

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED ENVIRONMENTAL  
AND SANITARY  
ENGINEERING**

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED ENVIRONMENTAL  
AND SANITARY  
ENGINEERING**

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
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. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Collection: applied environmental and sanitary engineering

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied environmental and sanitary engineering /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-857-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.578221901>

1. Environmental and sanitary engineering. I. Paniagua,  
Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## PRESENTATION

The e-book: "Collection: Applied environmental and sanitary engineering" consists of nineteen book chapters that address different themes, but which converge to an enormous concern that increasingly threatens the quality and well-being of future generations: use sustainable environment and its different biotic and abiotic factors. In this sense, the organization and presentation of book chapters was carried out in four thematic areas, providing a better organization and sequencing, leading to a better understanding and ease in understanding each chapter in this e-book. Therefore, the e-book was divided into four thematic areas, namely: *i)* evaluation of the quality of water resources intended for human consumption; *ii)* emission of particulate materials from the combustion of fuels by the fleet of motor vehicles and the burning of large green areas in order to meet the interest of the agricultural sector; *iii)* actions to minimize the amount of waste sent to sanitary landfills, controlled or dumps based on the practice of segregating recyclable waste; *iv)* basic sanitation and the increase in the Human Development index, generation of energy and fertilizers from biodigestion processes and the presence of pesticides and pharmaceuticals in foods of animal origin.

The first theme consists of six book chapters dealing with the importance of continuous monitoring of water quality for drinking purposes, with studies being presented that prove the lack of efficiency in removing microorganisms with pathogenic properties. Furthermore, the importance and creation of public policies in order to avoid the eutrophication of aquatic bodies that are increasingly common in urban areas. The second consists of four chapters that evaluated the air quality from the emission of particulate materials from human activities, including the burning of fuels and fires in different biomes and how these have been influencing the increase in the formation of islands of heat in urban centers.

The third theme consists of four book chapters that address the importance of carrying out the construction of residential works (condominiums) in order to encourage residents to develop an environmental awareness in relation to the segregation of waste, especially organic and recyclable ones, and the latter would be intended for people who work and with recycling and who contribute significantly to the reduction in the final disposal of waste. Finally, the fourth theme consists of five chapters that present works that discuss the importance of biodigestion in rural areas, basic sanitation as an important factor in determining the HDI and the importance of monitoring the presence of pesticides and drugs in food of animal origin.

In this perspective, Atena Editora has been working with the aim of stimulating and encouraging researchers from Brazil and other countries to publish their work with a guarantee of quality and excellence in the form of books and book chapters that are available on the Editora's website and elsewhere. digital platforms with free access.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES ATMOSFÉRICOS EM COMPOSTOS DE CHUVA OCORRIDOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO O MODELO NUMÉRICO WRF**

Fabricio Polifke da Silva

Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva

Wallace Figueiredo Menezes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219011>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

**ANÁLISE DO PADRÃO DA ÁGUA POTÁVEL COMERCIALIZADA EM RELAÇÃO AOS ELEMENTOS QUÍMICOS PRESENTES PELA TÉCNICA DE RADIAÇÃO SINCROTRON E DE COLIFORMES FECALIS PELO MÉTODO COLILLERT®**

Ariston da Silva Melo Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219012>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS (AQRM) ASSOCIADOS AO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ-AL**

Ivo Gabriel Guedes Alves

Marcio Gomes Barboza

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219013>

### **CAPÍTULO 4..... 42**

**GRAU DE EUTROFIZAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA, ES, BRASIL**

Gemael Barbosa Lima

Gilberto Henke

Wanderson de Paula Pinto

Julielza Betzel Badotto

Claudinei Antônio Montebeller

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219014>

### **CAPÍTULO 5..... 56**

**DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO CON PERSPECTIVA DE GÉNERO EN COMUNIDADES MAYAS DE MÉXICO**

Delghi Yudire Ruiz Patrón

Cindy Vianely Cetina Aguilar

Jesús Antonio Santos Tejero

José Efraín Ramírez Benítez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219015>

### **CAPÍTULO 6..... 72**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ROTINA COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO**

## DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Lorena Francyne Queiroz Rocha

Marcio Gomes Barboza

Wagner Roberto Oliveira Pimentel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219016>

## **CAPÍTULO 7..... 87**

### COMPORTAMENTO DAS QUEIMADAS NOS BIOMAS BRASILEIROS ENTRE OS ANOS DE 2009 E 2020

Débora Cristina Correia Cardoso

Daniely Neckel Rosini

Jordana dos Anjos Xavier

Valter Antonio Becegato

Alexandre Tadeu Paulino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219017>

## **CAPÍTULO 8..... 102**

### QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS A PARTIR DA QUEIMA DE BIOMASSA EM LAGES-SC

Jordana dos Anjos Xavier

Valter Antonio Becegato

Alexandre Tadeu Paulino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219018>

## **CAPÍTULO 9..... 114**

### MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO KRIGAGEM NA MEDIÇÃO DE ILHA DE CALOR EM SANTARÉM-PA

Felizandra Pereira de Aquino

Hudson Ferreira Dias

Victor Hugo da Rocha Uchoa

Carlos Manoel Rocha Melo

Raphael Tapajós

Wilderclay Barreto Machado

Rodrigo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219019>

## **CAPÍTULO 10..... 124**

### MODELAGEM E PREVISÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PM<sub>10</sub> NA CIDADE DE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Wanderson de Paula Pinto

Valdério Anselmo Reisen

Gemael Barbosa Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190110>

## **CAPÍTULO 11..... 134**

### PANORAMA DA COLETA SELETIVA EM SALVADOR-BA E A EXPERIÊNCIA DE COOPERATIVAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS COM OS POSTOS DE ENTREGA

## VOLUNTÁRIA (PEV)

Juliane Figueredo de Araújo Ribeiro  
Gabriela Vieira de Toledo Lisboa Ataíde  
Luiz Roberto Santos Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190111>

## **CAPÍTULO 12..... 144**

### PROPOSTA METODOLÓGICA DE AVALIAÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA PROMOVER A RECICLAGEM INCLUSIVA

Andréa Cardoso Ventura  
José Célio Silveira Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190112>

## **CAPÍTULO 13..... 156**

### OPTIMIZING REVERSE LOGISTIC NETWORK PROPOSAL OF WASTE PICKERS ORGANIZATIONS WITH WASTE TRANSFER STATIONS TO IMPROVE THE ECONOMIC EFFICIENCY OF RECYCLING CHAIN

Marcus Camilo Dalvi Garcia  
Renato Ribeiro Siman  
Maria Claudia Lima Couto  
Luciana Harue Yamane  
Rodrigo Alvarenga Rosa  
Gisele de Lorena Diniz Chaves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190113>

## **CAPÍTULO 14..... 178**

### ECONDOMÍNIOS PROJECT: SOLID WASTE MANAGEMENT IN RESIDENTIAL CONDOMINIUMS

Gerson Araujo de Medeiros  
Ana Paula Loro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190114>

## **CAPÍTULO 15..... 186**

### ESTUDO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE BIODIGESTÃO UTILIZANDO RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ROSANA

Sabrina Emília de Almeida Pavez  
Letícia Sabo Boschi  
Claudia Gonçalves de Azevedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190115>

## **CAPÍTULO 16..... 205**

### RELAÇÃO ENTRE INDICADORES DE SANEAMENTO E ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH) NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Rafaela Ferrareis Loubato  
Gemael Barbosa Lima  
Claudinei Antônio Montebeller  
Wanderson de Paula Pinto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190116>

**CAPÍTULO 17.....218**

MONITORAMENTO DA REMOÇÃO MULTIELEMENTAR EM TRATAMENTO POR VALA DE FILTRAÇÃO

Ariston da Silva Melo Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190117>

**CAPÍTULO 18.....234**

QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS QUÍMICOS (MEDICAMENTOS VENCIDOS) GERADOS EM UM HOSPITAL ESCOLA LOCALIZADO NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Camila Cristina da Silva Moraes

João Vicente Franceschi

Letícia Piteli Balan

Lucas Eduardo Zacarias Gomes

Marcos Vinicius de Souza Serrano

Paulo Giovanni Coraucci Netto

Vinicius Solimani Marquezam

Vitor Vilela Pinese

Luciana Rezende Alves de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190118>

**CAPÍTULO 19.....245**

DETECTION AND QUANTIFICATION OF MULTIRESIDE PESTICIDES AND PHARMACEUTICALS IN FOODS OF ANIMAL ORIGIN USING THE QuEChERS METHOD IN PREPARATION OF SAMPLES

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Bruno Elias dos Santos Costa

Anelise dos Santos Mendonça Soares

Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190119>

**SOBRE O ORGANIZADOR.....256**

**ÍNDICE REMISSIVO.....257**

## MODELAGEM E PREVISÃO DA CONCENTRAÇÃO DE $PM_{10}$ , NA CIDADE DE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Data de aceite: 10/01/2022

Data de submissão: 08/10/2021

### Wanderson de Paula Pinto

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor do Curso de Engenharia Ambiental da Faculdade da Região Serrana (FARESE)

Santa Maria de Jetibá, Espírito Santo, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0001-5267-227X>

### Valdério Anselmo Reisen

Doutor em Matemática pela University of Manchester Institute of Science And Technology. Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Vitória, Espírito Santo, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-8313-7648>

### Gemael Barbosa Lima

Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor do Curso de Engenharia Ambiental da Faculdade da Região Serrana (FARESE)

Santa Maria de Jetibá, Espírito Santo, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-3675-4720>

**RESUMO:** Este trabalho objetivou modelar e realizar previsões da série de concentrações médias diárias de Material Particulado Inalável ( $PM_{10}$ ) monitorado no bairro de Jardim Camburi, Vitória, E.S., Brasil. As Concentrações do

poluente foram obtidas junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Em particular, foram apresentados os resultados dos ajustes, assim como as previsões obtidas utilizando os modelos ARMA(5,1) e ARMA(2,1). De acordo com os resultados o modelo ARMA(5, 1) foi considerado mais adequado para fazer previsões de  $PM_{10}$ , além disso os resultados evidenciam que a Transformada de Fourier é uma opção para tratar a propriedade de sazonalidade de séries temporais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Material Particulado, Sazonalidade, Séries Temporais, Poluição do ar.

### MODELING AND FORECAST OF THE $PM_{10}$ CONCENTRATION IN THE CITY OF VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO, BRAZIL

**ABSTRACT:** This work aimed to model and forecast the series of average daily concentrations of Inhalable Particulate Material ( $PM_{10}$ ) monitored in the neighborhood of Jardim Camburi, Vitória, E.S., Brazil. Pollutant concentrations were obtained from the State Institute for the Environment and Water Resources (IEMA). In particular, the results of the adjustments were presented, as well as the predictions obtained using the ARMA(5, 1) and ARMA(2,1) models. According to the results, the ARMA(5, 1) model was considered more suitable for making PM10 predictions, furthermore, the results show that the Fourier Transform is an option to treat the seasonality property of time series.

**KEYWORDS:** Particulate Matter, Seasonality, Time Series, Air Pollution.

## 1 | INTRODUÇÃO

O material particulado tem sido intensamente estudado por ocasionar alterações no clima, causar danos à saúde dos animais e, especialmente, na saúde dos humanos, principalmente, em ambientes urbanos industrializados (GODISH, 1997). O impacto sobre a saúde está diretamente relacionado ao tamanho, as formas e as composições das partículas. Segundo Trindade (2009) partículas pequenas adentram mais profundamente no sistema respiratório, sendo que partículas com formas pontiagudas e compostas com elementos químicos tóxicos podem lesar os tecidos do trato respiratório.

Segundo Holgate et al., (1999) um nível elevado dos poluentes pode ocasionar desde irritação dos olhos, nariz e da garganta, bronquite e pneumonia até doenças respiratórias crônicas, câncer de pulmão, problemas cardíacos, etc. Diversos estudos epidemiológicos têm demonstrado associações significativas entre a exposição às concentrações elevadas de  $PM_{10}$  na atmosfera a problemas de saúde (OSTRO et al., 1996; NASCIMENTO et al., 2006; MARTINS et al., 2002; GOUVEIA et al., 2003).

Com a difusão de metodologias para análises de séries temporais na literatura científica, diversos trabalhos foram publicados com análise de séries temporais de dados ambientais. No âmbito da poluição atmosférica, pode-se citar diversos autores que usaram a metodologia de séries temporais para estudar e analisar séries de concentrações de poluentes atmosféricos como Shively (1990), Robeson e Steyn (1990) e Goyal et al., (2006).

Vários métodos de previsão das séries temporais estão disponíveis na literatura, como os de médias móveis (MA), regressão linear com o tempo, suavização exponencial de Holt-Winters e os de Modelos ARIMA (Modelo Autorregressivo Integrado de Média Móvel). Os modelos ARIMA proporcionam previsões probabilísticas satisfatórias. Esses modelos apresentam diversas vantagens em relação aos outros modelos, como alisamento exponencial, em particular em sua capacidade de previsão e a sua grande quantidade de informações sobre mudanças relacionadas ao tempo (MISHA e DESAI, 2005).

Assim, este trabalho objetivou modelar e realizar previsões das concentrações médias diárias de Material Particulado Inalável ( $PM_{10}$ ), na cidade de Vitória, Espírito Santo, Brasil, utilizando a abordagem de séries temporais.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado na Região da Grande Vitória (RGV), constituída pelos municípios de Vitória, Vila Velha, Cariacica, Serra e Viana, Espírito Santo. A região sofre com diversos tipos de problemas ambientais, dentre os quais está a deterioração da qualidade do ar, devido às emissões atmosféricas por indústrias e pela frota veicular.

A RGV possui uma Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAR) inaugurada em julho de 2000, de propriedade do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). A referida rede é distribuída em oito estações

localizadas nos municípios que compõem a RGV, da seguinte forma: o município Serra com duas estações localizadas nas regiões de Laranjeiras e Carapina; o município Vitória com três estações localizadas nas regiões de Jardim Camburi, Enseada do Suá e Centro de Vitória. O município de Vila Velha apresenta duas estações localizadas nas regiões do Ibes e Centro de Vila Velha e o município de Cariacica com uma estação em Cariacica. A localização espacial das estações de monitoramento da RAMQAR está ilustrada na Figura 1.

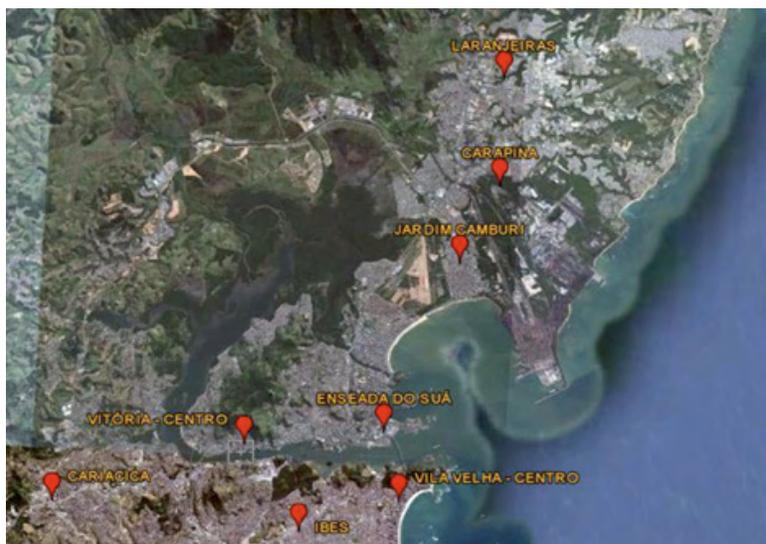


Figura 1: Localização espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar da RGV.

Fonte: Google Earth (2015).

A RAMQAR monitora os seguintes poluentes: Partículas Totais em Suspensão (PTS); Partículas Inaláveis (PM<sub>10</sub>); Ozônio (O<sub>3</sub>); Óxido de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>); Monóxido de Carbono (CO) e Hidrocarbonetos (HC). E ainda, realiza-se o monitoramento dos seguintes parâmetros meteorológicos: Direção dos ventos (DV); Velocidade dos ventos (VV); Precipitação pluviométrica (PP); Umidade relativa do ar (UR); Temperatura (T); Pressão atmosférica (P) e Radiação solar (I).

Foram consideradas 731 observações compreendidas entre 01 de janeiro de 2003 e 31 de dezembro de 2004, de médias diárias das concentrações de material particulado (PM<sub>10</sub>), medidas em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  na estação de Jardim Camburi, Vitória-ES. Como os equipamentos de medição das concentrações de contaminantes na atmosfera podem apresentar falhas que impossibilitem seu funcionamento por algum tempo, ocasionando perda de dados, as médias diárias foram calculadas com as amostras existentes. Isto justifica a escolha desta série, pois a mesma contém uma porcentagem menor que 5% de

dados faltantes, viabilizando o estudo. Toda a análise estatística foi realizada no software R 2.15.1 (software livre).

## Modelo Autorregressivo Integrado Média Móvel [ARIMA (p,d,q)]

Uma série temporal  $\{X_t\}$  é dita um processo  $ARIMA(p, d, q)$  se,

$$\Phi_p(B)(1-B)^d X_t = \theta_0 + \theta_q(B)\varepsilon_t, \quad (1)$$

Em que  $\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)$  e  $\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)$  são respectivamente polinômios autorregressivo estacionário e médias móveis invertível. Portanto,  $\{X_t\}$  é processo não estacionário que depois de diferenciado  $\nabla^d X_t$  ( $d \geq 1$  e  $\nabla = 1 - B$ ) se transforma em processo estacionário e invertível  $ARMA(p, q)$ .

Para  $d=0$ , o modelo  $ARIMA(p, d, q)$  pode ser escrito na forma,

$$\Phi(B)U_t = \Theta_q(B)\varepsilon_t \quad (2)$$

em que  $U_t = (1-B)^d X_t$  é o processo estacionário  $ARMA(p, q)$ , quando  $d \geq 1$ , o processo  $X_t$  não é um processo estacionário. Para detalhes ver em Wei (2006) e Brockwell e Davis (2002).

## Metodologia de modelagem

A metodologia Box-Jenkins aplicada neste trabalho esta dividida nas seguintes etapas:

### 1. Identificação:

- Comportamento geral da série
- Transformação dos dados para estabilizar a variância;
- Diferenciação dos dados para obter a série estacionária;
- Seleção de um modelo a partir da observação da FAC e FACF.

### 2. Estimação:

- Estimar os parâmetros do modelo;
- Selecionar o melhor modelo através do critério de Akaike (AIC);
- Avaliação do diagnóstico: análise residual.

### 3. Previsão.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ajuste dos Modelos

Para melhor compreensão das variáveis estudadas a Tabela 1 apresenta algumas medidas descritivas da série. Verifica-se que a média diária de  $PM_{10}$  é de, aproximadamente,

27  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , sendo que a maior concentração foi de 67,8  $\mu\text{g.m}^{-3}$  e a menor foi 7  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . Outra forma de analisar descritivamente a série estudada é por meio da análise gráfica. A Figura 2 apresenta graficamente a série temporal de  $\text{PM}_{10}$ , destaca-se que a série apresenta sazonalidade bem definida.

	Média	Desvio	Min	Max	Mediana
Série $\text{PM}_{10}$	27.593	7.816	7.083	67.830	27.333

Tabela 1: Estatísticas descritivas da série de concentração das médias diárias  $\text{PM}_{10}$ .

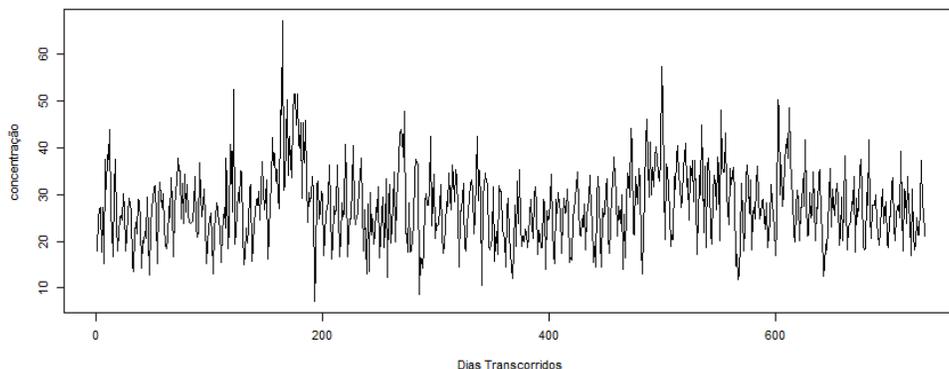


Figura 2: Série Temporal das concentrações de  $\text{PM}_{10}$  na RGV.

Segundo Box e Jenkins (1970) para fazer a identificação dos modelos é essencial estudar o comportamento da função de autocorrelação (FAC) e da função de autocorrelação parcial (FACP). A Figura 3 mostra a FAC (a) e FACP (b) da série de concentração de  $\text{PM}_{10}$ . Observa-se que a FAC apresenta correlações significativas com um decaimento lento para os lags múltiplos de 7, indicando a sazonalidade ( $s = 7$ ), confirmando assim a variação entre as concentrações medidas nos dias úteis e finais de semana.

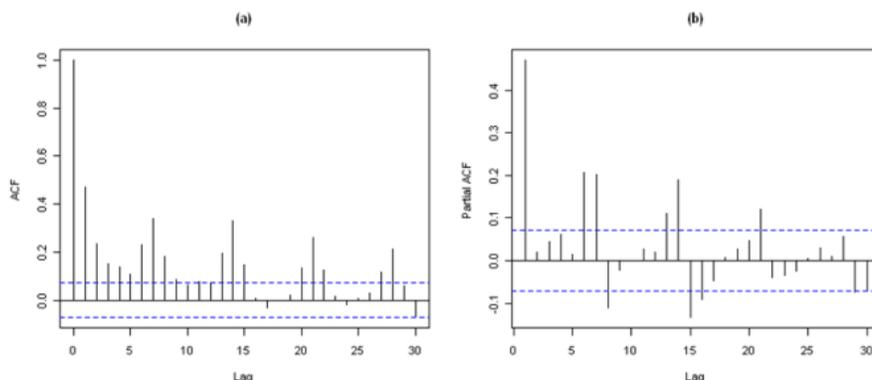


Figura 3: Função de autocorrelação (a) e função de autocorrelação parcial (b) da série temporal de  $\text{PM}_{10}$ .

O uso do teste de Dickey-Fuller (ADF) fornece uma estatística adequada para definir se a série apresenta raiz unitária, sendo caracterizada, portanto como uma série não estacionária. A partir do resultado do teste ADF realizado pode-se concluir que a série de  $PM_{10}$  é caracterizada como um processo estocástico estacionário na média ao nível de 5%.

Um dos métodos para resolver o problema da sazonalidade é fazer a transformada de Fourier. O espectro de um processo estacionário é a transformada de Fourier da função de autocovariância de um processo absolutamente somável e de forma geral, um processo estacionário e pode ser representado pela função de distribuição espectral (WEI, 2006).

Segundo Brockwell e Davis (2002) o espectro é a representação de uma série temporal estacionária  $\{X_t\}$  em uma soma de componentes senoidais com coeficientes aleatórios não correlacionados, em conjunto com a função de autocovariância de  $\{X_t\}$ . A decomposição espectral é análoga aos processos estacionários da representação de Fourier de funções determinísticas. A análise dos processos estacionários por meio de sua representação espectral é muitas vezes referida como “análise de domínio de frequência” de séries temporais ou “análise espectral”. É equivalente a análise no domínio do tempo que utiliza a função de autocovariância, mas fornece uma forma alternativa de visualização do processo, o que para algumas aplicações pode ser mais esclarecedora.

A Figuras 4 apresenta a ACF e a PACF da série transformada. Através da análise da mesma fica evidente que o problema da sazonalidade foi parcialmente resolvido, ou seja, os fatores sazonais não vão contribuir de maneira forte para a variância total. Assim, podemos seguir para o próximo passo da modelagem que é a etapa de identificação.

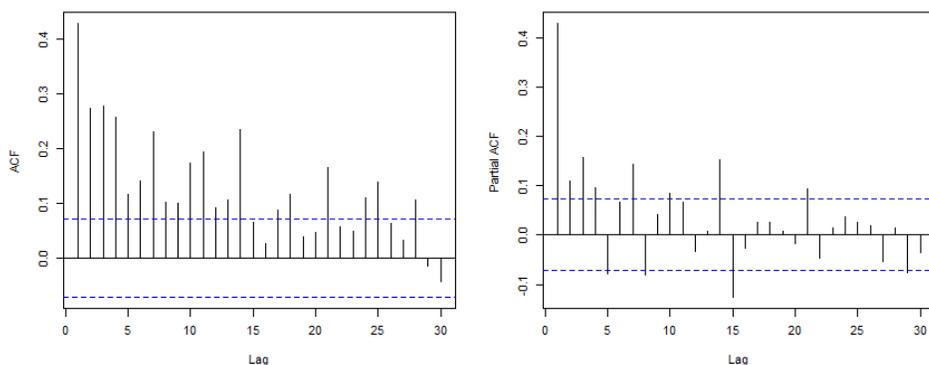


Figura 4: Correlograma da série temporal após transformada de Fourier.

Para escolher o melhor modelo o critério de informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974), foi utilizado. De acordo com o critério de AIC e análise da ACF dos resíduos, o ARMA(5,1), denominado modelo 1, foi o modelo mais bem ajustado a série após aplicar a transformada de Fourier. Para fins de comparação escolheu-se também um modelo

ARMA(2,1), denominado modelo 2, ajustado a série sem transformação. Nas Tabelas 2 e 3 contém as estimativas dos parâmetros e os respectivos erros padrão. A análise residual dos modelos valida-os para o passo seguinte.

Modelo 1	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
ARMA(5,1)	$\phi_1$	0,2066	0,1907
	$\phi_2$	0,1092	0,0754
	$\phi_3$	0,1334	0,0381
	$\phi_4$	0,1430	0,0435
	$\phi_5$	-0,0684	0,0422
	$\theta_2$	0,1541	0,1882

Tabela 2: Estatísticas do modelo 1

Modelo 2	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
ARMA(2,1)	$\phi_1$	0,2161	1,3337
	$\phi_2$	0,1054	0,6052
	$\theta_2$	0,2415	1,3354

Tabela 3: Estatísticas do modelo 2

Em seguida é apresentada a análise comparativa da qualidade dos modelos ajustados. As Figuras 5 e 6 mostram uma análise visual dos dados ajustados pelos modelos 1 e 2 a série de  $PM_{10}$ . Essa análise evidencia um bom desempenho dos modelos, uma vez que estes mostram representar bem a série.

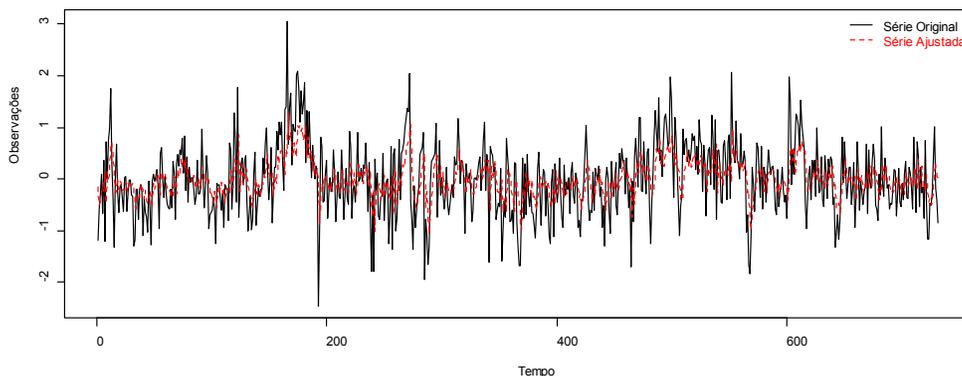


Figura 5: Valores de  $PM_{10}$  observados e Preditos pelo modelo 1.

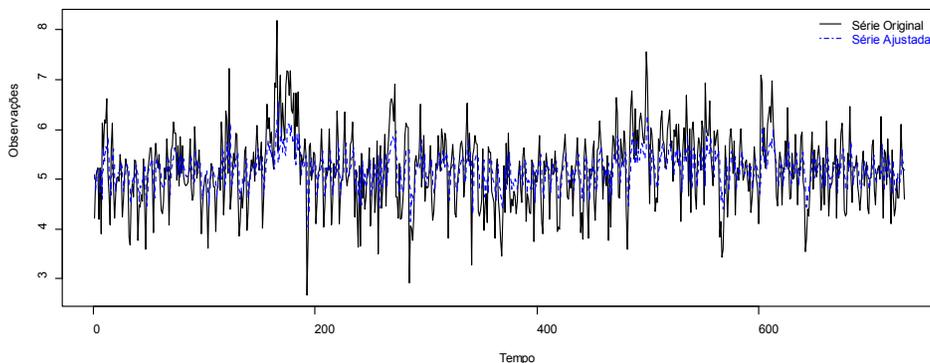


Figura 6: Valores de  $PM_{10}$  observados e Preditos pelo modelo 2.

## Análise de Previsão

Um dos principais objetivos do trabalho é fazer a comparação entre os modelos. Portanto, nesta seção, é apresentado o estudo das previsões um passo à frente, para avaliar o desempenho dos modelos ajustados. No intuito de quantificar os erros no ajuste, algumas medidas de erros de predição e previsão são apresentadas nas Tabelas seguintes.

Medidas de erro	Modelo 1	Modelo 2
Erro Quadrático Médio (MSE)	0.3691	0.4358
Erro Absoluto Médio (MAE)	0.4703	0.5124

Tabela 4: Avaliação dos erros de predição dos modelos

Medidas de erro	horizonte	Modelo 1	Modelo 2
Erro Quadrático Médio (MSE)	h=1	0,2595	0,3098
Erro Absoluto Médio (MAE)	h=1	0.4290	0.4390

Tabela 5: Avaliação dos erros de previsões dos modelos

De acordo com as medidas de qualidade apresentadas nas Tabelas 4 e 5, observa-se que o modelo 1 possui maior acurácia que o modelo 2, superioridade que pode ser verificada pelos menores valores de MSE e MAE, nos dois horizontes de previsão ( $h = 0$  e  $h = 1$ ). As conclusões comparativas sugerem a superioridade do modelo 1. Percebe-se que a adequacidade do modelo depende da série em estudo e de suas características. Por meio da análise gráfica e de medidas de qualidade pode-se verificar que a Transformada de Fourier é uma opção para tratar o fenômeno sazonalidade, pois o modelo 1 foi superior ao modelo 2. Com isso, sugere-se o uso dessa metodologia como ferramenta para o estudo de séries temporais com esta característica.

## 4 | CONCLUSÃO

As previsões de concentrações de poluentes atmosféricos podem ser utilizadas como ferramenta de alerta sobre futuros picos atípicos de concentrações e permitir a tomada de decisão quanto à adaptação de comportamento da população e grupos de risco, como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias. Pode também servir para as autoridades competentes como informação para a preparação de planos para a redução de emissões e gerenciamento da qualidade do ar. A metodologia empregada neste trabalho se baseia na proposta por Box-Jenkins (1970). Essa metodologia foi aplicada para estudar o comportamento da série, verificar a estacionariedade e sazonalidade, ajustar o melhor modelo aos dados e fazer previsões. De acordo com as análises realizadas o modelo que melhor representou a série em estudo foi ARMA(5, 1).

A estrutura de correlação da série de  $PM_{10}$ , analisada nesse trabalho, apresentou a propriedades de sazonalidade. Uma opção de metodologia para resolver tal problema foi a Transformada de Fourier, que segundo os resultados é uma opção razoável para o estudo de séries temporais. Tal conclusão justifica-se devido aos resultados obtidos com o modelo ARMA(5,1), ajustado a série transformada, no estudo de previsão. Considerando a importância da previsão de concentrações de  $PM_{10}$ , para o planejamento de medidas de segurança, espera-se que os resultados encontrados neste trabalho propiciem incentivos para estudos futuros ligados ao planejamento dessas medidas.

## REFERÊNCIAS

AKAIKE, Hirotugu. A new look at the statistical model identification. **IEEE transactions on automatic control**, v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974.

BOX, G.; JENKINS, G. V. *Time Series Analysis: Forecasting and Control* V Holden. **Day, San Francisco**, 1970.

BROCKWELL, Peter J. et al. **Introduction to time series and forecasting**. springer, 2016.

BROCKWELL, P., DAVIS, R. **Introduction to Time Series and Forecasting**, second ed, Springer Verlag, 2002.

GODISH, T. **Air quality**. Boca Raton: CRC Press. LLC. 1997.

GOUVEIA, Nelson et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. **Epidemiologia e Serviços de saúde**, v. 12, n. 1, p. 29-40, 2003.

GOYAL, P.; CHAN, Andy T.; JAISWAL, Neeru. Statistical models for the prediction of respirable suspended particulate matter in urban cities. **Atmospheric environment**, v. 40, n. 11, p. 2068-2077, 2006.

HOLGATE. S. T., SAMET. J. M., KOREN. H. S., MAYNARD. R. L. **Air Pollution and Health**. San Diego.

EUA. Academic Press. 1999.

MARTINS, Lourdes Conceição et al. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 88-94, 2002.

MISHRA, A. K.; DESAI, V. R. Drought forecasting using stochastic models. **Stochastic environmental research and risk assessment**, v. 19, n. 5, p. 326-339, 2005.

NASCIMENTO, Luiz Fernando C. et al. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Revista de Saúde Pública**, v. 40, p. 77-82, 2006.

OSTRO, Bart et al. Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. **Journal of exposure analysis and environmental epidemiology**, v. 6, n. 1, p. 97-114, 1996.

ROBESON, S. M.; STEYN, D. G. Evaluation and comparison of statistical forecast models for daily maximum ozone concentrations. **Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere**, v. 24, n. 2, p. 303-312, 1990.

SHIVELY, Thomas S. An analysis of the long-term trend in ozone data from two Houston, Texas monitoring sites. **Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere**, v. 24, n. 2, p. 293-301, 1990.

TRINDADE, C. C. Avaliação do uso de diferentes modelos receptores com dados de  $PM_{2,5}$ : balanço químico de massa (BQM) e fatoração de matriz positiva (FMP). 143 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico, UFES, Vitória, 2009.

WEI. W. **Time Series Analysis**: univariate and multivariate methods. Pearson. Boston. 2006. 2 ed.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Activated sludge 72, 73  
Anthropogenic actions 88  
Aquatic biota 250  
Artificial ecosystem 115  
Atmospheric indicators 1, 2

### B

Biodigesters 186  
Biodigestion 186, 187  
Biofertilizer 186, 254  
Biogas 186, 204, 254  
Biological filters 72  
Biomass 102, 103, 112

### C

Cerrado biome 88  
Chlorination 28  
Contaminants of Emerging Concern (CEC) 245

### D

Drugs 235, 246, 251, 252, 254, 255

### E

Ecosystem 115  
Effluents 28, 43, 72, 256  
Environmental impact 218  
Evapotranspiration 115

### F

Fecal coliforms 15

### G

Geostatistical method of spatialization (Krigagem) 115

### H

Heat islands 115, 123  
Human Development Index (HDI) 205

## **I**

Inclusive recycling 145

## **L**

Lakes 54

## **M**

Mayan communities 57

Mixed Integer Linear Programming (MILP) 156, 158

## **N**

National Institute for Space Research (INPE) 88

National Solid Waste Policy (PNRS) 134, 159, 166, 169, 175, 178, 235

## **O**

Oligotrophic 43

Organic waste 178, 180, 181, 182

## **P**

Percolating 72

Pesticide 245, 248, 249, 251, 252, 253, 254

Pharmaceuticals 245, 247, 249, 250, 251, 252

Phytoplankton 43

Polishing pond 72

Precipitable water (PW) 2, 4

## **Q**

QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) 245, 247, 248, 249, 250, 251, 253, 254, 255

## **R**

Recyclable materials 134, 135, 154, 162, 164, 178, 183

Residential condominiums 178, 179, 183

Reuse 27, 28, 135, 180, 183, 218, 256

Rivers 43

## **S**

Sanitation 70, 165, 166, 169, 174, 205, 206

Sewage treatment 252, 256

Solar radiation 115, 256

Solid waste 134, 154, 156, 157, 158, 159, 166, 169, 171, 175, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 235

Solid Waste Master Plan 178

Stabilization ponds 72

State Institute for the Environment and Water Resources (IEMA) 124

Sustainability 176, 178, 182, 184, 219

Synchrotron radiation 15, 218

## **U**

United States Environmental Protection Agency (USEPA) 28

Urban solid waste management 159, 175, 183

## **W**

Waste Transfer Station (WTS) 156, 157, 171, 174, 176

Water pollution 15

Water resources 26, 57, 124, 162, 250

Water treatment 218

World Health Organization (WHO) 28, 250

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

---

*Collection:*

# APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

---

*Collection:*

# APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING