

RELAÇÃO DO MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO DE NO₂, CO E O₃ OBTIDOS PELA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO DA QUALIDADE DO AR DA UNIVERSIDADE FEEVALE/RS COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

RELATIONSHIP OF THE NO₂, CO AND O₃ ATMOSPHERIC
MONITORING OBTAINED BY THE FEEVALE/RS
UNIVERSITY AUTOMATIC AIR QUALITY MONITORING
STATION WITH METEOROLOGICAL VARIABLES

Alessa Maria Ceratti *alessaceratti@hotmail.com*

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

Darlan Daniel Alves *darlandaniel@gmail.com*

Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (Sertão/Brasil).

Larissa Meincke *larissa_meincke@yahoo.com.br*

Doutora em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

Fernando Luzardo Rabelo *luzardopoa@yahoo.com.br*

Formado em Engenharia de Meio Ambiente pela Universidade Luterana do Brasil (Canoas/Brasil).

Daniela Montanari Migliavacca Osório *danielaosorio@feevale.br*

Doutora em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre/Brasil).

Professora na Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

RESUMO

A poluição do ar é causada por diversas fontes, porém, cabe citar as principais, dentre elas: queima de combustíveis fósseis, indústrias de transformação e atividades agrossilvipastoris. Os poluentes atmosféricos além de causarem a degradação da qualidade do ar afetam diretamente a saúde da população e o meio ambiente. O objetivo desta pesquisa é apresentar os dados de qualidade do ar provenientes da Estação Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (EAMQA) da Universidade FEEVALE, instalada em agosto de 2016 no Campus II, e correlacionar com dados meteorológicos visando identificar as principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos no período estudado de agosto a dezembro de 2016. A EAMQA monitora continuamente os gases NO_2 , CO e O_3 apresentando médias horárias, que facilitam a divulgação e interpretação dos dados gerados. O presente trabalho comparou as concentrações de NO_2 , CO e O_3 , com os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela resolução CONAMA 03 de 1990, e correlacionou-os com os dados meteorológicos, onde foi possível constatar que a concentração de O_3 varia de acordo com a variação da concentração de NO_2 e CO obtendo-se 34 ultrapassagens do padrão para o O_3 . Já para NO_2 e CO não houve ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar nos meses estudados. De acordo com a correlação, as fontes de emissão destes poluentes estão localizadas a Oeste e Leste da localização da EAMQA.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Padrão de qualidade do ar. Ozônio.

ABSTRACT

Air pollution is caused by several sources, but the main ones include: burning of fossil fuels, processing industries and agroforestry activities. Air pollutants in addition to causing degradation of air quality directly affect the health of the population and the environment. The objective of this research is to present the air quality data from the Automatic Air Quality Monitoring Station (EAMQA) of FEEVALE University installed in August 2016 in Campus II and to correlate with meteorological data in order to identify the main sources of atmospheric pollutants in the period studied from August to December 2016. The EAMQA continuously monitors the NO_2 , CO and O_3 gases presenting hourly averages, which facilitate the dissemination and interpretation of the generated data. The present work compared the NO_2 , CO and O_3 concentrations with the air quality standards established by CONAMA Resolution 03 of 1990 and correlated them with the meteorological data, where it was possible to verify that the concentration of O_3 varies according to the variation of the concentration of NO_2 and CO , obtaining 34 surpasses of the standard for O_3 . As for NO_2 and CO , there were no exceedances of air quality standards in the months studied. According to the correlation, the sources of emission of these pollutants are located to the West and East of the location of the EAMQA.

Keywords: Air pollution. Air quality standard. Ozone.

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica tem se tornado um assunto de relevância global, devido aos impactos adversos que pode causar nos receptores, seres humanos, ecossistemas, fauna, flora, etc. A principal causa da degradação da qualidade do ar são as emissões de origem antrópica, que em ambientes urbanos é causada, principalmente, pela emissão de compostos gerados a partir da queima de combustíveis fósseis, tráfego veicular e atividades industriais.

A emissão de gases poluentes para a atmosfera sempre ocorreu por fontes naturais, como as erupções vulcânicas, porém, a partir da revolução industrial, sem conscientização, chegou ao ponto de se tornar insustentável manter a qualidade do ar juntamente com o desenvolvimento econômico sem haver o controle de emissão de poluentes (DAPPER *et al.*, 2016). Nos dias de hoje, as principais fontes de poluentes atmosféricos em grandes cidades têm origem da queima de combustível fóssil, e por este motivo é importante que o monitoramento da qualidade do ar seja capaz de auxiliar na identificação destas fontes, visando contribuir no gerenciamento da qualidade do ar (MIRAGLIA *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2014).

O monitoramento da qualidade do ar pode se dar de duas principais formas, com o uso de equipamentos contínuos, também conhecido como monitoramento automático; através de monitoramento ativo e ou através de monitoramento passivo (ÁLVARES JR. *et al.*, 2002; FRONDIZI, 2008). O monitoramento automático, apesar de ser mais oneroso, fornece dados horários e ou diários, o que possibilita uma avaliação mais detalhada do comportamento dos poluentes na atmosfera. Estes resultados podem ser utilizados como avaliação da eficácia de estratégias de controle da poluição do ar, além de apoiar metas e/ou um estudo mais aprofundado dos padrões de qualidade do ar e também fornecer dados de entrada para aplicação de modelos de qualidade do ar, como por exemplo estudos a longo prazo sobre os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana (WHO, 2016; MEINCKE, 2018).

Assim, o objetivo desta pesquisa é apresentar os dados de qualidade do ar proveniente da Estação Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da Universidade FEEVALE (EAMQA), instalada em agosto de 2016, no Campus II, e correlacioná-los com os dados meteorológicos, buscando uma possível identificação das principais fontes emissoras dos poluentes atmosféricos na região em estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A poluição do ar pode ser definida como a alteração qualitativa ou quantitativa da sua composição, resultando em danos reais ou potenciais pela emissão de líquidos, sólidos e/ou gases poluentes, vindos em grande parte de fontes fixas, como a mineração, indústrias de transformação, atividades

agrossilvipastoris, usinas termelétricas e também por fontes móveis, como a queima de combustível fóssil por veículos automotores, trens, aviões e embarcações marítimas que agridem os ciclos do nitrogênio, oxigênio e do carbono, elementos essenciais para o desenvolvimento da vida na Terra, ocasionando mudanças climáticas que prejudicam o desenvolvimento da vegetação terrestre e aquática, bem como a saúde dos seres humanos (PHILIPPI JR. *et al.*, 2004; BRAGA *et al.*, 2005; MIRAGLIA *et al.*, 2014).

Ao longo dos anos, a urbanização, a industrialização e a extração de recursos naturais ao redor do mundo vêm sendo responsáveis pela emissão do alto teor de poluentes atmosféricos (MARTINS L. D. *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2017). Assim, pode-se considerar poluente atmosférico qualquer substância com concentração que possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde e ao meio ambiente. Como principais consequências à saúde humana, a poluição do ar traz como efeito o agravamento da ocorrência de doenças no sistema respiratório e circulatório, principalmente nas faixas etárias mais vulneráveis, como crianças e idosos, e intensifica os sintomas em pessoas propensas a doenças respiratórias (RÉQUIA *et al.*, 2016; PHILIPPI JR. *et al.*, 2004).

Segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS (2016), os efeitos da poluição atmosférica são um problema global de saúde pública, onde o grau de contaminação irá depender do tempo de exposição e da toxicidade dos poluentes. Até a década de 80, as principais fontes de emissão de poluentes nas grandes cidades brasileiras provinham das indústrias. A partir da década de 90, houve a migração dos polos industriais para cidades do interior. Atualmente, as grandes fontes de emissões de poluentes atmosféricos em grandes cidades são emitidas pelos veículos automotores (ANDRADE *et al.*, 2017; MIRAGLIA *et al.*, 2014; ALVES *et al.*, 2015; ILLI *et al.*, 2016). Esta constatação se dá pelo motivo das pessoas e grande parte dos bens de consumo da população serem transportados por veículos. Outro fator que teve grande influência neste aumento é o fato do transporte público no Brasil ser considerado precário, o que leva a população a preferir o uso do transporte individual, aumentando o número da frota veicular e a incidência de congestionamentos em grandes vias de circulação, o que agrava a qualidade do ar (AGUIAR, 2015).

Estes poluentes liberados para a atmosfera sofrem um processo de dispersão, que depende principalmente da velocidade e direção dos ventos, do gradiente vertical de temperatura, da intensidade dos raios solares e do regime de chuvas (PHILIPPI JR. *et al.*, 2004). Assim sendo, os fatores meteorológicos são responsáveis pelo transporte de poluentes a grandes distâncias, a partir de suas fontes de emissão; situação oposta pode ser verificada em períodos de ausência de ventos, nos quais ocorre o agravamento da concentração de poluentes em regiões próximas à fonte emissora (GOMES, 2010). Outros fatores importantes que podem ser levados em consideração são o clima, a topografia, a densidade populacional

e os tipos de atividades industriais locais (BRAGA *et al.*, 2005). O aumento da urbanização, caracterizada pela diminuição da vegetação terrestre, compactação e impermeabilização do solo e pelo aumento da incidência de poluentes atmosféricos, fez com que ocorresse uma alteração no equilíbrio entre a superfície e a atmosfera, aumentando a temperatura média nas áreas urbanas, acarretando em anomalias climáticas (AGUIAR, 2015).

O Rio Grande do Sul está totalmente localizado na zona Subtropical do Sul, sendo caracterizado pelo clima subtropical úmido. Devido às diferenças topográficas, o estado apresenta o subtipo de clima mesotérmico, sempre úmido com verões quentes e o subtipo mesotérmico, sempre úmido com verões brandos. As frentes frias no estado têm maior incidência entre os meses de julho e novembro. A cidade de Novo Hamburgo se encontra localizada na região metropolitana de Porto Alegre, uma das regiões do estado mais expostas às altas concentrações de poluentes (FEPAM, 2014), decorrentes do crescimento urbano desordenado e por conter um alto número de fontes poluidoras (ANDRADE *et al.*, 2017). De acordo com o último censo de 2010, Novo Hamburgo possui uma população estimada em 249.508 pessoas, distribuídas em uma área territorial de 223,821 km², possuindo, assim, uma densidade demográfica de 1.114,76 hab/km² (IBGE, 2017).

As regiões metropolitanas, por possuírem alta densidade populacional, alto desenvolvimento econômico e por emitirem, como consequência desse desenvolvimento, alta concentração de poluentes, são consideradas áreas estratégicas para o controle da qualidade do ar, obtendo-se o máximo aproveitamento na gestão da qualidade do ar (MARTINS *et al.*, 2014).

O monitoramento da qualidade do ar tem como objetivo avaliar as tendências e mudanças na qualidade do ar, fornecendo dados para ativar ações de emergência quando o nível de poluição representar risco à saúde pública. Visando proteger a saúde humana e o meio ambiente da poluição atmosférica, em 1976 foi criada a Portaria 231 do Ministério do Interior com o intuito de disciplinar a emissão de poluentes no ar, dando posteriormente origem à Lei nº 6.938, de 1981, do poder Público Estadual disposta sobre a política nacional de meio ambiente até a promulgação da Constituição Federal em 1988 (FRONDIZI, 2008).

Atualmente, a qualidade do ar brasileiro é assistida por leis para fontes fixas de poluição atmosférica, conforme as resoluções CONAMA 382 de 2006, 436 de 2011 e 316 de 2002, e por programas para controle das emissões de poluentes por fontes móveis tais como o PROCONVE, instituído pela Resolução 018 de 1986, do CONAMA, e pelo programa PROMOT, criado a partir da resolução 297 de 2002, do CONAMA. Estes programas têm a finalidade de estabelecer prazos, limites de emissão de poluentes e garantir a melhora tecnológica da frota veicular do Brasil (FEPAM, 2016; MIRAGLIA *et al.*, 2014). Já a

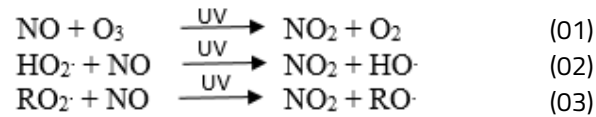
resolução 03 de 1990 do CONAMA define os padrões de emissão de poluentes atmosféricos previstos no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR (FRONDIZI, 2008).

A resolução CONAMA 03 de 1990, classifica os poluentes atmosféricos de acordo com a sua origem, sendo denominados de poluentes primários os poluentes emitidos diretamente pela fonte emissora e os poluentes secundários os que são formados na atmosfera por reações químicas ou fotoquímicas dos poluentes primários. Além da classificação, também são definidos, nesta resolução, os princípios de análise adequada para a determinação quantitativa de cada poluente e a concentração máxima permitida de cada poluente na atmosfera (BRASIL, 2017).

O controle da concentração dos poluentes atmosféricos, na maioria dos casos, não exige medidas em tempo real mas a concentração média diária ou mesmo semanal, e se faz necessário reconhecer quais as regiões do local em análise são mais afetadas pela concentração da poluição do ar (SOUZA *et al.*, 2017). Um sistema de monitoramento automático, por exemplo, uma estação automática de monitoramento da qualidade do ar, tem a capacidade de monitorar continuamente os gases poluentes CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrogênio), O₃ (ozônio) e SO₂ (dióxido de enxofre) por meio de princípios eletro-ópticos nos quais atendem aos métodos de análise determinados na resolução CONAMA 03 de 1990. A coleta da amostra em um monitor automático ocorre pela entrada de ar em uma câmara de reação onde a propriedade ótica do gás pode ser medida diretamente ou por meio de uma reação química produzindo quimiluminescência ou luz fluorescente (LAVACA, 2003). Os monitores automáticos têm como vantagem a cobertura temporal mais ampla e precisa, proporcionando maior número de dados, dispensando o manuseio de amostras (FRONDIZI, 2008).

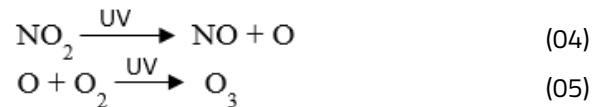
O monóxido de carbono é um poluente primário, se forma a partir da queima incompleta de combustíveis fósseis ou por meio de compostos orgânicos em virtude da atividade humana, ou ainda, por fenômenos naturais tais como atividades vulcânicas. O monóxido de carbono formado reage facilmente com o oxigênio presente no ar formando dióxido de carbono, poluente secundário, principal responsável pelo efeito estufa (GOMES, 2010).

Os óxidos de nitrogênio também são formados pela reação de combustão, sendo encontrados em grandes concentrações em regiões com intensa circulação de veículos. Sob luz solar, o NO é transformado em NO₂, conforme mostram as equações de reação (1), (2) e (3), um dos gases responsáveis pela formação do gás ozônio por meio de uma reação fotoquímica (MELO *et al.*, 2016). Esporadicamente o NO₂ atinge concentrações na atmosfera na qual sua concentração pode causar danos à saúde humana, porém seu controle é primordial por este poluente atuar como fotocatalisador na formação do ozônio além de interferir no ciclo biogeoquímico de macronutrientes (SOUZA, 2017).

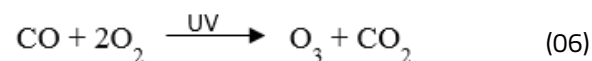


Fonte: Souza *et al.* (2017)

O ozônio é um poluente secundário, ou seja, é apenas formado a partir de reações químicas de outros poluentes atmosféricos, como o monóxido de carbono e o dióxido de nitrogênio, conforme apresenta as equações de reação (4), (5) e (6). O ozônio é encontrado naturalmente na estratosfera, porém é altamente oxidante na troposfera, dando origem ao fenômeno Smog fotoquímico (MMA, 2017; GOMES, 2010). O Smog fotoquímico é um fenômeno típico de cidades ensolaradas, quentes, de clima seco, que pode proporcionar picos de poluição em dias quentes com muito sol por meio da emissão de poluentes emitidos pelo escapamento dos veículos que liberam um coquetel de poluentes para a atmosfera, o Smog pode ser reconhecido pela cor marrom avermelhada que se forma na atmosfera (BRAGA *et al.*, 2005).



Fonte: Gomes (2010)



Fonte: Gomes (2010)

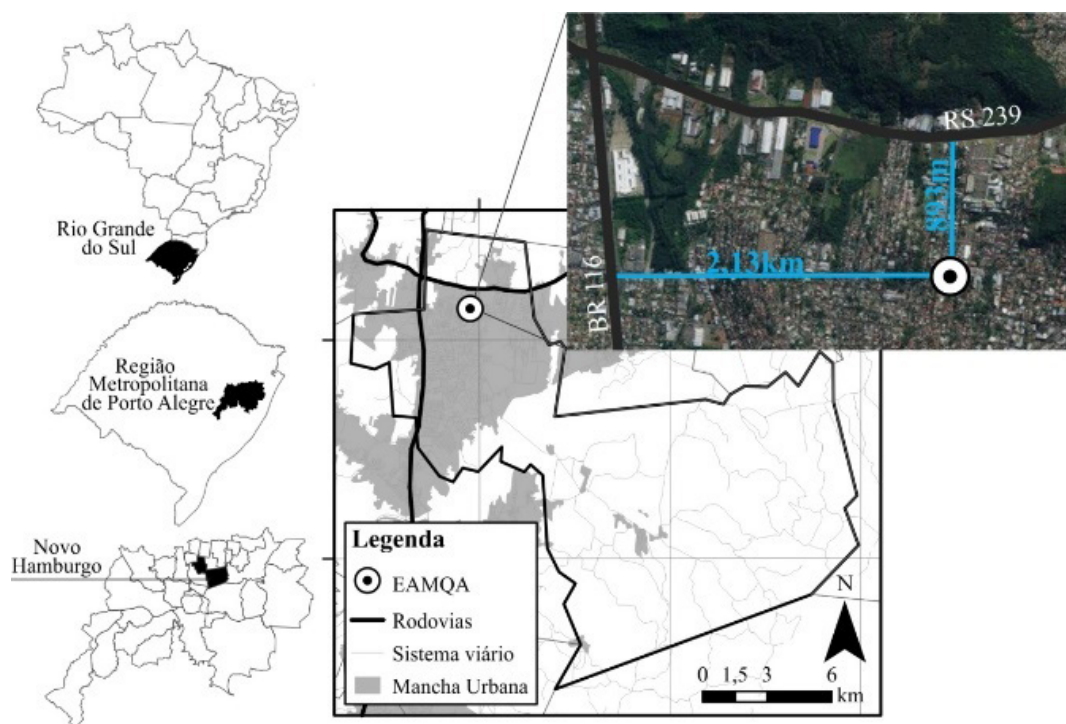
Dentre todos os poluentes, é atribuído ao ozônio uma atenção especial por ser um poluente atmosférico que mesmo estando abaixo de sua concentração limite de qualidade do ar é capaz de causar danos à saúde humana e a natureza (MARTINS *et al.*, 2017) e apesar da frota veicular estar se renovando gradativamente com veículos mais modernos e menos poluidores, a concentração de emissão de ozônio ainda não está sob controle (ANDRADE *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

A EAMQA foi instalada no município de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, no Campus II da Universidade Feevale nas coordenadas: 29° 40' 12.46"S e 51° 7' 15.95"O, conforme mostra a Figura 1. Para a sua instalação foram observadas as recomendações descritas em Frondizi (2008), e as diretrizes da norma ASTM D 5111 (ASTM, 2006), que orientam a manter o amostrador contínuo afastado de

obstáculos (prédios, árvores e plantas) a fim de obter uma amostra representativa, evitando assim possíveis interferências (FRONDIZI, 2008). Os dados da EAMQA da Universidade Feevale foram coletados mensalmente, de agosto a dezembro de 2016.

Figura 1 – Localização da EAMQA na Universidade Feevale



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

O analisador utilizado para o monitoramento contínuo dos poluentes pode ser descrito como uma Micro Estação de Monitoramento – MMS, desenvolvido pela Environnement S.A. O princípio de medição para o CO é realizado por um filtro de correlação em infravermelho baseado na absorção da radiação IV (4,50 a 4,90 μm). O método de medição para o NO_x é baseado na energia quimiluminescente emitida na reação entre NO com o O_3 em uma câmara de vácuo, gerando moléculas de NO_2 em estado excitado que liberam energia radiante ao voltar para o seu estado fundamental. Já para o O_3 , o princípio de medição se baseia na fotometria UV em um comprimento de onda de 254 nm, sua medição se dá em dois ciclos, no primeiro ciclo, sem ozônio, a amostra de ar passa por um filtro para removê-lo, o qual permite ser apenas

medida a energia do sinal UV, utilizando-o, assim, como um branco para então seguir para o segundo ciclo com ozônio, onde será determinada a sua concentração pela diferença entre os dois valores (LAVACA, 2003; GOMES, 2010).

Como a EAMQA gera dados a cada 15 minutos, foi necessário realizar a média horária para os parâmetros avaliados a fim de permitir a comparação com a resolução do CONAMA 03 de 1990, no qual estabelece padrões por hora para o CO, NO₂ e O₃. Sendo assim, realizou-se a soma de quatro valores obtidos com intervalos de 15 minutos, e após se realizou a média aritmética, com o intuito de obter um valor passível de comparação com a resolução.

A média horária diária foi obtida a partir da soma dos 24 valores de cada poluente, obtidos com a transformação anterior e a subsequente divisão pelo número de dados, permitindo assim a definição de valores diários para CO, NO₂ e O₃.

Os procedimentos descritos foram realizados para todo período analisado, de agosto a dezembro, totalizando "150 dias". Em seguida, também foram realizadas médias horárias mensais e a média geral do período analisado, que foi denominado média horária Ago – Dez.

Para a interpretação dos dados gerados na EAMQA foram utilizados os valores dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela resolução CONAMA 03 de 1990, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões estabelecidos pelo CONAMA 003/1990 para os poluentes CO, NO₂ e O₃

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário (µg.m ⁻³)	Padrão Secundário (µg.m ⁻³)
Monóxido de Carbono (CO)	1h (1)	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
Ozônio (O ₃)	1h(1)	160	160
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1h(1)	320	190

(1) Não deve ser excedida mais que uma vez ao ano

Fonte: Adaptado de Brasil (1990)

De acordo com a resolução 03 de 1990 do CONAMA, os padrões primários dizem respeito às concentrações de poluentes que, se ultrapassados, poderão afetar a saúde da população. Já os padrões secundários se referem às concentrações de poluentes abaixo das quais se presume o menor efeito adverso à população, à fauna, à flora e aos materiais e meio ambiente.

Para o estudo foi considerado o padrão secundário, pois de acordo com o Código Estadual de Meio

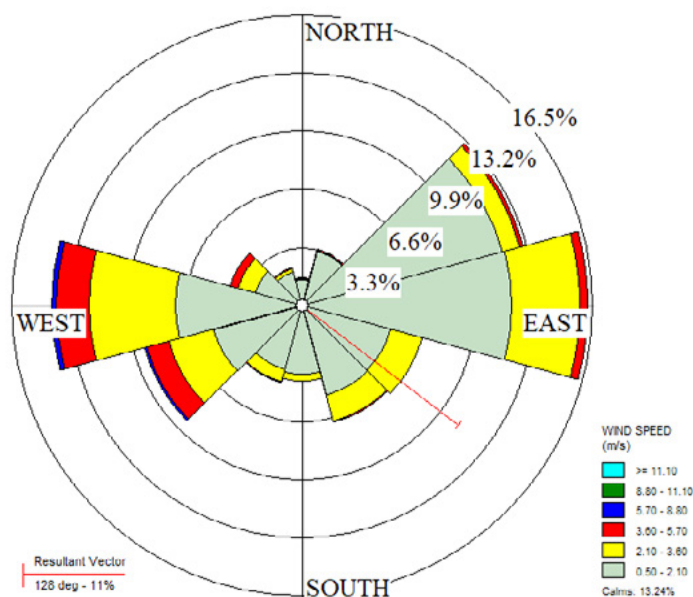
Ambiente, Lei Estadual n° 11.520/2000 (RIO GRANDE DO SUL, 2000), no seu artigo 153 – inciso II “*não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos padrões secundários de qualidade do ar...*”; concentrações que se ultrapassadas poderão afetar o bem- bem-estar da população, ocasionar dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Os dados meteorológicos necessários para fazer a correlação com os resultados das concentrações dos poluentes O₃, NO₂ e CO obtidos pela EAMQA, no período de agosto a dezembro de 2016, foram fornecidos pela estação meteorológica de Campo Bom (OMM 86991) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a estação encontra-se a uma latitude de -29,674293°, longitude -51,064042° e altitude de 23 m, e com uma distância de aproximadamente 5,52 km de distância em linha reta da EAMQA. A estação meteorológica fornece dados horários de temperatura, pressão, umidade, ponto de orvalho, velocidade e direção do vento, radiação e precipitação. Para o estudo, realizou-se o cálculo da média diária para cada parâmetro meteorológico.

A análise de correlação de *Spearman* foi aplicada ao conjunto total de dados a fim de identificar possíveis relações entre os dados gerados na EAMQA e as variáveis meteorológicas, o programa utilizado foi o IBM SPSS Statistics 22.0.

A rosa dos ventos foi gerada a partir do Software WRPLOT View 8.0.0. A Figura 2 apresenta a rosa dos ventos para o período estudado, indicando que a direção predominante dos ventos é de leste (east), apresentando uma velocidade de vento entre 3 e 5 m/s e a segunda direção predominante é oeste (west).

Figura 2 - Rosa dos ventos sobre a EAMQA



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios horários de CO, NO₂ e O₃ para o período de agosto a dezembro de 2016, como o tempo amostral ocorreu apenas para um período de cinco meses, não foi possível determinar uma média anual. Assim, não foi possível comparar com os padrões de qualidade do ar anuais estabelecidos pela Resolução do CONAMA 03 de 1990. Salienta-se que no mês de dezembro o EAMQA não gerou dados para o CO, deixando uma lacuna nos resultados para este mês.

Tabela 2 - Média e desvio padrão (DP) dos valores horários mensais de CO, NO₂ e O₃ comparados com a média horária Ago-Dez/2016

(continua)

Poluente	Estatística	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média (Ago-Dez)
NO ₂ (µg.m ⁻³)	Média	21,34	11,31	9,90	10,09	7,55	12,04
	DP	6,63	6,69	5,77	5,54	4,77	5,37

(continuação)

Poluente	Estatística	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média (Ago-Dez)
CO (ppm)	Média	0,82	0,27	0,34	0,30	---- *	0,35
	DP	0,61	0,19	0,25	0,11	---- *	0,30
O ₃ (µg.m ⁻³)	Média	40,81	58,14	50,38	57,00	55,43	52,35
	DP	14,70	10,97	10,58	13,40	11,60	7,10

* Não foram obtidos resultados pela EAMQA.

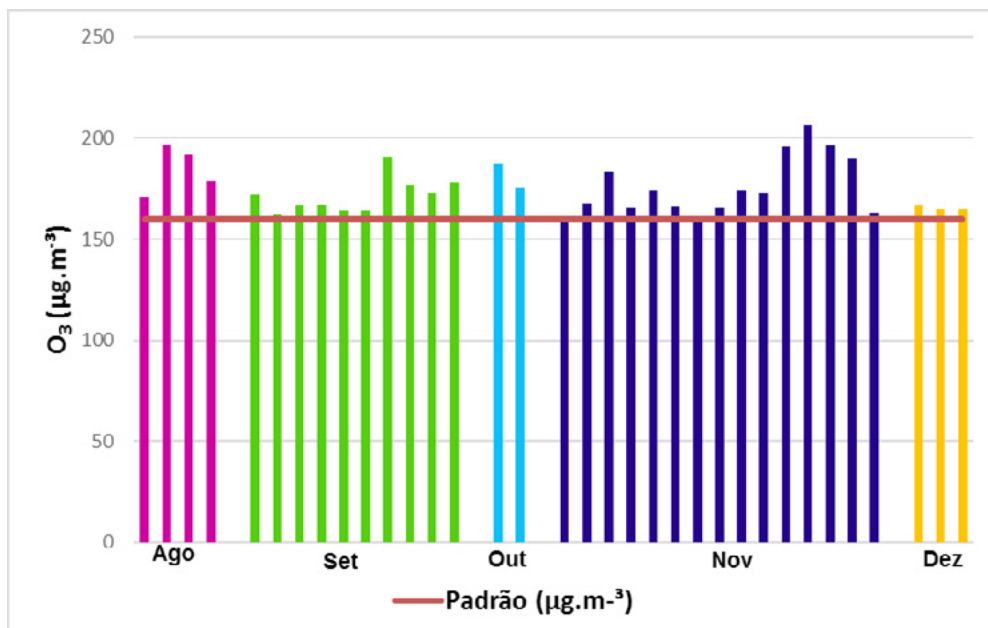
Fonte: elaborado pelos autores (2018)

Observa-se que as médias horárias mensais de NO₂ variaram de 7,55 a 21,34 µg.m⁻³, enquanto as médias de CO e O₃ foram entre 0,27 a 0,82 ppm e 40,81 a 58,14 µg.m⁻³, respectivamente. As médias dos três poluentes foram 12,04 µg.m⁻³ para o NO₂, 0,35 ppm para o CO e 52,35 µg.m⁻³ para o O₃. Os valores observados para o NO₂ e para o CO não ultrapassaram nenhuma vez o limite por hora estabelecido pelo CONAMA 03 de 1990, que é de 320 µg.m⁻³ para o NO₂ e 40.000 µg.m⁻³ para o CO, equivalente a 35 ppm.

Os piores valores médios diários encontrados durante o período de agosto a dezembro de 2016 foi de 36 µg.m⁻³ de NO₂ no dia 25 de agosto, 2,50 ppm de CO, no dia 22 de agosto, e de 90,01 µg.m⁻³ de O₃, no dia 13 de setembro.

Em relação ao O₃, ao comparar as médias horárias de cada dia com os valores do padrão primário e secundários de qualidade do ar da resolução CONAMA 03 de 1990 (160 µg.m⁻³), obteve-se um total de 34 ultrapassagens do padrão de qualidade, sendo o mês de outubro com o menor número de ultrapassagens horárias (2 no total) e o mês de novembro com 15 ultrapassagens horárias, maior quantidade de ultrapassagens, conforme mostra a Figura 3. O intervalo de tempo com maior registro de ultrapassagens foi das 13h às 14h, totalizando 9 leituras acima do padrão de qualidade do ar (160 µg.m⁻³), os dois segundos piores intervalos de tempo foi das 12h às 13h e das 15h às 16h, ambos com 7 leituras acima do padrão.

Figura 3 - Comparação das concentrações horárias de O₃ fora dos padrões/hora com o padrão de O₃ (160 µg.m⁻³)



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

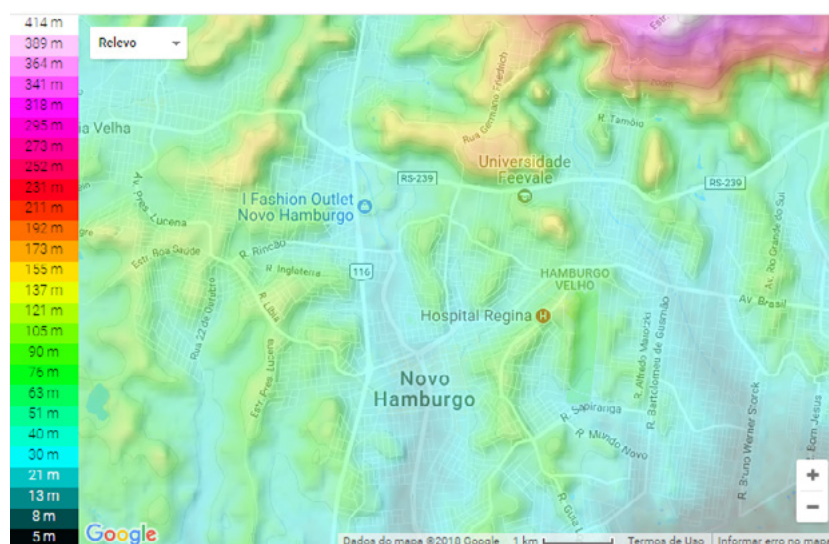
Tendo em vista que a reação de formação do ozônio na atmosfera é uma reação secundária formada a partir de uma reação entre os poluentes primários NO₂, CO e Compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de radiação UV, conforme mostrado nas reações (4), (5) e (6), entende-se que o ozônio não deve ter sido formado em uma região muito próxima à EAMQA da Universidade Feevale, haja vista que a localidade é considerada uma zona residencial com pouco fluxo de veículos.

Como a poluição atmosférica é um fenômeno transfronteiriço, entende-se que o ozônio tenha sido formado em uma outra região próxima e tenha sido transportado através das massas de ar até o local de monitoramento (EAMQA). Por meio desta suposição, buscou-se por possíveis fontes de formação de ozônio mediante a correlação dos dados obtidos neste estudo com a direção e a intensidade dos ventos dos quais as suas trajetórias passaram pela EAMQA.

Para fazer a correlação entre os dados obtidos pela EAMQA para O₃, NO₂ e CO com os dados meteorológicos da estação meteorológica de Campo Bom, é necessário conhecer o relevo local, tendo

em vista que áreas muito montanhosas dificultam a circulação do vento. A Figura 4 apresenta o mapa do relevo da região em torno da estação automática de monitoramento da qualidade do ar da Universidade Feevale. A barra de cores se refere às altitudes em metro. Pode-se observar que a região possui um relevo irregular, com muitos pontos altos, com alturas predominantes de 30 a 137 m de altura.

Figura 4 - Mapa do relevo da região em estudo



Fonte: topographic-map (2018)

Para relacionar a direção e velocidade do vento com a topografia da região foram avaliadas as trajetórias que passaram pela EAMQA gerando uma sobreposição da rosa dos ventos com a imagem de satélite da região em estudo, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Imagem de satélite da região em torno da EAMQA com sobreposição da rosa dos ventos



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

Analisando a Figura 5, observa-se que a Oeste, onde obteve-se as trajetórias de vento com maior velocidade, vem provavelmente tendo como origem as emissões provenientes da rodovia BR 116, Av. Presidente Lucena, Rua Rincão, Rua Boa Saúde e a Rua José do Patrocínio, vias urbanas de intenso tráfego veicular. E a Leste, as trajetórias dos ventos são provenientes da RS 239, Av. Vitor Hugo Kunz e Av. Brasil. Estas vias urbanas do município de Novo Hamburgo possuem intenso tráfego veicular por interligaram as rodovias BR 116 e RS 239. As máximas concentrações horárias de O_3 foram observadas nas trajetórias dos ventos do quadrante leste/sudeste, com velocidade do vento entre $0,9$ e $1,4 \text{ m.s}^{-1}$, que dificulta a dispersão dos poluentes, possibilitando um acúmulo de poluentes na atmosfera. Estas características físicas da atmosfera podem ter contribuído para a formação do ozônio em conjunto com as emissões de dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono, que tem como principal fonte, neste caso, as emissões veiculares. (BRAGA *et al.*, 2005; PHILIPPI JR., 2004).

A Tabela 3 apresenta a matrix de correlação de spearman, sendo possível observar uma fraca correlação inversa (negativa) entre o NO_2 e o O_3 ($-0,361$) e uma moderada correlação entre NO e O_3 , podendo assim relacionar que o decréscimo das concentrações de NO/NO_2 na atmosfera possam estar relacionadas à formação do O_3 . Uma correlação moderada também foi observada entre CO e os óxidos

de nitrogênio ($\text{NO}/\text{NO}_x/\text{NO}_2$) com valores acima de 0,5. A temperatura, umidade relativa, radiação solar e precipitação apresentaram correlação somente com o O_3 , de fraca a moderada. Entretanto, a velocidade do vento apresentou correlação negativa, de fraca a moderada, para NO_x , NO_2 e CO, e não apresentou correlação com o O_3 , o que de certa forma corrobora com a hipótese de que a formação do O_3 ocorre a longas distâncias de seus precursores, no caso NO_x e CO. Outro fator importante na formação do O_3 é a radiação solar, e isso pode ser observado devido à moderada correlação entre este poluente em relação à radiação solar (0,405).

Tabela 3 - Matrix de correlação de Spearman entre poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas - Ago-Dez/2016

	NO	NOx	NO ₂	CO	O ₃
NOx	0,903**				
NO₂	0,825**	0,956**			
CO	0,574**	0,656**	0,658**		
O₃	-0,545**	-0,429**	-0,361**	-0,179	
Temperatura	-0,162	-0,087	-0,015	0,068	0,279**
Umidade Relativa do Ar	0,133	0,129	0,150	0,054	-0,534**
Pressão Atmosférica	0,050	0,003	-0,007	-0,229*	-0,081
Velocidade do Vento	-0,287**	-0,510**	-0,592**	-0,363**	0,142
Radiação Solar	-0,101	-0,164	-0,197	-0,091	0,405**
Precipitação	0,032	0,036	0,058	0,052	-0,323**

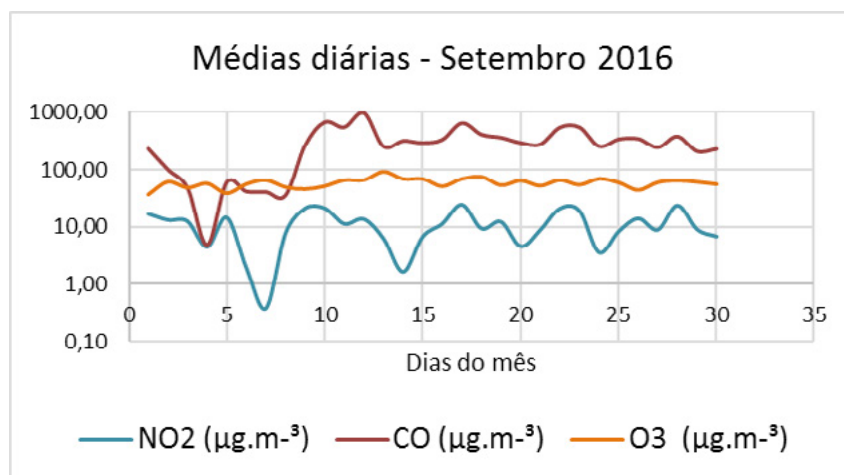
Legenda: *Correlação é significativa ao nível 5%;**Correlação é significativa no nível 1%. Relação entre coeficiente de correlação e intensidade da correlação (positiva e negativa): 0,1-0,3 (fraca), 0,4-0,6 (moderada) e 0,7-0,9 (forte).

Fonte: elaborado pelos autores (2018)

A correlação inversa identificada entre o O_3 e seus precursores ($\text{NO}_x/\text{NO}/\text{NO}_2$ e CO) indica que quando ocorre a diminuição da concentração de NO_2 e CO a concentração de O_3 aumenta, o que pode explicar a formação do O_3 a partir de poluentes primários com o oxigênio atmosférico, conforme descrito nas reações (4), (5) e (6).

A Figura 6 apresenta a distribuição das concentrações diárias para O_3 , CO e NO_2 para o mês de setembro de 2016, onde percebe-se uma concentração praticamente linear de O_3 sem grandes oscilações. Observa-se que no início do mês houve uma oscilação considerável de NO_2 e CO e no decorrer se manteve mais estável, o que justifica a concentração de O_3 não ter variado muito, mesmo nos dias em que houve uma queda considerável da concentração dos poluentes primários.

Figura 6 - Gráfico de tendência do O_3 de acordo com o CO e NO_2 no mês de setembro/2016



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

De modo geral, é perceptível que a concentração de CO e NO_2 interferem diretamente na formação do O_3 , e que a concentração de O_3 irá depender das condições climáticas do dia para que ocorram as reações fotoquímicas com os poluentes NO_2 e CO, responsáveis pela sua formação, como pode ser observado nos resultados da Tabela 3, da matrix de correlação de *spearman*.

5 CONCLUSÃO

Foi observado que as médias horárias mensais para NO_2 , CO e O_3 , entre agosto e dezembro de 2016, atenderam os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução 03 de 1990 do CONAMA, visto que tiveram uma variação de 7,55 a 21,34 $\mu\text{g.m}^{-3}$ para NO_2 , 0,27 a 0,82 ppm para o CO e de 40,81 a 58,14 $\mu\text{g.m}^{-3}$ para o O_3 , bem como as médias (Ago-Dez) que foram de 12,04 $\mu\text{g.m}^{-3}$ de NO_2 , 0,35 ppm de CO e 52,35 $\mu\text{g.m}^{-3}$ de O_3 , não ultrapassando os limites padrões que são de 320 $\mu\text{g.m}^{-3}$ para NO_2 , 35ppm

para o CO e $160 \mu\text{g.m}^{-3}$ para o O_3 . Já os piores valores médios diários encontrados durante o período de agosto a dezembro foram de $36 \mu\text{g.m}^{-3}$ de NO_2 , no dia 25 de agosto, 2,50 ppm de CO, no dia 22 de agosto e de $90,01 \mu\text{g.m}^{-3}$ de O_3 , no dia 13 de setembro, em que também atenderam aos padrões de qualidade do ar.

No entanto, embora a variação da média horária mensal e a média geral dos meses estudados para o ozônio não tenham ficado acima do limite padrão, que é de $160 \mu\text{g.m}^{-3}$, a média horária em alguns dias, entre o período de agosto e dezembro de 2016, ultrapassou este limite por 34 vezes, ficando fora do padrão de qualidade do ar estabelecido pela resolução CONAMA 003/1990, por ter excedido mais de uma vez ao ano.

As fontes de emissão identificadas na formação do ozônio que estão influenciando a qualidade do ar em torno da EAMQA são oriundas do tráfego veicular intenso nas rodovias BR 116 e ERS 239, além de algumas vias urbanas do município de Novo Hamburgo, localizadas a leste e oeste da EAMQA, devido à presença dos poluentes CO e NO_2 terem como principal fonte emissora a queima de combustíveis fósseis, neste caso mais especificamente os veículos automotores.

Com base no acompanhamento das concentrações de CO e NO_2 , constatou-se que a formação de O_3 varia de acordo com a quantidade destes gases na atmosfera e com as condições meteorológicas favoráveis para que a reação de formação do O_3 ocorra. Isso foi observado através da análise de correlação de spearman, apresentando correlação negativa com os óxidos de nitrogênio e uma correlação positiva com a radiação solar. Portanto, a concentração de CO e NO_2 interferem diretamente na formação do O_3 , e a concentração de O_3 irá depender das condições climáticas do dia para que ocorra as reações fotoquímicas com os poluentes NO_2 e CO, responsáveis pela sua formação.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. S. **Estudo da relação da qualidade do ar e variáveis meteorológicas na ocorrência de morbidade respiratória e circulatória na região metropolitana de São Paulo**. 105 p. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná Londrina, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1384/1/LD_PPGEA_M_Aguiar%2C%20Lais%20Sinhorini_2015.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2018.

ÁLVARES JR., O.M.; LACAVA, C.I.V.; FERNANDES, P.S. 2002. **Tecnologias e gestão ambiental** – Emissões atmosféricas. Brasília, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). 373 p.

ALVES, D. D.; MIGLIAVACCA, D. M.; RODRIGUES, M. A. S.; ILLI, J. C.; BIANCHIN, L.; BENVENUTI, T. Concentrations of PM_{2.5-10} and PM_{2.5} and metallic elements around the Schmidt Stream area, in the Sinos River Basin, southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 43-52, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.00113suppl>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

ANDRADE, M. F.; KUMAR, P.; FREITAS, E. D.; YNOUE, R. Y.; MARTINS, J.; MARTINS, L. D.; NOGUEIRA, T.; PERAZ-MARTINEZ, P.; MIRANDA, R. M.; ALBUQUERQUE, T.; GONÇALVES, F. L.T.; OYAMA, B.; ZHANG, Y. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric Environment**, v. 159, 2017, p. 66-82. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.051>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

ASTM. **Standard guide for choosing locations and sampling methods to monitor atmospheric deposition at non-urban locations**: D 5111-99. ASTM: West Conshohocken, 2006.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental** – O desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente**. CONAMA 03 de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 20 set. 2017.

DAPPER, S. N.; SPOHR, D.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos avançados**, v. 30, n. 86, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142016000100083>. Acesso em: 8 fev. 2018.

EPA - Environmental Protection Agency. **Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park**, NC 27711 - EPA-454/R-98-004. August 1998. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000QNC4.PDF?Dockey=2000QNC4.PDF>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. **Diagnóstico da qualidade do ar no Rio Grande do Sul no período de 2003 a 2012**. Rede Estadual de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar. Porto Alegre: FEPAM, 2014. 91 p. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorio_pesquisa.asp>. Acesso em: 31 jan. 2018.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar relatório 2016**. Porto Alegre: FEPAM, 2017. 34 p. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorio_pesquisa.asp>. Acesso em: 31 jan. 2018.

FREITAS, C. U.; LEON, A. P. ; JUGER, W.; GOUVEIRA, N. Poluição do ar e impactos na saúde em Vitória, Espírito Santo. **Revista de Saúde Pública**, v. 50, 2016, p. 1-9, São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67247719004>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

FRONDIZ, C. A. **Monitoramento da qualidade do ar: teoria e prática**. Rio de Janeiro, RJ: E-papers, 2008.

GOMES, J. **Poluição Atmosférica** – Um manual Universitário. 2. ed. Publindústria, Edições Técnicas, Ltda. 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Áreas dos Municípios**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=destaques&c=4313409>>. Acesso em: 21 jan. 2018.

ILLI, J. C.; VANCETTA, T.; ALVES, D. D.; OSÓRIO, D. M. M.; BIANCHIN, L.; DE QUEVEDO, D. M.; JUCHEM, F. Integrated assessment of air pollution by metals and source apportionment using ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) in southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 24, n. 3, p. 2790-2803, 2016. Disponível em: <DOI 10.1007/s11356-016-8041-y>. Acesso em: 05 mar. 2018.

LAVACA, C. I. V. **Avaliação da qualidade do ar**. Capítulo 2. UFPR-Universidade Federal do Paraná. 2003. Disponível em: <http://www.ambiental.ufpr.br/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA-_cap_2_-_QUAL_AR.pdf>. Acesso em: 20 set. 2017.

MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; RIBEIRO, G. P. ; PEREIRA, M. F.M. Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região

Metropolitana do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária Ambiental**, ed. especial, 2014, p. 43-49. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v19nspe/1413-4152-esa-19-spe-0043.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

MARTINS, L. D.; WIKUATS, C. F. H.; CAPUCIM, M. N.; ALMEIDA, D. S.; COSTA, S. C.; ALBUQUERQUE, T.; CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D.; ANDRADE, M. F.; MARTINS, J. A. Extreme value analysis of air pollution data and their comparison between two large urban regions of South America. **Weather and Climate Extremes**, 2017, p. 1–11. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.10.004>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

MEINCKE, L. **Avaliação Integrada da Qualidade do Ar utilizando biomonitoramento ativo (*Lolium Multiflorum*) e aerossóis atmosféricos para a determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais em áreas urbanas e semiurbanas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS**. 131p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental) - Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2018.

MELO, J. R.; LIMA, E. P. ; GIMENES, M. L. **Estudo computacional das emissões e dispersões atmosféricas do processo Kraft de produção de celulose: avaliação da qualidade do ar**. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/2016nahead/1809-4457-esa-S1413_41522016136359.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2017.

MIRAGLIA, S. G.; EL K.; GOUVEIRA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 4141-4147, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csc/v19n10/1413-8123-csc-19-10-4141.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes Atmosféricos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

RÉQUIA, W. J.; ROIG, H. L. Avaliação espacial entre poluição do ar e saúde em áreas com limitação de dados. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 807-812, out./dez. 2016. Brasília: Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400046>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. **Código Estadual de Meio Ambiente**. Lei Estadual n° 11.520/2000. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/28093051-codigo-estadual-do-meio-ambiente.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

SOUZA, P. A. F.; FRANCISCO, K. C. A.; CARDOSO, A. A. Desenvolvimento de amostrador passivo sensível para monitoramento de poluição atmosférica por dióxido de nitrogênio. **Química Nova**, v. 40, n, 10, p. 1233-1237, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170117>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

SANTOS, M. G.B. **Avaliação da direção preferencial da dispersão de poluentes para diferentes estações do ano na área industrial de Juiz de Fora – MG**. Monografia (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2016. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-MARCELA-GRANATO-B-DOS-SANTOS.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

TOPOGRAPHIC-MAP. COM. **Relevo de Novo Hamburgo**. Disponível em: <<http://pt-br.topographic-map.com/places/Novo-Hamburgo-2093804/>>. Acesso em: 08 fev. 2018.

WHO, WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ambient air pollution**: a global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization, 2016. Disponível em:<<http://who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

WMO - World Meteorological Organization. **Section 7 Chemical Aspects of Air Pollution**. Disponível em: <<http://slideplayer.com/slide/801497/>>. Acesso em: 30 nov. 2017.