. “**Applied Multivariate Statistical analysis**”. Prentice Hall, 6th ed, 2002.

KAISER, H.F. **The application of electronic computers to factor analysis**. Educational and Psychological Measurement. v. xx, n. 1, 1960.

KAPLUNOVSKY, A.S. **Why using factor analysis? (dedicated to the centenary of factor analysis)**. Disponível em: <<http://www.magniel.com/fa/kaplunovsky.pdf>> Acesso em: 21 de julho de 2016.

KING, G. **How not to lie with statistics**. Disponível em: <<http://gking.harvard.edu/files/mist.pdf>> Acesso em: Acesso em: 21 de julho de 2016.

LEVY, Y.; ELLIS, T.J. **A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research**. *Informing Science Journal*, v.9, p.181-212, 2006. In III Workshop de Iniciação Científica em Sistemas de Informação, Florianópolis, SC, 17 a 20 de Maio de 2016.

LIM, S. S. et al. **A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010**. *The Lancet*. **Volume 380, No. 9859**, p2224–2260, 15 December 2012. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8)

LINS, M.; JUNIOR DUDA, J.; CUNHA, M. **Terceirização de Sistemas de Informação no Setor Público: Uma Revisão Sistemática de Literatura**. In III Workshop de Iniciação Científica em Sistemas de Informação, Florianópolis, SC, 17 a 20 de Maio de 2016.

LOPES, L. F. D. **Análise de componentes principais à confiabilidade de sistemas complexos**. 2001. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Universidade Federal Santa Catarina, 2001.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 23 de outubro de 2016.

MEDINA, E. U.; PAILAQUILÉN, R. M. B. **A revisão sistemática e a sua relação com a prática baseada na evidência em saúde**. *Revista Latino-Americana de*

Enfermagem, Ribeirão Preto, v. 18, n. 4, p. 1- 8, jul./ago. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rlae/v18n4/pt_23.pdf> Acesso em: 25 nov. 2016.

MUNOZ, W. I. S. et al. **Revisão sistemática da literatura e metanálise: noções básicas sobre seu desenho, interpretação e aplicação na área de saúde.** In: Anais do 8º Simpósio Brasileiro de Comunicação em Enfermagem; 2-3 maio 2002; Ribeirão Preto, Brasil. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo; 2002. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/sibracen/n8v2/v2a074.pdf>> Acesso em: 03 de nov. 2016.

NARDOCCI, A. C. et al. **Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.29, n.9, p.1867-76, 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. OMS, 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/@@search?Subject%3Alist=OMS>>. Acesso em: 23 de outubro de 2016.

PAIVA, R. F. **Morbidade hospitalar por doenças associadas à poluição do ar na cidade de Volta Redonda, Rio de Janeiro: casos e custo econômico.** Cad. Saúde Colet., 2014, Rio de Janeiro, 22 (2): 127-32.

REGAZZI, A.J. **Análise multivariada, notas de aula INF 766.** Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2000.

ROMAN, V. V. L. et al. **Efeitos de poluentes do ar e doenças respiratórias utilizando dados estimados por modelo matemático.** Rev. Ambient. Água, vol.10, n.4, 2015.

SALDIVA, P.H.N. **Pesquisadores unem-se para esmiuçar os efeitos do aquecimento global no Brasil.** In: ABIDES (Associação Brasileira de Integração e Desenvolvimento), São Paulo. Disponível em: <<http://www.abides.org.br/Noticias/View.aspx?noticialD=505>>. Acesso em: 23 de outubro de 2016.

SALICIO, M. A. et al. **Variáveis ambientais e níveis de monóxido de carbono exalado e carboxihemoglobina em idosos praticantes de exercício.** Ciênc. saúde coletiva, vol.21, n.4, 2016.

SALVI, S.S.; BARNES, P.J. **Chronic obstructive pulmonary disease in non-smokers.** Lancet. 2009;374(9691):733-43. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61303-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61303-9)> Acesso em: 26 nov. 2016.

SHARMA, S. **Applied multivariate techniques.** New York: John Wiley & Sons, 1996. 493p.

SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE. SciELO, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.org/php/index.php>> Acesso em 26 de nov. 2016.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI M. C. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Rev. bras. fisioter. São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007.

SILVA, C. M. A. et al. **Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias**. Revista de Saúde Pública, v.47, n.2, p.345-52, 2013.

SCHWARTZ, J & DOCKERY, DW. **Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations**. Am Rev Respir Dis. 1992;145(3):600-4.

SPEARMAN, C. **General intelligence, objectively determined and measured**. *American Journal of Psychology*, 15,201-293, 1904.

SOUZA, A. M. **Monitoração e ajuste de realimentação em processos produtivos multivariados**. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Universidade Federal Santa Catarina, 2000.

TABACHNICK, B. G., & FIDELL, L. S. (2007). *Using multivariate statistics*. Boston, Pearson/Allyn & Bacon.

TESTA, J. F. **A poluição atmosférica por veículos automotores na Região Metropolitana de São Paulo: causas e impactos**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 2, Mai-Ago 2015, p. 1209-1221. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM ISSN: 22361170.

THURSTONE, L. L. *The vector of mind*. Chicago: University of Chicago, 1935.

TINO, V.F. **Utilização da análise de componentes principais para a regulação de máquinas de injeção plástica**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000160&pid=S0100-0683200800030001000037&lng=pt> Acesso em: 02 de novembro de 2016.

TRANFIELD, D.; DENYER, D., **Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review**. British Journal of Management, v.14, n.3, pp.207-22, 2003.

TUAN, T. S.; VENANCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. F. C. **Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. Estudo ecológico de série temporal**. *Sao Paulo Med. J.* [online]. 2015, vol.133, n.5, pp.408-413. ISSN 1516- 3180. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-3180.2014.00122601>.

VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

VARELLA, C. A. **Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias**. Disponível em:<<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/multivariada%20aplicada>

[%20as%20ciencias%20agrarias/Aulas/analise%20de%20componentes%20principais.pdf>](#). Acesso em: 23 de outubro de 2016.

VICINI, L. **Análise Multivariada da Teoria à Prática**. Santa Maria/RS, UFSM, CCNE, 2005.

VIGIAR. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade do Ar**. In: MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/>>. Acesso em 10 out. 2016.

VORMITTAG, E. et tal. **Monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. São Paulo, junho de 2014.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 2006. 629p.

World Health **Organization. Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks**. Geneva: World Health Organization; 2009.

ZAIANE, Osmar R. et al. **On data clustering analysis: scalability, constraints and validation**. Edmonton Alberta, University of Alberta, 2003.

ZELLER, R. A; CARMINES, E. G. **Measurement in the social sciences: The link between theory and data**. Cambridge. Cambridge University Press, 1980.