



Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química 3

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
134	Impactos das tecnologias na engenharia química 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-231-9 DOI 10.22533/at.ed.319190104 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O acentuado crescimento da população mundial, bem como a ânsia de melhor nível de vida, têm criado elevadas pressões sobre os recursos naturais, matérias-primas, o solo, a água, o ar e os ecossistemas em geral. A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas.

A indústria química tem contribuído para a geração de efluentes líquidos e gasosos contendo substâncias tóxicas, bem como de resíduos sólidos perigosos que, lançados diretamente ou indiretamente sem qualquer tratamento no meio ambiente, podem provocar grandes desequilíbrios ecológicos. O uso intensivo de produtos químicos, se por um lado trouxe elevados benefícios aos padrões de vida, por outro lado, os níveis de poluição que estão associados à sua produção são por vezes muito elevados.

As novas tecnologias na Engenharia Química auxiliam nos processos de recuperação e reutilização de resíduos, assim como conversão em novas fontes de energia. Além das diversas formas de obtenção de energia renovável já existente, cada vez mais vem surgindo uma maior procura por outras formas de energia não poluentes. Essas razões são as mais motivacionais: a ideia de uma possível escassez de recursos fósseis, a tentativa de reduzir as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que causam o efeito estufa, e, além disso, almeja se alcançar certa independência em relação petróleo.

As questões energéticas são extremamente importantes para a sustentabilidade das sociedades modernas, uma vez que a sobrevivência humana depende do fornecimento contínuo de energia. Esse cenário faz com que seja preciso realizar buscas por alternativas energéticas que sustentem a necessidade humana e que não prejudiquem o ambiente.

Para empresas, além da questão ambiental, um excessivo gasto de energia (advinda de recursos não renováveis) é sinônimo de prejuízo. Eis então uma grande oportunidade para engenheiros químicos intervirem na melhoria da eficiência energética dos processos, ajudar a desenvolver tecnologias limpas e promover a utilização de energias alternativas nas indústrias. Com isso, ocorrerá uma redução de custos e será uma contribuição válida ao meio ambiente o que hoje em dia vem gerando maior competitividade para as empresas. O uso de resíduos agrícolas como fonte de bioenergia tem despertado crescente interesse no setor de agroenergia.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com impactos tecnológicos relacionados à indústria, focando na reutilização de produtos e conversão em energia renovável, bem como avanço nos processos para redução da poluição atmosférica e em efluentes. Com isso, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos da Engenharia Química voltada para a área ambiental trazendo benefícios para toda a sociedade.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira	
Pedro Henrique Trindade Dias Cabral	
Roberta Resende Maciel da Silva	
Carla Torres Dias	
José Renato Guimarães	
Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901041	
CAPÍTULO 2	8
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	
Caroline Müller	
Letícia Mara Milani	
Anderson Giehl	
Évelyn Taize Barrilli	
Letícia Deoti	
Ana Carolina Lucaroni	
Viviani Tadioto	
Helen Treichel	
Sérgio Luiz Alves Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3191901042	
CAPÍTULO 3	23
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO	
Júlia do Nascimento Pereira Nogueira	
Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos	
Brunno Ferreira dos Santos	
Filipe Alves Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3191901043	
CAPÍTULO 4	29
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> POR PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Eloane Daize Gomes Dallastra	
Enylson Xavier Ramalho	
Lina María Grajales Agudelo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901044	
CAPÍTULO 5	40
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo	
Kátya Regina de Freitas Zara	
Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901045	

CAPÍTULO 6	51
INFLUÊNCIA DA GORDURA RESIDUAL DE UNIDADES INDUSTRIAIS DE AVES NA FABRICAÇÃO DE BASE PARA CREME HIDRATANTE	
Jacqueline Hahn Bernardi Cristina Helena Bruno Andreia Cristina Furtado Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901046	
CAPÍTULO 7	58
ANÁLISE DA COMPRESSÃO AXIAL E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO RESIDUAL DE AZEITONA	
Manoela Silva Lima Mariotini Carotta Alan Carlos de Almeida Ana Paula de Carvalho Faria Luiz Felipe Lima Panizzi Jonas dos Santos Pacheco Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901047	
CAPÍTULO 8	63
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO NA FIBRA DE COCO PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO	
Wenderson Gomes dos Santos Gilmar Alves Borges Lauro Henrique Hamoy Guerreiro Dilson Nazareno Pereira Cardoso Douglas Alberto Rocha de Castro Emerson Cardoso Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.3191901048	
CAPÍTULO 9	68
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD	
Bruno Chaboli Gambarato Tatiana Raposo de Paiva Cury Sérgio Teodoro de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901049	
CAPÍTULO 10	74
PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA	
Bruno Chaboli Gambarato Gilson Carlos Rodrigues Paulino Amanda Santos Leopoldino Lucas Bruno de Paiva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010410	

CAPÍTULO 11 79

BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO

Ihana Aguiar Severo
Yuri Naidon Favero
Mariany Costa Deprá
Rodrigo Stefanello Bizello Barrios
Rosangela Rodrigues Dias
Mariane Bittencourt Fagundes
Roger Wager
Leila Queiroz Zepka
Eduardo Jacob-Lopes

DOI 10.22533/at.ed.31919010411

CAPÍTULO 12 85

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA PARA BIOENERGIA

Maria Lúcia Ferreira Simeone
Patrícia Abraão de Oliveira
Kirley Marques Canuto
Rafael Augusto da Costa Parrella
Cynthia Maria Borges Damasceno
Robert Eugene Schaffert

DOI 10.22533/at.ed.31919010412

CAPÍTULO 13 90

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTOR E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO

Flávia Souza Pio
Letícia Tamara Santana
Lorena Kelly Corrêia
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010413

CAPÍTULO 14 97

RESOLUÇÃO DE PROBLEMA DE VALOR NO CONTORNO ASSOCIADO À MODELAGEM DE BIORREATORES TUBULARES DE FLUXO DISPERSO E CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN LINEARIZADA

Samuel Conceição Oliveira
Felipe Coelho Morilla

DOI 10.22533/at.ed.31919010414

CAPÍTULO 15 104

SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CICLOS A VAPOR PARA COGERAÇÃO DE BIOENERGIA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Welban Ricardo Ursino
Samuel Conceição Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.31919010415

CAPÍTULO 16 114

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS DE SOJA COM DIFERENTES ORIGENS NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL VIA ROTA METÁLICA

Melissa Rafaela Wolf
Isabela Silveira Tobias Perassi
Nadine de Assis
Fulvy Antonella Venturi Pereira

DOI 10.22533/at.ed.31919010416

CAPÍTULO 17 123

PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich
Bruno Elias Suzart Chamas
Antonio José Gonçalves da Cruz
Roberto de Campos Giordano

DOI 10.22533/at.ed.31919010417

CAPÍTULO 18 129

PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO CÉLULAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE IMOBILIZADAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO REVESTIDAS COM QUITOSANA

Lucidio Cristovão Fardelone
Taciani do Santos Bella de Jesus
Leonardo Akira Kamimura Oura
Gustavo Paim Valença
José Roberto Nunhez
José Augusto Rosário Rodrigues
Paulo José Samenho Moran

DOI 10.22533/at.ed.31919010418

CAPÍTULO 19 137

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes
Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto
Gerônimo Barbosa Alexandre
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.31919010419

CAPÍTULO 20 157

ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE FENTON COM PÓ DE MINÉRIO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE BIODIESEL E AVALIAÇÃO DA LIXIVIABILIDADE DO RESÍDUO

Jamyla Soares Anício Oliveira Félix
Aline Givisiez de Souza
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010420

CAPÍTULO 21 173

APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO CALCINADO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Leonardo Henrique de Oliveira
Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza
Antônio Augusto Ulson de Souza

DOI 10.22533/at.ed.31919010421

CAPÍTULO 22 178

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM

Roque Machado de Senna
Thais Santos
Henrique Senna
Marcelo Linardi

DOI 10.22533/at.ed.31919010422

CAPÍTULO 23 187

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA INDIVIDUAL DE COLETA E GLOBAL NA SEPARAÇÃO DE PARTICULADOS DE MAGNESITA EM CICLONE LAPPLE

Polyana Gomes de Aguiar
Daiane Ribeiro Dias
Annanda Alkmim Alves
Mariana Oliveira Marques
João Carlos Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.31919010423

CAPÍTULO 24 194

ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Aldo Muro Júnior
Nicola Pittet Muro
Nelson Roberto Antoniosi Filho
Maria Isabel Ribeiro Alves

DOI 10.22533/at.ed.31919010424

CAPÍTULO 25 213

CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING

Juliana Alves da Silva
Ricardo José Chimentão
João Batista Oliveira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.31919010425

CAPÍTULO 26 224

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO A TECNOLOGIA HIGEE NA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS

Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira
José Renato Guimarães
Brenda Sedlmaier Costa Coelho
Camila Ceravolo de Carvalho
Francine Silveira Vieira
Luiza Moreira Santos
Jorge David Alguiar Bellido

DOI 10.22533/at.ed.31919010426

CAPÍTULO 27 232

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH₄

Guilherme Andreoli Gil
Guilherme Otávio Lima
Lucas Mendes Pedro
Bianca Bastos Caruzi
Fabrício Maestá Bezerra
Murilo Pereira Moisés

DOI 10.22533/at.ed.31919010427

CAPÍTULO 28 239

INIBIDOR DE CORROÇÃO OBTIDO POR LIXIVIAÇÃO DE CIGARRO APÓS SEU CONSUMO

Lauren Marcilene Maciel Machado
Luciana Rodrigues Machado

DOI 10.22533/at.ed.31919010428

CAPÍTULO 29 249

ENRIQUECIMENTO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO AUTÓCTONES E SUA ADESÃO EM ESPUMA DE POLIURETANO EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Alessandra Giordani
Renata Piacentini Rodriguez
Leonardo Henrique Soares Damasceno
Gunther Brucha

DOI 10.22533/at.ed.31919010429

CAPÍTULO 30 255

BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO EM DOIS DETERGENTES LIQUIDOS COMERCIAIS UTILIZANDO FUNGO FILAMENTOSO *Penicillium crustosum*

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos
Luiza Maria Amaral Frossard de Paula
Mayara Costa Franco
Karen Sartori Jeunon Gontijo
Ana Maria de Oliveira
Enio Nazaré de Oliveira Junior

DOI 10.22533/at.ed.31919010430

CAPÍTULO 31 272

DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO LAFeO₃ COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

Patrícia Grassi
Fernanda Caroline Drumm
Siara Silvestri
Sérgio Luiz Jahn
Edson Luiz Foletto

DOI 10.22533/at.ed.31919010431

CAPÍTULO 32	281
DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE RODAMINA B COM UM CATALISADOR À BASE DA BIOMASSA PORONGO: EFEITO DA DOPAGEM COM FERRO	
William Leonardo da Silva	
Mariéle Schaedler Nascimento	
Matheus Severo Schalenberger	
Joana Bratz Lourenço	
DOI 10.22533/at.ed.31919010432	
CAPÍTULO 33	287
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO TiO_2 E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes	
Luciane Pimentel Costa Monteiro	
Leandro Vahia Pontual	
DOI 10.22533/at.ed.31919010433	
CAPÍTULO 34	303
CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PÓS CONSUMO VISANDO A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro	
Priscilla Sayuri Nakazawa	
Ana Maria Ferrari	
Ana Claudia Ueda	
DOI 10.22533/at.ed.31919010434	
CAPÍTULO 35	315
APPLICATION OF THE MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHOD TO ESTIMATION OF PARAMETERS IN A MODEL OF ADSORPTION-ENHANCED REACTION PROCESS FOR MERCURY REMOVAL FROM NATURAL GAS	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
Mariana de Mattos Vieira Mello Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.31919010435	
CAPÍTULO 36	322
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÃO ATIVADO DERIVADO DA CASCA DO COCO VERDE	
Natália Matos Silva Pereira	
Marta Cecília da Esperança Santos	
Sirlene Barbosa Lima	
Maria Luiza Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010436	
SOBRE A ORGANIZADORA	334

ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Aldo Muro Júnior

Università di Pisa, DICI – Civil Engineering and Industrial Dipartiment

Pisa, PI, Italy

Instituto Federal de Goiás, Coordenação de pós-graduação em processos sustentáveis e engenharia ambiental e sanitária

Universidade Federal de Goiás, LAMES – Laboratório de Métodos de Extração e Separação
Goiânia, GO

Nicola Pittet Muro

Università di Pisa, DICI – Civil Engineering and Industrial Dipartiment

Pisa, PI, Italy

Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Engenharia, Engenharia Ambiental
Goiânia, GO

Nelson Roberto Antoniosi Filho

Universidade Federal de Goiás, LAMES – Laboratório de Métodos de Extração e Separação
Goiânia, GO

Maria Isabel Ribeiro Alves

Universidade Federal de Goiás, Instituto de Química
Goiânia, GO

coletados por meio de sistemas passivos fixados em postes destinados à eletrificação. O monitoramento desses poluentes atmosféricos foi efetuado em período de estiagem, em Goiânia (Estado de Goiás - Região Centro-Oeste do Brasil). As amostras foram obtidas via extração com solvente e analisadas por Cromatografia Gasosa de Alta Resolução com Detector por Ionização em Chama (HRGC-FID), sendo investigada a presença dos 16 PAH considerados como os prioritários pela Agência Ambiental Americana (EPA), utilizada como referência por diversos países. Os resultados demonstraram que o método de sensoriamento passivo proposto, denominado SISCO, foi eficaz na qualificação de PAH no meio ambiente-ar, permitindo a qualificação de PAH em regiões metropolitanas, principalmente em locais abertos, que não possuam *cânions* formados entre prédios.

PALAVRAS-CHAVE: meio ambiente, poluição atmosférica, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, monitoramento passivo.

PAH ANALYSIS OF PAH IN ATMOSPHERIC AIR USING PASSIVE SYSTEM SAMPLING FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

ABSTRACT: The present work aimed to validate a low-cost passive monitoring procedure. For

RESUMO: O presente trabalho teve como escopo o monitoramento de poluentes atmosféricos orgânicos, em especial hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH),

its validation, the monitoring of atmospheric organic pollutants - polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) was carried out in a capital of the central-western region of Brazil. The sensors were fixed on poles intended for electrification during the dry season. After 15 days, samples were extracted by solvent extraction and analysed by High-Resolution Gas Chromatography with Flame Ionization Detector (HRGC-FID). For the validation of the procedure, PAHs monitored and standardised by the American Environmental Agency (EPA), a benchmark for environmental monitoring of air quality by several countries, were analysed. The results demonstrated that the low-cost passive monitoring method was effective in the qualification of PAH in the environment-air, capable of being used by countries that do not have many resources for monitoring air quality.

KEYWORDS: environment, pollution, polynuclear aromatic hydrocarbons, monitoring liability.

1 | INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é composta por uma mistura complexa de partículas sólidas e de gotículas dispersas no ar atmosfera, formada por um conjunto multifatorial difuso (EPA, 2006).

O grande volume de motores de combustão interna e de processos industriais que emitem particulados na atmosfera, contendo CO, Pb e outros elementos-traço, NO₂, SO₂ e outras substâncias agrupadas em particulados complexos, juntamente com reações incompletas dos poluentes primários, são os responsáveis pela maior quantidade de particulados que poluem a atmosfera e o ar que os seres vivos respiram para sua manutenção (Jacobi, 1997; Silva, 2003).

Os países que possuem sistemas de monitoramento do ar atmosférico, somente regulamentam emissões de SO_x, NO_x, CO, Pb e O₃, à exceção dos EUA, que limitam a emissão de partículas poluidoras da atmosfera, segregando-as em dois padrões distintos, *Particulate Matter* – PM, inferiores a 2,5µm (PM_{2,5}), capazes de causar diversas patologias nos seres que dependem da respiração para sua manutenção; e partículas grosseiras inaláveis, com diâmetros inferiores a 10µm (PM₁₀), que afetam a qualidade do meio ambiente artificial, causando *fogs* e danos aos prédios edificados e aos monumentos (EPA, 2006, NRC, 2010; UNEP/WMO, 2011).

No Brasil, inexistem normas balizadoras da qualidade do ar, que relativizem o tamanho dos particulados dispersos na atmosfera e os efeitos sobre a saúde pública e o bem-estar individual dos seres humanos. A única forma de monitorar a qualidade do ar atmosférico é através da utilização da normatização da EPA, como fonte de referência técnica e científica e os trabalhos científicos de centros de pesquisa e de universidades que se ocupam com a qualidade do ar atmosférico e suas implicações sobre a saúde humana (Artaxo, 1991; Demajorovich, 1996; Jacobi, 1997; Esteves, 2003; Mendes, 2004; Habermann, 2012).

O objetivo geral do presente estudo é apresentar um sistema de monitoramento da presença de PAH no ar atmosférico, por sensoriamento passivo, através de um sistema simples e barato, utilizando papéis filtro fixados em diversos pontos de um centro urbano de uma grande capital, na Região Centro-Oeste do Brasil. Objetivou-se o monitoramento qualitativo de PAH na atmosfera pelo fato de que essas substâncias não são monitoradas pelos grandes centros que utilizam o monitoramento do ar, como parâmetro da qualidade do ar atmosférico em suas regiões metropolitanas.

As projeções para a poluição atmosférica é que haja um incremento exponencial nos próximos anos.

A atual polarização econômica para o Oriente, com metas de crescimento da produção industrializada na China e na Índia, com a abertura daqueles mercados, é alarmante para as condições de sobrevivência no Planeta, pois já foi amplamente constatado que a maior fonte de poluição do ar advém da geração e do uso da energia (Baird, 2002), a qual é obtida nestes países, sobretudo, pela queima de carvão. Na China, a má qualidade do ar fez com que, durante as Olimpíadas de Pequim, em 2008, o governo tomasse medidas para diminuir a poluição atmosférica, restringindo o trânsito de veículos, e proibindo o funcionamento de algumas indústrias.

Preocupados com a qualidade do ar, a maior parte dos países efetua o monitoramento da poluição atmosférica, principalmente nas grandes capitais. Contudo o monitoramento é efetuado geralmente para acompanhar os níveis de particulados e das substâncias mais comumente encontradas no meio ambiente-ar urbano, que são as substâncias derivadas da emissão de compostos orgânicos advindos da combustão incompleta de hidrocarbonetos oriundos da combustão incompleta dos motores dos veículos.

Os hidrocarbonetos aromáticos, em particular o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e os xilenos (BTEX), encontram-se presentes nas áreas urbanas como principais poluentes (Seinfeld, 1998), sendo a maior parte da contaminação atmosférica urbana por BTEX, causada justamente pela poluição veicular. O benzeno é o principal poluente orgânico encontrado no ar, em locais onde existem emissões de combustíveis fósseis, sendo sujeito a restrições em diversos países.

A União Europeia, por exemplo, lançou a Diretriz 2000/60/CE (EURLEX, 2001), que fixou o limite de emissão do benzeno, para a atmosfera urbana, na concentração de $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Juntamente com o monitoramento de BTEX faz-se o controle dos níveis de monóxido e dióxido de carbono, os quais são as substâncias passivas de controle e de normatização pelas cidades que representam os grandes centros urbanos mundiais, e que avaliam desde o ar aspirado, passando por substâncias advindas de compostos de petróleo depositados no solo (Shin, 2000), até a forma com que o ângulo de estacionamento dos veículos é capaz de mitigar os efeitos da poluição atmosférica sobre os seres humanos (Gallager, 2011).

O monitoramento que é efetuado pelas administrações públicas das grandes

idades é um processo caro, pois depende de equipamentos fixos e de grande porte e que, portanto, tem de ser espalhados por diversos pontos das grandes cidades para que se obtenham dados estatísticos capazes de prever e controlar os níveis de poluição ambiental atmosférica em todo o grande centro urbano. Além disso, monitores ativos e fixos estão sujeitos a influências pontuais externas que podem mascarar os resultados dos dados obtidos da qualidade do ar atmosférico através deste tipo de monitoramento.

Os equipamentos aspirados móveis que são fixados em veículos públicos que trafegam em diversos pontos urbanos e em rodovias, estão sujeitos a ficarem carregados de substâncias emitidas por um determinado veículo que, porventura, fique em sua frente de captação aspirada e que esteja a emitir poluentes por seu cano de descarga, em desacordo com os padrões permitidos e aceitáveis para a vida humana e para a garantia de qualidade do meio ambiente.

Os sensores fixos também sofrem a influência de veículos desregulados que passem próximos ou que estacionam defronte ao aspirador fixo, e que, geralmente, ao deixarem o local, emitem grandes quantidades de fumaça e de particulados, alterando a fidedignidade estatística dos resultados, principalmente pelo fato destes serem geralmente coletados em curtos períodos, de até 24h.

A leitura que é feita pelos resultados obtidos pelos sensores instalados em grandes centros urbanos é tratada estatisticamente, contudo, veículos fora dos padrões normais de emissões, acarretam alterações importantes nas curvas estatísticas, tornando-se dados pontuais capazes de alterar a média.

Outro ponto que depõe contra o sistema de monitoramento ativo, é o elevado custo que tem, fato que dificulta a instalação em pequenos centros urbanos e em meios rurais, e que impede a sua instalação em residências, locais que têm sido objeto de estudo, como ponto sinérgico entre a poluição atmosférica e doenças que afetam a saúde humana (Bryony, 2004).

No sentido de melhorar o sistema de monitoramento da poluição atmosférica, de sorte a torná-la mais barata, acessível a todos os locais onde se almeja o controle das emissões atmosféricas, diversas pesquisas têm sido efetuadas no sentido de aprimorar o grande leque que constitui o sensoriamento passivo para o controle da qualidade do ar ambiental, mediante a utilização de plantas e de animais (Urbat, 2004; Meireles, 2009; Naszradi, 2004).

Um interessante estudo foi efetuado na Bahia (Brasil), para controlar o nível de poluição atmosférica através do monitoramento passivo, especificamente o biomonitoramento através de plantas, para determinar os efeitos dos agentes genotóxicos (Meireles, 2009). As plantas podem ser utilizadas como bioindicadores, pois crescem ao longo do tempo, sendo capazes, portanto, de registrar biodinamicamente as alterações do ar atmosférico, decorrente do que padecem com as variações da qualidade do ar, podendo demonstrar clara e repetidamente os efeitos negativos da poluição atmosférica sobre os organismos vivos.

Os autores utilizaram clones de *T-pallida*, plantas comumente encontradas em parques públicos urbanos, e as colocaram a 1,70m do solo para efetuar o biomonitoramento passivo em locais de fluxos variáveis de veículos, durante o interregno de, aproximadamente, um ano e meio, com resultados positivos para alteração genética decorrente da ação antrópica geradora da poluição atmosférica (Meireles, 2009).

Em um centro urbano, na Itália, foram utilizados sensores passivos já encontrados em nível comercial, da Radiello®, para o monitoramento e controle da poluição veicular (Iovino, 2008). Esses sensores, há muito utilizados em pesquisas de monitoramento do ar atmosférico, baseados na adsorção de particulados em uma espuma de poliuretano, que pode ficar exposta, e em ambientes fechados como residências e ambientes laborais (Brait, 2008; Know, 2008). A espuma, denominada PUF, pode ficar envolta em uma câmara de aço inoxidável, com aberturas existentes em janelas laterais, para fixação em ambientes externos (Pozo, 2004; Harner, 2004).

O biomonitoramento da poluição do ar também pode ser efetuada através da análise da pelagem e penugem de animais silvestres e aves (Brait, 2008; Chyla, 2000).

Brait (2008) analisou os níveis de metais encontrados em animais silvestres e em pombos que, por serem aves que se adaptam muito bem a viver em cidades, estão carregados de substâncias, de maneira endógena devido à alimentação; e exógena através de substâncias que se encontram presentes no ar atmosférico e que sorvem em suas penas devido à grande oleosidade que constitui uma proteção de impermeabilidade natural em aves (Brait, 2008).

Como o biomonitoramento por animais apresenta muitas dificuldades em sua utilização, desde problemas legais até a dificuldade de coleta de pelos de animais silvestres e captura para coleta de penas para os pombos que habitam os grandes centros, bem como aceitação dos resultados, dada a controvérsia do processo de análise que envolve várias fases e procedimentos de lavagem para a preparação das amostras (Brait, 2008). Brait (2008) desenvolveu um sistema de monitoramento passivo, denominado SISCO – Sistema de Coleta de Poluentes Atmosféricos.

Para o desenvolvimento do SISCO, Brait (2008) tentou reproduzir a sorção que ocorre na cera existente nas aves, através da deposição de uma cera polimetilênica, insolúvel em água, em papéis filtro quantitativo, que foram colocados na cera fundida.

A cera utilizada foi escolhida de sorte a reproduzir mais fidedignamente àquela encontrada em penas de pombos, devido ao alvo do trabalho ser o monitoramento passivo do ar atmosférico urbano, sem a utilização do biomonitoramento.

Os papéis-filtro preparados com a cera, foram fixados em suportes de alumínio, em 29 pontos localizados em zonas de grande fluxo de veículos, da cidade de Goiânia (Goiás), localizada na Região Centro-Oeste do Brasil.

Os sensores passivos, SISCO, foram apostos em postes de eletricidade destinados à iluminação pública, em uma altura de 4,5m, aproximadamente, para evitar o manuseio por pedestres curiosos, expostos durante a época de estiagem

regional, durante 15 dias.

Brait (2010) avaliou elementos-traço em vários locais da região urbana de Goiânia, através do uso do sistema passivo denominado SISCO. Tal monitoramento demonstrou a presença de particulados totais e de elementos-traço como Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn, todos deletérios à saúde humana e constituintes da poluição atmosférica, decorrentes da ação antrópica.

Assim, Brait (2010) ratificou que o baixo custo e a grande facilidade de manuseio com este tipo de monitoramento passivo do controle do meio ambiente-ar, propicia o monitoramento dos níveis de poluição atmosférica, por metais traço, com maior eficácia e menor custo do que aquele realizado por biomonitoramento com pelos e penas de animais, pois eliminam-se as restrições advindas das dificuldades de coleta dos pelos e penas dos animais, bem como a variável de sua localização, pois os pontos fixos em locais pré-determinados dos centros urbanos, propiciam o monitoramento preciso da poluição do ar, nos locais onde se almeja efetuar o controle.

A poluição atmosférica não está limitada a avaliação da presença de BTEX e de elementos-traço. Substâncias orgânicas, como bifenilas policloradas (PCBs), difeniséteres polibromados (PBDES) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), muitas vezes oriundas de aplicações de pesticidas na zona rural, que são carregados pelo vento, atingem a zona urbana, contaminando o ar atmosférico dos grandes centros, causando grandes efeitos sobre a saúde dos seres vivos (Bruckman, 2011; Iovino, 2008; Shoeib, 2004).

O mesmo ocorre com os PAH oriundos dos processos de queima incompleta de combustíveis fósseis e de processos de fabricação que ocorrem em zonas industriais e, principalmente pelos motores de combustão interna, que são passíveis de monitoramento através de sensoriamento passivo, com bons resultados, aliado à simplicidade e ao baixo custo do procedimento (Harner, 2004; Pozo, 2004).

O presente trabalho objetivou o monitoramento dos PAH presentes no ar atmosférico, através da utilização de sensores passivos de baixo custo, para aplicação em períodos de estiagem.

2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Sistema de monitoramento passivo de poluentes atmosféricos (SISCOS)

O sistema SISCO, desenvolvido por Brait e Antoniosi (2010), consiste em uma haste ligada a um círculo de alumínio, onde é fixado um papel de filtro embebido em cera. Com o objetivo de reduzir os custos do sistema de sensoriamento passivo, adaptou-se o sistema SISCO substituindo-se os círculos de alumínio por bastidores para bordado comumente encontrados no mercado de aviamentos, confeccionados em madeira, com diâmetros de 20 e 30 cm.

Os bastidores foram lavados com água e detergente, enxaguados com água

corrente e, posteriormente, lavados com água destilada e deionizada, e borrifados com acetona grau Absolv Tedia[®], sendo por fim dispostos para secagem.

A fixação dos elementos adsorventes foi efetuada em ambiente limpo, mediante a simples aposição dos elementos de papel filtro de 20 cm de diâmetro, e discos de polietileno com diâmetros de 30 cm, nos bastidores, que por serem constituídos de dois círculos concêntricos de madeira, propiciam a fixação do papel e do polietileno, sem nenhuma dificuldade, conforme mostra a Figura 1.



Figura. 1. Sistema de monitoramento passivo montado com barra de alumínio de $\frac{1}{4}$ " e dois bastidores para bordado em madeira, onde foram fixados os elementos adsorventes, montado em poste de energia elétrica.

Os bastidores foram presos às hastes de alumínio, ambos previamente escovados, com a ajuda de palha de aço, para remoção de quaisquer vestígios de óleo e de outras substâncias utilizadas durante o processo de fabricação; lavados com acetona; e, posteriormente, enxaguados com água destilada e água deionizada, borrifados com acetona Absolv Tedia[®] e secos ao ambiente.

Após a montagem os sistemas de monitoramento passivo da poluição atmosférica, os SISCOs, foram acondicionados em sacos de polietileno e lacrados. A escolha do polietileno como invólucro dos SISCOs foi feita com base na inexistência de substâncias, neste polímero, que pudessem interferir na pesquisa dos poluentes atmosféricos, foco da pesquisa.

Os SISCOs foram fixados à uma altura de 4,5m do solo, em postes destinados à iluminação pública, para que não houvesse possibilidade de manuseio por pessoas, e somente após à sua fixação é que os invólucros foram retirados, evitando, dessarte, qualquer contato com substâncias que pudessem alterar os resultados da pesquisa,

tais como óleos e gorduras ou outras substâncias que possam advir do manuseio ou do ambiente de fixação dos sensores.

A fixação e retirada dos SISCOs dos postes foi feita pela *Kelluz Engenharia, Indústria e Comércio Ltda.*, visando diminuir os riscos de instalação e desinstalação.

Os SISCOs foram fixados em 29 pontos na cidade de Goiânia, durante o período de 15 dias, durante o interregno de 10 a 15 de setembro de 2010, após o período de 100 dias de estiagem na cidade, objetivando-se coletar o maior índice de particulados e substâncias dispersas na atmosfera urbana.

A escolha dos pontos foi efetuada de maneira a propiciar o monitoramento de zonas de grandes fluxos veiculares e com incidência de indústrias de transformação, que eliminam resíduos no meio ambiente-ar. Além disso, fez-se a instalação dos SISCO em regiões de cinturão verde, como parques e Jardim Zoológico, estrada de maior importância para acesso interestadual à capital goiana, e regiões próximas a cidades e com atividade rural predominante em suas economias, para verificação da possibilidade de carreação de particulados oriundos de queimadas e monitoramento da presença de substâncias orgânicas tóxicas decorrentes dos veículos e de zonas de produção, em todo o perímetro urbano da cidade de Goiânia, escolhida para a realização da pesquisa.

A localização dos SISCO na cidade de Goiânia, bem como a representação espacial da cidade no território brasileiro, encontra-se representada na Figura 2.

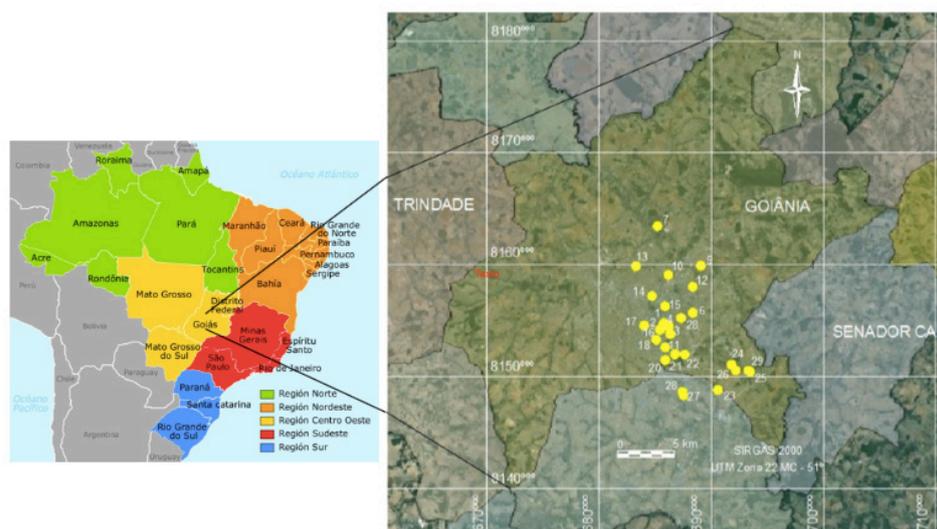


Figura 2. Localização dos SISCO distribuídos na cidade de Goiânia (GO, Brasil).

Os dados específicos da localização dos SISCO, com coordenadas para posicionamento por latitude e longitude, bem como o referenciamento dos setores que foram monitorados, estão discriminados na Tabela 1.

Após o período de 15 dias, os sensores foram retirados do meio ambiente, e acondicionados novamente em invólucros de polietileno e levados lacrados ao

laboratório para análise dos PAH.

Dos 29 sensores que foram fixados, 5 foram descartados devido à presença de dejetos de aves ou por rompimento dos elementos adsorventes.

Os elementos constituídos por polietileno soltavam-se facilmente dos bastidores, devido a seu baixo coeficiente de atrito com a madeira, e foram descartados para as análises efetuadas com objetivo de qualificar PAH, no meio ambiente-ar.

n.º	Local de Instalação dos SISCO	X (UTM)	Y (UTM)	Latitude	Longitude
1	Praça Cívica 01 c/Rua 16	687954	8115979	16°40'50"S	49°15'32"O
2	Praça Cívica , n.º 565	685819	8154776	16°40'56"S	49°15'35"O
3	Rua 82, esquina c/ Rua 10	686147	8155000	16°40'49"S	49°15'16"O
4	Rua 96 c/Rua 97	686134	8154716	16°40'60"S	49°15'20"O
5	Campus I UFG / P. Universitária	687242	8155406	16°40'42"S	49°14'54"O
6	Praça da Bíblia	688282	8155870	16°40'18"S	49°14'05"O
7	Campus II UFG / LAMES	685182	8163659	16°36'08"S	49°15'51"O
8	Perimetral Norte I	8684200	8160564	16°37'57"S	49°15'14"O
9	Aeroporto Santa Genoveva	689045	8160102	16°38'01"S	49°13'45"O
10	Setor Criméia Leste	686083	8159308	16°38'20"S	49°15'22"O
11	Praça do Cruzeiro	686268	8154006	16°41'22"S	49°15'12"O
12	Setor Jaó	688275	8158235	16°39'01"S	49°14'03"O
13	Av. Perimetral Norte II	683192	8160114	16°38'02"S	49°16'54"O
14	FAMA	684606	8157424	16°39'31"S	49°15'12"O
15	Setor Aeroporto	684463	8156514	16°40'00"S	49°16'13"O
16	Setor Oeste, rua 01	685337	8154391	16°41'08"S	49°15'43"O
17	Setor Oeste – Zoológico	683913	8154767	16°40'58"S	49°16'31"O
18	Setor Marista	684988	8153500	16°41'37"S	49°15'55"O
19	CENG	685783	8152826	16°41'58"S	49°15'28"O
20	Parque Areião	685781	8151661	16°42'36"S	49°15'27"O
21	Setor Pedro Ludovico	686687	8152171	16°42'23"S	49°14'39"O
22	Jardim Goiás	687525	8152162	16°42'17"S	49°14'26"O
23	Parque Atheneu	690485	8148955	16°44'15"S	49°12'40"O
24	Alphaville	691722	8151197	16°42'51"S	49°12'04"O
25	Portal do Sol II – no lixão	693239	8150663	16°43'08"S	49°11'14"O
26	Portal do Sol I – longe de lixão	692111	8150702	16°43'08"S	49°11'14"O
27	BT-153 (I)	687522	8148258	16°44'28"S	49°14'34"O
28	BR-153 (II)	687304	8148837	16°44'11"S	49°14'35"O
29	Jardins Atenas	693259	8150657	16°44'02"S	49°12'35"O

Tabela 1. Locais de afixação dos sensores de monitoramento passivo SISCO, contendo coordenadas UTM e posicionamento por latitude, longitude e altitude.

2.2 Extração e análise cromatográfica de PAH

Os SISCO foram desmontados, retirados os bastidores e, ainda com o papel fixo nos anéis concêntricos dos bastidores, foram retiradas amostras retangulares com 2,5cm da região central da circunferência dos papéis filtro, com a utilização de duas lâminas estéreis de bisturi, dispostas lado-a-lado de maneira paralela.

As amostras foram acondicionadas em tubos de ensaio, e pesadas em balança analítica da marca Ohaus, modelo AS 120, com precisão de 0,1 mg.

Foram adicionados 2 mL de solvente à base de 10% v/v de dietil-éter em hexano,

compactando as amostras com bastão de vidro, para que ficassem completamente imersas no solvente.

As amostras foram centrifugadas em agitação orbital por 12 horas, para a extração de todos os particulados adsorvidos pelo papel filtro, com o solvente aposto em frascos de 2 mL e mantidos em freezer, a cerca de -12°C, para que não houvesse deterioração das amostras obtidas, seguindo o método TO-13A, da EPA, que normatiza a forma de determinação de PAH mais comumente encontrados no ambiente, através da cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa – GC/MS (EPA, 1999).

Para a identificação dos PAH nas amostras foi utilizado um cromatógrafo a gás, modelo GC-17A-Shimadzu, acoplado ao um espectrômetro de massas Shimadzu modelo QP5050. As condições de injeção foram realizadas também seguindo a norma TO-13A da EPA (EPA, 1999), com injetor a 300°C no sistema *splitless*, com injeção de 2 µL de amostra. A temperatura inicial do forno foi de 50°C, com tempo inicial de espera de 4,0 min e rampa de aquecimento de 10°C/min até 300°C e tempo final de espera de 10 min. O gás de arraste foi o hélio com velocidade linear de 29,2 cm/s. O *solvent cut* foi programado para 1,85 min, uma vez que o pico de concentração do solvente ocorreu com 1,76 min. O tempo aproximado de cada análise foi de 50 min, e para otimizar toda a análise e garantir a igualdade das injeções utilizou-se a introdução da amostra utilizando amostrador automático. Para a separação das substâncias utilizou-se uma coluna capilar apolar DB-5HT (5%-fenilmetilpolisiloxano – Agilent #122-5731), com 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e espessura do filme de 0,25 µm.

Para a análise de PAH via HRGC-FID foram utilizadas as mesmas condições já descritas para o GC-MS, inclusive a coluna para determinação dos 16 PAH normalmente presentes na poluição atmosférica, os quais estão descritos na Tabela 2.

Para a determinação dos PAH nas substâncias analisadas, foi observado o tempo de eluição constante na norma da EPA TO-13 (EPA, 1999), haja vista que as condições cromatográficas que foram utilizadas neste trabalho seguiram àquela norma, com a extração em branco, constante da Figura 3.

nº	nome	nº	nome
1	Naftaleno	9	criseno
2	acenafteno	10	Benzo(b)fluoranteno
3	fluoreno	11	Benzo(k)fluoranteno
4	antraceno	12	Benzo(a)pireno
5	fenantreno	13	Benzo(e)pireno
6	fluoranteno	14	Benzo(g,h,i)perileno
7	pireno	15	Indeno(1,2,3,cd)pireno
8	Benz(a)antraceno	16	Dibenz(a,h)antraceno

Tabela 2. Lista dos PAH analisados.

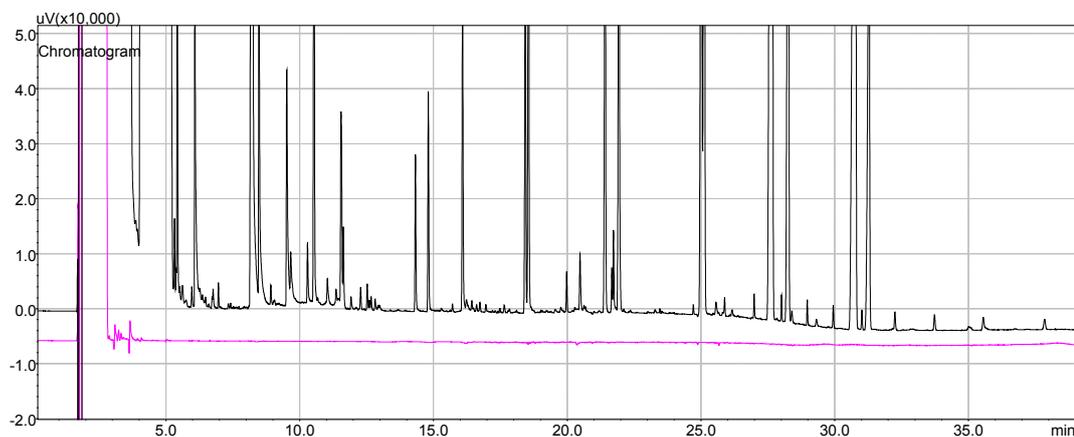


Figura 3. Cromatograma com extração em branco.

2.3 Resultados e discussões

A análise por espectrometria de massas, apesar de ser muito eficaz para a determinação de compostos orgânicos em diversos tipos de matrizes, não demonstrou bons resultados para as análises das amostras dos poluentes atmosféricos que se pretendia analisar, pois o nível de ruído do espectrômetro de massas apresentou-se muito próximo aos picos dos PAH, provavelmente pelo fato de que se tratam de traços de poluentes, tendo sido abandonado.

Foi feita, então, análise por GC-FID, pelo fato de que o nível de ruído produzido por este método de análise ser muito baixo, permitindo a melhor identificação de traços de substâncias, como os PAH que se pretendia analisar.

Os cromatogramas obtidos demonstraram traços de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em diversas amostras, com picos de sinais muito baixos, o que ratificou a necessidade de utilização do método de análise por ionização de chama (FID) como o método mais eficaz a ser seguido para a análise dos PAH difusos na poluição atmosférica, pelo fato de estar se buscando quantitativos de poluentes em baixíssimas concentrações.

Os cromatogramas produzidos pelas análises encontram-se demonstrados nas Figuras 4 e 5.

O cromatograma da Figura 4 foi obtido pela análise da amostra de SISCO em poste destinado à iluminação pública situado defronte ao LAMES – Campus II da UFG, na qual foram detectadas a presença de 3 PAH.

Já o cromatograma da Figura 5 foi obtido pela análise da amostra coletada no Setor Aeroporto, em poste destinado à iluminação pública situado à Avenida Independência, nos arredores de regiões mais urbanizadas de Goiânia, onde foram detectadas as presenças de cinco PAH.

Dos 24 pontos cujos sensores passivos de poluição atmosférica foram objeto de análise por GC/FID, 18 apresentaram traços de PAH.

A Tabela 3 correlaciona a ocorrência de PAH, distribuídos pelos bairros de Goiânia, com o tipo de PAH analisado.

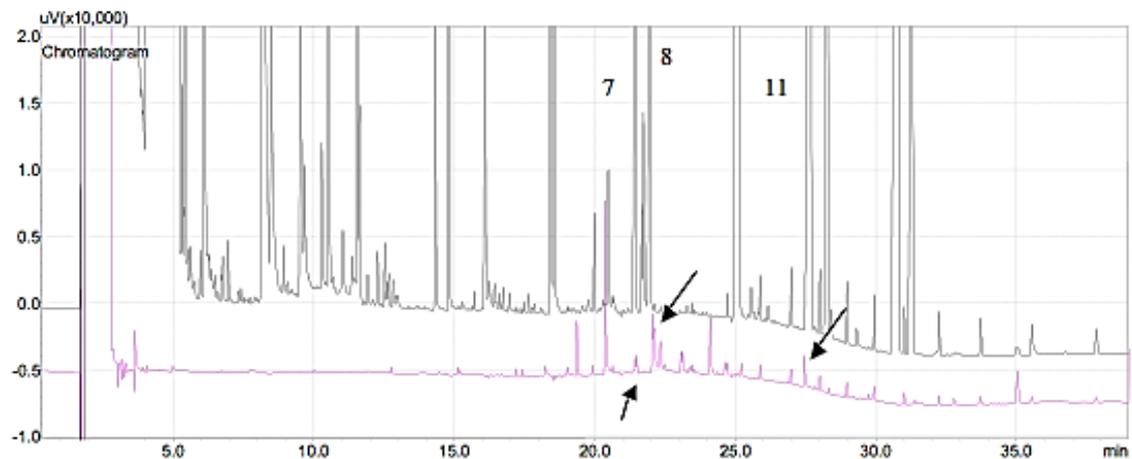


Figura 4. Cromatograma representativo do SISCO instalado em poste defronte ao LAMES - Campus II da UFG.

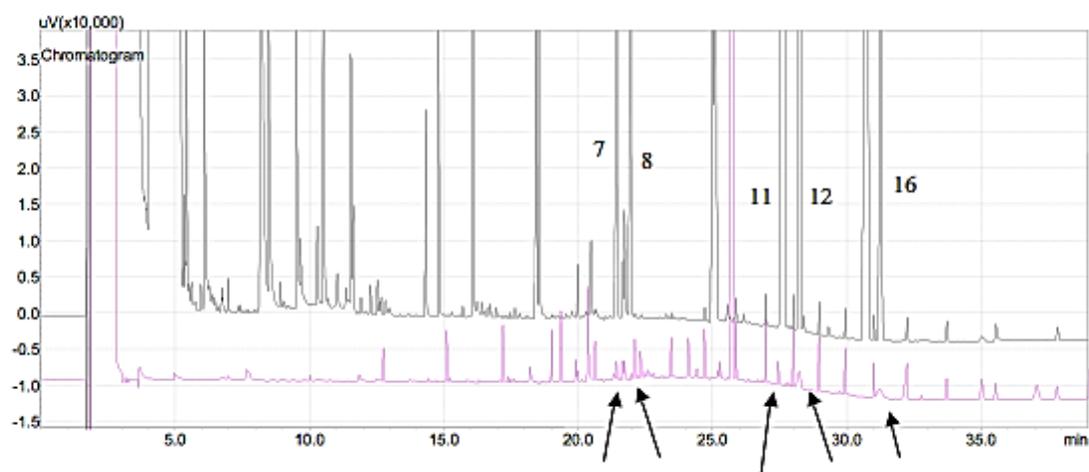


Figura 5. Cromatograma representativo do SISCO instalado em poste da AV. Independência do Setor Aeroporto.

Locais	Naftaleno	Acenafteno	Fluoreno	Antraceno	Fenantreno	Fluoranteno	Pireno	Benz (a) antraceno	Criseno	Benzo (b) fluoranteno	Benzo (k) fluoranteno	Benzo (a) pireno	Benzo (e) pireno	Benzo (g, h, i) perileno	Indeno (1,2,3, cd) pireno	Dibenzo (a, h) antraceno	Total de Ocorrência
Praça Cívica 01 c/Rua 16																	
Praça Cívica, n.º 565																	
Rua 82, esquina c/ Rua 10																	
Rua 96 c/Rua 97																	
Praça Universitária Campus I																	
Praça da Bíblia																	
UFG Campus II – LAMES						X	X			X							3
Perimetral Norte I																	
Aeroporto S. Genoveva						X				X							2
Setor Criméia Leste										X							1
Praça do Cruzeiro				X						X							2
Setor Jaó												X					1
Av. Perimetral Norte II																	
FAMA							X	X									2
Setor Aeroporto							X	X		X	X			X			5
Setor Oeste, Rua 01							X		X	X				X			4
Setor Oeste – Zoológico												X		X			2
Setor Marista							X				X						2
Clube de Engenharia							X	X		X		X					4
Parque Arcião												X		X			2
Setor Pedro Ludovico							X		X		X						3
Setor Jardim Goiás													X				1
Parque Atheneu									X		X						2
Alphaville						X		X		X							3
Portal do Sol II – Resíduos																	
Portal do Sol												X					1
BT-153 (I)																	
BR-153 (II)																	
Setor Jardins Atenas																	
Ocorrências				1		3	7	4	3	8	4	6		4			

Tabela 3. Ocorrência de PAH por setores e índice de ocorrências, com representação, com indicação de frequência total por localidade e por tipo de PAH analisado.

Os PAH que foram encontrados no ar atmosférico de Goiânia foram: antraceno; fluoranteno; pireno; benz(a)antraceno; criseno; benzo(b)fluoranteno; benzo(k)fluoranteno; benzo(a)pireno; benzo(g,h,i)perileno.

O benzo(b)fluoranteno foi o PAH que teve o maior número de ocorrências, estando presente em 8 das 24 amostras analisadas, apresentando um percentual de 18% relativamente às ocorrências de PAH na totalidade das amostras analisadas.

O PAH que teve a menor ocorrência foi o antraceno, tendo sido encontrado em somente uma das amostras analisadas, figurando, portanto, em 2% do total de ocorrências.

Os PAH que foram encontrados nas análises encontram-se representados pela Figuras 6 a e b, e estão representados em função da incidência de cada PAH, isto é, as figuras representam a frequência relativa e percentual de PAH que foi observada nas amostras analisadas.

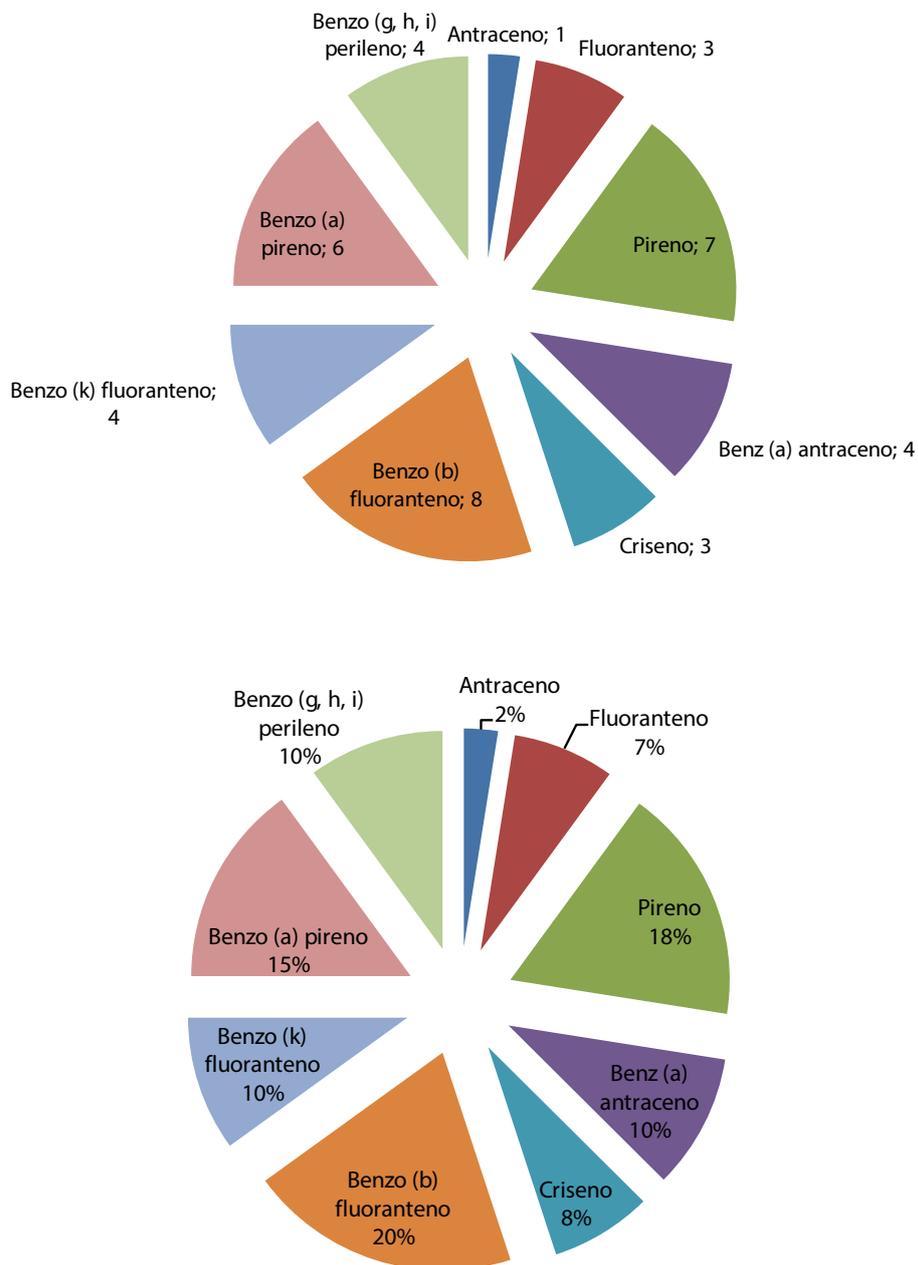


Figura 6. Índices de PAH relativo e percentual, em bairros do município de Goiânia, Goiás, Brasil.

Com relação ao lugar, o Setor Aeroporto, onde houve fixação do SISCO nas proximidades de setores tipicamente industrializados, foi o ponto que apresentou maior número de ocorrências de PAH; seguido pelo Setor Oeste e Marista, próximo ao Clube de Engenharia; e pelos pontos que foram fixados em frente ao LAMES, no Campus II da UFG, Setor Pedro Ludovico e Condomínio Residencial Alphaville.

A Figuras 7 *a* e *b* representam, respectivamente, a ocorrência dos PAH separados por setores; e o percentual relativo de ocorrência, também por setor de Goiânia.

O quadro total de PAH que foram encontrados, distribuídos por frequência e setores e número de ocorrências, está representado na Tabela 3.

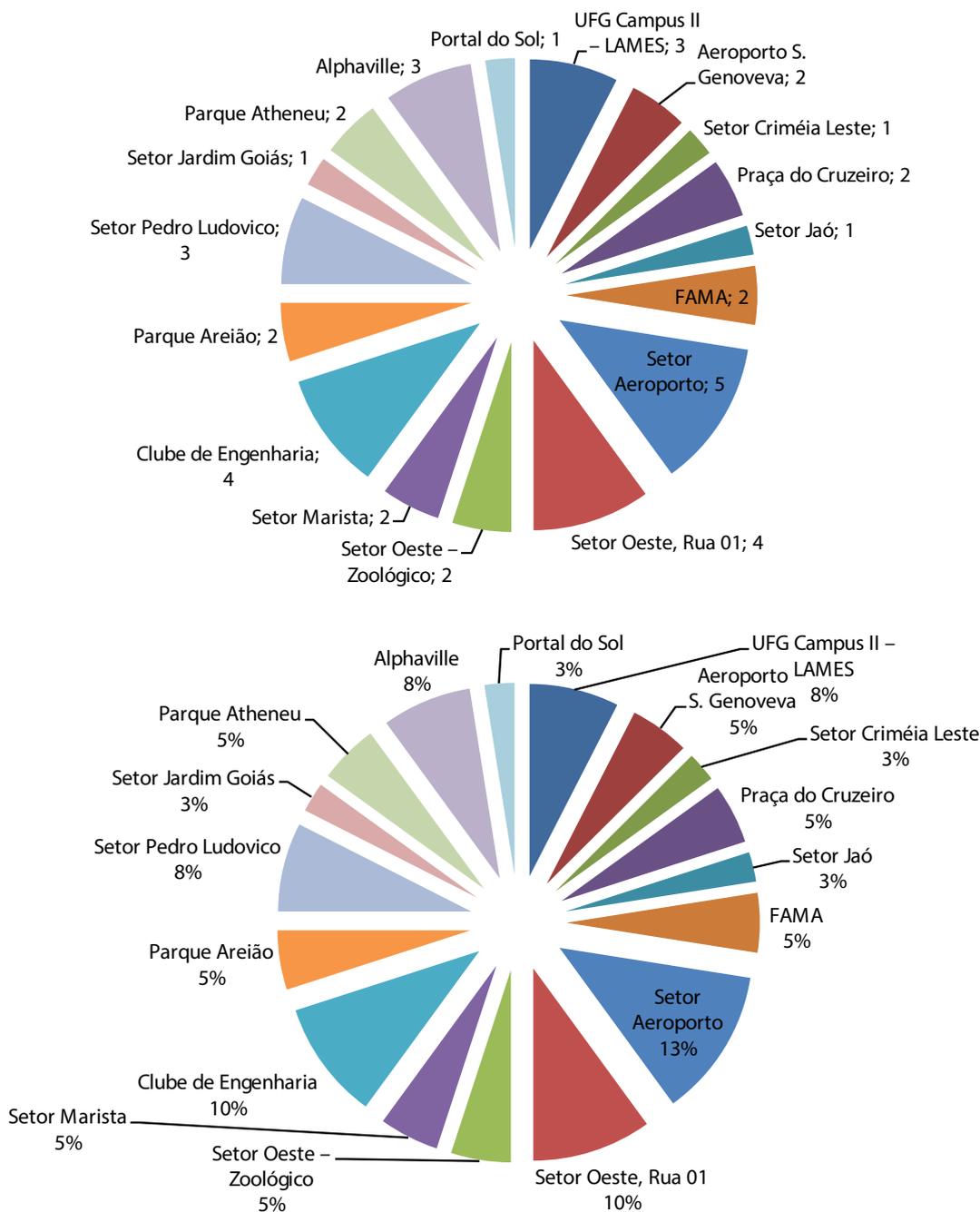


Figura 7. Índices de ocorrência percentual e relativa, de PAH distribuído por setores do município de Goiânia – GO, Brasil.

Observou-se que os sensores passivos que foram colocados em ambiente urbano, mediante a utilização de papéis filtro para adsorção de poluentes orgânicos, demonstraram-se eficazes para a detecção de PAH no meio ambiente-ar.

Nos pontos de maior fluxo de veículos, esperava-se maior incidência de contaminação por PAH, contudo, a análise dos resultados demonstrou que na Praça Cívica; Praça Universitária; Setor Sul e na Rodovia BR-153, não houve detecção de contaminação por PAH nas amostras que foram analisadas.

Nos locais de grande concentração e fluxo de veículos, dentro da cidade, provavelmente não houve detecção de PAH devido ao fluxo de ar circulante, alterado pelos prédios que formam verdadeiros cânions, que têm influência direta sobre

os efeitos da poluição atmosférica, conforme foi observado por uma modelagem matemática efetuada em meio ambiente urbano, por Gallagher *et. al.* (2011).

Tal fato é confirmado pelo índice de PAH que foi detectado em locais mais abertos, onde foram fixados os SISCO, como no Campus II da UFG, e nos Setores Aeroporto, Oeste, Marista e Alphaville.

Depreende-se que a circulação facilitada de ar pelas superfícies adsorventes dos filtros de papel, colocados nos SISCO, é o fator preponderante para o monitoramento passivo ambiental através do método proposto.

Regiões mais industrializadas, como o Setor Aeroporto, onde foi aposto um SISCO na Av. Independência que, além do elevado fluxo de veículos, está sujeito à difusão de particulados oriundos de indústrias da transformação que há na região, apresentaram a maior incidência de ocorrência de tipos diversos de PAH.

A região do Campus II da UFG, onde foi fixado um SISCO em frente ao LAMES, apesar de ser próxima a um cinturão verde da cidade, formado pela reserva da própria UFG, devido ao grande fluxo de ônibus de transporte público, demonstrou a ocorrência de 3 tipos de PAH diferentes.

Quanto aos tipos de PAH encontrados, os que se apresentaram com maior frequência, distribuídos pela cidade - como o benzo(b)fluoranteno, o pireno, e o benzo(a)pireno - constituem PAH tipicamente resultantes da combustão incompleta de compostos orgânicos e, devido a multiplicidade de anéis aromáticos, causa efeitos graves sobre a saúde humana com efeitos, principalmente, carcinogênicos.

As regiões onde foram encontradas maiores incidências de PAH apresentam correlação com os pontos onde Brait (2008) observou a maior presença de compostos inorgânicos, à exceção da Praça Cívica, onde houve forte presença de metais no trabalho de Brait (2008), enquanto no presente trabalho não foi evidenciada a detecção de PAH naquele setor da cidade, de balde a interferência pelos cânions urbanos (Gallagher, 2011).

3 | CONCLUSÕES

O sistema de monitoramento passivo, por intermédio de adsorção de compostos orgânicos, através da fixação de sensores contendo o papel-filtro, como elemento adsorvente, constitui um método de simples manuseio, de baixo custo, com possibilidade de fixação em ambientes rurais e urbanos, pois os SISCO são fixados em postes destinados à iluminação pública, que estão presentes em praticamente em todos os pontos em que há civilização, tanto em ambientes urbanos, quanto rurais.

A detecção dos particulados orgânicos, mesmo em pequenas quantidades, constituindo traços de compostos orgânicos, demonstram a eficácia do método, que demonstrou ser capaz de detectar os 16 PAH mais comumente encontrados na poluição atmosférica, segundo a EPA (1999).

A poluição por PAH nos centros urbanos se faz presente de forma difusa, dada

a volatilidade dos compostos orgânicos, contaminando o ambiente-ar, não somente em locais de maiores concentrações de indústrias da transformação e de veículos, mas também em zonas mais afastadas e mesmo próximas a zonas rurais e cinturões verdes das cidades.

REFERÊNCIAS

Artaxo, P. A problemática da poluição do ar em regiões metropolitanas. *Ambiente urbano e qualidade de vida: Pólis* **3**, (1991), p.28-36.

Baird, Colin. **Química Ambiental**. 2ª Ed. Porto Alegre: *Bookman*, 2002.

Brait, C. H. H. Monitoramento ambiental de metais utilizando biomonitores e sistema passivo de coleta de poluentes. Tese de doutorado apresentada no programa de pós-graduação de Ciências Ambientais, 110 p., UFG, Goiânia – GO: 2008.

Brait, C. H. H.; Antoniosi Filho, N. R. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn e particulados totais. *Química Nova* **33**, (2010), p. 7-13.

Bruckman, P.; Hiester, E; Klees, M; Radermacher, L. Environmental pollution by polychlorinated biphenyls (PCB) in the harbour region of Dortmund. *Springer – V.* **71**, (2011), p. 151-158.

Bryony, H W; Harner, T; Zhu, J; Shoeb, M; Jones, K. C. Passive sampling survey of polybrominated diphenyl ether flame retardants in indoor and outdoor air in Ottawa, Canada: implications for sources and exposure. *Environment Sci. Technol* **38**, (2004), p. 5312-5318.

Chyla, M. A. Master os Science thesis. Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University, Budapest: 2008.

Demajorovic, J.; MacDowell, S. Meio ambiente, condições de vida e políticas sociais. *Boletim de Conjuntura Política e Social. FUNDAP* **21**, (1996), p. 68-72.

Dockery, D. W; Pope, C. A; Xu, X; Spengler, J. D.; Ware, J. H.; Fay, M. E.; Ferris Jr., B. G.; Speizer, F. E. An association between air pollution and mortality in six U. S. Cities. *The New England Journal of Medicine.* **9** (1993), p. 1753-1759.

Environmental Protection Agency. Compendium Method TO-13A: Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in ambiente air using gas chromatography/mass spectrometry (GCMS). 2.ª Ed., Jan. 1999.

Environmental Protection Agency. Fact Sheet final revisions to the national ambiente air quality standards for particle pollution (particulate matter). 2006. Disponível em: <http://www.epa.gov/pm/pdfs/20060921_factsheet.pdf>. Consultado em novembro de 2018.

Esteves, G. R. T. Custos da poluição dos transportes na saúde pública da Região Metropolitana de São Paulo. Tese de doutorado. NIPE/FEM/UNICAMP. São Paulo: 2002.

Eurlex. Comunidade Europeia, Diretiva 2001/81/EC. Disponível em: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2001L0081:20090420:EN:PDF>. Consultado em novembro de 2018.

Gallagher, J.; Gill, L. W., McNabola, A., Optimizing the use of on-street car parking as a passive control of air pollution exposure in street canyons by large eddy simulation. *Atmospheric Environment*

45, (2011), p. 1684-1694.

Habermann, M.; Gouveia, N. Motor vehicle traffic and cardiovascular mortality in male adults. *Revista de Saúde Pública* **46**, (2012), p. 26-33.

Harner, T.; Shoeib, M.; Diamond, M.; Stern, G.; Rosenberg, B. Using passive air samplers to assess urban – rural trends for persistent organic pollutants. 1. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides. *Environ. Sci. Technol.* **38**, (2004), p. 4474-4483.

Iovino, P., Salvestrini, S., Capasso, S. Identification of stationary sources of air pollutants by concentration statistical. *Chemosphere*, **73**, (2008) p. 614-618.

Jacobi, P. R. (coord.) *Poluição do ar em São Paulo e resposta da ação pública*. Cadernos CEDEC, **60**, (1997).

Jovanovic, V. Z., Pfenndt, P. A., Jovanovic, A. J. Summertime PAH assembly in Mediterranean air: the Herceg Novi sampling station as an example. *J. Serb. Chem. Soc.* **72**, (2007), 193-204.

Know, K., Jo, W., Lim, H., Jeong, W. Volatile pollutants emitted from selected liquid household products. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **15**, (2008), p. 521-526.

Lefcort, H.; Meguire, R. A.; Wilson, H. Heavy metals after the survival, growth, metamorphosis and antipredatory behavior of Columbia spotted frog (*Rana luteiventris* tadpoles). *Archives of environmental contamination and toxicology* **35**, (1998), p. 447-456.

Meirelles, J. et. al. Genotoxic effects of vehicle traffic pollution as evaluated by micronuclei test in *Tradescantia* (Trad-MCN). *Mutation Research* **675** (2009), p. 46-50.

Mendes, F. E. **Avaliação de programas de controle da poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. Tese de doutorado apresentada no programa de pós-graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 179 p., 2004.

Mine, Y., Bellander, T., Merritt, A. Personal exposure to carcinogenic and toxic air pollutants in Stockholm, Sweden: A comparison over time. *Atmospheric Environment*. **45**, (2011), p. 2993-3004.

Muro, Jr., Antoniosi Filho, N. R. **Monitoramento da poluição atmosférica pela análise de PAH, via sistema de passivo de monitoramento ambiental**. *Revista Ambiente e Sociedade*. Artigo submetido. 2013.

National Research Council. **Advancing the science of climate change**. The National Academies Press, Washington, EUA: 2010.

Nascimento, L. F. C., Pereira, L. A. A., Braga, A. L. F., Módolo, M. C. C., Carvalho Jr., J. A. *Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP*. *Rev. Saúde Pública* **40**, (2006), p. 77-82.

Nasrardi, T.; Badacsonyi, A., Németh, N., Tuba, Z., Batic, F. Zinc, lead and cadmium content in meadow plants and mosses along the M3 motorway (Hungary). *Journal of Atmospheric Chemistry* **49**, (2004), p. 593-603.

Pozo, K.; Harner, T.; Shoeib, M.; Urrutia, R.; Barra, R.; Parra, R.; Focardi, S. Passive-sampler derived air concentrations of persistent organic pollutants on a North-South transect in Chile. *Environ. Sci. Technol.* **38**, (2004) p. 6529-6537.

Gallagher, J.; Gill, L. W., McNabola, A., Optimizing the use of on-street car parking as a passive control of air pollution exposure in street canyons by large eddy simulation. *Atmospheric Environment*

45, (2011), 1684-1694.

Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change. *Journal of Atmospheric Chemistry* **37**, (2010), p. 212-214.

Shin, H.; Know, O. The simultaneous analysis of benzene, toluene, ethylbenzene, *o,m,p*-xylenes and total petroleum hydrocarbons in soil by GC-FID after ultrasonication. *Bull Korean Chem. Soc.* **21**, (2000), p. 1101-1105.

Shoeib, M. et. all. Indoor and outdoor air concentrations and phase partitioning of perfluoroalkyl sulfonamides and polybrominated diphenyl ethers. *Environ. Sci. Technol.* **38**, (2004), p. 1313-1320.

Silva, J. A. **Curso de Direito Constitucional Positivo**. Ed. Malheiros, 16^a Ed., São Paulo: 1998.

United Nations Environmental Programme; e World Meteorological Society. Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone. Summary for Decision Markers. (2011). Disponível em: http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon_SDM.pdf. Consultado em novembro de 2018.

Urbat, M.; Lehndorff, E.; Schwark, L. Biomonitoring of air quality in the cologne conurbation using pine needles as a passive sample – part I: magnetic properties. *Atmospheric environment - International Europe* **38**, (2004), p. 3781-379.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-231-9

