



Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 2

 **Atena**
Editora

Ano 2020



Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 2

Atena
Editora

Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Luis Ricardo Fernandes da Costa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G342 Geociências: estabelecimento e evolução da civilização humana 2 / Organizador Luis Ricardo Fernandes da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-555-6

DOI 10.22533/at.ed.556200911

1. Evolução. 2. Geociências. 3. Civilização Humana. I. Costa, Luis Ricardo Fernandes da (Organizador). II. Título.
CDD 576.8

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

É com muito prazer que divulgamos a obra “Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 2”, que apresenta uma série de cinco artigos que agregam mais discussões e estudos de caso para as geociências.

A abertura do livro, com o capítulo “Análise espacial dos padrões de variabilidade da precipitação sobre a América do Sul”, apresenta excelente contribuição para a compreensão das condições pluviométricas, com o objetivo de determinar o padrão de variabilidade dessas precipitações na América do Sul.

No capítulo 2 “A compartimentação do Parque Natural Municipal de Jacarenema segundo a hierarquia da paisagem proposta por Bertrand” elabora uma proposta e discute a análise e compartimentação ambiental para a área.

No capítulo 3 “Matriz de incidência da CFEM e sua semelhança com tributo” é apresentado um estudo que estuda as receitas públicas enfatizando a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais e os tributos, de modo que apresenta a semelhança existente entre estas duas receitas governamentais.

No capítulo 4 “Greve dos Caminhoneiros e a diminuição dos poluentes monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio e o aumento do ozônio na Região Metropolitana de São Paulo” apresenta um estudo que demonstra a relação direta existente entre a diminuição do tráfego de veículos pesados e conseqüentemente veículos leves durante a greve dos caminhoneiros no período de 21 a 31 de maio de 2018 e a concentração de poluentes atmosféricos na RMSP.

Para o encerramento da presente obra, o leitor(a) é contemplado com importante contribuição intitulada “Turismo rural e agricultura familiar do ‘caminho de São Francisco da Esperança”, Guarapuava, PR” onde apresenta ações que visam consolidar o “Caminho de São Francisco da Esperança” como um roteiro turístico, conhecido pelos brasileiros e mundialmente, tornando-o um potencial turístico rural sustentável para o desenvolvimento, econômico, social, ambiental e cultural.

Dessa forma, a coleção de artigos consolida mais uma obra na área das Geociências, proporcionando uma série de possibilidades de pesquisas na área.

Luis Ricardo Fernandes da Costa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE ESPACIAL DOS PADRÕES DE VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO SOBRE A AMÉRICA DO SUL	
Mariah Sousa Gomes	
Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti	
Gabriela Viviana Müller	
DOI 10.22533/at.ed.5562009111	
CAPÍTULO 2	12
A COMPARTIMENTAÇÃO DO PARQUE NATURAL MUNICIPAL DE JACARENEMA SEGUNDO A HIERARQUIA DA PAISAGEM PROPOSTA POR BERTRAND	
Carlos Alberto Kuster Pinheiro	
Cláudia Câmara Vale	
DOI 10.22533/at.ed.5562009112	
CAPÍTULO 3	24
MATRIZ DE INCIDÊNCIA DA CFEM E SUA SEMELHANÇA COM TRIBUTO	
Antônio Teotônio de Souza Neto	
DOI 10.22533/at.ed.5562009113	
CAPÍTULO 4	35
GREVE DOS CAMINHONEIROS E A DIMINUIÇÃO DOS POLUENTES MONÓXIDO DE CARBONO E ÓXIDOS DE NITROGÊNIO E O AUMENTO DO OZÔNIO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	
Débora Souza Alvim	
Júlio Barboza Chiquetto	
José Roberto Rozante	
Dirceu Luis Herdies	
Ludmilla Manera Conti	
Vinícius Rozante	
João Paulo Assis Gobo	
Marlon Faria	
Ariane Frassoni dos Santos	
Silvio Nilo Figueroa	
DOI 10.22533/at.ed.5562009114	
CAPÍTULO 5	54
TURISMO RURAL E AGRICULTURA FAMILIAR DO ‘CAMINHO DE SÃO FRANCISCO DA ESPERANÇA’, GUARAPUAVA, PR	
Valeria Terezinha Stocki	
Glaucio Nonose Negrão	
DOI 10.22533/at.ed.5562009115	
SOBRE O ORGANIZADOR	67
ÍNDICE REMISSIVO	68

CAPÍTULO 4

GREVE DOS CAMINHONEIROS E A DIMINUIÇÃO DOS POLUENTES MONÓXIDO DE CARBONO E ÓXIDOS DE NITROGÊNIO E O AUMENTO DO OZÔNIO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Data de aceite: 01/11/2020

João Paulo Assis Gobo

Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia – Rondônia, RO, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6216803824187190>

Débora Souza Alvim

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Cachoeira Paulista, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4006370546566608>

Marlon Faria

Instituto de Física da Universidade de São Paulo – São Paulo, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1293925960269562>

Júlio Barboza Chiquetto

Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados – São Paulo, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/764768547308092>

Ariane Frassoni dos Santos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Cachoeira Paulista, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9897358688381968>

José Roberto Rozante

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Cachoeira Paulista, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3781543923591839>

Silvio Nilo Figueroa

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2191790439726897>

Dirceu Luis Herdies

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Cachoeira Paulista, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3752951275341381>

Ludmilla Manera Conti

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Cachoeira Paulista, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7537211741710846>

Vinícius Rozante

Escola de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4712662480347356>

RESUMO: A poluição do ar tornou-se um dos fatores que mais afetam a qualidade de vida da população, ocasionando prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente. Emissões de gases por veículos automotores comprometem significativamente a qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) por liberarem grande quantidade de monóxido de carbono (CO), material particulado (MP) óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV), poluentes que formarão ozônio (O₃). Estudos anteriores apontam que a exposição média da população à poluição atmosférica em São Paulo equivale ao mesmo nível de intoxicação que fumar até cinco cigarros

por dia. O presente estudo demonstra a relação direta existente entre a diminuição do tráfego de veículos pesados e consequentemente veículos leves durante a greve dos caminhoneiros no período de 21 a 31 de maio de 2018 e a concentração de poluentes atmosféricos na RMSP. Os resultados das concentrações de CO, O₃, NO e NO₂ foram avaliados na forma de ciclos diurnos, comparando uma média dos três anos anteriores (2015-2017, sem greve) com 2018 (com a greve) durante o mesmo período. Também foram avaliados dados meteorológicos, com o objetivo de verificar o papel das condições meteorológicas na concentração dos poluentes dentro do contexto da greve. Para representar diferentes condições de exposição às diferentes fontes veiculares, foram escolhidas cinco estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB: Cerqueira César, Cidade Universitária IPEN-USP, Grajau-Parelheiros, Marginal Tiete-Ponte dos Remédios e São Caetano do Sul. Na estação Cerqueira César, houve diminuição de 25% de CO, 48% de NO e 25% de NO₂. Na estação Cidade Universitária IPEN-USP, houve 18% na diminuição de NO e aumento de 47% de O₃. Na estação Grajau-Parelheiros, houve 42% de diminuição de CO, enquanto que o NO e o NO₂ diminuiram 48% e 42%, respectivamente, e aumento de 66% de O₃. Na estação Marginal Tiete Ponte dos Remédios, o CO diminuiu 23% e o NO e NO₂ diminuiram 39% e 23%, respectivamente. Na estação São Caetano do Sul, houve 36% na diminuição de CO, enquanto que o NO e o NO₂ diminuiram 58% e 36%, respectivamente, e o O₃ aumentou em 82%. Os parâmetros meteorológicos, considerando considerando os períodos com e sem greve, demonstraram velocidade do vento média 69% maior na RMSP em 2018. A precipitação praticamente não alterou no período que não ocorreu a greve com o período da greve, enquanto que, no período de greve, a UR esteve 8% mais baixa, a temperatura 10% mais baixa e radiação global 42% mais alta. Durante o período da greve, ocorreu redução intensa nos poluentes primários avaliados (CO e NO), diretamente associados à emissão veicular. Houve aumento de ozônio, provavelmente associado ao aumento da radiação solar em 2018 e também à diminuição de NO (poluente que consome o O₃, diminuindo a sua concentração). Assim, observou-se que o aumento de ozônio no período da greve ocorreu provavelmente devido à combinação de fatores antropogênicos e naturais: a diminuição da emissão de NO devido à greve, combinada com 42% da radiação global mais alta no período da greve em 2018 em relação ao média do período sem greve (2015 a 2017).

PALAVRAS-CHAVE: Poluição do ar, greve dos caminhoneiros, Região Metropolitana de São Paulo, emissão veicular.

TRUCKERS' STRIKE AND THE REDUCTION OF CARBON MONOXIDE AND NITROGEN OXIDES POLLUTANTS AND THE INCREASE OF OZONE IN THE METROPOLITAN AREA OF SÃO PAULO

ABSTRACT: Air pollution has become one of the main factors to decrease the quality of life of urban populations, impacting human health and the environment. Gas emissions from motor vehicles significantly compromise air quality in the Metropolitan Area of São Paulo (MASP), by releasing large amounts of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and volatile organic compounds (VOCs), which will form ozone (O₃). Previous studies show that the average population exposure to air pollution in São Paulo is equivalent to inhaling the same level of toxins as smoking up to five cigarettes per day. The present study demonstrates the direct relationship between the decrease in heavy vehicle traffic (which also decreased light vehicle

traffic due to shortage of fuel supply) during the truck driver's strike, from May 21st to 31st, 2018, and the concentration of air pollutants in the MASP. The concentrations of CO, O₃, NO and NO₂ were evaluated in the form of diurnal cycles, comparing an average of the previous three years (2015-2017, without strike) with 2018 (with the strike) during the same period. Meteorological data we also analyzed, in order to verify the role of meteorological conditions in the concentration of pollutants within the context of the strike. To represent different conditions of exposure to different vehicle sources, five air quality monitoring stations were chosen from the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB): Cerqueira César, Cidade Universitária IPEN-USP, Grajau-Parelheiros, Marginal Tiete-Ponte dos Remédios and São Caetano do Sul. At Cerqueira César station, there was a decrease of 25% of CO, 48% of NO and 25% of NO₂. At Cidade Universitária IPEN-USP, there was an 18% decrease in NO and a 47% increase in O₃. At Grajau-Parelheiros station, there was a 42% decrease in CO, while NO and NO₂ decreased by 48% and 42%, respectively, and an increase of 66% in O₃. At Marginal Tiete Ponte dos Remédios station, CO decreased 23%, NO and NO₂ decreased 39% and 23% respectively. At São Caetano do Sul station, there was a 36% decrease in CO, NO and NO₂ decreased by 58% and 36% respectively and O₃ increased by 82%. The meteorological parameters considering the average of 2015-2017 (years without strike) compared to 2018, the strike period, showed that the wind speed average was 69% higher in the MASP, the UR was 8% lower, temperature 10% lower, global radiation 42% higher and there were no changes in precipitation. During the strike period, there was an intense reduction in the primary pollutants evaluated (CO and NO), directly associated with vehicular emissions. There was an increase in ozone, probably associated with an increase in solar radiation in 2018 and also with a decrease in NO (which consumes O₃, decreasing its concentration). Thus, it was observed that the increase in ozone during the strike period was probably due to the combination of anthropogenic and natural factors: the decrease in NO emissions due to the strike, combined with an increase in 42% in global radiation during the strike period in 2018 compared to the average of the period without strike (2015 to 2017).

KEYWORDS: Air pollution, trucks strike, Metropolitan Area of São Paulo, vehicle emission.

1 | INTRODUÇÃO

A poluição do ar tornou-se um dos fatores que mais afetam a qualidade de vida da população, ocasionando prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente. Emissões de gases por veículos automotores comprometem significativamente a qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) por liberarem grande quantidade de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), compostos orgânicos voláteis e estes poluentes formarão ozônio (O₃).

Estudos anteriores apontam que a exposição média da população à poluição atmosférica em São Paulo equivale ao mesmo nível de intoxicação que fumar até cinco cigarros por dia.

Em grandes centros urbanos dominados por serviços e comércio, o setor de transporte frequentemente corresponde a uma grande porcentagem das fontes de poluição do ar. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os veículos leves e pesados

emitiram 97% do monóxido de carbono (CO), 70% dos óxidos de nitrogênio (NO_x), 80% dos hidrocarbonetos (HCs) e 40% do material particulado (MP) na região, segundo relatório da CETESB, Agência Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019).

Os níveis de concentração de poluentes dependem de muitos fatores, como taxas de emissão de poluentes e condições atmosféricas (BRASSEUR,.; ORLANDO; TYNDALL, 1999). Portanto, é lógico supor que, em grandes áreas urbanas como o RMSP, as mudanças na circulação dos veículos também terão impacto na emissão e concentração de poluentes, já que a maior parte das emissões de poluentes na RMSP são provenientes da frota de veículos leves e pesados.

Além disso, São Paulo foi classificado como o 4º pior engarrafamento mundial, com pessoas gastando em média 2 horas durante seu deslocamento diário, levando a encargos de saúde e prejuízos econômicos, provavelmente chegando a bilhões de dólares (COOKSON G; PISHUE, B, 2017; LEIRIÃO et al., 2020). Estima-se que os veículos pesados (HDV) em São Paulo contribuam com até 47% do carbono negro (BC) atmosférico e 40% de certos compostos orgânicos voláteis (COVs, como benzeno e tolueno), sendo benzeno carcinogênico e tolueno mutagênico. 44% do NO_x emitido na RMSP é proveniente de veículo pesado e 18% emitido por veículos leves.

Durante os dias 21 a 31 de maio de 2018, ocorreu uma greve nacional de caminhoneiros no Brasil, exigindo a redução dos preços dos combustíveis e melhorias nas condições de trabalho para o setor (<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44302137>). Essa mobilização social paralisou quase toda a circulação de veículos pesados em todo o Brasil. Como o abastecimento de combustível nos postos de gasolina é feito por caminhões, isso levou à escassez da maioria dos combustíveis veiculares - o que, por sua vez, levou a uma redução expressiva na atividade de veículos leves também. A frota de ônibus municipais também foi reduzida em quase 50%, e parte das universidades, escolas e outros serviços pararam de funcionar.

Os grandes centros urbanos são compostos por muitos microambientes urbanos diferentes que representam diferentes características de exposição entre as megacidades, de acordo com fatores como uso do solo e distância das fontes de emissão (LEVY et al., 2014). Assim, as mudanças na emissão de poluentes, como a greve dos caminhoneiros, terão respostas espaciais diferentes. O período do estudo abrange um período de greve nacional de caminhões que criou um laboratório natural para a ausência de caminhões a diesel e uma grande redução de veículos leves, importante fonte de emissão para o meio urbano.

Os objetivos deste estudo foram analisar as concentrações de CO, NO, NO₂ e O₃ em cinco estações da rede CETESB que representam microambientes do centro urbano e de fundo urbano durante o período da greve dos caminhoneiros. A análise foi realizada por meio de ciclos diurnos a partir do período da greve de 2018, comparando com a média do mesmo período dos três anos anteriores, quando não houve greve. Os resultados

mostraram que a greve causou fortes diminuições das concentrações dos poluentes atmosféricos primários analisados (CO e NO) e um aumento no ozônio (O₃).

2 | METODOLOGIA

Dados horários de poluentes do banco de dados online da CETESB foram obtidos (<http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>) do ano de 2018 e dos três anos anteriores (2015-2017) para comparação. Foram selecionados 5 estações de monitoramento da qualidade do ar na RMSP: Cerqueira César, Cidade Universitária IPEN-USP, Grajau-Parelheiros, Marginal Tiete-Ponte dos Remédios e São Caetano do Sul. Foram calculados ciclos diários de poluentes, o que permitiu uma verificação mais harmoniosa dos impactos das concentrações de poluentes durante a greve. Calculamos uma média utilizando a mesma hora do dia observada para cada dia do período de 21/05/2018 a 31/05/2018, resultando em um valor médio para aquela hora do dia para todo o período. Isso foi realizado durante todas as 24 horas do dia, resultando em um ciclo diurno que representa todos os valores horários médios. Foram calculados dois ciclos diurnos: 1) durante o período de 21/05/2018 a 31/05/2018 (ano com greve), e 2) a partir de valores horários médios para o mesmo período de 2015-2017 (para melhor caracterizar uma média por um período sem greve). Também foram estudados os parâmetros meteorológicos na RMSP de temperatura, velocidade do vento, precipitação e radiação total.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros meteorológicos considerando a média de 2015-2017 (anos sem greve) com 2018, no período da greve, a velocidade do vento estava 69% em média maior na RMSP, a precipitação foi praticamente a mesma nos períodos com e sem greve, ocorrendo precipitação apenas para o ano de 2016, porém na média 2015-2017 não houve alterações significativas comparado com o ano de 2018, a UR esteve 8% mais baixa, a temperatura 10% mais baixa e radiação global 42% mais alta.

Na Figura 1 são apresentadas as concentrações médias horárias de CO do período de 21/05/2018 a 31/05/2018 (ano com greve) do ciclo de CO e também para o mesmo período referente aos anos sem greve (2015-2017), observa-se que o padrão das concentrações não mudaram quando compara-se o período com greve e sem greve, porém houve diminuição média de 29% nas concentrações de CO durante o período da greve em relação ao período sem greve.

O CO é emitido diretamente e também produzido por reações químicas na atmosfera entre o radical hidroxila (OH) e metano (CH₄) e outros hidrocarbonetos (HC), além de reações entre alcenos e ozônio (O₃), e reações de isopreno e terpenos com OH e O₃. A concentração de CO na atmosfera da RMSP é praticamente quase toda proveniente de

emissão primária e veicular. O principal sumidouro de CO é sua reação com OH, enquanto a deposição seca e o fluxo estratosférico são considerados sumidouros menores. Na troposfera, o radical livre hidroxila (OH) oxida o monóxido de carbono (CO) produzindo radicais hidroperóxidos (HO₂):



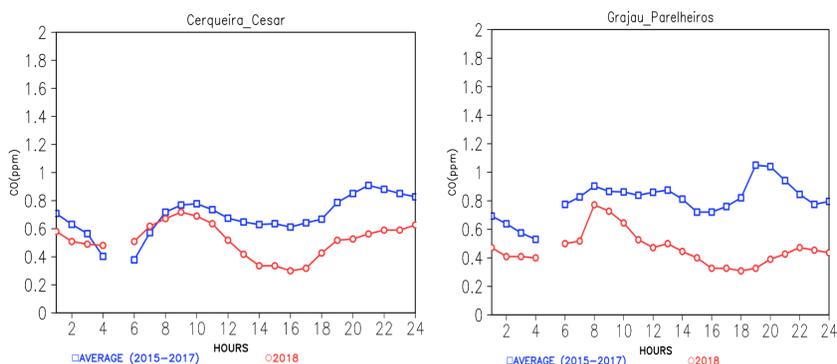
O excesso de NO_x (NO_x = NO + NO₂), como na Megacidade da atmosfera de São Paulo com razão de mistura de NO superior a 10 pptv, promove a produção de O₃ após as reações (1) e (2). Caso contrário, o O₃ é destruído pelo radical hidroperoxila. No entanto, qualquer reação em cadeia dissipa o CO, produzindo dióxido de carbono. A reação (1) é uma reação rápida, independente da temperatura. Implica um tempo de vida global de CO de dois meses e é o reservatório de OH mais significativo na troposfera. Na atmosfera, a principal fonte de CO é a oxidação do metano pelo OH, que produz o formaldeído (CH₂O) e depois o monóxido de carbono. Esta reação, junto com a reação (1), consome a maior parte da OH na troposfera. Por esta razão, as concentrações troposféricas de CO e CH₄ são indicadores muito importantes da capacidade de oxidação troposférica, representada especificamente pelas concentrações de ozônio e radicais hidroxila. O CO não é considerado um gás de efeito estufa porque não tem capacidade significativa de absorver radiação infravermelha. O balanço do CO atmosférico mostra a destruição do metano e a produção de CO₂, O₃ e aerossóis de sulfato, que podem afetar o clima. Essas reações modificam o balanço CO-CH₄, afetando a água e a temperatura. A interação bidirecional entre a química e o clima sobre o CO é evidente. Da revolução industrial à década de 1980, a concentração global de CO apresentou um aumento acentuado; entretanto, desde 1980, essa concentração diminuiu, provavelmente devido ao uso de catalisadores em automóveis. Estudos sugerem que uma diminuição na concentração global de CO aumentaria o radical OH e, conseqüentemente, elevaria a taxa de sumidouro de CH₄.

O CO é o gás emitido em maior abundância na RMSP, este poluente é oxidado a CO₂ pelo radical hidroxila, reação 3, gerando o radical hidroperoxila. Este radical hidroperoxila, de maneira similar aos radicais peróxidos, formados pelos COV, oxida o NO a NO₂ competindo com as moléculas de O₃ e fazendo com que a concentração de O₃ aumente na atmosfera, reação 4, ou seja assim como os COV, NO_x, o CO também é um precursor de O₃ troposférico.



Na RMSP, 97% do poluente CO emitido é proveniente da emissão veicular, justificando um aumento nas concentrações a partir das 6:00 até 9:00 da manhã, horário de maior tráfego veicular, conforme observa-se na Figura 1. Após este horário, as concentrações diminuem e voltam aumentar a partir das 17:00 horas até as 20:00 horas, coincidindo novamente com o pico do trânsito na RMSP.

A alta concentração de CO é considerada muito tóxica para o homem, pois pode causar intoxicação aguda, deixando sequelas ou promovendo a morte por asfixia. A interação da hemoglobina com o CO é 240 vezes maior do que com o oxigênio (O₂), portanto, forma-se carboxihemoglobina em vez de oxihemoglobina. Quando a atmosfera é rica em CO, o O₂ tem dificuldade em atingir o tecido, causando morte por asfixia. Os efeitos agudos do envenenamento por CO são bem conhecidos. Geralmente, em pessoas saudáveis, a dor de cabeça se desenvolve quando as concentrações de COHb atingem 10%; zumbido (zumbido no ouvido) e tontura em 20%; náuseas, vômitos e fraqueza em 20-30%; turvação da consciência e coma em cerca de 35%; e morte em torno de 50%. No entanto, os resultados das exposições de longo prazo a baixas concentrações de CO como ocorre na atmosfera da RMSP são menos compreendidos. Devido à natureza crítica do fluxo sanguíneo e entrega de O₂ ao coração e ao cérebro, esses órgãos, assim como os pulmões (o primeiro órgão a entrar em contato com o poluente), têm recebido mais atenção. Foi demonstrado estatisticamente que a exposição materna à poluição do ar no primeiro trimestre da gestação pode contribuir para menor ganho de peso fetal. Embora seja difícil isolar a influência de cada poluente, foi possível evidenciar a maior influência do CO no peso do recém-nascido. Devido a esses e outros fatores, o monitoramento e a prevenção desse gás são de extrema importância, mesmo que não ultrapasse os padrões de qualidade do ar como ocorre na RMSP.



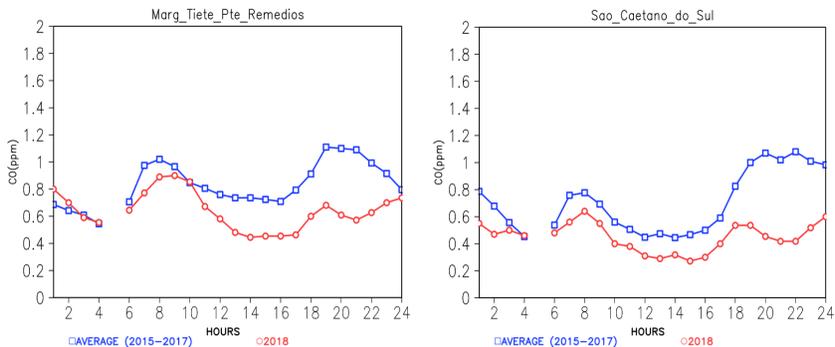
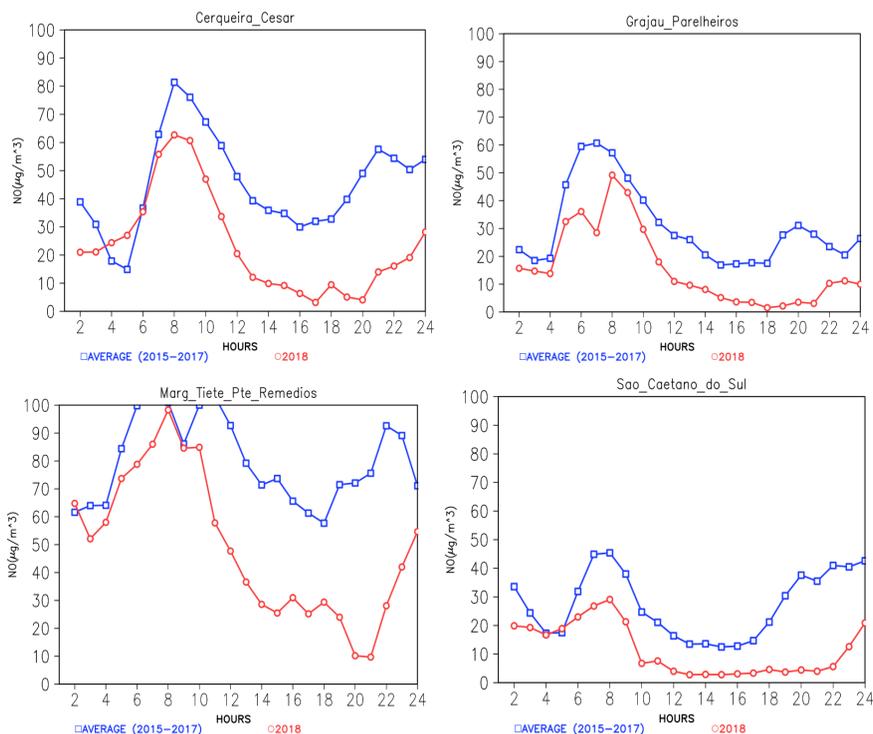


Fig. 1 – Concentração de CO (ppm) na RMSP média horária do período sem greve (2015-2017) e com greve (2018)

Na Figura 2 são apresentadas as concentrações médias horárias (ciclo diurno) de NO do período de 21/05/2018 a 31/05/2018 (ano com greve) e também para o mesmo período referente aos anos sem greve (2015-2017).



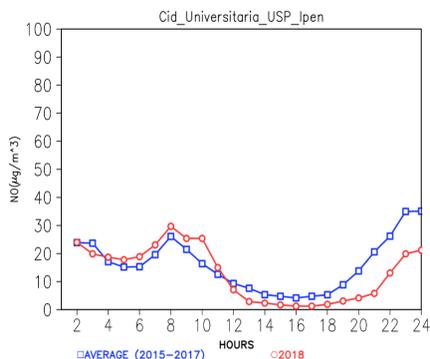


Fig. 2 – Concentração de NO ($\mu\text{g m}^{-3}$) na RMSP média horária do período sem greve (2015-2017) e com greve (2018)

Observa-se na Figura 2 que o padrão e a proporcionalidade das concentrações não mudaram quando compara-se o período com greve e sem greve para o NO, porém houve diminuição média de 48% nas concentrações de NO durante o período da greve. Na RMSP, 70% do NOx emitido é proveniente da emissão veicular, justificando um aumento nas concentrações a partir das 6:00 até 8:00 da manhã (horário de maior tráfego veicular). Após este horário, as concentrações diminuem devido a diminuição do tráfego de veículos, ao aumento na camada limite e também as reações de fotólise, sendo que o NO reage com O_3 e é oxidado a NO_2 , reação 16. As concentrações de NO voltam aumentar a partir das 18:00 horas até as 24:00 horas devido a fatores como a emissão veicular, diminuição da altura da camada limite, falta da presença de O_3 que consumia NO durante o dia.

Os óxidos de nitrogênio são produzidos sempre que um combustível é queimado na presença de ar, devido a alta temperatura o nitrogênio do ar reage com oxigênio formando os óxidos de nitrogênio. Primeiramente ocorre a formação de NO, reação 5, podendo ocorrer a oxidação de NO a NO_2 , reação 6, dependendo das condições em que ocorre a queima.



Em uma manhã típica, os poluentes primários COV e NOx são emitidos por automóveis e outras fontes de combustão em áreas urbanas.

Os COV são oxidados a radicais peróxidos orgânicos pelo radical OH, reações 7 e 8, formando compostos representados por RO_2 . Estes reagem com o NO oxidado a NO_2 , reação 9. Esta reação concorre com a oxidação de NO a NO_2 pelo ozônio. Ocorre então fotólise de NO_2 em $\cdot\text{NO}$ e $\cdot\text{O}$. O $\cdot\text{O}$ por sua vez reage com O_2 e forma ozônio.

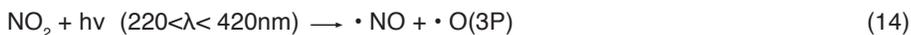
As seqüências de reações básicas são:



O $\cdot\text{OH}$ é proveniente das reações de fotólise do O_3 , e do radical hidroperóxila ($\cdot\text{HO}_2$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ácido nitroso (HONO), tal como as reações 12 e 13:



O NO_2 produzido nas reações 6, 9 e 11 sofre fotólise na troposfera por radiação na faixa de comprimento de onda entre 220 e 420 nm formando O_3 troposférico, reações 14 e 15 (SEINFELD; PANDIS, 2016).



O O_3 é um poluente secundário, formado através da reação 15 e o NO_2 que é emitido e formado quimicamente nas reações 6, 9 e 11, é tanto um poluente primário (6) como secundário (9) e (11).

O RO_2 compete com o O_3 para converter NO em NO_2 no ar urbano, reação 9. A relação do estado fotoestacionário é baseada no pressuposto de que apenas O_3 converte NO a NO_2 , conforme equações 12, 13 e 14, produzindo um ciclo nulo, onde o ozônio é formado e destruído. O M representado na reação 15, é predominantemente N_2 , não é consumido na reação, apenas diminui a energia (catalisador) durante as reações 14, 15 e 16.



A relação do estado fotoestacionário descrito nas reações 14, 15 e 16 é válida apenas para atmosfera não poluída, não serve para RMSF que é uma atmosfera poluída.

Derivando uma expressão para o estado estacionário de concentração de ozônio pela reação 14 e reação 16 em termos de concentrações de NO e NO_2 , e j e k_2 . Todas as três reações, 14, 15 e 16 são rápidas: NO é formado pela reação 14 e NO_2 pela reação 16 tão rápido quanto o seu consumo na reação 14. Portanto, a partir da definição de coeficiente de velocidade das seguintes equações.

$$j \cdot [\text{NO}_2] = k_2 \cdot [\text{O}_3] \cdot [\text{NO}] \quad (1)$$

Os colchetes indicam concentração das espécies. Onde,

$$[\text{O}_3] = j \cdot [\text{NO}_2] / k_2 \cdot [\text{NO}] \quad (2)$$

Esta equação é chamada de relação do estado fotoestacionário.

Se as concentrações típicas de NO_2 e NO são substituídas na equação 2, em conjunto com os valores de j e k_2 , as concentrações de O_3 obtidas estão muito abaixo das concentrações observadas mesmo na troposfera livre. Assim, outras reações além das equações 14 e 16 devem ser envolvidas no controle de O_3 troposférico. Esta conclusão levou à sugestão de que HOx e radicais derivados de espécies orgânicas estão envolvidos em determinar as concentrações atmosféricas de O_3 . O radical hidroxila pode ser produzido a partir de pequenas quantidades altamente reativas de oxigênio atômico pela reação 13.

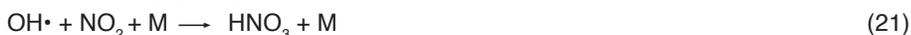
Então, em atmosfera não poluída, $\text{OH}\cdot$ é rapidamente transformado em $\text{HO}_2\cdot$, reações 17 e 18.



Na ausência de NOx , $\text{HO}_2\cdot$ é convertido de volta para $\text{OH}\cdot$ através de reação 19 com NO ou O_3 .



Na presença de luz solar, o estado de equilíbrio fotoestacionário se estabelece rapidamente entre $\text{OH}\cdot$ e $\text{HO}_2\cdot$. HOx é igual a somatória de $\text{OH}\cdot$ e $\text{HO}_2\cdot$ e são consumidos conforme as reações 20 e 21.



O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o ácido nítrico (HNO_3) são altamente solúveis, e podem ser rapidamente removido da troposfera por deposição úmida. Na presença de uma razão de mistura de $\text{NO} \geq 10$ pptv, como na RMSP, RO_2 é formado pela oxidação COV e assim oxida NO a NO_2 , e este por sua vez, sofrendo a fotólise produz o ozônio. Após a oxidação do NO pelo RO_2 é formado o $\text{RO}\cdot$ e este por sua vez, ao sofrer nova oxidação, forma o radical $\text{HO}_2\cdot$, que por sua vez, oxidará outro NO e assim podendo formar novo ozônio, conforme as equações mostradas na Figura 3, utilizando o etano como exemplo.

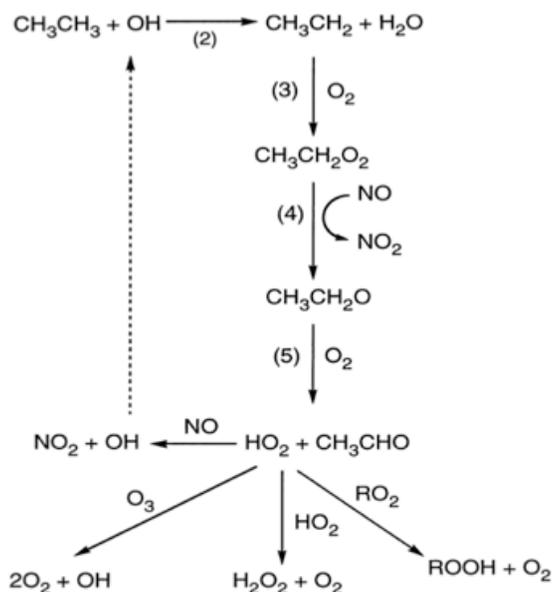
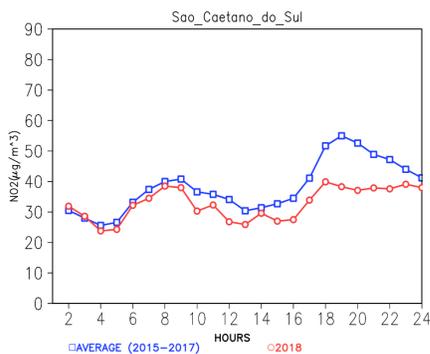
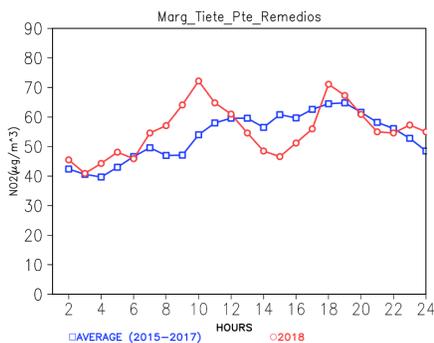
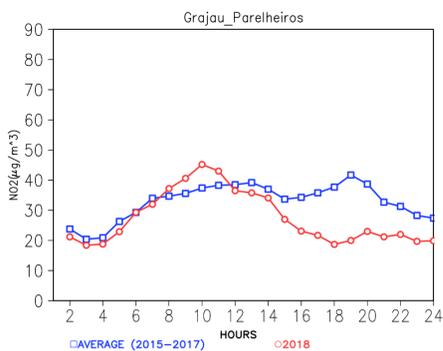
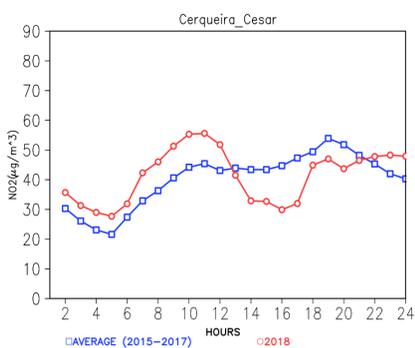


Fig. 3 – Etapas do mecanismo de fotooxidação do etano na atmosfera Fonte: (SEINFELD; PANDIS, 2016).

Estudos anteriores sobre as mudanças na qualidade do ar e na atividade veicular demonstraram diferentes impactos nas concentrações de poluentes. Na Índia, uma diminuição de cerca de 50% no monóxido de carbono CO, BC, PM e ozônio (O₃) foi observada durante uma greve de caminhões em todo o país (SHARMA; KHAROL; BADARINATH, 2010). Na Itália e na Espanha, as greves de transporte público levaram a um maior uso de veículos particulares e ao aumento da concentração de alguns poluentes (CO e alguns hidrocarbonetos) (MEINARDI et al., 2008; BASAGAÑA et al., 2018). Na Espanha, o impacto dessas mudanças nas emissões sobre o ozônio variou sazonalmente devido às mudanças nas condições atmosféricas e sua complexa química atmosférica. Em Israel, uma análise realizada para um feriado nacional demonstrou uma diminuição de pelo menos 80% nas concentrações de NO em diferentes locais, enquanto o ozônio aumentou cerca de 8 ppbv no centro urbano durante o dia e aumentou 20-30 ppbv durante a noite (LEVY, 2013).

Na Figura 4 são apresentadas as concentrações médias horárias (ciclo diurno) de NO₂ do período de 21/05/2018 a 31/05/2018 (ano com greve) e para o mesmo período referente aos anos sem greve (2015-2017). Há um aumento das concentrações de NO₂ durante o período da manhã das 6:00 até 10:00, tendo a contribuição da emissão veicular, mas também uma formação de NO₂ secundário na atmosfera pela oxidação do NO com O₃ e também pela oxidação dos radicais de COV com NO. Observa-se uma diminuição média de 31% nas concentrações de NO₂ durante o período da greve, uma diminuição bem menor

quando comparado ao NO que diminuiu de 48%, sendo o NO poluente de fonte primária e o NO₂ proveniente tanto de fonte primária, mas principalmente fonte secundária. As concentrações de NO₂ diminuem a partir da 12:00 até as 16:00, coincidindo com horário de maior concentração de O₃ na RMSP, e maior radiação, onde NO₂ está sofrendo reação de fotólise, formando NO e oxigênio atômico (O), conforme demonstrado na reação 14. Este oxigênio atômico reagirá com o oxigênio do ar (O₂) e formará O₃, demonstrado na reação 15. No geral, os impactos da greve no NO₂ são mais complexos do que no poluentes primários (CO e NO), conforme demonstrado por estudos recentes que investigaram mudanças na emissão de poluentes durante a paralisação de atividades devido à pandemia COVID-19 (NAKADA; URBAN, 2020; ;KANNIAH et al., 2020; MUHAMMAD; LONG; SALMAN, 2020). Mais estudos devem ser realizados para entender esse poluente, considerando a meteorologia e a química atmosférica.



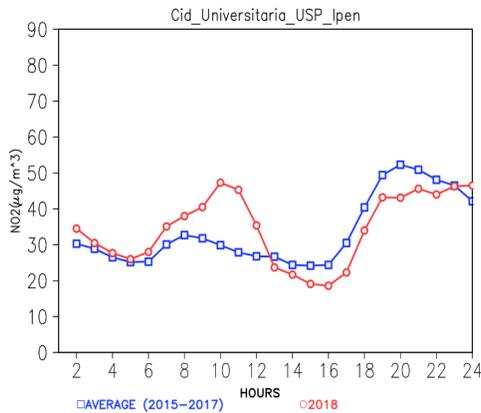


Fig. 4 – Concentração de NO_2 ($\mu\text{g m}^{-3}$) na RMSP média horária do período sem greve (2015-2017) e com greve (2018)

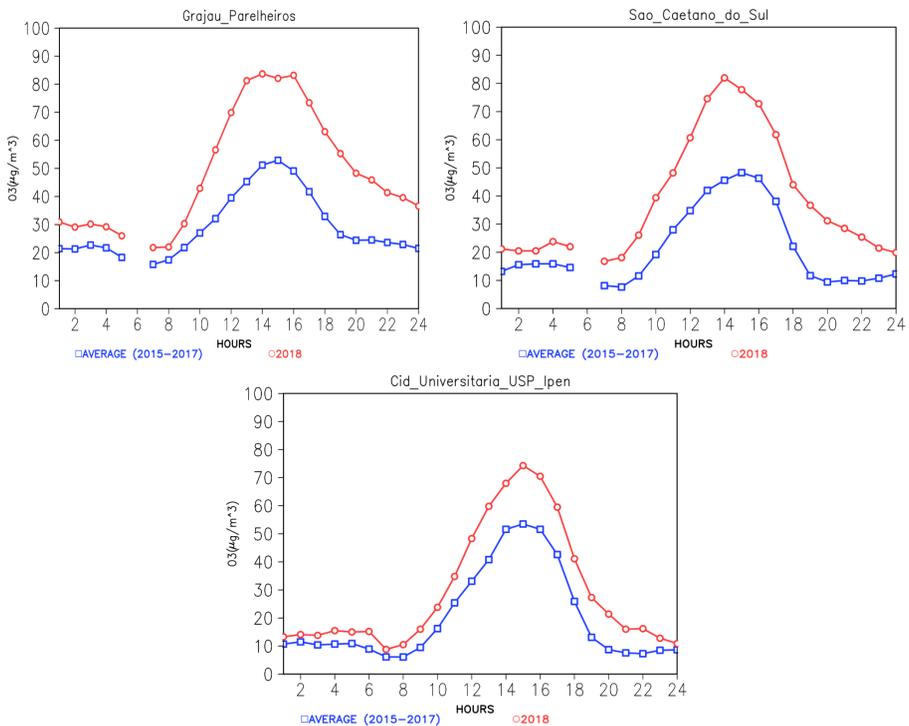


Fig. 5 – Concentração de O_3 ($\mu\text{g m}^{-3}$) na RMSP média horária do período sem greve (2015-2017) e com greve (2018)

Na Figura 5 são apresentadas as concentrações médias horárias de O_3 do período de 21/05/2018 a 31/05/2018 (ano com greve) e também para o mesmo período referente aos anos sem greve (2015-2017). A concentração de O_3 começa a aumentar a partir das

9:00 devido a emissão dos poluentes primários e também precursores de O₃ como CO, COV e NO_x nas primeiras horas da manhã que coincide com o horário de pico de tráfego veicular. A formação do O₃ ocorre mais tarde após a emissão dos poluentes primários e também da disponibilidade de luz solar, atingindo seu máximo de concentração das 13:00 às 15:00 horas. No horário da noite, o O₃ não é mais formado devido a falta da luz solar, quando o O₃ é consumido pelo NO₂ formando NO₃, que formará pentóxido de dinitrogênio conforme as reações abaixo:



Aumentos no ozônio também foram encontrados em um estudo realizada para o Rio de Janeiro durante a greve de caminhões de 2018 (DANTAS et al., 2019). Situações semelhantes também foram encontradas durante os períodos de *lockdown* COVID-19 no Brasil, Espanha e Índia, que alteraram a emissão veicular de forma comparável (SICILIANO et al., 2020; MAHATO; PAL; GHOSH, 2020; NAKADA; URBAN, 2020; TOBIÁS et al., 2020)

Os processos de formação e consumo do ozônio estão envolvidos na química atmosférica de forma não-linear, nos quais suas concentrações são altamente dependentes da disponibilidade de luz solar e a razão NOx/COV. Embora não tenhamos dados de COV, as emissões de NOx, como podemos verificar nas Figuras 2 e 4, diminuíram, o que certamente alterou a relação NOx/COV. Considerando que a RMSP é um ambiente saturado de NOx (Alvim et al., 2018), há uma abundância relativa de NOx, e assim, a diminuição da concentração de ozônio dependerá da diminuição concentração de COV. Já uma diminuição das concentrações de NOx leva a um aumento das concentrações de O₃ como foi visto durante este período de estudo da greve, com diminuição de NOx e aumento de O₃, resultado este visto na prática, sendo que em estudos anteriores só foi possível ser realizado através da modelagem (ORLANDO et al., 2010; ALVIM et al., 2016; CHIQUETTO et al., 2016; ALVIM et al., 2018). Assim, a diminuição de NOx, junto com o aumento da disponibilidade de luz solar e condições estáveis em 2018 podem ter desempenhado um papel decisivo no aumento no ozônio observado em 2018 durante o período da greve dos caminhoneiros.

Apesar da diminuição da concentração de NOx aumentar a concentração de O₃ na RMSP e a diminuição das concentrações dos COV diminuir o O₃, não é qualquer espécie de COV que deve ser diminuída na RMSP, conforme estudos de ORLANDO et al. (2010); ALVIM (2013); ALVIM et al. (2018), para diminuir O₃ troposférico na RMSP deve diminuir a concentração da classe dos aldeídos dos COV principalmente do composto acetaldeído liberado por veículos a gasolina, etanol e diesel, mais principalmente por dois últimos tipos de veículos citados. Desenvolvimento de tecnologia para diminuição da emissão de aldeídos diretamente os escapamento de veículos a gasolina, diesel e etanol, principalmente a

emissão durante a fase fria do etanol em veículos iria contribuir de forma muito significativa para redução de O_3 na atmosfera da RMSP e de outras cidades (ALVIM, 2013; ALVIM et al., 2016; ALVIM et al., 2018). ALVIM et al. (2018) reportou que aldeídos representam 74% na formação de O_3 na RMSP, seguido por aromáticos (14,5%), alcenos (10,2%), alcanos (1,3%) e alcadienos (por exemplo, isopreno; 0,03%). Os resultados de outros estudos de simulação para RMSP mostraram que a alternativa mais eficaz para limitar os níveis de O_3 foi reduzir as emissões de COV, principalmente os aldeídos (NIVEN, 2005; SUAREZ-BERTOIA et al., 2015; ALVIM et al., 2018). As razões de COV/NOx encontradas durante o estudo de ALVIM, (2013); ALVIM et al. (2018) para o ano de 2011/2012 para estação da primavera, verão, outono e inverno foram 4, 3, 3 e 2 respectivamente. Em locais com relativa abundância de NOx como na RMSP em relação aos COV a razão COV/NOx é baixa e a formação do ozônio será dependente da concentração dos COV. Na literatura razões de 8 a 15, caracterizam locais intermediários, onde tanto o controle de COV, quanto NOx são efetivos na diminuição do O_3 e razões acima de 15 são considerados NOx-limitante (FINLAYSON-PITTS; PITTS, 2000).

Poluentes primários diretamente associados às emissões veiculares, como CO e NO, diminuíram drasticamente em 2018 durante todas as horas do dia. Diferenças estatisticamente significativas entre os períodos com e sem greve foram observadas em quase todas as estações analisadas para esses poluentes. O NO diminuiu para quase zero à tarde durante o greve, e as concentrações de CO também diminuíram (em 50%). Para NO_2 , os impactos da greve não foram tão marcados e não tão estatisticamente significativos quanto para os poluentes primários, particularmente nos locais com emissões veiculares mais intensas. Para o O_3 as concentrações aumentaram em todos os locais de monitoramento, particularmente durante a tarde período de maior disponibilidade de radiação. Teorizamos que este aumento de O_3 ocorreu devido condições atmosféricas favoráveis para sua formação (período seco e ensolarado), juntamente com a diminuição de NOx em um sistema saturado com NOx como na RMSP, onde a diminuição das concentrações de NOx aumenta o O_3 , e a diminuição das concentrações de COV diminui o O_3 . Esses resultados mostram que a poluição da RMSP está sob considerável influência das emissões veiculares.

Claramente, melhorias nas emissões veiculares diretamente dos escapamentos dos veículos, manutenção e qualidade de todos os tipos de combustíveis são necessárias para diminuir as emissões primárias, que traria resultados positivos diretos na saúde da população da RMSP.

4 | CONCLUSÃO

Neste estudo avaliamos as diferenças entre as concentrações de poluentes durante o período da greve dos caminhoneiros de 2018, comparada à média de anos anteriores (2015-2017). Na estação Cerqueira César, houve diminuição de 25% de CO, 48% de NO e 25% de NO₂ durante o período de 21 a 31 de maio de 2018 em relação a média do mesmo período para os anos de 2015 a 2017. Na estação Cidade Universitária IPEN-USP, houve 18% na diminuição de NO e aumento de 47% de O₃. Na estação Grajaú-Parelheiros, houve 42% de diminuição de CO, enquanto que o NO e o NO₂ diminuíram 48% e 42%, respectivamente, e aumento de 66% de O₃. Na estação Marginal Tiete Ponte dos Remédios CO diminuiu 23%, NO e NO₂ diminuíram 39% e 23% respectivamente. Na estação São Caetano do Sul houve 36% na diminuição de CO, enquanto que o NO e NO₂ diminuíram 58% e 36%, respectivamente, e o O₃ aumentou 82%. Os parâmetros meteorológicos considerando a média de 2015-2017 (anos sem greve) com 2018, no período da greve, mostraram que a velocidade do vento estava 69% em média maior na RMSP, a precipitação não demonstrou diferenças significativas no período de greve em 2018 com a média de 2015-2017, ocorrendo precipitação somente no ano de 2016, a UR esteve 8% mais baixa no ano da greve (2018), a temperatura 10% mais baixa e radiação global 42% mais alta em relação a média dos anos sem greve (2015-2017). Durante o período da greve, ocorreu redução intensa nos poluentes primários avaliados (CO e NO), diretamente associados à emissão veicular. Houve aumento de ozônio, provavelmente associado ao aumento da radiação solar em 2018 e também à diminuição de NO (poluente que consome o O₃, diminuindo a sua concentração). Assim, observou-se que o aumento de ozônio no período da greve ocorreu provavelmente devido à combinação de fatores antropogênicos e naturais: a diminuição da emissão de NO devido à greve, combinada com condições atmosféricas favoráveis à sua formação. O poluente NO₂, que possui fração tanto primária quanto secundária, apresentou resultados menos conclusivos, evidenciando a necessidade de estudos mais aprofundados, incluindo a contribuição de outras fontes além da veicular.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa recebeu apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – projeto n.º 88887.371883 / 2019-00 – para concessão de bolsa de pós-doutorado a Débora Souza Alvim.

REFERÊNCIAS

ALVIM, D. S. **Estudo dos principais precursores de ozônio na região metropolitana de São Paulo**. Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais—São Paulo: Universidade de São Paulo, 29 abr. 2013.

ALVIM, D. S. et al. Main ozone-forming VOCs in the city of Sao Paulo: observations, modelling and impacts. **Air Quality, Atmosphere & Health**, 22 ago. 2016.

ALVIM, D. S. et al. Determining VOCs Reactivity for Ozone Forming Potential in the Megacity of São Paulo. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 18, n. 9, p. 2460–2474, 2018.

BASAGAÑA, X. et al. Effect of public transport strikes on air pollution levels in Barcelona (Spain). **Science of The Total Environment**, v. 610–611, p. 1076–1082, jan. 2018.

BRASSEUR, G.P.; ORLANDO, J.J.; G.S., T. **Atmospheric Chemistry and Global Change**. [s.l.] Oxford University Press, 1999.

CETESB. **Air Quality Report for the Sao Paulo State 2018**. [s.l.] Environmental Agency of the State of São Paulo, 2019.

CHIQUETTO, J. B. et al. Concentrações de ozônio troposférico na Região Metropolitana de São Paulo e a implementação de parques urbanos: observações e modelagem. **Boletim Paulista de Geografia**. v. 95, p. 1–24, 2016.

COOKSON G; PISHUE, B. **Inrix global traffic scorecard**. [s.l.] INRIX Research, 2017.

DANTAS, G. et al. Why did ozone levels remain high in Rio de Janeiro during the Brazilian truck driver strike? **Atmospheric Pollution Research**, v. 10, n. 6, p. 2018–2029, nov. 2019.

FINLAYSON-PITTS B.J.; PITTS J.N. **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere - Theory, Experiments, and Applications**. 1. ed. San Diego, CA: Academic Press, 2000.

KANNIAH, K. D. et al. COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. **Science of The Total Environment**, v. 736, p. 139658, set. 2020.

LEIRIÃO, L. F. L. et al. Environmental and public health effects of vehicle emissions in a large metropolis: Case study of a truck driver strike in Sao Paulo, Brazil. **Atmospheric Pollution Research**, v. 11, n. 6, p. 24–31, jun. 2020.

LEVY, I. A national day with near zero emissions and its effect on primary and secondary pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 77, p. 202–212, out. 2013.

LEVY, I. et al. Elucidating multipollutant exposure across a complex metropolitan area by systematic deployment of a mobile laboratory. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14, n. 14, p. 7173–7193, 16 jul. 2014.

MAHATO, S.; PAL, S.; GHOSH, K. G. Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. **Science of The Total Environment**, v. 730, p. 139086, ago. 2020.

MEINARDI, S. et al. Influence of the public transportation system on the air quality of a major urban center. A case study: Milan, Italy. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 34, p. 7915–7923, nov. 2008.

MUHAMMAD, S.; LONG, X.; SALMAN, M. COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 138820, ago. 2020.

NAKADA, L. Y. K.; URBAN, R. C. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 730, p. 139087, ago. 2020.

NIVEN, R. K. Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, n. 6, p. 535–555, dez. 2005.

ORLANDO, J. P. et al. Ozone precursors for the São Paulo Metropolitan Area. **Science of The Total Environment**, v. 408, n. 7, p. 1612–1620, mar. 2010.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. 3rd edition ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2016.

SHARMA, A. R.; KHAROL, S. K.; BADARINATH, K. V. S. Influence of vehicular traffic on urban air quality – A case study of Hyderabad, India. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 15, n. 3, p. 154–159, maio 2010.

SICILIANO, B. et al. Increased ozone levels during the COVID-19 lockdown: Analysis for the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 737, p. 139765, out. 2020.

SUAREZ-BERTOIA, R. et al. Primary emissions and secondary organic aerosol formation from the exhaust of a flex-fuel (ethanol) vehicle. **Atmospheric Environment**, v. 117, p. 200–211, set. 2015.

TOBÍAS, A. et al. Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. **Science of The Total Environment**, v. 726, p. 138540, jul. 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ações Arbitrarias 13
América do Sul 1, 2, 6, 8, 9, 10
Áreas Costeiras 12
Arrecadação 24, 25, 26, 28, 30, 32

B

Biogeografia 54

C

Camada Limite 43
Cevada 59
CFEM 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34
Critério 24, 30, 31, 32

D

Desenvolvimento 8, 14, 25, 49, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 65, 67
Diálogo 59

E

Emissão Veicular 36, 41, 43, 46, 49, 51
Esboço Metodológico 17, 23
Espaço Geográfico 15, 16, 22, 23
Exploração Biológica 16

F

Formação Serra Geral 60

G

Geofácies 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
Geografia do Turismo 54
Geótopo 14, 17
Greve dos Caminhoneiros 35, 36, 38, 49, 51

H

Hemoglobina 41

I

Índia 46, 49

L

Limite 3, 21, 27, 43

M

Morro da Concha 13, 14

P

Padrão Espacial 1, 4, 6, 7, 8

Políticas Públicas 54, 56, 57, 61, 65

Poluição do Ar 35, 36, 37, 41

Precipitação 1, 3

R

Radical Hidroxila 39, 40, 45

Recursos Naturais 13, 54, 56

Região 2, 6, 7, 8, 15, 17, 22, 35, 36, 37, 38, 52, 55, 59, 64

Região Metropolitana de São Paulo 35, 36, 37, 52

Risco 3

S

Saneamento 56

Satélites 3

T

Terceiro Planalto Paranaense 59

Territórios 2

Tributo 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33

Trimestre 7, 41

Troposfera 40, 44, 45

U

Unidades de Conservação 12, 23

V

Variabilidade 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Vegetação de Restinga 13

Verão 1, 2, 6, 8, 9, 50

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 2

 **Atena**
Editora

Ano 2020

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 2

 **Atena**
Editora

Ano 2020