

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

conceitos  
fundamentais e  
aplicações práticas

2

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

conceitos  
fundamentais e  
aplicações práticas

2

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

**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 Cremona

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 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-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

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

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

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

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

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

## Engenharia sanitária e ambiental: conceitos fundamentais e aplicações práticas 2

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharia sanitária e ambiental: conceitos fundamentais e aplicações práticas 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografia  ISBN 978-65-258-2255-6  DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.556243101">https://doi.org/10.22533/at.ed.556243101</a></p> <p>1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.  CDD 628</p>
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](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## 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.

O e-book: “Engenharia sanitária e ambiental conceitos fundamentais e aplicações práticas 2” é composto por cinco capítulos de livros que apresentam trabalhos voltados para a melhoria do saneamento básico, saúde e meio ambiente. O capítulo 1 se propôs a realizar um estudo de revisão da literatura em relação a identificação de conflitos existentes em ocupação de terras em Áreas de Preservação Permanente (APPs) no município de Pancas/ES. O estudo apontou que as principais atividades desenvolvidas em APPs com recursos hídricos se constituem em atividades de pastagem (35%), agricultura (25%), formação florestal (26%) sendo que 11% do município é constituído de APPs. O segundo capítulo se constituiu em um estudo descritivo do tipo revisão bibliográfica em relação a análise das parcerias público-privadas (PPP) referente a universalização de serviços de saneamento básico em todo o território brasileiro. Os estudos apontaram a necessidade por maiores aprofundamentos em relação aos aspectos econômico-financeiros e os direitos humanos referente ao acesso a estes serviços essenciais para saúde pública coletiva.

O capítulo 3 se propôs a apresentar a relação entre o crescimento urbano e a necessidade de melhoria e ampliação do serviço de saneamento básico na cidade de Salvador/BA. Os resultados demonstraram a real necessidade de implantação de um Plano Municipal de Saneamento Básico que contemple os serviços básicos mais essenciais como forma de reduzir os problemas socioambientais. O quarto capítulo apresenta a técnica de Eletrocoagulação que gera o agente coagulante “*in situ*” como alternativa para remoção de poluentes presentes em efluentes provenientes da produção de arroz parboilizado, apresentando um custo de tratamento de R\$7.842,00/dia. O capítulo 5 avaliou a eficiência de degradação da mistura de fármacos (gemfibrozil, hidroclorotiazida e naproxeno) frente a diferentes Processos Oxidativos Avançados (POAs) em águas superficiais do rio Uberabinha de Uberlândia/MG. Sob as melhores experimentais, as concentrações dos compostos-alvo ficaram abaixo do limite de detecção ( $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) após 15 min de irradiação. O tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para o processo  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  foi 5,2 vezes menor em relação ao processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  e 16,7 vezes menor em relação ao processo  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ . Além disso, apresentou o menor custo de tratamento por  $\text{m}^3$  de água contaminada.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.



**CAPÍTULO 1 ..... 1**

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE – APP NO MUNICÍPIO DE PANCAS, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Izaías de Souza Silva

Jaqueline Pereira Evangelista

Ulisses Costa de Oliveira

Alisson Carlos Melo Oliveira


Ana Sylvia Crivellaro Marques

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5562431011>

**CAPÍTULO 2 ..... 13**

PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL: EM BUSCA DA UNIVERSALIZAÇÃO DESSES SERVIÇOS PÚBLICOS OU DE LUCRO?

Luiz Roberto Santos Moraes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5562431012>

**CAPÍTULO 3 .....30**

SANEAMENTO BÁSICO E DESIGUALDADES SOCIAIS: OS DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DAS DIRETRIZES DE SANEAMENTO BÁSICO ESTABELECIDAS NO PDDU 2016 DE SALVADOR

Marcela de Almeida Souza Magalhães

Luiz Roberto Santos Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5562431013>

**CAPÍTULO 4 .....50**

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA ELETROCOAGULAÇÃO: AVALIAÇÃO DOS CUSTOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE PARBOILIZAÇÃO DO ARROZ

Beatriz Regina Pedrotti Fabião

Kátia Regina Lemos Castagno

Michel David Gerber

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5562431014>

**CAPÍTULO 5 ..... 61**

DEGRADAÇÃO DOS FÁRMACOS GEMFIBROZIL, HIDROCLOROTIAZIDA E NAPROXENO PELOS PROCESSOS DE FOTÓLISE UV-C, PEROXIDAÇÃO FOTOASSISTIDA, FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA E FOTO-FENTON MODIFICADO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO UBERABINHA, UBERLÂNDIA-MINAS GERAIS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5562431015>

**SOBRE O ORGANIZADOR .....75****ÍNDICE REMISSIVO .....76**

## AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE – APP NO MUNICÍPIO DE PANCAS, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

*Data de aceite: 26/01/2024*

### **Izaías de Souza Silva**

Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás - UEG, Programa de Pós-graduação em Geografia - PPGEO.

### **Jaqueline Pereira Evangelista**

Mestre em Geografia pela Universidade de Brasília, UnB, Brasil

### **Ulisses Costa de Oliveira**

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará.

### **Alisson Carlos Melo Oliveira**

Especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico.

### **Ana Sylvia Crivellaro Marques**

Mestranda do Mestrado Profissional em Gestão de Negócios Turísticos – MPGNT, Universidade Estadual do Ceará - UECE.

**RESUMO:** Este artigo teve como objetivo identificar os conflitos de uso da terra em áreas de preservação permanente – APPs no município de Pancas, no estado do Espírito Santo, Brasil. A primeira etapa envolveu um levantamento bibliográfico e legislação relacionada ao tema, além da definição da área de estudo. Em

seguida, foi estruturado um banco de dados georreferenciado para delimitar as áreas de preservação permanente usando dados de modelos digitais de elevação e cartas topográficas digitais. Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos da Plataforma do Projeto Mapbiomas. Para delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) de recursos hídricos, foram utilizados mapas de distância (buffer) baseados na rede de drenagem e nascentes vetorizadas. As APPs de Topo de Morro foram delimitadas com base em procedimentos adaptados para o software QGIS. As APPs de Declividade foram geradas a partir de grades de declividade do Modelo Digital de Elevação. As APPs de Encosta foram identificadas como aquelas áreas com declividade igual ou superior a 45° ou 100%. A atividade de pastagem ocupa a maior área (35,4%), seguida por Formação Florestal (25,4%) e Agricultura (25,1%). Nas APPs de declividade e recursos hídricos, predominam as pastagens e agricultura, enquanto as APPs de topo de morro apresentam uma maior presença de afloramentos rochosos e formações florestais. As áreas de preservação representam 11% do município.

**PALAVRAS-CHAVE:** Código Florestal, Uso

**ABSTRACT:** This article aimed to identify land use conflicts in permanent preservation areas (PPAs) in the municipality of Pancas, in the state of Espírito Santo, Brazil. The first stage involved a bibliographic survey and legislation related to the theme, in addition to defining the study area. Subsequently, a georeferenced database was structured to delineate the permanent preservation areas using data from digital elevation models and digital topographic maps. Land use and cover data were obtained from the Mapbiomas Project Platform. To delineate the Permanent Preservation Areas (PPAs) of water resources, distance maps (buffer) based on the drainage network and vectorized springs were used. The PPAs of Hilltops were delimited based on procedures adapted for the QGIS software. The PPAs of Slope were generated from slope grids of the Digital Elevation Model. The Slope PPAs were identified as those areas with a slope equal to or greater than 45° or 100%. Pasture activity occupies the largest area (35.4%), followed by Forest Formation (25.4%) and Agriculture (25.1%). In the PPAs of slope and water resources, pastures and agriculture predominate, while the hilltop PPAs show a greater presence of rocky outcrops and forest formations. The preservation areas represent 11% of the municipality.

**KEYWORDS:** Forest Code, Land use, Use conflict, Geoprocessing, Environmental management.

## INTRODUÇÃO

A conversão florestal para outros usos é a maior causa do desmatamento global, sendo os principais fatores relacionados a exploração madeireira, expansão da urbanização, atividades de mineração e incêndios florestais naturais (CURTIS et al., 2018), além da atividade agropecuária. (JUSTINO et al, 2019; COSTA, 2012).

Diante das interferências causadas pelas atividades humanas, especialmente nas florestas, no Brasil, atualmente, encontra-se vigente a Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, que visa proteger o patrimônio florestal, por meio do estabelecimento de normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal. Além disso, a referida lei também aborda a questão da exploração florestal, do suprimento de matéria-prima florestal, do controle da origem dos produtos florestais e do controle e prevenção dos incêndios florestais (BRASIL, 2012).

As Áreas de Preservação Permanente – APP são tratadas nos artigos 4º ao 9º, capítulo II, do Código Florestal, Lei 12.651/2012, sendo dividido em duas seções, que cuidam, respectivamente, dos limites e do regime jurídico das APPs. Em seu art. 3º, conceitua a APP como sendo uma área protegida, podendo ou não estar coberta por vegetação nativa, tendo como função ambiental preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012). Estão, portanto, intimamente ligadas ao direito fundamental de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado (RODRIGUES, 2021).

As APPs assumem valores de natureza econômica, ecológica, paisagística, física e psicológica, nos ambientes urbanos ou rurais (GUIMARÃES e MOREIRA, 2018). Schäffer et al. (2011) destacam que “a manutenção das APPs garante a integridade dos processos ecológicos e mantém seus serviços ambientais essenciais à saúde, à segurança, ao bem-estar e à melhoria da qualidade de vida das populações”.

As áreas de preservação permanente são delimitadas a partir de diferentes referenciais, a depender do tipo de área a ser preservada, conforme definido no art. 4º da Lei 12.651/2012:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei: I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de: a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros; b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas; III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive; VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; VII - os manguezais, em toda a sua extensão; VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação; X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação; XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado (BRASIL, 2012).

Como regra geral, não se admitem intervenções para fins de uso alternativo, devendo ser mantidas vegetadas e, quando degradadas, recuperadas. Porém, a título de exceção, o Código Florestal estabeleceu as hipóteses de intervenção em APP para atividades que sejam classificadas como de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto (BRASIL, 2012).

Diante disso, a análise da legislação baseada nas características do meio físico é fundamental para a definição de limites ao uso e ocupação do solo em áreas de reconhecida qualidade ambiental, a serem preservadas e/ou recuperadas, já que o mau uso das terras agrícolas, na ocupação desordenada, degrada inclusive as matas ciliares, o que tem sido a causa de impactos negativos no ecossistema rural (GARCIA, 2014). Para isto, as geotecnologias configuram-se ferramentas muito importantes, dado o baixo custo, as inúmeras fontes de informações sem custos e a possibilidade de mapeamento de grandes áreas de forma efetiva.

A utilização de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto tem potencial vital na regulamentação e vigilância de áreas frágeis e de uso restrito, configurando-se ferramentas aplicáveis ao planejamento ambiental e geográfico com o propósito de auxiliar a investigação da adequação do uso do solo em áreas de preservação permanente (CATELANI e BATISTA, 2007).

Diante disso, a análise da legislação baseada nas características do meio físico é fundamental para a definição de limites ao uso e ocupação do solo em áreas de reconhecida qualidade ambiental, a serem preservadas e/ou recuperadas, já que o mau uso das terras agrícolas, na ocupação desordenada, degrada inclusive as matas ciliares, o que tem sido a causa de impactos negativos no ecossistema rural (GARCIA, 2014).

A utilização de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto tem potencial vital na regulamentação e vigilância de áreas frágeis e de uso restrito, configurando-se ferramentas aplicáveis ao planejamento ambiental e geográfico com o propósito de auxiliar a investigação da adequação do uso do solo em áreas de preservação permanente (CATELANI e BATISTA, 2007).

## **OBJETIVO**

O objetivo presente trabalho foi identificar os conflitos de uso da terra em áreas de preservação permanente – APPs no município de Pancas, no estado do Espírito Santo, Brasil.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

### **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo corresponde ao município de Pancas, no estado do Espírito Santo, entre as coordenadas geográficas 19°13'10" W e 41°51'11" S. O município ocupa uma área de 829,94 km<sup>2</sup>, limitando-se com os municípios de Alto Rio Novo, Águia Branca, Colatina e São Domingos do Norte.

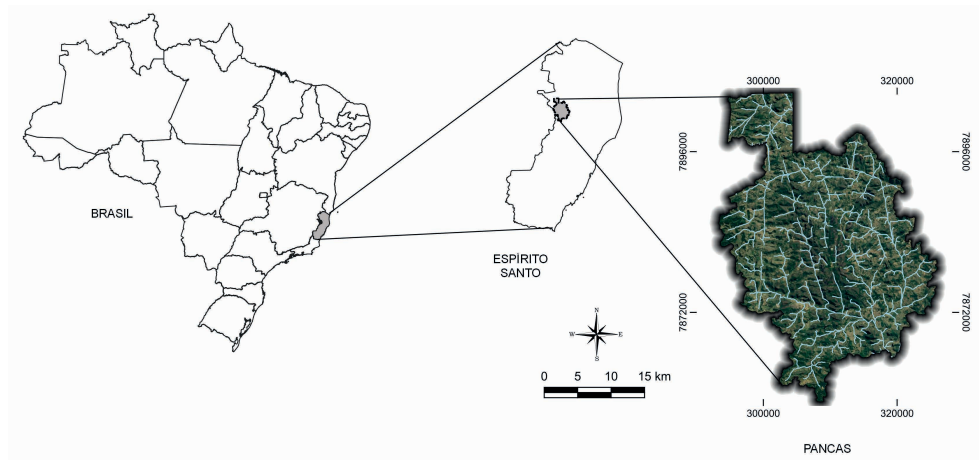


Figura 1: Mapa de localização do município de Pancas, Espírito Santo.

Os solos do município correspondem às classes LAd - Latossolo Amarelo Distrófico e LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Trata-se de solos de textura argilosa, relevo variando de ondulado a forte ondulado, com vegetação dominante “subcaducifólia” com grande número de afloramentos rochosos (IBGE, 2021). Os latossolos são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento, localizando-se, normalmente, em áreas com relevo plano a suave-ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%, o que facilita a mecanização. São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo. Apesar do alto potencial para agropecuária, parte de sua área deve ser mantida com reserva para proteção da biodiversidade desses ambientes (EMBRAPA, 2022).

O relevo dominante é forte ondulado (43%) com altitude variando entre 80 e 870 m. A cobertura vegetal original é a Mata Atlântica, com áreas de Contato Floresta Ombrófila/ Floresta Estacional, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2021).

De acordo com a Classificação Climática de Köppen, a cidade de Pancas está classificado com o clima do tipo “Aw”, ou seja, clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno. A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C e a precipitação média do mês mais seco é inferior a 60 mm. (Alvares et al., 2014).

A média anual de precipitação no município de Pancas é de 1.191,5 mm, sendo sazonalmente dividido em dois períodos. Um chuvoso, entre os meses de outubro a abril, com um total de 1.024,6 mm, o que corresponde a 86 % do total acumulado anual e um período menos chuvoso entre os meses de maio a setembro, com um total de 166,9 mm que corresponde a 14 % do total (PRODEST, 2022).

Segundo o Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Proater (PRODEST,



2022), as atividades econômicas do município de Pancas/ES concentram-se em seu setor agropecuário, sendo que as principais atividades rurais, agrícolas e não-agrícolas são: cafeicultura, bovinocultura de leite, pecuária de corte e cacauicultura. A cafeicultura e pecuária são as principais atividades agrícolas do município, representando, juntas, mais de 70% do PIB agrícola do município e cerca de 15% do PIB do município.

O uso da terra se caracteriza pela intensa devastação para implantação de pastos e lavouras, afetando, inclusive, a área da Unidade de Conservação Federal do Monumento Natural dos Pontões Capixabas. O uso inadequado do solo remonta à origem da cafeicultura neste município, período em que os agricultores foram incentivados pelo governo a promover uma cafeicultura intensiva, muitas vezes, inclusive, com desmatamento de florestas e drenagem de várzeas (PRODEST, 2022).

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A primeira etapa do trabalho constituiu no levantamento bibliográfico e de legislação relacionada à temática, bem como definição da área a ser estudada. O segundo momento consistiu na estruturação do banco de dados georreferenciado com vistas à delimitação das áreas de preservação permanente da área estudada. Para isto, utilizou-se o modelo digital de elevação ALOS/PALSAR, adquirido gratuitamente da Agência Japonesa e Exploração Aeroespacial – JAXA, com resolução espacial de 12,5 metros, além da Cartas Topográficas Digitais dos municípios de São Gabriel da Palha (Folha SE-24-Y-C-III) e Mantena (Folha SE-24-Y-A-VI), produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1979), na escala de 1:100.000, que possuem os temas hidrografia, sistema viário, curvas de nível e pontos cotados.

Quanto aos dados de uso e cobertura da terra, utilizou-se a Plataforma do Projeto Mapbiomas que tem como objetivo o mapeamento anual da superfície do solo a nível nacional, dispondo de arquivos no formato raster, cujos valores de pixels compreendem classes de cobertura e uso para o ano 2021 (MAPBIOMAS, 2021). Os dados matriciais foram vetorizados e reconvertidos em raster com resolução espacial de 12,5 metros.

As APPs de recursos hídricos (rios e nascentes) foram confeccionadas a partir de mapas de distância (buffer), com base na rede de drenagem e nascentes vetorizadas a partir das cartas topográficas que compõem o município e corrigidas por meio do auxílio do software Google Earth.

Para delimitação das APPs de Topo de Morro foram adotados os procedimentos adotados por Oliveira e Filho (2013) adaptados para o software QGIS, em razão de os autores terem implementado a rotina no software ArcGIS 10, que possui funções diferentes daquelas contidas no QGIS, o que ensejou alterações de procedimentos, que incluíram o pré-tratamento da imagem, a delimitação da base hidrológica dos morros, pontos de cota e topos, a delimitação da base legal dos morros, cálculo da declividade e, por fim,

a delimitação das APPs de Topo de Morro que correspondem às áreas com amplitude vertical de 100 metros e declividade média maior que 25°.

Para geração das APPs de Declividade, com base no Modelo Digital de Elevação, foram geradas grades de declividade da qual foram extraídos as APPs, que são aquelas áreas onde a declividade apresentou valores iguais ou superiores a 45° ou 100%, identificadas como APPs de Encosta, conforme a Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012). A Figura 2 mostra o fluxo metodológico adotado no presente trabalho.

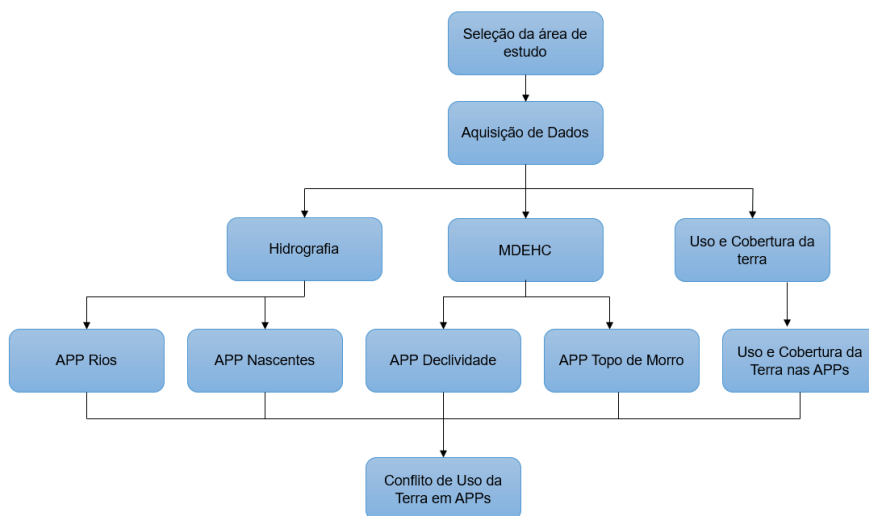


Figura 2: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

## RESULTADOS OBTIDOS

Foram mapeadas as seguintes tipologias de uso e cobertura: Formação Florestal, Silvicultura, Pastagem, Agricultura, Área Urbana, Solo Exposto, Afloramento Rochoso e Água, conforme Figura 3.

A atividade de pastagem ocupou uma área equivalente a 293,7 km<sup>2</sup> ou 35,4% de toda a área do município, seguida pela tipologia Formação Florestal com 210,53 (25,4%), Agricultura com 208,69 (25,1%). Os afloramentos rochosos na área totalizaram 12,7% ou 105,5 km<sup>2</sup>. Os demais usos, quais sejam, solo exposto, área urbana, silvicultura e água, totalizaram cada um menos que 1% da área, mostrando-se pouco representativos.

As áreas de preservação ocuparam uma área de 92,79 km<sup>2</sup> em relação ao município de Pancas, representando 11%. Quanto aos usos relacionados às áreas de preservação permanentes na área estudada, nas APPs de Declividade, que representaram 36,7% das áreas de APP, predominou a tipologia de cobertura Afloramentos Rochosos com 86,9% do total de app mapeadas para declividade, perfazendo 29,58 km<sup>2</sup>, seguido por atividades de Agricultura (2,55 km<sup>2</sup> ou 7,5%) e Formação Florestal (1,73km<sup>2</sup> ou 5,1%). As tipologias Pastagem, Silvicultura e Solo Exposto apresentaram percentuais menores do que 1% da

área. Não ocorreram nas APPs de declividade as tipologias Área Urbana e Água.

Em relação às APPs de recursos hídricos, que abrange rios, riachos, lagoas e açudes, estas totalizaram 44,63 km<sup>2</sup> ou 48,1% das áreas de APP mapeadas. Nas margens dos recursos hídricos prevaleceram as tipologias Pastagem (22,69 km<sup>2</sup> ou 50,8%) e Agricultura (13,08 km<sup>2</sup> ou 29,3%). As Formações Florestais abrangeram 6,98 km<sup>2</sup> ou 15,6% das APPs mapeadas para recursos hídricos. A tipologia Afloramento Rochoso totalizou 2,6% ou 1,14 km<sup>2</sup>, ficando as demais categorias com percentuais inferiores a 1%.

As APPs de Nascentes totalizaram 1,71% das áreas de APPs mapeadas. Deste total, assim como nas APPs de hidrografia, prevaleceram os usos relacionados às Pastagens (38,9%) e Agricultura (36,8%), seguidas pelas Formações Florestais (21,8%) e Afloramentos Rochosos (1,5%). As categorias Água, Silvicultura e Solo Exposto apresentaram percentuais menores do que 1%.

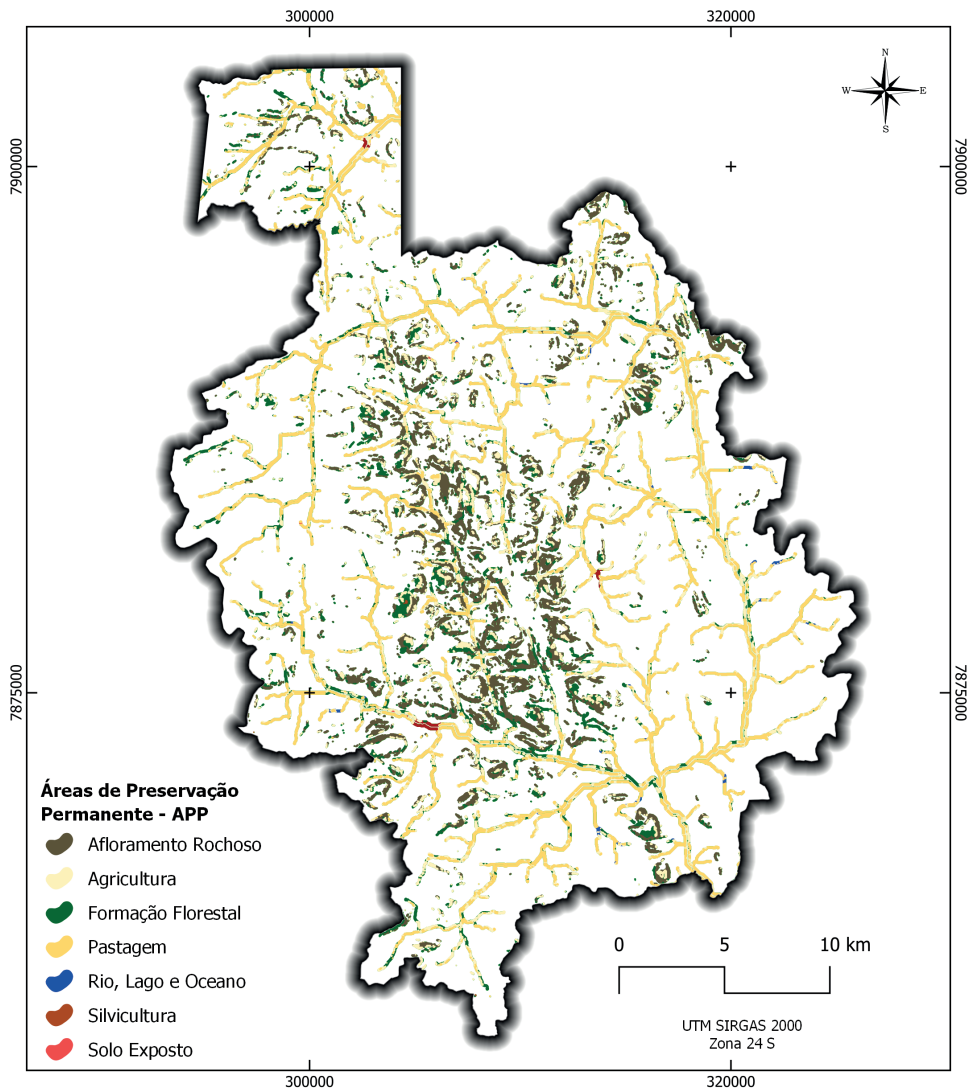


Figura 3: Conflitos de uso nas áreas de preservação permanente.

No tocante às APPs de Topo de Morro, estas totalizaram 13,49% das APPs mapeadas. Prevaleram os Afloramentos Rochosos (5,34 km<sup>2</sup> ou 42,7%), seguidos pelas Formações Florestais (4,54 km<sup>2</sup> ou 36,3%), Agricultura (4,54 km<sup>2</sup> ou 36,3%) e Pastagens (0,26 km<sup>2</sup> ou 2,1%).

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nas APPs de Declividade, a prevalência de Afloramentos Rochosos ocorre em razão das características do relevo na região, ou seja, pela dificuldade de acesso e por se tratar

de rochas maciças, o que dificulta o cultivo no local. Além disso, as áreas de APPs de declividade prevaleceram na Unidade de Conservação de proteção integral denominadas Monumento Natural dos Pontões Capixabas, que possui restrição de usos que venham a causar degradação ambiental. As limitações impostas tanto a título de condições naturais como legais podem explicar a baixa ocorrência de atividades agropecuárias.

Quanto às APPs de Topos de Morro, também em razão das declividades e por ocorrerem predominantemente na Unidade de Conservação Monumento Natural dos Pontões Capixabas, as atividades agropecuárias são menos representativas, prevalecendo os afloramentos rochosos e formações florestais.

Em relação às APPs de hidrografia e nascentes, o cenário torna-se menos favorável em razão da declividade nesses locais ser mais suavizadas, bem como serem as margens de recursos hídricos locais prioritários para implementação de atividades agrícolas. Isso pode explicar a predominância de pastagens e agricultura ao longo das margens dos recursos hídricos na área estudada. Essas áreas encontram-se bastante degradadas do ponto de vista do uso, já que, em regra, deveriam estar cobertas por vegetação nativa.

Nota-se claramente, pelas análises realizadas, que as áreas de preservação permanentes na área estudada quando confrontadas em relação aos usos, apresentam condições inadequadas. O Código Florestal define que a APP como sendo uma área protegida, sendo coberta ou não por vegetação nativa com as seguintes funções ambientais: preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Apesar das constatações ambientais verificadas, é importante que se analisem também os aspectos econômicos que se tornam vetores que conduzem o manejo da terra. De acordo com o IBGE (2017) o município tem na agropecuária quase 17,54% do seu PIB. Aproximadamente 53,13% da população do município está ocupada em atividades agropecuária. Assim, a vocação econômica do município conduz a um cenário de degradação ambiental.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O trabalho realizado procedeu um levantamento das condições de uso e ocupação da terra nas áreas de preservação permanente – APPs no município de Pancas, Espírito Santo por meio de ferramentas de geotecnologias, o que tornou o trabalho possível em razão do baixo custo para sua realização e da escala de abrangência que, por outros meios, dificultariam o trabalho.

Verificou-se que em todas as tipologias de APPs analisadas ocorreram atividades efetivamente causadoras de degradação ambiental, quais sejam, agricultura e pastagens. Essas tipologias de uso prevaleceram sobre as Formações Florestais nas APPs de

declividade, hidrografia e nascentes, o que evidencia um manejo inadequado dessas áreas comprometendo as funções ambientais desempenhadas pelas APPs. Quando analisada toda a área do município, verifica-se que as atividades agropecuárias ocupam mais de 60% do território do município, o que o torna bastante susceptível a processos que intensificam a degradação ambientais na área estudada.

Diante disso, recomenda-se aos gestores públicos municipais a promoção de ações de recuperação de APPs degradadas para que se promova a recomposição da cobertura vegetal com espécies nativas, atualmente ocupada por pastos e plantações.

## REFERÊNCIAS

1. BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.
2. CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T. *Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) do município de Santo Antônio do Pinhal, SP: um subsídio à preservação ambiental*. Revista Ambi-Água, Taubaté, v. 2, n. 1, p.30-43, 2007.
3. COSTA, J. S. Aplicação de Métodos de Sensoriamento Remoto para Mapeamento da Área de Preservação Permanente (APP) do Lago da Usina Itaipu. 2012. 40 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Departamento de Geociências - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.
4. CURTIS, P. G., SLAY, C. M., HARRIS, N. L., TYUKAVINA, A., & HANSEN, M. C. *Classifying drivers of global forest loss*. *Science*, 361(6407), 1108–1111. doi: 10.1126/science.aau3445
5. GARCIA, Y.M. Conflitos de Uso do Solo em Apps na Bacia Hidrográfica do Córrego Barra Seca (Pederneiras/Sp) Em Função Da Legislação Ambiental. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu. 141p. 2014.
6. GUIMARÃES, F. S.; MOREIRA, A. A. M. *As áreas de preservação permanente de topo de morro e a lei federal nº 12.651/2012: um estudo de caso na região da zona da mata - MG*. Revista Caminhos da Geografia, Uberlândia, 2018.
7. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapeamento de recursos naturais do Brasil escala 1:250.000. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2021. 8 p.
8. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: < [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/index.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html)>. Acesso em: 08 out 2022.
9. JUSTINO, R.C.; MATAVELI, G.A.V.; KAWAKUBO, F.S.; GUERRERO, J.V.R.; CHAVES, M.E.D. *Mapeamento do Uso da Terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) nas Bacias Hidrográficas dos Rios São Tomé e Machado, Sul de Minas Gerais*. Revista de Geografia. V. 9, n. 1, 2019.
10. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Latossolos. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>>. Acesso em: 02 out 2022.



11. MAPBIOMAS. Coleção 5 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. 2021. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acessado em: 08 out 2022.

12. OLIVEIRA, G.C.; FERNANDES FILHO, E.I. *Metodologia para delimitação de APPs em topos de morros segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informação geográfica. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

13. PRODEST. Incaper - Proater. Es.gov.br. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/proater>>. Acesso em: 2 out. 2022.

14. RODRIGUES, M.A. *Direito Ambiental*. coord. Pedro Lenza - 8. ed. - São Paulo: Saraiva Educação, 2021. (Coleção Esquematizado) 800 p. ISBN: 978-65-5559-469-0.

15. SCHÄFFER, W.B.; ROSA, M.R.; AQUINO, L.C.S. DE; MEDEIROS, J.D. Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação x Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

# PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL: EM BUSCA DA UNIVERSALIZAÇÃO DESSES SERVIÇOS PÚBLICOS OU DE LUCRO?

*Data de aceite: 26/01/2024*

**Luiz Roberto Santos Moraes**

Universidade Federal da Bahia/Escola  
Politécnica/Programa de Pós-graduação  
em Meio Ambiente, Águas e Saneamento

**RESUMO:** O artigo tem como objetivo realizar uma análise das parcerias público-privadas (PPP) no Brasil na área de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Trata-se de um estudo descritivo, do tipo revisão bibliográfica integrativa e crítica e com apresentação de dados sobre as PPP no Brasil. Após a avaliação da PPP revisada pôde-se verificar dificuldade para o cumprimento das metas de universalização do acesso dos domicílios aos serviços, devido, dentre outros fatores, da focalização da atuação das prestadoras nas áreas rentáveis. Também, não se observou a prometida melhoria e avanço da prestação dos serviços. A importância da temática evidencia a necessidade de estudos de base de dados primários, com abordagem econômica-financeira e no campo dos direitos humanos, visando ampliar as evidências empíricas apresentadas no estudo revisado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Parceria Público-

Privada; abastecimento de água; esgotamento sanitário; universalização.

## PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN WATER SUPPLY AND SANITATION IN BRAZIL: IN SEARCH OF THE UNIVERSALIZATION OF THESE PUBLIC SERVICES OR PROFIT?

**ABSTRACT:** The article aims to carry out an analysis of public-private partnerships (PPP) in Brazil in the area of water supply and sanitation. This is a descriptive study, an integrative and critical bibliographic review type, presenting data on PPPs in Brazil. After evaluating the revised PPP, it was possible to verify difficulties in meeting the goals of universal access to services for households, due, among other factors, to the focus of the providers' activities on profitable areas. Also, the promised improvement and advancement in service provision was not observed. The importance of the theme highlights the need for primary database studies, with an economic-financial approach and in the field of human rights, aiming to expand the empirical evidence presented in the revised study.

**KEYWORDS:** Public-Private Partnership; water supply; sanitation; universalization.

## INTRODUÇÃO

O protagonismo recente das PPP relaciona-se à tendência geral de enfraquecimento ou redução do papel do Estado nas últimas quatro décadas, em atendimento às diretrizes emanadas pelo neoliberalismo. A responsabilidade do poder público e a necessidade política de manter serviços públicos de qualidade, aliadas ao desafio de disponibilizá-los e prestá-los para todos, tem levado alguns governos a recorrer ao setor privado, que por sua vez tem buscado novas áreas de investimento e dotado de capacidade de engenharia institucional e financeira que possibilitam empreendimentos até então considerados arriscados (GOMES *et al.*, 2008).

As PPP podem ser definidas como “um sistema de contratação de serviços públicos que regula as relações negociais, em contratos de longo prazo, entre o setor público e uma empresa privada ou um consórcio de empresas privadas, visando ao fornecimento de serviços públicos” (SANTANA; RODRIGUES JUNIOR, 2006, p.149). A empresa ou consórcio de empresas privadas, geralmente assume a responsabilidade pela concepção do projeto, construção, financiamento e operação, com uma estrutura de alocação de riscos que se propõe otimizar os recursos financeiros (*Best Value for Money - VfM*).

As parcerias público-privadas (PPPs) são uma forma de organização híbrida, que subsume um espectro amplo de contratos entre o Estado e agentes privados. Resumindo, diríamos que uma PPP é um contrato de colaboração entre actores públicos e privados para a produção de bens ou prestação de serviços públicos, com uma distribuição de receitas e despesas predefinida, que define a partilha do risco. O conceito de PPP é aplicado a uma gama vasta de arranjos contratuais entre Estado e privados. Contudo, a classificação como PPP de determinada relação contratual nem sempre é consensual. As *joint ventures*, as concessões e concessões sem transferência são os tipos de PPP mais consensuais.

Algumas das características e conceitos presentes nas PPP mais discutidos são: a potencialidade (ou não) de superação da lógica e interesses historicamente conflitantes que orientam os dois actores envolvidos (Estado e sector privado); a relação contínua de colaboração onde se procuraria uma síntese virtuosa entre as competências e interesses de cada parte; a possibilidade de gerar *value for money*, quer numa acepção lata, ou seja, enquanto vantagem comparativa, quer numa acepção mais restrita, permitindo ao Estado poupar e ao privado lucrar; a partilha óptima de responsabilidades e de riscos entre os parceiros público e privado; a mudança do ênfase dos activos para os serviços e dos métodos para os resultados; a possibilidade de estimular a inovação, ao especificar resultados em vez de métodos; o maior envolvimento e incentivo do parceiro privado através da integração de tarefas (*bundling*); e a possibilidade de ter em conta o ciclo de vida de um serviço, não só no que respeita à concepção e construção de equipamentos, mas também à sua manutenção.

O primeiro programa político sistemático de PPPs surgiu com a *Private Finance Initiative* (PFI) britânica, em 1992, tendo disparado o número de PPP com a subida do *New Labour* ao poder. Na Europa continental, as PPPs têm tido um desenvolvimento mais lento e mais heterogêneo do que no Reino Unido,

registando, contudo, uma tendência generalizada de crescimento.

Têm sido avançadas várias motivações para que, cada vez mais governos, apostem neste tipo de relação público-privada. Entre elas destacam-se a diminuição de meios públicos e os limites ao déficit e dívida pública (no caso dos países da União Europeia impostos pelo Pacto de Estabilidade); a poupança; e o *New Public Management*.

A organização das parcerias público-privadas, quer em termos de organização institucional, quer procedimental, regista variações nacionais bastante acentuadas. O parceiro privado raramente é uma empresa individual, assumindo, em regra, a forma de *Special Purpose Vehicle* (SPV), um consórcio de empresas organizado especificamente para o projecto em questão.

**As PPP têm suscitado grande debate, centrando-se as principais discussões em torno da diminuição do espaço de decisão política do Estado e do apetrechamento técnico do sector público; da efectiva poupança e do problema do *value for money*; da efectiva superação dos conflitos de interesse público-privado e do papel duplo dos assessores; da complexidade, burocracia e custos associados aos contratos de PPP; da difícil dialéctica escala vs. concorrência; e do controlo e da fiscalização dos contratos de PPP, associado à efectiva eficácia dos mecanismos de prestação de contas e de *governance*.**

Quanto às áreas de intervenção, o alargamento das PPPs aos sectores da saúde, educação e serviços de carácter social tem suscitado, em vários países, alguma polémica (GOMES *et al.*, 2008, p.7, grifos nosso).

No Brasil, o marco legal das parcerias público-privadas (PPP) é a Lei n. 11.079, de 30 de dezembro de 2004 (BRASIL, 2004, p.1), que “institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública”. A legislação brasileira se inspirou na experiência estrangeira de países europeus (Inglaterra, Portugal e Espanha), sendo que a elaboração e tramitação do respectivo projeto de lei no Congresso Nacional sofreu a influência de grandes empresas privadas e incluiu a área de saneamento básico, apesar da reação de alguns segmentos da sociedade.

O discurso/motivação para a criação das PPP foi a de que o Estado brasileiro não dispõe de recursos para grandes investimentos públicos, ou seja, não conta com recursos para projetos de infraestrutura necessários para o crescimento da economia brasileira e para os grandes projetos e investimentos na área social, esquecendo, por outro lado, que R\$ 1,88 trilhão (46,3%) do Orçamento Geral da União (OGU) executado de 2022 foi destinado para pagamento de juros e amortizações da dívida pública (FATTORELLI; ÁVILA, 2023). A pretensão é que a PPP seja uma ferramenta poderosa para atrair a iniciativa privada para junto com o Estado realizarem obras de infraestrutura e sociais, além de prestarem os serviços, desde saneamento básico, estradas, hospitais e penitenciárias.

A maior justificação dos defensores das PPP é o seu tom otimista e de fé no grande investidor, principalmente no investidor internacional, sendo esses valores duvidosos, pois as áreas/setores onde o governo deseja que o capital privado invista não é do interesse desse mesmo capital. Desse modo, o Estado terá que tornar esses investimentos muito

lucrativos para interessar ao grande capital e, assim, transformar certos serviços públicos em mercadoria atrativa e bem lucrativa em termos de mercado, ou mesmo, “mais lucrativas que o mercado financeiro” (SANTANA; RODRIGUES JUNIOR, 2006, p.155).

Esse modelo de privatização na área de saneamento básico vem sendo estimulado no Brasil, como meio de ampliar os investimentos com vistas à universalização dos serviços públicos de saneamento básico, principalmente os de abastecimento de água e esgotamento sanitário, sendo que, embora já existam 19 PPP no País, até o momento não foi feita uma avaliação dos seus resultados.

Assim, o objetivo do presente artigo é realizar uma crítica às parcerias público-privadas (PPP) e mostrar que seu uso nos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário parece buscar mais o lucro do setor privado que a universalização do acesso dos domicílios à esses serviços, bem como que o pretenso avanço na prestação dos serviços não aconteceu em PPP de estudo revisado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo descritivo, do tipo revisão bibliográfica integrativa e crítica, sobre a produção técnico-científica (artigos, capítulos de livros e livros) e pesquisa documental (legislações e normas) relacionadas às Parcerias Público-Privadas (PPP) em geral e especificamente àquelas aplicadas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário. Este método permite a síntese de estudos publicados e possibilita conclusões gerais à respeito de uma particular área de estudo. A busca de artigos científicos foi realizada em diversos sistemas, como: Research Gate, Google Scholar e Periódicos Capes, utilizando-se como descritores: parceria público-privada, PPP, *public-private paternship*, *private finance initiative*, PPP em saneamento básico, e PPP em abastecimento de água e esgotamento sanitário.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PPP E ASPECTOS CRÍTICOS

Muitos países, incluindo o Brasil, tem utilizado o instituto da PPP (CRUZ; SARMENTO, 2019; ABCON; SINDCON, 2018, 2019; CABRAL, 2018; CRUZ; MARQUES, 2012) e alguns autores defendem as PPP como um modelo adequado e oportuno a ser utilizado pelos Estados nacionais (YESCOMBE; FARQUHASON, 2018; POULSON, 2011; ABCON; SINDCON, 2018, 2019), embora outros autores considerem um modelo complexo com aspectos positivos e negativos (CRUZ; SARMENTO, 2019; SILVA, 2016; CRUZ; MARQUES, 2012), enquanto outros são contra o seu uso pelo Estado (WARTCHOW, 2017; SANTANA; RODRIGUES JUNIOR, 2006).

Santana e Rodrigues Junior (2006), analisando a lei brasileira de PPP, a Lei n. 11.079/2004 (BRASIL, 2004), colocam sua crítica em cinco pontos cruciais, que precisam ser melhor conhecidos pela sociedade brasileira e pelos profissionais da área de saneamento básico: i) a ideia de PPP cria demasiadas facilidades para o capital privado (privatização dos lucros e estatização dos prejuízos; riscos criados para o patrimônio, o endividamento e a receita da União conforme Lei n. 11.079/2004, ou vinculação de receitas, contratação de seguro-garantia junto a companhias privadas, ou ainda, garantias prestadas por organismos internacionais ou instituições financeiras - art. 8º da referida Lei -; risco para o usuário em termos de tarifas altas - art. 5º, incisos IV e V da referida Lei); ii) compromete a própria essência daquilo que se chama de serviço público (o princípio do interesse público; o agente que ocupa o papel de responsável pelos empreendimentos de parceria Estado-investidor privado é o setor privado, para o qual o Estado se dispõe, na PPP, a transferir boa parte de suas atribuições); iii) favorece um tipo de política pública que já não será mais universal e sim focal (renuncia-se à universalização na medida em que a política do Estado será a de se empenhar para seduzir e atrair o capital privado para tal ou qual alocação de recursos; como o critério essencial do capital é o lucro, o projeto da PPP ganha um caráter não mais universal, mas dirigido a focos ou áreas mais lucrativas, onde a parceria for boa para o setor privado, o que não irá necessariamente coincidir com o interesse público e universal); iv) representa a mercantilização dos serviços públicos típicos ou promovidos exclusivamente pelo Estado (as PPP significam uma marcha forçada rumo a mercantilização de praticamente todo serviço público, sendo evidente a redefinição do papel do Estado). Assim, a entrega ao mercado de portos, aeroportos, estradas, penitenciárias, manejo de resíduos sólidos, abastecimento de água e esgotamento sanitário, significa mais um passo na construção do *Estado mínimo liberal*, além de abrir mão não apenas das metas sociais e universalizantes da Constituição Federal de 1988, mas também do Estado desenvolvimentista); e v) viabilizam o interesse do capital financeiro internacional (a rendição à iniciativa privada estabelecida na lei federal das PPP traduz bem a linha do *Estado mínimo* e da *cidadania mínima* e sempre em nome de atrair capital privado ocioso para torná-lo lucrativo, a essência da redefinição do Estado brasileiro, tornado rentista a serviço da acumulação financeirizada do capital, sendo a principal fonte de gastos públicos aquela voltada para atender aos juros e rendimentos demandados pelo capital financeiro, compromisso maior do orçamento do Estado, o de pagar credores e remunerar o capital financeiro).

O então relator especial das Nações Unidas para o direito humano à água e ao esgotamento sanitário, Léo Heller, reafirmou em entrevista ao jornal *O Globo*, em 21/08/2016, que não há evidências de que o setor privado é mais eficiente no que diz respeito à prestação dos serviços públicos de saneamento básico. Ao lançar um olhar em retrospecto para essas experiências, Heller verificou a recorrência de alguns problemas, entre eles, a corrupção. “Problemas frequentes nas experiências malsucedidas incluem



contratos inadequados, processos licitatórios deficientes, evidências de corrupção, entes regulatórios frágeis – o que já é um problema inerente aos monopólios naturais, baixíssimo aporte de recursos privados aos sistemas” (FIOCRUZ, 2016, p.1).

A despeito da propaganda eficiência do setor privado, a experiência internacional no campo do saneamento básico demonstra as ineficiências com elevação de tarifas, redução da qualidade da prestação dos serviços e baixos níveis de investimentos em novas infraestruturas, o que tem justificado a retomada dos serviços públicos de água e/ou esgoto em 312 cidades/municípios de 36 países de diferentes continentes do mundo (KISHIMOTO; STEINFORT; PETITJEAN, 2020).

Alguns autores apresentam em seus textos vantagens e desvantagens das PPP, em geral, dando maior ênfase às vantagens (YESCOMBE; FARQUHASON, 2018; POULSON, 2011; CRUZ; MARQUES, 2012; MARQUES; SILVA, 2008; CCGPP/RIO DE JANEIRO, 2005), porém apresenta-se a seguir, por sua grande importância, algumas desvantagens, sempre esquecidas pelos governos e pela grande mídia, indicadas no Manual de PPPs do Estado do Rio de Janeiro:

a) Tempo de maturação. **As PPPs exigem modelagens, editais de licitação e arranjos comerciais privados complexos, que implicam em largos prazos de implementação;**

b) Taxa de juro (custo de transação financeira). A PPP **é um mecanismo de financiamento ao setor público**. Diante dos riscos incorridos pelo projeto e pela frequente inexistência de ativos pertencentes ao parceiro privado capazes de assegurar-lhe garantias creditícias (modelo *project finance*), **as taxas de juros incorridas pelo parceiro privado e repassadas ao parceiro público costumam ser significativamente superiores às taxas que seriam cobradas ao setor público por bancos de fomento econômico;**

c) Conflito de interesses. Como as PPPs são arranjos complexos, que envolvem diversos participantes, **a busca de um consenso nem sempre é tarefa fácil;**

d) Ajuste contratual no tempo. Embora uma concessão tradicional também requeira ajustes contratuais ao longo de muitos anos (as denominadas revisões quinquenais), **uma concessão via PPP demanda muito mais deveres e obrigações das partes (sobretudo as pecuniárias) sendo seu ajuste temporal mais delicado** (CGPPP/RIO DE JANEIRO, 2005, p.15, grifos nosso).

A análise detalhada de cada uma dessas desvantagens mostra-se o quão complexo é a questão, tratada sempre de forma superficial pelo próprio poder público, setor privado e grande mídia.

Mesmo que o conceito de *value for money* se mantenha na retórica, ainda não existe nem na concepção do modelo brasileiro, nem nos debates públicos, nenhum instrumento equivalente ao *Public Sector Comparator* (PSC) que possa mensurar, quantitativamente e qualitativamente, a partir de uma abordagem comparativa, as potenciais formas de implementação de um dado projeto, por parte do setor público ou do privado (PECI; SOBRAL, 2007, p. 9).

Nota-se que esses e outros pontos também são observados nas PPP realizadas na União Europeia. O Relatório de Auditoria de PPP, realizada em uma amostra de quatro países, elaborado pelo Tribunal de Contas Europeu e publicado em 2018 (TCE, 2018), considera que:

- Um total de 1.749 PPP, no valor de 336 bilhões de Euros, foram realizadas desde a década de 1990 na União Europeia.
- **Houve aumento do risco de concorrência insuficiente e enfraquecimento da posição de negociação das autoridades adjudicantes.**
- **A contratação de uma PPP implica em negociar aspectos que não fazem parte da contratação tradicional, exigindo mais tempo do que os projetos tradicionais (procedimento de contratação dos projetos que foram auditados envolveram negociações entre 5 e 6,5 anos).**
- **A maioria das PPP auditadas enfrentaram consideráveis ineficiências sob a forma de atrasos na construção e grandes aumentos de custos. O Tribunal considerou que o montante adicional foi gasto de forma ineficaz em termos da concretização dos potenciais benefícios.**
- O vasto âmbito, o custo elevado e a longa duração que habitualmente caracterizam as PPP no domínio das infraestruturas exigem especial diligência. **O Tribunal constatou que as análises prévias se basearam em cenários demasiado otimistas quanto à futura procura e utilização das infraestruturas.**
- Na maioria dos projetos auditados, **a opção PPP foi escolhida sem qualquer análise comparativa prévia das opções alternativas. Não foi demonstrado que a opção PPP era a melhor para otimizar os recursos e que protegia os interesses públicos por meio de garantia de condições equitativas entre as PPP e a contratação pública tradicional.**
- **A repartição dos riscos entre os parceiros públicos e privados foi, com frequência, inadequada, incoerente e ineficaz, ao mesmo tempo as elevadas taxas de remuneração (até 14%) do capital de risco do parceiro privado nem sempre refletiram os riscos suportados.**
- **Para os projetos de PPP serem executados com êxito, é necessária uma capacidade administrativa considerável, que só quadros institucionais e jurídicos adequados e uma longa experiência na execução desse tipo de projeto podem assegurar. O Tribunal constatou que poucos Estados-Membros da União Europeia reúnem atualmente essas condições (TCE, 2018, grifos nosso).**

Esses últimos três aspectos constaram das recomendações da auditoria do referido Tribunal.

Assim, pode-se notar os problemas e a complexidade da implementação das PPP na União Europeia. Além disso, segundo o TCE, são poucos os Estados-Membros que contam com capacidade administrativa e quadros institucionais e jurídicos adequados para

tal.

## ALGUNS ASPECTOS DAS PPP EM ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL

As PPP em serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil vem sendo implementadas desde 2006, embora a lei federal das PPP tenha sido promulgada em 2004, sendo importante contribuição ao tema encontrada na publicação de Ferreira e Henrique (2018).

De 2006, ano da primeira PPP em saneamento básico no Brasil (o Sistema de Disposição Oceânica do Jaguaribe, em Salvador/BA), até hoje foram identificadas 20 PPP (CE-2; PE-1; AL-2; BA-1; MG-1; ES-3; RJ-2; SP-6; RS-1; MS-1), ou seja, 6 na Nordeste, 12 na Sudeste, 1 na região Sul e 1 na Centro-Oeste (Tabela 1), segundo informações divulgadas pela Caixa Econômica Federal-CEF, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social-BNDES, Observatório das PPP e Radar PPP (FERREIRA; HENRIQUE, 2018; ABCON; SINDUSCON, 2023), observando-se que duas outras não chegaram a ser implementadas: o contrato para o esgotamento sanitário de Guarulhos/SP caducou e o de Divinópolis/MG foi rescindido. Vale ressaltar que nenhuma dessas PPP tiveram em seus processos de tomada de decisão a comparação desse modelo de privatização com um projeto comparador do setor público (*public sector comparator*), configurando-se assim em exigência básica não cumprida para a sua utilização.

Como pode ser visto na Tabela 1, as PPP para o esgotamento sanitário de Cariacica (incluindo Viana)/ES, de 68 municípios do Mato Grosso do Sul e de 24 municípios do Ceará, se encontram incluídas no conjunto de PPP existentes, cujos contratos foram firmados no final de 2020, em 2021 e em 2023, respectivamente.

Os contratos são concebidos para garantir a rentabilidade do capital e controlar os riscos associados ao negócio, via de regra, sob forte financiamento dos bancos públicos, a despeito da proclamada falta de recursos. Assim, é que na Região Metropolitana do Recife, a PPP para a prestação dos serviços públicos de esgotamento sanitário, realizada pela empresa estadual de água e esgoto e garantida com recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), excluiu a periferia da cidade do Recife detentora do maior deficit desses serviços. Também, a PPP da empresa estadual de água e esgoto da Bahia, para a implantação e operação do Sistema de Disposição Oceânica do Jaguaribe, assegurou, via contrato, risco zero à contratada, na época Foz do Brasil/Odebrecht Ambiental, hoje BRK Ambiental Jaguaribe. Isso por que a contraprestação pecuniária mensal do serviço, por meio da cessão de recebíveis, previamente selecionados como consta no contrato, foi assegurada pelo direcionamento dos pagamentos dos usuários adimplentes diretamente para a conta bancária da empresa. Assim, a empresa privada além de ganhar mais pela construção e prestação do serviço (em comparação com

a empresa estatal estadual), tem assegurado o seu faturamento sem riscos.

Acionista majoritário	Estado	Município	PPP em		Ano do contrato	Prazo (anos)	População a ser atendida (hab.)
			Abastecimento de Água	Esgotamento Sanitário			
BRK Ambiental	Bahia	Lauro de Freitas			2006	19	1.400.000
		Salvador					
	São Paulo	Rio Claro			2007	30	204.797
	Rio de Janeiro	Macaé			2012	35	167.659
	Pernambuco	Abreu e Lima			2013	35	1.400.000
		Araçoiaba					
		Cabo de Santo Agostinho					
		Camaragibe					
		Goiana					
		Igarassu					
		Ipojuca					
		Itamaracá					
		Itapissuma					
		Jaboatão Guarapes					
		Moreno					
		Olinda					
		Paulista					
		Recife					
		São Lourenço Mata					
	Minas Gerais	Belo Horizonte			2013	15	1.400.000
		Betim					
		Contagem					
		Ibirité					
		Igarapé					
		Lagoa Santa					
		Mário Campos					
		Pedro Leopoldo					
		Ribeirão Neves					
		Santa Luzia					
		São Joaquim Bicas					
		São J. da Lapa					
		Sarzedo					
		Vespasiano					

Aegea Saneamento e Participações	São Paulo	Piracicaba			2012	30	404.142
	Espírito Santo	Serra			2014	30	335.473
		Vila Velha			2017	30	161.592
	Rio Grande do Sul	Alvorada			2020	35	494.462
		Cachoeirinha					
		Canoas					
		Eldorado do Sul					
		Sulrinha					
		Esteio					
		Gravataí					
		Guaíba					
		Sapucaia do Sul					
		Viamão					
	Espírito Santo	Cariacica Viana			2020	30	423.000
	Mato Grosso Sul	Dourados + 67 municípios			2021	30	797.551
	Ceará	(1) 17 municípios e (2) 7 municípios			2023	30	1.897.149
Iguá Saneamento	São Paulo	Guaratingetá			2008	30	118.000
		Arujá			2008	15	4.200.000
		Ferraz Vasconcelos					
		Guarulhos					
		Itaquaquecetuba					
		Mauá					
		Mogi das Cruzes					
		Poá					
		Santo André					
		São Paulo ZOeste					
		Suzano					
		Atibaia			2012	30	143.000
	Alagoas	Arapiraca			2012	30	377.000
		Campo Grande					
		Coité do Noia					
		Craibas do Nunes					
		Feira Grande					
		Girau do Ponciano					
		Igaci					
		Lagoa da Canoa					
		Olho D'água Grande					
		São Brás					

China Gezhouba Group Corporation, CGGC Construtora do Brasil Ltda.	São Paulo	Barueri			2014	25	1.500.000
		Carapicuíba					
		Cotia					
		Itapevi					
		Jandira					
		Santana de Parnaíba					
		Vargem Grande Paulista					
Latam Water Participações	São Paulo	Birigui			1994	27	Não disponível
GS Inima Brasil	Alagoas	Maceió			2014	30	343.896
Saneamento Ambiental Águas do Brasil	Rio de Janeiro	Paraty			2014	30	32.589
7 empresas e 20 PPP	10 estados	171 municípios	43 municípios	129 municípios	2006 a 2023	15 a 35	15.683.310

Tabela 1 - PPP em abastecimento de água e esgotamento sanitário existentes no Brasil, 2006 a maio/2023

Fonte: ABCON; SINDCON (2023); BRK Ambiental (2023); Aegea Saneamento (2023); Iguá Saneamento (2023a).

Segundo Ferreira e Henrique (2018, p. 280), “o mercado de PPP no Brasil, apesar de ser divulgado como potencialmente amplo, é caracterizado pela presença de poucas empresas empreiteiras como detentoras da maior parte das concessões”. No final de 2016, apenas duas empresas, a então Odebrecht Ambiental (adquirida pela BRK Ambiental, do fundo de investimento canadense *Brookfield Asset Management* – 70% e do FI-FGTS – 30%) (BRK Ambiental, 2023) detinha 36,8% desse “mercado” e a então Cab Ambiental do Grupo Queiroz Galvão (hoje Iguá Saneamento, com o Fundo de Investimentos em Participações-FIP Iguá – 14,5%, FIP Mayim – 33,9%, CPP Investments – 29,9%, BNDESPar – 10,9% e AIMCo Ltda. – 10,8%) (Iguá Saneamento, 2023b) 26,3%, totalizando 63,1% do “mercado”, com uma acentuada e crescente participação nos últimos anos da Aegea Saneamento e Participações S/A (Grupos Equipav – 52,77%, GIC-fundo global que administra as reservas soberanas de Singapura – 34,34% e Itaúsa-maior *holding* privada do Brasil – 12,88%) (Aegee Saneamento, 2023), caracterizando o oligopólio dessas empresas, agora em mãos de fundos de investimentos.

Em 2016, após o golpe parlamentar-jurídico-midiático (*impeachment* sem crime de responsabilidade) com a retirada do poder da presidenta Dilma Rousseff democraticamente eleita, o governo de Michel Temer inicia a implementação do ideário do documento *Uma Ponte para o Futuro*, que radicaliza o projeto neoliberal, e cria o Programa de Parceria para Investimentos (PPI), Lei n. 13.334 (BRASIL, 2016), com o objetivo de desestatização da



infraestrutura e de diversos serviços públicos, incluindo os de saneamento básico, sob o pretexto da retomada de investimentos para “acelerar o crescimento” nacional.

O governo do presidente Jair Bolsonaro, de orientação ultraliberal, deu seguimento e ampliou os projetos de privatização, determinando a aceleração do PPI e divulgando uma ampla relação de desestatizações/privatizações. Na área de saneamento básico, em dezembro de 2019, o governo obteve a aprovação do Projeto de Lei n. 4.162/2019 na Câmara dos Deputados e, em 24/06/2020, no Senado Federal, em plena pandemia da COVID-19. Tal Projeto foi sancionado, dando origem a Lei n. 14.026, de 15/07/2020 (BRASIL, 2020).

Apesar do marco legal regulatório do saneamento básico, a Lei Nacional n. 11.445/2007, ter sido o resultado de amplas discussões com diversos setores da sociedade, a aprovação da Lei n. 14.026/2020 ocorreu sob forte pressão do setor privado (econômico-financeiro), não havendo o desejado e necessário debate com a sociedade, inclusive, no âmbito do Congresso Nacional. Também, as modificações promovidas em dispositivos da Lei Nacional de Saneamento Básico (Lei n. 11.445/2007) buscaram unicamente introduzir mecanismos para garantir a ampla participação privada na prestação dos serviços, eximindo-se de atualizá-la frente a novas diretrizes, especialmente a Resolução A/RES/64/292, de 28 de julho de 2010, da Assembleia Geral das Nações Unidas, que define como direitos humanos essenciais o acesso à água e ao esgotamento sanitário (United Nations, 2010) e a Resolução A/RES/70/169, aprovada pela referida Assembleia, em 17 de dezembro de 2015, que estabelece direitos distintos à água potável e ao esgotamento sanitário (United Nations, 2016), considerando que “o direito humano ao saneamento garante que todas as pessoas, sem discriminação, tenham acesso físico e econômico ao esgotamento sanitário, em todas as esferas da vida, e que este seja seguro, higiênico, social e culturalmente aceitável e que proporcione privacidade e garanta dignidade”.

Assim, o principal objetivo da Lei n. 14.026/2020 foi o de estabelecer instrumentos para a privatização dos serviços públicos de saneamento básico, induzindo à criação de um monopólio privado, condicionando o acesso a recursos federais à adesão dos municípios a unidades regionais a serem criadas, restringindo a autonomia municipal, vedando os contratos de programa, eliminando a possibilidade das parcerias público-público por meio da gestão associada entre entes federados (art. 241 da Constituição Federal de 1988), provocando amplas dificuldades para a efetiva continuidade das parcerias público-público com a atuação das companhias estaduais de água e esgoto, revogando os dispositivos que possibilitavam o uso de modelos de autogestão na prestação dos serviços públicos de saneamento rural (Central, Sisar e similares existentes em áreas rurais de estados brasileiros), dentre outras questões.

Sob nova orientação, o BNDES atuou de 2019 a 2022 como o agente do governo federal com a finalidade de garantir o processo de desestatização das empresas públicas/economia mista de água e esgoto do País, promovendo estudos de modelagem para tal

objetivo e financiando, com juros subsidiados, as concessões privadas. Espera-se com isso, alterar o atual quadro de prestação dos serviços públicos de água e esgoto no Brasil, que tem as companhias estaduais como os principais prestadores, atuando de forma solidária, com o uso do subsídio cruzado entre serviços superavitários e deficitários. Essas Companhias desde os anos 70 vêm prestando esses serviços, sendo responsável, em 2020, por 73,3% das economias domiciliares de abastecimento de água e 68,0% de esgotamento sanitário do País (BRASIL, 2021), constituindo-se em patrimônio da sociedade brasileira.

Segundo declaração pública do então secretário da Secretaria Especial de Desestatização, Desinvestimento e Mercados do então Ministério da Economia, em 12/01/2021, todas essas companhias estaduais deverão estar desestatizadas até 2028, deixando claro a intenção/decisão do então governo Bolsonaro. O BNDES vem também elaborando e implementando as modelagens de PPP na área, sendo que muitas se efetivaram. Com o governo Lula 3, que assumiu em 01/01/2023, espera-se que o BNDES, como banco estatal com propósito social, mude de rumo, ou seja, atue de outra forma, o que não aconteceu no primeiro ano de governo.

É importante frisar, que o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) mostra que o deficit dos serviços públicos de saneamento básico encontra-se nas periferias das grandes cidades, nos municípios de menor porte populacional (89% dos 5.570 municípios brasileiros tem população de até 50 mil habitantes) e nos territórios ocupados pelos povos do campo, da floresta e das águas<sup>1</sup>, ou seja, locais onde residem populações com baixa capacidade de pagamento das tarifas e que não apresentam interesse para o setor privado/fundos de investimentos, cujo objetivo principal é assegurar a obtenção, cada vez mais, de lucros maiores.

Revisando ainda o estudo de Ferreira e Henrique (2018, p. 290), encontra-se que **“apesar dos esforços do governo federal em incentivar a adoção de PPP, empiricamente, verificou-se que as experiências em curso não correspondem às expectativas políticas de expansão dos serviços, nem justificam a formulação de planos ousados para difundir a adoção irrestrita de parcerias com a iniciativa privada, como vem acontecendo”**. Ainda segundo os referidos autores, “mesmo que não seja possível inferir conclusões robustas a partir da amostra analisada, os resultados obtidos sugerem que **tais parcerias não apresentam a propalada capacidade para alavancar a infraestrutura de coleta e tratamento de esgotos no Brasil**” (FERREIRA; HENRIQUE, 2018, p. 290, grifos nosso). Segundo eles, “É com muita cautela que é feita essa afirmação, pois se trata de um processo ainda recente e com poucos casos, **mas os resultados do desempenho do setor privado via PPP, até o momento, indicam que tais experiências passam ao largo da pretendida universalização**” (FERREIRA; HENRIQUE, 2018, p.

---

<sup>1</sup> Em dezembro de 2019, o governo federal lançou o Programa Nacional de Saneamento Rural com o nome de fantasia de Programa Saneamento Brasil Rural, elaborado pela Universidade Federal de Minas Gerais em um TED com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), embora com ações inoperantes até o momento.

290). Esses mesmos autores (2018, p. 290) ainda complementam **“Se a justificativa para a adoção de PPP está associada a “ineficiência” estatal em universalizar os serviços, tampouco o setor privado apresenta evidências empíricas para cobrir a alternativa estatal”**.

Quanto à comparação entre o avanço no serviço público de esgotamento sanitário, Ferreira e Henrique (2018) em seu estudo, que teve como objetivo verificar empiricamente se as experiências de PPP apresentam resultados superiores à prestação pública (estadual ou municipal) quando comparados com casos selecionados em função da proximidade espacial e de semelhança populacional, social e econômica, analisaram 4 casos de PPP em esgotamento sanitário (Piracicaba, Guaratinguetá, Atibaia e Rio Claro) e 4 casos de prestação pública (Santa Bárbara d'Oeste, Pindamonhangaba, Franco da Rocha e Araras), todos em municípios do estado de São Paulo, e concluíram que os resultados obtidos foram inconclusivos no sentido de afirmar se o modelo de PPP na prestação do serviço público de esgotamento sanitário foi superior ou inferior ao modelo de prestação pública estadual ou municipal. Porém, foi possível afirmar que os casos de PPP com mais de 4 anos em curso não apresentaram resultados melhores do que os de prestação pública dos serviços.

As experiências de PPP apresentaram tendências diferentes nesses casos estudados. Apenas para Piracicaba se observou uma tendência crescente de expansão da coleta e tratamento de esgoto, enquanto para Atibaia e Rio Claro verificou-se uma maior expansão no tratamento de esgoto. Já em Guaratinguetá e Atibaia, observou-se uma tendência de retração na taxa de coleta de esgoto. Em comparação com os municípios de prestação pública, Pindamonhangaba e Araras apresentaram expansão da cobertura de coleta e tratamento de esgoto superior aos municípios analisados que adotaram PPP para universalização dos mesmos (FERREIRA; HENRIQUE, 2018).

Assim, fica claro que as PPP analisadas, mesmo com toda cautela, não proporcionaram a universalização dos serviços nos domicílios, nem maiores avanços na sua prestação que aqueles prestados pelo setor público e que novos estudos sobre essa temática necessitam ser realizados visando ampliar essas evidências empíricas.

## CONCLUSÃO

Nenhuma nação do mundo universalizou os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário sem que o Estado, como ente que deve assegurar o bem-estar coletivo, tivesse forte participação. Ainda hoje, avaliando os modelos de prestação dos serviços, constata-se que a matriz é pública. Ao induzir à privatização desses serviços públicos no Brasil, os atos relacionados aos governos Temer e Bolsonaro, colocam-se na contramão da história.

A leitura crítica da bibliografia consultada leva a concluir, que a lógica do capital/operadores do mercado é de transformar tudo em negócio e mercadoria, visando a obtenção

de lucro, incluindo o instituto das parcerias público-privadas (PPP), que uma vez aplicado na área de saneamento básico, principalmente nos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, indicam mais dificuldades para a universalização do acesso dos domicílios aos serviços, pois o capital/fundos de investimentos/setor privado só atua/atuará apenas onde o lucro for assegurado e não onde reside a população da periferia das grandes cidades, de pequenos municípios e os povos do campo, da floresta e das águas, ainda sem atendimento desses serviços públicos/soluções, o que significa violação de direitos humanos estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas.

A revisão bibliográfica realizada sobre PPP mostra um claro viés ideológico, de visão neoliberal, sendo que a grande maioria dos autores defendem esse instituto com a justificação da falta de recursos e crise fiscal dos Estados nacionais capitalistas, além de apresentarem uma série de vantagens e algumas desvantagens, sem que estudos mais aprofundados comparando alternativas e avaliação dos resultados dos contratos sejam feitos.

Em face da carência de reflexões e de estudos empíricos sobre a participação privada na prestação dos serviços públicos de saneamento básico, torna-se necessária e urgente a realização de estudos sobre essa questão, que devem ser elaborados a partir da realidade dos municípios brasileiros, em termos econômicos, sociais, culturais e institucionais e por meio de investigações de longo prazo, estudos comparativos, envolvendo não apenas aspectos econômico-financeiro e técnico-operacionais, mas também da qualidade dos serviços, impactos ambientais, impacto na saúde, participação e controle social.

## REFERÊNCIAS

Aegea Saneamento e Participações. Relatório Anual de Sustentabilidade de 2022. Disponível em: <https://ri.aegea.com.br/esg/relatorio-anual/>. Acesso em: 07 set. 2023.

ALKETA, P.; SOBRAL, F. Parcerias Público-Privadas: análise comparativa das experiências britânica e brasileira. **Cadernos EBAPE**, BR, v.5, n.2, p. 1-14, jun. 2007.

Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON); Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (SINDCON). Panorama da Participação Privada no Saneamento 2023: A Década do Saneamento. Disponível em: <https://abconsindcon.com.br/panorama>. Acesso em: 07 set. 2023.

BRASIL. Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei n. 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei n. 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos [...]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2020/lei-14026-15-julho-2020-790419-publicacaooriginal-1610-96-pl.html>. Acesso em: 30 jul. 2020.

BRASIL. Lei n. 13.334, de 13 de setembro de 2016. Cria o Programa de Parcerias de Investimentos – PPI; altera a Lei n. 10.683, de 28 de maio de 2003. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/legislacao/portal-legis/legislacao-1/leis-ordinarias-2016>. Acesso em: 17 dez. 2018.

BRASIL. Lei n. 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. Brasília, D.O.U., 31/12/2004.

BRK Ambiental. Institucional. A BRK em Salvador. Nossos números. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/quem-somos>. Acesso em: 07 set. 2023.

CABRAL, N. C. As Parcerias Público-Privadas. **Cadernos IDEFF**, n. 9. 1a. reimp. Coimbra: Almedina, 2018.

CRUZ, C. O.; SARMENTO, J. M. **Manual de Parcerias Público-Privadas e Concessões**. 1.ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2019.

CRUZ, C. O.; MARQUES, R. C. **O Estado e as Parcerias Público-Privadas**. 1.ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2012.

FATTORELLI, M. L.; ÁVILA, R. Gastos com a dívida consumiram 46,3% do orçamento federal de 2022. Disponível em: <https://auditoriacidada.org.br/conteudo/gastos-com-a-divida-consumiram-463-do-orcamento-federal-em-2022/>. Acesso em: 17 fev. 2023.

FERREIRA, D. R. F.; HENRIQUE, A. O mapa das parcerias público-privadas em saneamento no Brasil: uma análise comparada (2006-2017). **Polis, Revista Latinoamericana**, n. 50, p. 275-293, 2018.

FIOCRUZ. Centro de Estudos Estratégicos. Privatização do saneamento: modelo limitado, distante dos mais pobres. 2016. Disponível em: <http://www.cee.fiocruz.br/?q=node/441>. Acesso em: 17 dez. 2020.

GOMES, C.; SOUSA, F.; FERNANDES, D., REIS, J.; TRINCÃO, C.; FERNANDO, P.; SOARES, C.; CAMPOS, P. G. Parcerias Público-Privadas e Justiça: Uma análise comparada de diferentes experiências. Coimbra: Observatório Permanente da Justiça Portuguesa/Centro de Estudos Sociais-CES/Faculdade de Economia/Universidade de Coimbra, out. 2007.

Iguá Saneamento S/A. Portfólio. Disponível em: <https://ri.igua.com.br/companhia/portfolio/>. Acesso em: 07 set. 2023a.

Iguá Saneamento. Composição acionária. Disponível em: <https://ri.igua.com.br/companhia/composicao-acionaria/>. Acesso em: 07 set. 2023b.

KISHIMOTO, S.; STEINFORT, L; PETITJEAN, O. **The Future is Public: Towards Democratic Ownership of Public Services**. Amsterdam; Paris: Transnational Institute; Multinationals Observatory; Public Services International Research Unit; University of Glasgow, 2020.

POULSON, L. **As Parcerias Público-Privadas**. Na Arte de Governar. Luanda: Casa das Ideias; Coimbra: Edições Almedina, 2011.

RIO DE JANEIRO. Conselho Gestor do Programa Estadual de Parcerias Público-Privadas. **Manual de Parcerias Público-Privadas – PPPs**. Rio de Janeiro: Unidade de Parcerias Público-Privadas-UPPP, 2008. Não publicado.

SANTANA, G. D.; RODRIGUES JUNIOR, H. S. As Parcerias Público-Privadas: Solução ou Problema? **Prismas: Dir., Pol. Pub. e Mundial.**, v.3, n.1, p.148-181, jan./jun. 2006.

SILVA, J. M. B. **Parcerias Público-Privadas**. Coimbra: Edições Almedina, 2016.

SNIS. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Brasília: SNS/MDR, 2021. Disponível em: [http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNIS\\_2021.pdf](http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf). Acesso em: 17 fev. 2023.

Tribunal de Contas Europeu (TCE). Parcerias Público-Privadas na EU: insuficiências generalizadas e benefícios limitados. Relatório Especial 09 PT. Luxemburgo, 2018.

United Nations. Resolution A/RES/64/292. The human right to water and sanitation. United Nations General Assembly, in 28 July 2010, published in 03 Aug. 2010. Disponível em: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/64/292](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292). Acesso em: 13 maio 2020.

United Nations. Resolution A/RES/70/169. The human rights to safe drinking water and sanitation. United Nations General Assembly, in 17 Dec. 2015, published in 22 Feb. 2016. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/442/72/PDF/N1544272.pdf?OpenElement>. Acesso em: 13 maio 2020.

WARTCHOW, D. **Parcerias Público-Privadas e Privatização no Saneamento Básico**. 1.ed. Porto Alegre: Editora do Autor, 2017.

YESCOMBE, E. R.; FARQUHASON, E. **Public-Private Partnership for Infrastructure**: Principles of policy and finance. 2nd. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018.

# SANEAMENTO BÁSICO E DESIGUALDADES SOCIAIS: OS DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DAS DIRETRIZES DE SANEAMENTO BÁSICO ESTABELECIDAS NO PDDU 2016 DE SALVADOR

*Data de aceite: 26/01/2024*

**Marcela de Almeida Souza Magalhães**  
Universidade Salvador (UNIFACS)

**Luiz Roberto Santos Moraes**  
Universidade Federal da Bahia/Escola  
Politécnica/Mestrado em Meio Ambiente,  
Águas e Saneamento

**RESUMO:** O processo de urbanização de Salvador vem revelando ao longo de décadas uma série de problemas socioambientais a serem incorporados no planejamento da Cidade. Mesmo situando-se como um dos municípios mais populosos do País e configurando-se entre os dez maiores PIB, Salvador ocupa a posição de terceira capital com maior percentual de domicílios em aglomerados subnormais. A pandemia causada pela COVID-19 ampliou/manifestou problemas sociais urbanos a uma parcela da população. A privação aos serviços públicos de saneamento básico é um desses problemas. Tendo em vista que a Cidade ainda não possui um Plano Municipal de Saneamento Básico que contemple os quatro componentes de forma integrada (abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais e limpeza urbana e manejo

de resíduos sólidos), o seu instrumento magno de planejamento urbano, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU 2016), desempenha, na teoria, o papel de instrumento com potencial de combater as desigualdades sociais e questões urbanas relacionadas ao saneamento básico. É impensável planejar a melhoria da qualidade de vida da população sem considerar a salubridade do ambiente urbano. O saneamento básico é um dos responsáveis pela garantia do mínimo existencial social da população e, apesar dos elevados números divulgados em relação à cobertura de serviços, Salvador se mantém como uma cidade desigual em relação ao acesso e a qualidade dos serviços públicos de saneamento básico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Saneamento básico; Planejamento Urbano; Desigualdades; Salvador.

**BASIC SANITATION AND SOCIAL  
INEQUALITIES: THE CHALLENGES  
IN IMPLEMENTING THE BASIC  
SANITATION GUIDELINES  
ESTABLISHED IN SALVADOR'S  
PDDU 2016**

**ABSTRACT:** Over the decades, Salvador's

urbanization process has revealed a series of socio-environmental problems to be incorporated into the city's planning. Even though it is one of the most populous municipalities in the country and is among the ten largest GDP, Salvador occupies the position of third capital with the highest percentage of households in subnormal agglomerations. The pandemic caused by COVID-19 has amplified/manifested urban social problems among a portion of the population. Deprivation of public basic sanitation services is one of these problems. Considering that the city does not yet have a Municipal Basic Sanitation Plan that encompasses the four components in an integrated manner (water supply, sewage, drainage and rainwater management and urban cleaning and solid waste management), its instrument Magnum of urban planning, the Urban Development Master Plan (PDDU 2016), plays, in theory, the role of an instrument with the potential to combat social inequalities and urban issues related to basic sanitation. It is unthinkable to plan to improve the population's quality of life without considering the healthiness of the urban environment. Basic sanitation is one of those responsible for guaranteeing the population's social existential minimum and, despite the high numbers published in relation to service coverage, Salvador remains an unequal city in relation to access and quality of public basic sanitation services.

**KEYWORDS:** Basic sanitation; urban planning; inequalities; Salvador.

## INTRODUÇÃO

Ao longo de suas fases, o planejamento urbano gerou planos e propostas que visavam a melhoria de vida da população. Desde o urbanismo sanitaria ao empreendedorismo urbano, as cidades brasileiras vem se desenvolvendo e tentando se organizar social e territorialmente. Todavia, o que se observa ao longo de décadas é um arranjo heterogêneo, que deixa uma parcela significativa da população à margem do planejamento. Salvador, que se encaixa nesse perfil, vivencia o recrudescimento da pobreza urbana em pleno século XXI, onde parte desse fenômeno social pode ser traduzido pela privação de serviços públicos como saúde, educação, moradia de interesse social e saneamento básico.

A situação do Município frente a implementação de políticas públicas e a elaboração de instrumentos de planejamento é, no mínimo, questionável. O Plano Municipal de Saneamento Básico é o instrumento de planejamento instituído pela Lei Federal n. 11.445/2007 que estabelece diretrizes do saneamento básico, contemplando os quatro componentes (abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos). Em Salvador, o denominado de Plano Municipal de Saneamento Básico Integrado (PMSBI), teve seu processo de elaboração iniciado apenas em 2020. O PDDU 2016, cujo processo de elaboração foi bastante conflituoso em relação a participação efetiva da população e dos interesses empresariais velados, desempenha o papel de instrumento de planejamento que estabelece essas diretrizes até a finalização e instituição em lei do PMSBI. Apesar das críticas, o PDDU 2016 mantém um avanço significativo em termos de planejamento do saneamento básico, conquista obtida no PDDU 2007, com o estabelecimento de importantes princípios



e diretrizes.

Esse estudo faz parte da dissertação de mestrado intitulada Planejamento Urbano e Saneamento Básico: uma análise sobre a implementação das diretrizes de saneamento básico estabelecidas no PDDU 2016 de Salvador (MAGALHÃES, 2021). Para esse estudo, além da revisão bibliográfica e análise da legislação, realizou-se também entrevistas com representantes do planejamento urbano e da gestão do saneamento básico em Salvador. Esse artigo, portanto, é baseado nos resultados obtidos na dissertação e trabalha a interface entre planejamento urbano e saneamento básico, além de trazer uma análise sobre os desafios na implementação das diretrizes de saneamento básico estabelecidas no PDDU 2016 no combate às desigualdades sociais.

## **INTERFACE DE POLÍTICAS PÚBLICAS: PLANEJAMENTO URBANO E SANEAMENTO BÁSICO**

Políticas e ações dentro do âmbito do desenvolvimento urbano remontam uma luta iniciada com a reforma urbana cujo recorte se inicia na década de 60, onde o Instituto dos Arquitetos do Brasil (IAB) chegou a desenvolver uma proposta, impedida de qualquer tipo de continuidade devido ao golpe civil-militar de 1964. Com as discussões sendo retomadas nas décadas de 70 e 80, vários movimentos surgiram na tentativa de unificar as demandas urbanas, com é o caso do Movimento da Reforma Sanitária Brasileira (MRSB) e do Movimento Nacional pela Reforma Urbana (MNRU).

A Reforma Sanitária Brasileira (RSB) teve como ideia inicial a democratização da saúde, ou o direito à saúde. Na Assembleia Nacional Constituinte (ANC), sob a forma de emenda popular, foi defendido a existência de um sistema único de saúde que envolvesse saúde do índio, do trabalhador, o saneamento básico, entre outros (PAIM, 2008). Foi devido ao longo processo de luta pela democracia que o MRSB conseguiu a implementação do Sistema Único de Saúde (SUS), na década de 90. Por sua vez, o MNRU foi responsável por elaborar uma emenda popular apresentada na ANC, e, apesar de não ter tido a maioria dos dispositivos acolhida, a emenda “influenciaria fortemente a elaboração do capítulo da ordem urbana na Constituição Federal” e posteriormente resultaria no Estatuto da Cidade (ECidade), Lei n. 10.257, 10 de julho de 2001 (LAGO, 2010, p. 137).

Após a CF 1988, houve um maior crescimento de desenvolvimento de políticas públicas que se comunicam entre si. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída em 08 de janeiro de 1997, por meio da Lei n. 9.433, definiu que durante a sua implementação, deve-se ocorrer a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão de recursos hídricos com a gestão do uso do solo. Já o Estatuto da Cidade, Lei n. 10.257, 10 de julho de 2001, trouxe como um dos objetivos da política urbana ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante a garantia do direito às cidades sustentáveis, incluindo o

saneamento ambiental, além de ressaltar o Plano Diretor como instrumento importante para o planejamento da ordenação e controle do uso do solo (BRASIL, 2001).

O Ministério das Cidades, criado em 2003, extinto em 2019 e recriado em 2023, estabelece um marco nas políticas urbanas ao integrar diversas áreas com sua composição básica que envolve a criação das Secretarias Nacionais de Habitação, Saneamento Ambiental, Mobilidade Urbana, Desenvolvimento Urbano e Metropolitano, e de Periferias. No âmbito de suas competências encontra-se o planejamento, regulação, normatização e gestão da aplicação de recursos em políticas de desenvolvimento urbano e ordenamento do território e políticas setoriais de habitação, saneamento ambiental, incluídas as políticas para os pequenos Municípios e a zona rural, e de mobilidade e trânsito urbano (BRASIL, 2010, 2023). Além disso, destaca-se o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), de 2013, o Plano Nacional de Habitação (PlanHab) de 2010, a implementação da nova Política Nacional de Habitação (PNH), em 2004, e o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS), em 2005, instituído pela Lei Federal n. 11.124/2005, juntamente com o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS).

Em 2006, após muitas negociações, foi aprovada pelo Congresso Nacional e sancionada em 05 de janeiro de 2007, a Lei n. 11.445/2007, conhecida como Lei Nacional de Saneamento Básico (LNSB). A LNSB ou marco legal regulatório do saneamento básico, estabelece a diferenciação entre a gestão e a prestação dos serviços, cabendo aos municípios a formulação de sua política pública de saneamento básico e a elaboração, de forma participativa, do plano municipal de saneamento básico como instrumento de planejamento. Essa decisão aproxima a gestão dos serviços da participação popular, pois uma vez que os problemas devem ser entendidos numa escala local, as soluções também devem ser propostas levando em consideração as diferentes realidades, de preferência de forma integrada a outras políticas urbanas, como a do próprio planejamento urbano. A participação da sociedade frente à gestão contou também com a exigência da transparência nos investimentos provenientes do governo federal. O controle social passou a ser reconhecido como uma das funções da gestão dos serviços públicos de saneamento básico, juntamente com o planejamento, regulação, prestação de serviço e fiscalização, por meio também do seu Decreto Regulamentador n. 7.217, de 20 de junho de 2010.

A LNSB estabelece em seu art. 52, inciso I, a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que leva em consideração os princípios fundamentais: universalização; equidade; integralidade; intersetorialidade; sustentabilidade dos serviços; participação e controle social; e matriz tecnológica. A Universalização (universalidade) e a equidade já haviam aparecido como diretrizes para o SUS nos diálogos e documentos do MRSB.

Nesse artigo destaca-se três dos princípios fundamentais: universalização; equidade; e intersetorialidade. Segundo Plansab, considera-se universalização “a ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico” (BRASIL,

2013, p. 34). Além do conceito de acesso para todos os domicílios, a universalização aborda também o acesso integral ao saneamento básico, ou seja, o princípio não deve ser empregado de forma isolada a cada componente. Para que a universalização seja atingida é necessário compreender as diferentes realidades sociais, políticas e econômicas, principalmente por se tratar de um plano nacional para um país bastante desigual. Questões que envolvem a capacidade financeira de cada indivíduo em arcar com os serviços públicos de saneamento básico podem ser um desafio para a universalização e, portanto, devem fazer parte do planejamento do saneamento básico em todas as esferas administrativas. A universalização de um serviço significa o acesso igual para todos/todas/todos, sem barreiras legais, econômicas, fiscais ou culturais (PAIM, 2011) e devem considerar, em relação aos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, as esferas de vida além do domicílio, com ênfase nos espaços públicos (principalmente nas populações em situação de rua e nas pessoas que trabalham na rua), escolas, centros de saúde e presídios, com atendimento de água potável, instalações sanitárias adequadas e esgotamento sanitário, ou seja, abastecimento de água e esgotamento sanitário como direitos humanos essenciais e não como negócio/mercadoria (MORAES, 2021).

A equidade foi conceituada pelo Plansab com “a superação de diferenças evitáveis, desnecessárias e injustas” (BRASIL, 2013, p. 34). Embora possa ser considerado sinônimo de igualdade, a equidade para área de saneamento básico pode ser lida como “tratamento desigual para desiguais”, que corresponderia a equidade vertical (VIEIRA DA SILVA; ALMEIDA FILHO, 2009, p. 218). Ao se tratar de uma área desigual, atender igualmente pessoas em diferentes condições poderia resultar na conservação dessas desigualdades (PAIM, 2011). Esse conceito articula-se ao princípio da universalização uma vez que admitindo priorizar “aqueles que mais necessitam para se chegar à universalização” (BRASIL, 2013, p. 35).

Por fim, a intersetorialidade foi destacada nesse artigo por considerar o “compartilhamento e o diálogo entre tecnologias e práticas setoriais” além do trabalho em conjunto com a transversalidade, promovendo uma articulação entre setores (BRASIL, 2013, p. 35). O termo intersetorialidade é utilizado também com um sinônimo de interdisciplinaridade, onde é sugerido a integração entre disciplinas, ou no caso do saneamento básico, a integração entre componentes e também de setores. A setorialização dos problemas públicos, conduz à fragmentação, sendo alvo de críticas por conta da pouca capacidade de resolução de problemas e de gastos (MORAES, 2007) e, por isso, a intersetorialidade é um dos princípios fundamentais do Plansab que foram selecionados para esse trabalho.

O Brasil lida com o desmonte e desvalorização de entidades e órgãos que desempenham um papel fundamental no combate às desigualdades sociais. Como citado anteriormente, em 2020 em meio a pandemia da COVID-19 causada pelo novo coronavírus, o SARS-CoV-2, que evidenciou as desigualdades sociais existentes no Brasil

ao tornar público a dificuldade no acesso aos serviços públicos de saneamento básico para simples manutenção da higiene pessoal da população, principalmente o serviço público de abastecimento de água, foi aprovado, sem a participação pública, o PL n. 4.162/2019 do Poder Executivo pelo Senado Federal e sancionada pelo presidente da República, a Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020, que procede alterações em sete leis, entre elas, a LNSB.

A modificação do marco legal regulatório do saneamento básico abre caminho para atender aos interesses do setor privado, principalmente quanto à prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, e teve dezoito dispositivos vetados pelo presidente da República e posteriormente mantidos os vetos pelo Congresso Nacional. No parágrafo único do artigo 19, essa Lei considera planos de saneamento básico “os estudos que fundamentem a concessão ou a privatização dos serviços, desde que cumpram com os requisitos legais necessários” (BRASIL, 2020, s.p.). Quatro Ações Diretas de Inconstitucionalidade (ADIs) foram ajuizadas no Supremo Tribunal Federal (STF) contra essa lei, porém em julgamento realizado em novembro de 2021, o STF decidiu pela constitucionalidade da Lei n. 14.026/2020.

O arcabouço político-institucional do saneamento básico pós a LNSB continua enfrentando diversos desafios. A crescente participação de empresas privadas na prestação de serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, a dificuldade de se implementar uma regulação independente, a árdua tarefa do exercício do controle social em tornar o saneamento básico uma política mais transparente, juntamente com a integração das políticas públicas de desenvolvimento urbano, são alguns dos desafios a serem enfrentados. O conceito de saneamento básico vem sendo construído socialmente ao longo do tempo. Suas ações são essenciais à vida humana, sendo, portanto, de caráter social, e, por isso, sua promoção deve envolver diversos atores e em diversos níveis (BORJA; MORAES; BOTEON, 2022). A evolução do desenvolvimento urbano no País e a forma como ele se deu interfere na história da gestão da própria cidade e do saneamento básico, assim como na abordagem para enfrentamento dos desafios atuais.

Dentre os diversos desafios que acompanham o processo de “reestruturação socioprodutiva e territorial”, inclusive as adversidades relacionadas às “disparidades socioespaciais que marcam o território brasileiro na escala macrorregional e urbana” (ROLNIK; KLINK, 2011, p. 91), encontra-se o desafio de prover os serviços públicos de saneamento básico para todos/todas/todos. Salvador é uma região de influência de outros municípios, tanto em termos de acesso de bens e serviços quanto na gestão de empresas e órgãos públicos. Além de ser a quinta cidade mais populosa do País com 2.417.678 pessoas (Censo 2022), a capital do Estado da Bahia tem o 10º maior PIB do País (IBGE, 2011, 2020, 2023) e, ainda assim, mantém um histórico de desigualdades sociais, inclusive quanto ao saneamento básico. A forma como seu planejamento urbano foi e vem sendo desenvolvido faz parte desse histórico.

## PLANEJAMENTO URBANO EM SALVADOR

Na tentativa de organizar e planejar o espaço urbano, foram desenvolvidos planos para Salvador em diferentes momentos. No início do século XX Salvador vivenciou um processo de adensamento de algumas áreas, ao mesmo tempo que houve expansão periférica de outras, mantendo assim sua configuração urbana até metade do século passado (BRANDÃO, 1978). A partir da década de 1940, a Cidade começou a sua transformação, muito em decorrência do desenvolvimento do centro comercial que modificou a dinâmica da população em relação à demanda por áreas residenciais.

Essa demanda foi levantada por todas as classes sociais e encontrou no mecanismo de especulação imobiliária um desserviço à sua resolução. A classe alta contribuiu com a corrida da especulação aumentando o custo da habitação, trazendo como consequência para a classe média a dificuldade em corresponder aos preços ofertados (BRANDÃO, 1978). Além disso, no processo de especulação imobiliária, as áreas até então povoadas pela população de baixa renda também foram ocupadas, fazendo com que os antigos moradores fossem reassentados. A população de baixa renda, desfavorecida pelas soluções ofertadas, começa o processo de autoconstrução, ou construção de novas habitações onde conseguia.

Entre 1940 e 1950 surgiram as primeiras “invasões” (ocupações espontâneas) em terrenos baldios e trechos alagados da Orla Marítima. Com o tempo de formação mais avançado, as áreas ocupadas deram espaço a bairros da Salvador contemporânea. Essa dinâmica habitacional acabou fazendo parte do processo de ocupação e organização do espaço urbano de Salvador ao longo do século XX, como é o caso da invasão das Malvinas, que ocorreu na década de 1980 e abriga atualmente o Bairro da Paz. A partir da segunda metade da década de 1940, impulsionada por fatores socioeconômicos, fluxo populacional e momentos de urbanização intensiva, Salvador passa a organizar-se como cidade moderna. Com o Escritório do Plano de Urbanismo da Cidade do Salvador (EPUCS) surgem as grandes obras de expansão urbana, as primeiras avenidas de vale, além da já citada ocupação informal da população de baixa renda na periferia. Os sinais de que a modernização de Salvador seguiria por um caminho excludente para parte dessa população já existiam antes mesmo da segunda metade do século XX. Porém, após a Lei da Reforma Urbana, Lei n. 2.181, de 24 de dezembro de 1968, que autorizou a alienação de bens dominicais, a Prefeitura transferiu parte de suas propriedades para o setor privado, confirmando o espaço do capital imobiliário na organização do espaço urbano (CARVALHO; PEREIRA, 2008).

Grandes intervenções públicas e privadas foram realizadas entre 1960 e 1980 como, por exemplo, a Avenida Paralela (atual Avenida Luís Viana Filho) que marcaria o eixo de expansão da Cidade, juntamente com o Centro Administrativo da Bahia, também na mesma região, e a Estação Rodoviária juntamente com o Shopping Iguatemi (atual

Shopping da Bahia). Nessa ocasião a capital baiana passou a ser dividida em três eixos de expansão: a Orla Marítima; o “Miolo”; e o Subúrbio Ferroviário (CARVALHO; PEREIRA, 2008), que seguiam características distintas de ocupação. A Orla representa a área nobre, dotada de serviços e infraestrutura e continuamente beneficiada com investimentos. Já o “Miolo” de Salvador recebeu esse nome por uma questão geográfica, pois é situado na parte central da Cidade, numa posição estratégica entre a Av. Paralela/Luís Viana Filho e a BR-324, rodovia federal que dá acesso a capital da Bahia. Sua ocupação foi acelerada e a especulação imobiliária estimulada principalmente pós Lei da Reforma Urbana, devido à expansão do capital imobiliário na região (FERNANDES, 2004). Por fim, o Subúrbio Ferroviário teve sua ocupação impulsionada, inicialmente, pela implantação da Bahia and San Francisco Railway, ainda no século XIX e, posteriormente, já em meados do século XX, devido aos loteamentos populares que, sem controle urbanístico, ocuparam aquela área (FERNANDES, 2004).

Até o final do século XX a ocupação urbana de Salvador foi marcada por espaços complexos, resultantes das crescentes demandas e diversas produções imobiliárias (GORDILHO-SOUZA, 2011). Dos instrumentos de planejamento urbano da época, destaca-se, além da Lei da Reforma Urbana, a Lei n. 3.525, de 11 de setembro de 1985, que dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano para até 1992, e a Lei n. 3.377, de 23 de julho de 1984, que dispõe sobre o Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo (LOUOS). De modo geral, as duas leis racionalizaram a ocupação urbana e a circulação na Cidade.

Já no século XXI, após a promulgação da lei do Estatuto da Cidade e a obrigatoriedade do PD para municípios com mais de vinte mil habitantes, entrou em vigência o PDDU 2007, instituído pela Lei n. 7.400, de 20 de fevereiro de 2008 (SALVADOR, 2008). O processo de elaboração do PDDU 2007 foi alvo de diversas críticas que envolviam falta de representatividade na participação da população, pouco espaço/tempo para apresentação das propostas e uma votação turbulenta na Câmara de Vereadores. Quando publicado, ficou claro para diversos órgãos e entidades, incluindo a academia, que o instrumento não identificava a Cidade, não abordava as particularidades e diversidades socioeconômica-racial-cultural de Salvador, além de não ter apresentado estudos e critérios que justificavam o aumento do gabarito da Orla. Sabe-se, porém, que o aumento do gabarito da Orla Marítima representava a possibilidade de lucro para o Município, uma vez que haveria aumento na arrecadação de impostos, e tornaria a área da Orla desejada pelo mercado imobiliário, juntamente com a região da Paralela, a Av. Luís Viana Filho.

Para o PDDU 2016, a PMS elaborou uma estratégia de divulgação para o que viria a ser o Plano, com intuito de não mais sofrer interdições judiciais. A elaboração do PDDU 2016 começou com o lançamento do Plano Salvador 500, “instrumento do planejamento estratégico, adequava-se ao perfil do governo municipal, fruto de uma coalizão conservadora associada a princípios neoliberais e a um populismo modernizado” (FRANCO, 2018, p. 212). O Plano Salvador 500 foi estruturado em cinco etapas na qual a última correspondia

a elaboração do PDDU e da LOUOS. Mais uma vez, o processo de elaboração recebeu diversas críticas, incluindo aquelas direcionadas as estratégias para participação da sociedade. Não somente por seu cronograma atropelado e a participação social pouco efetiva, o conteúdo do PDDU também foi altamente criticado, como a qualidade dos estudos técnicos, e a defasagem que impediu o PDDU de atender o conteúdo mínimo obrigatório estipulado no Estatuto da Cidade.

Uma vez instituído pela Lei n. 9.069, de 30 de junho de 2016, iniciou-se o processo de implementação do PDDU 2016. Salvador conta com um PD que herdou, dos processos iniciados anos antes, um importante conteúdo que compõe o Capítulo II – Do Saneamento. O Município recebeu investimentos significativos na área do saneamento básico entre o final da década de 1990 e o início do século XXI, o que ampliou significativamente o acesso aos serviços públicos de saneamento básico (BORJA et al., 2015; BORJA; MORAES; BOTEON, 2022). Como citado, houve também uma melhoria expressiva em termos de legislação e ferramentas de controle social que permitiram que os instrumentos de planejamento avançassem normativamente, como é o caso do PDDU. Todavia, Salvador permanece sendo uma cidade desigual, fruto de um processo histórico de urbanização marcado pela desigualdade socioterritorial.

## **SALVADOR, SANEAMENTO BÁSICO E DESIGUALDADES SOCIAIS**

Salvador apresenta dados elevados em termos de atendimento, porém, em pesquisa recente (2018-2020) foi observado que mesmos com altos índices, a Cidade ainda mantém áreas desiguais em relação aos serviços públicos de saneamento básico. As famílias que não usam rede pública de distribuição de água estão, na sua maioria, no Subúrbio Ferroviário e em parte do Miolo de Salvador, onde menos de 10% se consideram brancos, menos de 10% dos responsáveis pelo domicílio tem nível de escolaridade superior e mais de 80% tem renda mensal familiar menor que três salários-mínimos (BORJA; MORAES; BOTEON, 2022).

A fim de caracterizar melhor as condições de moradia da população, o Censo Demográfico passou a mapear aglomerados subnormais (nomenclatura e conceito em revisão pelo IBGE) em cidades brasileiras. Os aglomerados ditos subnormais são formas de ocupação irregular de terrenos de propriedade alheia (públicos ou privados) para fins de habitação estando dispostas de forma desordenada e/ou densa. Em 2019, Salvador passou a ser a terceira capital de estado com o maior percentual de domicílios em aglomerados subnormais (41,8%) do total de domicílios ocupados (IBGE, 2020). Levando em consideração que esses aglomerados carecem de infraestrutura básica e serviços públicos essenciais, sendo relevante trazer à tona alguns números relativos à Salvador e RMS.

Com base no Censo Demográfico de 2010, na Bahia, foram identificados 302.232

domicílios particulares desse tipo ocupados, onde mais de 91% deles estavam em Salvador. Dos 13 municípios da RMS, oito apresentaram setores censitários em aglomerados subnormais (Tabela 01) (IBGE, 2010). Somente em Salvador existiam 275.593 domicílios particulares ocupados em aglomerados subnormais, em 2010, o que correspondia a 882.204 pessoas residentes nesses domicílios (IBGE, 2010).

<b>Município</b>	<b>Domicílios recenseados particulares ocupados com entrevista realizada</b>	<b>Domicílios particulares ocupados em aglomerados subnormais</b>
Salvador	832.028	275.593
Camaçari	69.064	4.988
Lauro de Freitas	48.556	3.117
Simões Filho	34.649	461
Candeias	24.580	2.209
Vera Cruz	11.795	2.237
São Francisco do Conde	9.325	1.504
Itaparica	6.333	379

Tabela 01 – Número de domicílios particulares ocupados e em aglomerados subnormais por município da Região Metropolitana de Salvador (RMS) – 2010

Fonte: Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011).

Dos domicílios particulares ocupados em Salvador, em 2010, 32% estavam em aglomerados subnormais e dentro desse universo, 77% estavam situados em encosta e colina suave. Sobre outras características, destacam-se aqui a localização dos domicílios em margem de córregos, rios ou lagos/lagoas (4%), praias e dunas (2%) e unidades de conservação (1%) (IBGE, 2011). Em relação ao acesso a serviços públicos de saneamento básico, observou-se que os números de domicílios em aglomerados subnormais que têm acesso aos serviços públicos de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos é compatível com o universo de Salvador. Cabe, porém, um aprofundamento, em termos de análise, das outras formas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e destino de resíduos sólidos domiciliares nessas áreas que são caracterizadas por terem um padrão urbanístico irregular, além da carência de serviços públicos essenciais como os serviços públicos de saneamento básico.

Aproximadamente 98,7% dos domicílios particulares permanentes em aglomerados subnormais utilizavam a rede geral como meio de abastecimento de água (IBGE, 2011). Em relação ao esgotamento sanitário, 87,2% utilizavam a rede coletora de esgotos ou rede pluvial. Salienta-se aqui a existência da Lei Estadual n. 7.307, de 23 de janeiro de 1998, regulamentada pelo Decreto n. 7.765, de 08 de março de 2000, cujo conteúdo estabelece que é vedado a ligação de esgotos à rede pública de águas pluviais nos logradouros com rede coletora instalada, cabendo a empresa delegatária a desativação da ligação. Destaca-se aqui também a presença da tipologia de esgotamento sanitário observada pelo Censo



cujo esgoto é direcionado a rio, lago ou mar que corresponde a aproximadamente 2% dos domicílios analisados, além dos 1.823 domicílios sem banheiro ou sanitário (IBGE, 2010). Em relação à coleta de resíduos sólidos domiciliares, aproximadamente 94,7% dos domicílios em aglomerados subnormais tinham seus resíduos coletados. Porém, dos 12.703 que não tinham acesso a esse serviço, aproximadamente 85,2% destinavam seus resíduos em terrenos baldios ou logradouros. Destaca-se também a tipologia “jogado em rio, lago ou mar” que corresponde a aproximadamente 4% dos domicílios que não tinham acesso ao serviço público de coleta de resíduos sólidos (IBGE, 2011).

De acordo com os dados analisados, percebeu-se há um número razoável de pessoas em situações precárias de habitação e saneamento básico que estão à margem dos números globais e porcentagens divulgadas no que diz respeito ao Município. Ao se observar, por exemplo, a tipologia do esgotamento sanitário em áreas carentes, aproximadamente 6.000 pessoas não tinham sanitário ou banheiro e quase 12.000 pessoas não tinham acesso ao abastecimento de água por rede de distribuição e um pouco mais que 47.000 pessoas não tinham seus resíduos sólidos coletados (IBGE, 2011).

Acesso a esgotamento sanitário e a água potável, juntamente com a coleta de resíduos sólidos é o mínimo essencial para uma condição de higiene digna. A falta ou dificuldade de acesso a esses serviços básicos ficou evidente no início do ano 2020, com a pandemia da COVID-19 causada pelo novo coronavírus, o SARS-CoV-2. Até abril de 2020, a Defensoria Pública do Estado da Bahia recebeu mais de 2.500 formulários com relatos de falta de água em Salvador, sendo que houve uma incidência maior no número de relatos em determinados bairros situados na região do Subúrbio Ferroviário e do Miolo de Salvador (CARMO, 2020).

Ao cruzar os dados do saneamento básico em aglomerados subnormais e as Prefeituras-Bairro em Salvador, pode-se perceber as desigualdades a nível intraurbano. A média de moradores em domicílios particulares ocupados em aglomerados subnormais em Salvador é 3,2. Acima dessa média estão as PB II – Subúrbio / Ilhas; III – Cajazeiras; X – Valéria, todas com 3,3. A comunidade Zeferina, que recentemente passou por um processo de urbanização, tem em média 4,0 moradores por domicílio. A média de moradores em domicílios particulares ocupados em Salvador era de 3,1 (IBGE, 2010).

Dos 14.703 domicílios que não tinham seus resíduos sólidos coletados, seja por serviço de limpeza porta-a-porta ou por caixa/caçamba estacionária, 24% estavam na Prefeitura-Bairro VIII – Cabula / Tancredo Neves. A PB X – Valéria tinha 8% dos seus domicílios sem resíduos coletados, seguido da PB I – Centro / Brotas com 7% (IBGE, 2011). Cabula / Tancredo Neves, Valéria e Centro / Brotas correspondem às PB com maior número de domicílios com resíduos não coletados em números proporcionais a quantidade de aglomerados subnormais existentes na região (Figura 01).

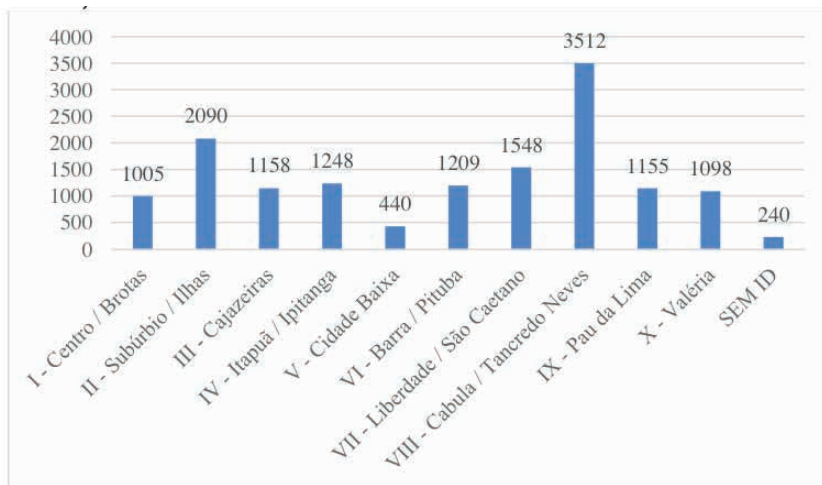


Figura 01 – Número de domicílios particulares em aglomerados subnormais por Prefeitura-Bairro em Salvador, sem resíduos sólidos domiciliares coletados – 2010

Fonte: Primeira autora, com base no Censo 2010 (IBGE, 2011).

\* SEM ID trata-se de Sem Identificação. São os aglomerados que não puderam ser localizados por Prefeitura-Bairro.

Dos 275.593 domicílios em aglomerados subnormais, 35.153 não tinham o esgotamento sanitário por rede coletora de esgotos ou pluvial (IBGE, 2011). A PB X – Valéria tinha 41% dos seus domicílios em aglomerados subnormais sem rede de esgotamento sanitário, seguido da PB III – Cajazeiras (30%) e PB IX – Pau da Lima (25%) (Figura 02).

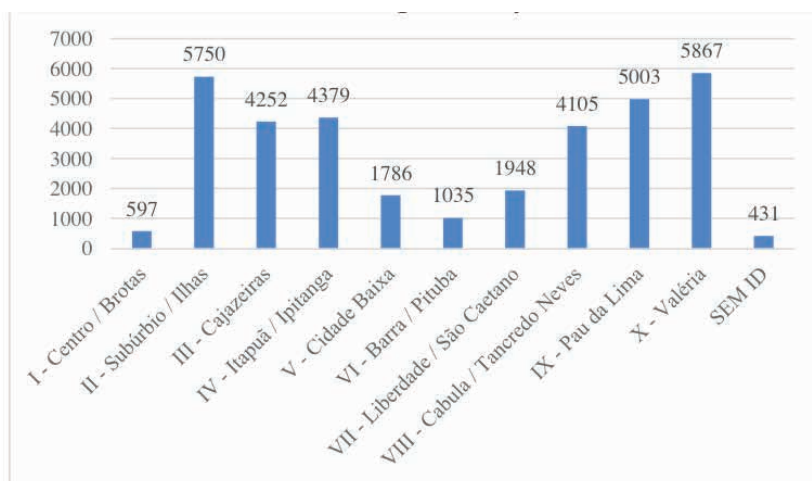


Figura 02 – Número de domicílios particulares em aglomerados subnormais por Prefeitura-Bairro em Salvador, sem rede coletora de esgotos ou pluvial – 2010

Fonte: Primeira autora, com base no Censo 2010 (IBGE, 2011).

\* SEM ID trata-se de Sem Identificação. São os aglomerados que não puderam ser localizados por Prefeitura-Bairro.

Ainda sobre o esgotamento sanitário, em relação aos domicílios sem sanitário ou banheiro, na PB II – Subúrbio / Ilhas existiam 558 domicílios nessa situação, ou seja, 31% dos domicílios em aglomerados subnormais de Salvador que não tinham sanitário ou banheiro estavam na PB II. Esse número corresponde a aproximadamente 1.842 pessoas sem sanitário ou banheiro (IBGE, 2011).

Em relação ao abastecimento de água, dos 3.619 domicílios em aglomerados subnormais que não tinham acesso a rede de distribuição de água, 840 estavam na PB IV – Itapuã / Ipitanga e 656 estão na PB II – Subúrbio / Ilhas (Figura 03) (IBGE, 2011).

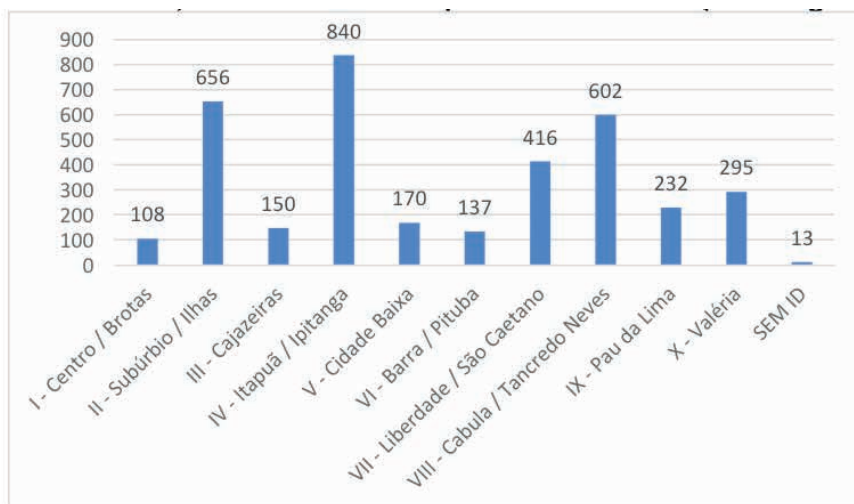


Figura 03 – Número domicílios particulares em aglomerados subnormais por Prefeitura-Bairro em Salvador, sem acesso à rede pública de distribuição de água – 2010

Fonte: Primeira autora, com base no Censo 2010 (IBGE, 2011).

\* SEM ID trata-se de Sem Identificação. São os aglomerados que não puderam ser localizados por Prefeitura-Bairro.

Em relação a cor ou raça da população, há um percentual maior de pessoas negras (população parda e preta) vivendo em aglomerados subnormais do que na área urbana de Salvador, assim como há um percentual maior de pessoas brancas vivendo na área urbana do que nos aglomerados subnormais. Na região urbana de Salvador, 23% da população se autointitula como branca, já nos aglomerados subnormais essa porcentagem corresponde a 11% (IBGE, 2011) (Figura 04).

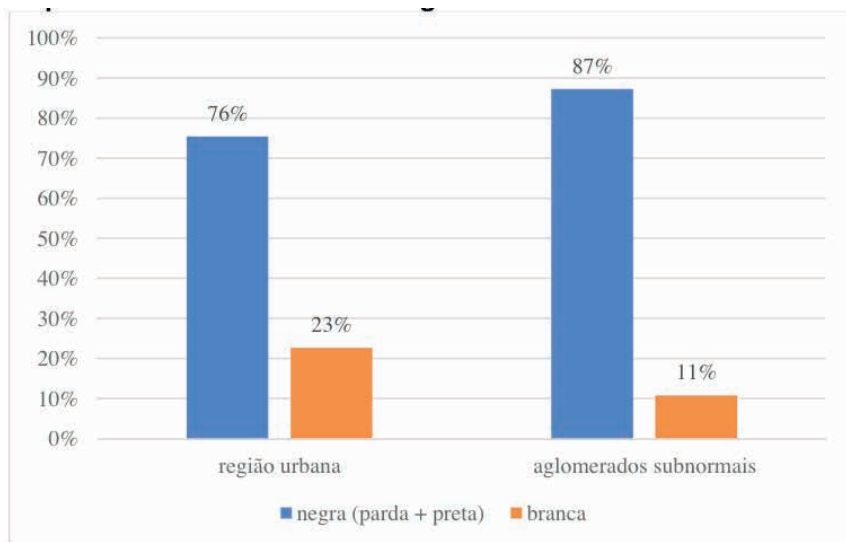


Figura 04 – Percentual da população de cor ou raça negra e branca, residente em domicílios particulares ocupados na área urbana e em aglomerados subnormais em Salvador – 2010

Fonte: Primeira autora, com base no Censo 2010 (IBGE, 2011).

Em suma, há uma notável disparidade no acesso às áreas com infraestrutura e serviços públicos de saneamento básico e muito do que se observa tem respaldo no processo de urbanização e na forma como o planejamento urbano foi pensado e está sendo implementado. É possível afirmar que Salvador vem sendo estruturada de forma que a exclusão e a desigualdade se perpetuam ao longo dos anos, tendo como base um “sistema econômico que produz políticas públicas que não respondem às demandas sociais, mas sim aos interesses de grupos políticos e corporações” tanto no setor habitacional quanto na área de saneamento básico (BORJA et al., 2015, p. 151).

Em relação a análise das diretrizes de saneamento básico estabelecidas no PDDU 2016, no geral, percebeu-se que falta comprometimento na divulgação de dados, principalmente em relação a atendimento dos serviços públicos de saneamento básico. Julga-se imprescindível a publicação de tais dados não somente para uso em pesquisa e planejamento, como também para efeito de informação à população. Para o exercício do controle social torna-se necessário que haja transparência e que os dados, informações e chamadas públicas sejam feitos numa linguagem acessível, para que então o entendimento por parte da população acerca do assunto seja efetivo.

Entende-se a importância de abordar de forma mais enfática a universalização também do ponto de vista da Drenagem Urbana e Manejo de Águas Pluviais. Os serviços públicos desse componente do saneamento básico acabam sendo tratados como serviços complementares, sob responsabilidade da área de vias e obras públicas, o que reduz à prática de instalação e manutenção de galerias e canais de drenagem de águas pluviais.

A relação entre o planejamento da drenagem urbana e manejo de águas pluviais e o desenvolvimento urbano é significativo em teoria e pobre na aplicação. O uso e ocupação do solo favorece a implantação de grandes áreas pavimentadas/impermeabilizadas, a mobilidade urbana dá ênfase ao veículo particular e, conseqüentemente, a criação e/ou alargamento de vias junto à falta de planejamento ou precariedade dos serviços faz com que cidades sofram com inundações, como acontece com Salvador. Esse processo de ocupação do solo vem sendo produzido tanto por ocupações formais quanto informais, sendo um dos motivos da expressiva degradação dos rios urbanos, juntamente com os lançamentos de efluentes líquidos e resíduos sólidos (BORJA; MORAES; BOTEON, 2022).

O que foi possível verificar ao analisar as diretrizes enquanto Equidade é que em nenhum componente é abordado o acesso aos serviços públicos de saneamento básico do ponto de vista tarifário em uma diretriz. Todavia, a Embasa já pratica a Tarifa Social possibilitando que aqueles cadastrados no então Programa Bolsa Família, e o Cadastro Único (CadÚnico), por exemplo, se enquadrem na categoria adequada. O CadÚnico é um conjunto de informações sobre as famílias brasileiras que se encontram em situação de pobreza e extrema pobreza. Oliveira Filho e Santana (2021) observaram em seu estudo que apenas 2,1% do total de economias residenciais existentes dos serviços prestados pela Embasa em Salvador são atendidas com a Tarifa Social, e que mesmo com a pandemia da COVID-19, o número absoluto dessas economias permaneceu estável, apesar do aumento no número de famílias inscritas no CadÚnico no mesmo período, porém apenas 7,6% delas têm acesso à tarifa social praticada pela Embasa (OLIVEIRA FILHO; SANTANA, 2021).

Ao entrevistar representantes da gestão de saneamento básico em Salvador, foi possível observar que, muito do que diz respeito a dificuldade de implementar as diretrizes está relacionado a forma como a Cidade se urbanizou. A Orla Marítima, o Subúrbio Ferroviário e o Miolo da Cidade, eixos de expansão cunhados na década de 70, ainda trazem características distintas de ocupação. Salvador é uma cidade desigual em diversos aspectos, inclusive no atendimento aos serviços públicos de saneamento básico. É possível identificar que parte dos aglomerados subnormais de Salvador estão na região do Subúrbio Ferroviário e do Miolo, e são nessas regiões que se encontram a maior parte da população que não tem acesso às redes públicas de distribuição de água e de coleta de esgotos sanitários e à coleta de resíduos sólidos (IBGE, 2010; BORJA; MORAES; BOTEON, 2022). Ressalta-se inclusive, que no período da pandemia, os noticiários divulgaram que diversos bairros, majoritariamente do Miolo e Subúrbio Ferroviário, se encontravam sem abastecimento regular de água, o que também foi apresentado em inúmeros relatos à Defensoria Pública do Estado (CARMO, 2020).

## CONCLUSÃO

Salvador avançou significativamente em termos de cobertura dos serviços públicos

de saneamento básico, principalmente no que diz respeito ao abastecimento de água e esgotamento sanitário. No primeiro momento com o Programa Bahia Azul (1995-2004), por meio de investimento do Governo do Estado/Embasa, e posteriormente (2007-2014) com o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), durante os governos Luís Inácio Lula da Silva e Dilma Rousseff. Esse avanço e os resultados obtidos sugerem que as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico em Salvador foram parcialmente implementadas, embora tenha sido notado que não houve vontade política suficiente para regulamentar o capítulo do PDDU que trata do saneamento básico, assim como não houve esforços significativos, até 2019, para elaborar o Plano Municipal de Saneamento Básico de Salvador.

É preocupante o modo como a Lei Nacional de Saneamento Básico foi alterada visando a concessão privada dos serviços e a indução de monopólio privado. Ressalta-se aqui a Lei n. 14.026/2020 que altera a LNSB, entre outras, e instrumentaliza a privatização, principalmente dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Sabe-se que a Embasa atua em diversos municípios baianos, inclusive Salvador, e que a abertura do seu capital é uma ideia celebrada tanto pelo Governo do Estado, quanto pela Prefeitura Municipal. A possibilidade de uma possível privatização ou mesmo da instituição de diversas Parcerias Público-Privada (PPP), pode resultar em aumento de tarifas e redução na qualidade dos serviços, dificultando o atendimento da população de menor poder aquisitivo e residente em áreas que ainda não dispõem desses serviços, o que tornaria a universalização ainda mais distante da realidade.

De modo geral, o que se entende é que falta em Salvador um planejamento urbano que vise solucionar problemas de ordem social. A urbanização foi feita de modo imperativo e excludente, decidindo onde e como certas regiões iriam crescer, porém, não sem retirar ou privar aquelas áreas não contempladas de investimento. Lida-se com a infraestrutura urbana precária como se fosse um fenômeno independente, que surge por conta própria e atua sem precedente ou direcionamento, para tornar essa situação a justificativa para a não implementação de diretrizes, e aqui inclui-se as diretrizes de saneamento básico. A Cidade apresenta profundas desigualdades de classe, étnico-raciais e de gênero e esses atributos ainda são deixados de lado em algumas políticas setoriais, como a de saneamento básico.

Se tratando do PDDU 2016, entende-se que o instrumento avança em termos legais, mas a sensação é que os programas, as ações e os objetivos parecem não acompanhar. Salvador não conta ainda com uma política municipal de saneamento básico instituída por lei, embora o PDDU estabeleça uma estrutura mínima para tal. Não existe um órgão que integre planejamento e gestão da infraestrutura urbana e saneamento básico; há um conflito entre Município e Estado no estabelecimento do órgão regulador e fiscalizador desses serviços públicos; a Câmara Técnica de Saneamento Básico do Conselho Municipal de Salvador, como instância de controle social, não se mobilizou para dar início às reuniões sobre o plano municipal de saneamento básico que por sua vez só veio a ser licitado em

2019, iniciado em 2020, concluído em março de 2023, porém até os dias atuais sem ser encaminhado para apreciação e aprovação em lei pela Câmara Municipal de Salvador; e o Fundo Municipal de Saneamento Básico, estabelecido no PDDU e, posteriormente, criado por lei não foi ainda regulamentado e efetivamente implementado. A elaboração do PMSBI parece surgir como uma possibilidade para a viabilização de programas e ações que visem implementar as diretrizes de saneamento básico.

Ao analisar a implementação das diretrizes, o que se pode concluir é que falta recursos e vontade política. Como o saneamento básico não é prioridade na gestão municipal e os recursos federais serão obtidos preferencialmente com o PMSBI concluído e aprovado, nada de significativo foi feito no Município, além da implementação de algumas ações estruturais (expansão de ativos). Sem regulamentação do capítulo de Saneamento do PDDU e sem suas diretrizes implementadas, restou a população de Salvador participar do processo de elaboração do PMSBI, na tentativa que as etapas de diagnóstico técnico-participativo, de estabelecimento de cenários e de estabelecimento de programas, projetos, ações e estratégias de execução, trouxessem uma perspectiva de reparação histórica e pudessem contribuir com a parcela da população que é marginalizada desde o início da urbanização da Cidade. Excluídos da cidade formal e privados dos serviços públicos de saneamento básico, essa parcela da população já foi identificada em classe (os de baixa renda), gênero (as mulheres), cor/raça (os negros, ou seja, os pretos e pardos), escolaridade (os de baixa escolaridade) e localização geográfica (os que residem em bairros localizados nas regiões do Miolo e do Subúrbio e nas ilhas), portanto, espera-se que a implementação do PMSBI, após a sua aprovação em lei, contemple e priorize essa parcela significativa da população.

## REFERÊNCIAS

- BORJA, P. C. et al. Serviços públicos de saneamento básico em Salvador - BA: estudo sobre as desigualdades de acesso. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. III, p. 140-152, 2015.
- BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S.; BOTEON, S. de C. Águas, resíduos e lugares na cidade de Salvador. In: SANTOS, E.; BENEVIDES, T.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S.; OLIVEIRA, N.; PEDRASSOLI, J. C.; SOUZA, J.; GAMA, C. M.; FRÖES, F. (org.). **QUALISalvador: qualidade do ambiente urbano na cidade da Bahia**. 2.ed. Salvador: Edufba, 2022. p. 239-313. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/34177>. Acesso em: 2 set. 2023.
- BRANDÃO, M. O último dia da criação: mercado, propriedade e uso do solo em Salvador. In.: VALLADARES, Lícia do Prado. **Habitação em questão**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1981.
- BRASIL. **Constituição**, 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1988.
- BRASIL. Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Brasília: DOU, 10 de julho de 2001.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n. 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.** Brasília: DOU, 5 de janeiro de 2007.

BRASIL. Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei n. 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei n. 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei n. 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei n. 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados.** Brasília: DOU, 15 de julho de 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. Avanços e Desafios: **Política Nacional de Habitação.** Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PLANSAB: **Plano Nacional de Saneamento Básico.** Brasília, 2013.

BRASIL. Decreto n. 11.468, de 5 de abril de 2023. **Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério das Cidades e remaneja e transforma cargos em comissão e funções de confiança.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.468-de-5-de-abril-de-2023-475499746>. Acesso em: 17 set. 2023.

CARMO, I. Coronavírus – Defensoria recebe mais de 2.500 formulários sobre a falta de água e busca solução com a Embasa. **Diário Oficial Eletrônico da Defensoria Pública do Estado da Bahia.** Salvador, 22 de abr. de 2020. Disponível em: <https://www.defensoria.ba.def.br/noticias/coronavirus-defensoria-recebe-mais-de-2-500-formularios-sobre-a-falta-de-agua-e-busca-solucao-com-a-embasa/>. Acesso em: 17 mai. 2021.

CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. As “cidades” de Salvador. In: \_\_\_\_\_. (orgs.). **Como anda Salvador e sua região metropolitana** [online]. 2. ed. rev. Salvador: EDUFBA, 2008. p. 81-107. ISBN 85-232-0393-1. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 05 mai. 2020.

FERNANDES, Rosali Braga. Processos recentes de urbanização/segregação em Salvador: O Miolo, região popular e estratégica da cidade. **Revista bibliográfica de geografia y ciencias sociales.** Universidad de Barcelona, 2004.

FRANCO, A. M. A.; FERNANDES, A.; PATSIAS, C.; HERRMANN, J. D. Direito à cidade, desenvolvimento urbano e democracia participativa em Salvador (Bahia) e Montreal (Quebec). In: FERNANDES, Ana, CHAGAS, Maurício. (Org.). **O direito à cidade na França e no Brasil: uma nova agenda urbana? questões para um debate necessário e fecundo: diálogos França – Brasil.** 1.ed. Salvador: EDUFBA, 2018, v. 01, p. 203-232.

GORDILHO-SOUZA, A. M. Os desafios do habitar na metrópole atual – privatização seletiva e exclusividade a expansão urbana de Salvador. In: NASCIMENTO, J.; GAMA, H. (orgs.). **A urbanização de Salvador em três tempos – colônia, império e república.** Textos Críticos de História Urbana. Vol. 1. Salvador: Instituto Geográfico e Histórico da Bahia, 2011. p. 371-404.



IBGE. **Brasil/Bahia/Salvador. População no último censo [2022]**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/salvador/panorama>. Acesso em: 17 set. 2023.

IBGE. **Aglomerados Subnormais 2019: Classificação preliminar e informações de saúde para o enfrentamento à COVID**. Rio de Janeiro: IBGE/Diretoria de Geociências/Coordenação de Geografia e Meio Ambiente, 2020.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios. Resultados do universo. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd\\_2010\\_caracteristicas\\_populacao\\_domicilios.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf). Acesso em: 07 dez. 2018.

LAGO, P. C. do. **Participação popular e reforma urbana: da Constituinte ao Estatuto da Cidade**. 2010. 275f. Dissertação (Mestrado em Direito Político e Econômico) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010.

MAGALHÃES, M. A. S. **Planejamento urbano e saneamento básico: uma análise sobre a implementação das diretrizes de saneamento básico estabelecidas no PDDU 2016 de Salvador**. 2021. 152f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

MORAES, L. R. S. A intersetorialidade em saúde e saneamento e o controle social. In.: **Controle Social no Saneamento: perspectiva para uma cidade saudável**. Natal: ARSBAN, 2007. p.65-91.

MORAES, L. R. S. Plano Municipal de Saneamento Básico: Instrumento de Planejamento Participativo, Integrado e Sustentável. In: ZILLI, C. A. (org.). **A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade**. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, 2021. p. 41-57.

OLIVEIRA FILHO; SANTANA. A Tarifa Social nos serviços de água e esgotos na cidade do Salvador/BA. In. MORETTI, R. de S.; BRITTO, A. L. (org.). **ÁGUA COMO DIREITO: Tarifa Social como Estratégia para a Acessibilidade Econômica**. [recurso eletrônico]: 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital; Brasília [DF]: ONDAS - Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento, 2021. p. 196-214. disponível em: <https://ondasbrasil.org/wp-content/uploads/2021/03/%C3%81gua-como-Direito-Tarifa-Social-como-Estrat%C3%A9gia.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2021.

PAIM, J. S. **Reforma sanitária brasileira: contribuição para a compreensão e crítica** [online]. Salvador: EDUFBA; Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2008. 356 p. ISBN 978-85-7541-359-3. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/4ndgv>. Acesso em: 5 nov. 2021.

PAIM, J. S. Universalidade, integralidade e equidade. **Panorama Nacional do Saneamento Básico**. Caderno temático, v. 1. Brasília: Ministério das Cidades, 2011.

ROLNIK, R.; KLINK, J. Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: por que nossas cidades continuam tão precárias? **Novos estudos CEBRAP**, n. 89, p. 89-109, 2011.

SALVADOR. Lei n. 7.400, de 20 de fevereiro de 2008. **Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município do Salvador – PDDU 2007 e dá outras providências**. Salvador: DOM, 20 de fevereiro de 2007.

SALVADOR. Lei n. 9.069, de 30 de junho de 2016. **Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Salvador – PDDU 2016 e dá outras providências**. Salvador: DOM, 30 de junho de 2016.

VIEIRA DA SILVA, L. M.; ALMEIDA FILHO, N. Equidade em saúde: uma análise crítica de conceitos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, p. 217-226, 2009.

# ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA ELETROCOAGULAÇÃO: AVALIAÇÃO DOS CUSTOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE PARBOILIZAÇÃO DO ARROZ

*Data da submissão: 20/01/2024*

*Data de aceite: 26/01/2024*

### **Beatriz Regina Pedrotti Fabião**

IFSul - Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense,  
campus Pelotas, Programa de Pós-  
graduação em Engenharia e Ciências  
Ambientais  
Pelotas – RS  
<https://lattes.cnpq.br/7146797107160873>

### **Kátia Regina Lemos Castagno**

IFSul - Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense,  
campus Pelotas, Programa de Pós-  
graduação em Engenharia e Ciências  
Ambientais  
Pelotas – RS  
<http://lattes.cnpq.br/7177057188621855>

### **Michel David Gerber**

IFSul - Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense,  
campus Pelotas, Programa de Pós-  
graduação em Engenharia e Ciências  
Ambientais  
Pelotas – RS  
<http://lattes.cnpq.br/6666598600875774>

**RESUMO:** O aporte de contaminantes nos corpos hídricos acarreta uma série de alterações na qualidade das águas,

impactando negativamente esses ecossistemas e seu entorno. Nesse sentido é importante que as técnicas de tratamento de águas residuárias consigam ser eficientes, dada a ampla gama de contaminantes presentes. Ainda pouco empregada no Brasil, a Eletrocoagulação (EC) é uma técnica capaz de gerar “in situ” o agente coagulante, um processo que consiste em criar hidróxidos metálicos por eletrodissolução de ânodos solúveis, geralmente de ferro ou alumínio. À medida que o ânodo sofre corrosão, o cátion ativo é liberado para a solução, formando o hidróxido metálico insolúvel responsável pela coagulação. Ao mesmo tempo, no cátodo, são formadas microbolhas de hidrogênio promovendo a separação das partículas, por meio de flotação. A EC possui alta eficiência na remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, incluindo compostos recalcitrantes e metais pesados, é rápida e compacta. Contudo, a principal dificuldade para a sua popularização está nos custos operacionais, relacionados ao desgaste dos eletrodos e, principalmente, ao consumo de energia elétrica. Este trabalho avaliou os custos energéticos e de desgaste dos eletrodos no tratamento, por Eletrocoagulação, do efluente do processo

de parboilização do arroz. Os custos totais foram de R\$ 13,07 por m<sup>3</sup> de efluente tratado e de R\$ 7.842,00 por dia, levando-se em conta a vazão de lançamento diária de efluente tratado pela empresa.

**PALAVRAS-CHAVE:** tratamento eletroquímico; energia elétrica; eletrodos.

## ECONOMIC VIABILITY ANALYSIS IN ELECTROCOAGULATION: COST ASSESSMENT IN THE TREATMENT OF EFFLUENT FROM THE RICE PARBOILING PROCESS

**ABSTRACT:** The input of contaminants into water bodies causes a series of changes in water quality, negatively impacting these ecosystems and their surroundings. In this sense, it is important that wastewater treatment techniques be efficient, given the wide range of contaminants present. Still not widely used in Brazil, Electrocoagulation is a technique capable of generating the coagulating agent “in situ,” a process that involves the creation of metallic hydroxides through the electrodisolution of soluble anodes, usually made of iron or aluminum. As the anode corrodes, the active cation is released into the solution, forming the insoluble metallic hydroxide responsible for coagulation. At the same time, hydrogen microbubbles are formed at the cathode, promoting particle separation by flotation. It has high efficiency in removing organic and inorganic contaminants, including recalcitrant compounds and heavy metals, it is a fast and compact process. However, the main challenge in its popularization lies in operational costs, related to electrode wear and, especially, electricity consumption. This study evaluated the energy and electrode wear costs in the Electrocoagulation treatment of effluent from the rice parboiling process. The total costs (values for December 2024) were R\$ 13.07 per cubic meter of treated effluent and R\$ 7,842.00 per day, considering the daily flow of effluent treated by the company.

**KEYWORDS:** electrochemical treatment; electrical power; electrode.

## 1 | INTRODUÇÃO

O aporte de contaminantes, pelo despejo de águas residuárias, promove diversas alterações nos corpos receptores, principalmente a redução do teor de oxigênio dissolvido (OD), que é consumido nos processos de estabilização da matéria orgânica, a eutrofização causada pelo excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e transmissão de doenças por microrganismos patogênicos (ROSA, DALMOLIN, COPETTI, 2013). Os métodos tradicionais de tratamento de efluentes industriais incluem processos físico-químicos e biológicos.

Tratamentos biológicos são sistemas baseados na atividade metabólica dos microrganismos, sobretudo bactérias e algas, e conseguem uma alta eficiência na remoção da fração orgânica biodegradável (DBO<sub>5</sub>), mas não apresentam o mesmo desempenho frente a compostos de difícil biodegradabilidade, metais, e outros contaminantes como nitrogênio e fósforo (WIESNIESK, COSTA, 2012; ROSA, DALMOLIN, COPETTI, 2013; SAYANTHAN, THUSYANTHY, 2018; MALI et al., 2023).

Alternativa de tratamento, as técnicas eletroquímicas podem ser tecnologias promissoras para tratar efluentes por, entre outras vantagens, necessitar menor tempo de detenção e possibilitar a automatização dos processos (MENESES et al., 2012). São consideradas técnicas eletroquímicas: a Eletroxidação, a Eletrodeposição e a Eletrocoagulação.

Essas técnicas tem sido empregadas para remoção de nutrientes como fósforo e outros contaminantes inorgânicos e orgânicos, inclusive produtos farmacêuticos, e no tratamento de diversos tipos de efluentes, como de abatedouros de bovinos e aves e efluentes com presença elementos tóxicos, como metais pesados (KOPARAL, OUTVEREN, 2002; KOBAY, SENTURK, BAYRAMOGLU, 2006; ASSELIN et al., 2008; SIRÉS e BRILLAS, 2012; TRAN et al., 2012; OTOSSEN, KIRKELUND, JENSEN, 2013; NGUYEN, et al., 2016; HAMAWAND et al., 2017; HUANG, 2017; MÓDENES et al., 2017).

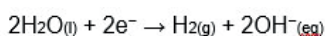
Embora seja um processo tão antigo quanto a eletricidade (KABDASH et al, 2012), e bastante utilizado no início do Século 19 (HOLT, BARTON, MITCHELL, 2005), no final dos anos 1930 a Eletrocoagulação (EC) foi substituída por coagulação química, devido ao alto custo da eletricidade naquele período (HAKIZINAMA et al, 2017). Com a popularização da energia elétrica, as vantagens da EC foram sendo “redescobertas” e, desde a década de 1990, vem sendo bastante utilizada na Europa (HAKIZINAMA et al, 2017).

Ainda incipiente no Brasil, a Eletrocoagulação é uma tecnologia promissora para tratamento de efluentes por, entre outras características, ser rápida e compacta, ter alta eficiência de remoção, inclusive para compostos coloidais, baixa geração de lodo e promover a desinfecção. Além disso, tem a vantagem de gerar o coagulante “in situ” pela dissolução dos ânodos, de ferro ou alumínio (WIMMER, 2007; ASSELIN et al., 2008; OTOSSEN, KIRKELUND, JENSEN, 2013; NGUYEN et al., 2014; NGUYEN et al., 2016; HUANG, 2017; YAVUZ, ÖGÜTVEREN 2018).

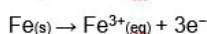
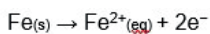
À medida que o ânodo sofre corrosão, o cátion ativo é liberado para a solução, formando espécies hidrolisadas e hidróxido metálico insolúvel, responsável pela formação de precipitado, enquanto que, no cátodo, são formadas microbolhas de hidrogênio que promovem a separação das partículas por meio de flotação (CHEN, 2004; TRAN et al., 2012; NGUYEN et al., 2016; HAMAWAND et al., 2017).

Para eletrodos de ferro, as principais reações envolvidas no processo de EC são (CHEN, 2004; GARCIA-SEGURAA et al., 2017):

No cátodo (dissociação da água):



No ânodo (corrosão do eletrodo):



Embora os custos de operação possam ser maiores, em comparação com a

coagulação química, a EC geralmente aparece como um processo ecológico e econômico (BENHADJI, AHMED, MAACHI, 2011; HAKIZINAMA et al, 2017; HUANG, 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os custos relacionados ao consumo de energia e de desgaste dos eletrodos, no tratamento de efluente de parboilização de arroz por técnica de Eletrocoagulação.

## 2 | METODOLOGIA

O efluente da parboilização utilizado neste trabalho foi cedido por uma empresa de beneficiamento de arroz da região de Pelotas – RS.

O tratamento por Eletrocoagulação foi realizado no laboratório de Eletroquímica do IFSul - Instituto Federal Sul-rio-grandense, campus Pelotas.

Os ajustes de pH foram realizados com adição de solução de hidróxido de sódio p.a. (MERCK), na concentração de 6 mol.L<sup>-1</sup>.

Os parâmetros Condutividade (Bel Engineering W12D) e pH (Mettler Toledo Seven Easy) foram determinados por medição direta e o desgaste dos eletrodos (ânodos) por gravimetria em balança analítica (ATX324R – Shimadzu).

### 2.1 TRATAMENTO POR ELETROCOAGULAÇÃO

O sistema de tratamento por EC foi composto por reservatório, reator eletroquímico e decantador, conforme a Figura 1. O reator com capacidade para 4,5 L, operou em fluxo contínuo com alimentação na parte inferior por bomba peristáltica (ProwTec, modelo DB 5000) e vazão de alimentação foi fixada em 125 mL.min<sup>-1</sup>, em função da capacidade da bomba utilizada.

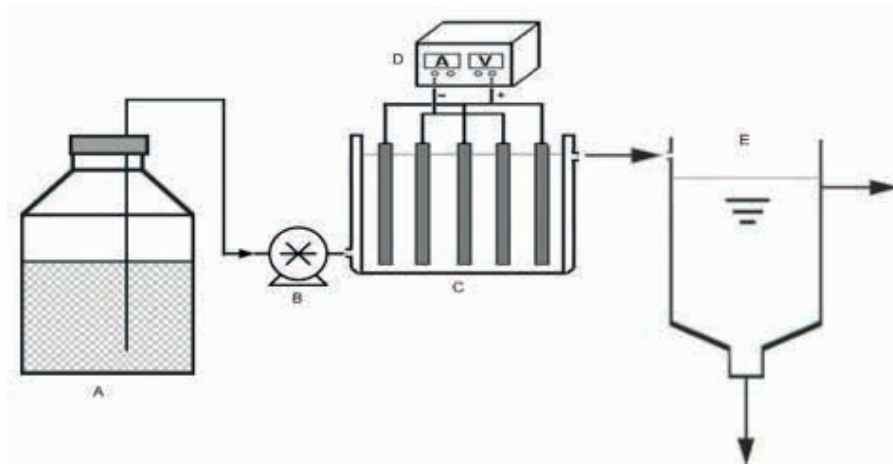


Figura 1. Sistema de Tratamento por Eletrocoagulação: A) tanque de alimentação; B) bomba peristáltica; C) reator eletroquímico; D) fonte geradora E) decantador. Fonte: Autora.

Os eletrodos foram obtidos a partir de chapa metálica da liga de ferro AISI 1020 com espessura de 2mm, cortada em placas medindo 22,0 cm x 6,0 cm, correspondendo a uma área de 200,4 cm<sup>2</sup> cada. A área total dos dois ânodos, onde ocorre o desgaste, foi de 0,04 m<sup>2</sup>. Os eletrodos foram fixados na forma de *colmeia*, composta por 5 placas, sendo 3 cátodos e 2 ânodos, espaçados em 1 cm, em arranjo monopolar, conforme demonstrado na Figura 2.

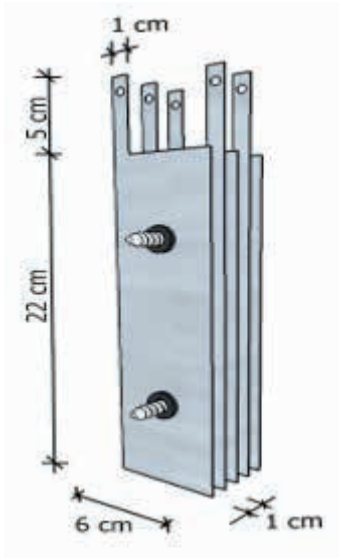


Figura 2: Colmeia constituída com eletrodos de ferro, sendo 3 cátodos e 2 ânodos

Fonte: Autora

As variáveis de influência na técnica de EC foram estudadas segundo modelo estatístico 2<sup>3</sup>, com triplicata no ponto central, onde se atribuiu os valores de influência para as variáveis representados na Tabela 1.

Variável	Nível baixo (-1)*	Nível médio (0)*	Nível alto (+1)*
(1) Tempo (min)	20	40	60
(2) Intensidade de corrente (A)	7	8	9
(3) pH inicial amostra	5,0	6,0	7,0

\*valores de influência atribuídos às variáveis para aplicação estatística

Tabela 1. Níveis baixo, médio e alto para as variáveis de influência na Eletrocoagulação

Foram realizados 11 experimentos com diferentes combinações de tempo de tratamento, intensidade de corrente e pH inicial, conforme a matriz desenvolvida para o planejamento do tratamento.

A avaliação de custos envolvidos, deste trabalho, considerou os dados obtidos para

o experimento de maior tempo de tratamento e maior consumo de eletrodos, com uma perda de massa dos ânodos de 4,95 e 4,89 %.

As condições de operação desse experimento foram: tempo de 60 minutos; intensidade de corrente de 9 A (6,2 v) e pH 7,0.

## 2.2 CUSTOS GERAIS DO TRATAMENTO

Os cálculos foram baseados nas fórmulas propostas por Crespilho e Rezende (2004) para o custo elétrico e de materiais, levando em conta os valores praticados pela concessionária de energia e o preço médio de chapa de ferro na região metropolitana de Porto Alegre - RS.

O Custo Total (CTO.m<sup>-3</sup>), foi obtido pela soma dos gastos com energia e consumo (desgaste) de eletrodos.

## 2.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A Resolução ANEEL nº 1.000 (BRASIL, 2021) instituiu a Tarifa Branca, que leva em consideração os diferentes momentos de consumo ao longo do dia: horário de ponta; horário intermediário e horário fora de ponta. É de adesão voluntária e, dependendo do seu momento de maior consumo, pode ser mais vantajoso o consumidor permanecer com a Tarifa Convencional.

Nos cálculos de custo do tratamento por EC foram considerados os valores da energia para o consumidor industrial em janeiro de 2024, para as duas modalidades de tarifa.

O custo elétrico (COE) é calculado com base na energia elétrica consumida durante o processo (kWh.m<sup>-3</sup> de efluente tratado) e no preço da energia elétrica (PEE em R\$.kWh), e expresso pela fórmula:

$$COE = \frac{V \cdot i \cdot t}{V_{ef}} PEE$$

Onde:

COE: custo elétrico em R\$.m<sup>-3</sup>

V: tensão aplicada (V)

i: intensidade de corrente (A)

t: tempo de tratamento (h)

V<sub>ef</sub>: volume efetivo total do efluente tratado (L)

PEE: custo da eletricidade industrial, em R\$.kWh



## 2.4 CONSUMO DE ELETRODOS

O custo dos materiais (CM) leva em conta a massa máxima possível de ferro, teoricamente dissolvida pelo ânodo, por m<sup>3</sup> de efluente tratado, a partir da fórmula:

$$CM = \frac{i t M}{n F V_{ef}} PME$$

Onde:

CM: custo dos materiais em R\$.m<sup>-3</sup>

i: intensidade da corrente elétrica (A)

t: tempo (s)

M: massa molar relativa do ferro (g.mol<sup>-1</sup>)

n: número de elétrons envolvidos na reação de oxidação/redução

F: constante de Faraday (96.500 C.mol<sup>-1</sup>)

V<sub>ef</sub>: volume efetivo total do efluente tratado (L)

PME: preço de material de eletrodo (R\$.g<sup>-1</sup>)

## 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 CONSUMO DE ELETRODOS

O quilo da chapa de aço 1020, na Região Metropolitana de Porto Alegre, variou entre 12 e 20 reais, valores referentes a novembro/dezembro de 2023. Foi considerado, então, um valor médio de R\$ 15,00 por Kg.

Custo de materiais por m<sup>3</sup> de efluente tratado :

$$CM = [(9,0 \times 3.600 \times 0,056) / (3 \times 96.500 \times 4,5)] \times 15 = \mathbf{0,02 \text{ R}\$.m^{-3}}$$

Considerando a vazão de lançamento diária de efluente tratado da empresa que é de 600 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>, têm-se:

$$CM = 0,02 \times 600 = \mathbf{12,00 \text{ R}\$.d^{-1}}$$

O adequado espaçamento entre os eletrodos evita a formação de resistência, o que tornaria necessário elevar a tensão de eletrólise, aumentando o consumo de energia (WANG et al., 2016).

### 3.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

No Rio Grande do Sul, a Tarifa Convencional para consumidor industrial é de R\$ 0,71881 kWh (dez 2023). Na Tarifa Branca, os valores são respectivamente: R\$ 1,57959; 1,00233 e 0,57547 por kWh (CEEE-EQUATORIAL, 2024).

Custos por m<sup>3</sup> de efluente pela Tarifa Convencional:

$$COE = [(6,2 \times 9,0 \times 1,0) / 4,5] \times 0,71881 = \mathbf{8,91 \text{ R}\$.m^{-3}}$$

Custos por m<sup>3</sup> de efluente pela Tarifa Branca (média das faixas):

$$\text{COE} = [(6,2 \times 9,0 \times 1,0) / 4,5] \times 1,05246 = \mathbf{13,05 \text{ R\$} \cdot \text{m}^{-3}}$$

Levando-se em conta a vazão de lançamento diária de efluente tratado pela empresa (600 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>), têm-se:

Custos diários pela Tarifa Convencional:  $8,91 \times 600 = \mathbf{5.346 \text{ R\$} \cdot \text{d}^{-1}}$

Custos diários pela Tarifa Branca (média):  $13,05 \times 600 = \mathbf{7.830,00 \text{ R\$} \cdot \text{d}^{-1}}$

O consumo energético do processo de EC foi de 12,4 kWh.m<sup>-3</sup> e é compatível com os encontrados por outros autores, que obtiveram eficiências de tratamento similares: 9,46 kWh.m<sup>-3</sup>, no tratamento de águas cinzas de efluente doméstico (BARIŞÇI, TURKAY, 2016) e 16 kWh.m<sup>-3</sup> para remoção de corante em efluente de indústria têxtil (KHEMILA et al., 2018).

A presença de substâncias recalcitrantes, como compostos fenólicos pode dificultar o tratamento de efluentes (MICHAELSEN et al., 2019). No tratamento de efluente sintético de alta carga orgânica (fenólico), o consumo de energia ficou entre 40 e 34 kWh.m<sup>-3</sup> indicando que os custos do tratamento por eletrocoagulação podem ser influenciados pela presença de compostos recalcitrantes, como são os compostos fenólicos, assim como as variáveis do processo de tratamento por EC, como pH e tipo/quantidade de eletrólito adicionado (FAJARDO et al., 2015).

### 3.3 CUSTOS TOTAIS

Considerando-se a situação mais onerosa (Tarifa Branca), os custos do tratamento por Eletrocoagulação do efluente gerado no processo de parboilização de arroz, foram:

Custo por m<sup>3</sup> de efluente tratado:

$$\text{CTO} = 13,05 + 0,02 = \mathbf{13,07 \text{ R\$} \cdot \text{m}^{-3}}$$

Custo pela vazão de lançamento diária de efluente tratado:

$$\text{CTO} = 7.830,00 + 12,00 = \mathbf{7.842,00 \text{ R\$} \cdot \text{d}^{-1}}$$

O aumento da concentração de sal (adição de eletrólitos) tem relação diretamente proporcional com a condutividade do meio e eleva a capacidade de tratamento, reduzindo custos. Porém, Nguyen e colaboradores (2016) salientam que isso acelerará a corrosão dos eletrodos, encurtando o ciclo de substituição. Ainda que o custo do desgaste de eletrodos não pese tanto quanto o da energia, toda interrupção em um processo produtivo sempre é inconveniente.

## 4 | CONCLUSÃO

Apesar da Eletrocoagulação ser um processo rápido e eficiente, os custos relacionados ao consumo de energia ainda podem se mostrar uma barreira para a popularização desse método de tratamento.

O emprego de células fotovoltaicas na geração de energia para o sistema vem

sendo estudado, e indica a viabilidade operacional através do uso de fontes alternativas, reduzindo os custos e contribuindo para a divulgação do processo de Eletrocoagulação (HUSSIN et al., 2017; KHEMILA et al., 2018).

Outra alternativa para reduzir custos são os tratamentos híbridos, que combinam técnicas eletroquímicas com sistemas biológicos, reduzindo o tempo de tratamento na EC, pela inclusão de um pré ou pós-tratamento biológico.

(AL-QODAH, AL-QUDAH, ASSIREY, 2019).

## REFERÊNCIAS

AL-QODAH, Z.; AL-QUDAH, Y.; ASSIREY, E. **Combined biological wastewater treatment with electrocoagulation as a post-polishing process: A review**. Separation Science and Technology, 1-19, 2019.

ASSELIN, M.; DROGUI, P.; BENMOUSSA, H.; BLAIS, J.F. **Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells**. Chemosphere v. 72, p. 1727– 1733, 2008.

BARIŞÇI, S.; TURKAY, O. **Domestic greywater treatment by electrocoagulation using hybrid electrode combinations**. Journal of Water Process Engineering, v. 10, p. -66, 2016.

BENHADJI, A.; AHMED, M. T.; MAACHI, R. **Electrocoagulation and effect of cathode materials on the removal of pollutants from tannery wastewater of Rouiba**. Desalination, v. 277, p. 128-134, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Brasília, 2011.

CEEE - GRUPO EQUATORIAL ENERGIA. Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>. Acesso em 19 jan 2024.

CHEN, G. **Electrochemical technologies in wastewater treatment**. Separation and Purification Technology, v. 38, p. 11-41, 2004.

CRESPILHO, F. N.; RESENDE, M. **Eletroflotação. Princípios e Aplicações**. São Paulo: RiMa Editora, 2004.

FAJARDO, A. S.; RODRIGUES, R. F.; MARTINS, R. C.; CASTRO, L. M.; QUINTA-FERREIRA, R. M. **Phenolic wastewaters treatment by electrocoagulation process using Zn anode**. Chemical Engineering Journal, v. 275, p. 331-341, 2015.

GARCIA-SEGURAA, S.; EIBANDA, M. M. S.; DE MELOA, J. V.; MARTÍNEZ-HUITLEA, C. A. **Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies**. Journal of Electroanalytical Chemistry, v. 801, p. 267-299, 2017.

HAKIZINAMA, J. N.; GOURICH, B.; CHAFI, M.; STIRIBA, Y.; VIAI, C.; DROGUI, P.; NAJA, J. **Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches**. Desalination, v. 404, p. 1-21, 2017.

HAMAWAND, I.; GHADOUANI, A.; BUNDSCHUH, J.; HAMAWAND, S.; AL JUBOORI, R. A.; CHAKRABARTY, S.; YUSAF, T. A **Critical Review on Processes and Energy Profile of the Australian Meat Processing Industry**. Energies, v. 10, p. 731. DOI: 10.3390/en10050731. 2017.

HOLT, P. K.; BARTON, G. W.; & MITCHELL, C. A. **The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology**. Chemosphere, v. 59, n. 3, p. 355-367, 2005.

HOSNI, A. Y. **Separating oil from oil-water emulsions by electroflotation technique**. Sep. Technol. v.6, p 9-17. 1996.

HUANG, H.; Zhang, D.; Zhao, Z.; Zhang, P.; Gao, F. **Comparison investigation on phosphate recovery from sludge anaerobic supernatant using the electrocoagulation process and chemical precipitation**. Journal of cleaner production, v. 141, p. 429-438, 2017.

HUSSIN, F.; ABNISA, F.; ISSABAYEVA, G.; AROUA, M. K. **Removal of lead by solarphotovoltaic electrocoagulation using novel perforated zinc electrode**. Journal of cleaner production, v. 147, p. 206-216, 2017.

KABDASH, I.; ARSLAN-ALATON I.; OLMEZ-HANC T.; TUNAY O. **Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review**. Environmental Technology Reviews, v. 1, n. 1, p. 2-45, 2012.

KHEMILA, B.; MERZOUK, B.; CHOUDER, A.; ZIDELKHIR, R.; LECLERC, J. P.; LAPICQUE, F. **Removal of a textile dye using photovoltaic electrocoagulation**. Sustainable Chemistry and Pharmacy, v. 7, p. 27-35, 2018.

KOBYA, M.; SENTURK, E.; BAYRAMOGLU, M. **Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation**. J. Hazard. Mater, v.133, p.172–176, 2006.

KOPARAL, A. S.; ÖĞÜTVEREN, Ü. B. **Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials, v. 89, n. 1, p. 83-94, 2002.

MALI, H.; SHAH, C.; RAGHUNANDAN. B. H.; PRAJAPATI, A. S.; PATEL, D. H.; TRIVEDI, U.; SUBRAMANIAN, R. B. **Organophosphate pesticides an emerging environmental contaminant: pollution, toxicity, bioremediation progress, and remaining challenges**. Journal of Environmental Sciences, v. 127, p. 234-250, 2023.

MENESES, J. M. de; VASCONCELOS, R. de F.; FERNANDES, T. de F.; ARAÚJO, G. T. de. **Treatment of biodiesel wastewater by electrocoagulation/flotation process: investigation of operational parameters**. Química Nova, v. 35, n. 2, p. 235-240, 2012.

MICHAELSEN, A.; LAUX, P.; DE SOUZA, T. D.; & OGRODOWSKI, C. S. **Estudo da reação fotocatalítica na degradação de compostos fenólicos em efluente**. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 10, p. 21284-21291, 2019.

MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; YASSUE, P. H.; PORTO, T. M.; THEODORO, P. S. **Aplicação da técnica de eletrocoagulação no tratamento de efluentes de abatedouro de aves.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 3, p. 571-578, 2017.

NGUYEN, D. D.; NGO, H. H.; GUO, W.; NGUYEN, T. T.; CHANG, S. W.; JANG, A.; YOON, Y. S. **Can electrocoagulation process be an appropriate technology for phosphorus removal from municipal wastewater?** Science of the Total Environment, v. 563, p. 549-556, 2016.

NGUYEN, D. D.; KIM, S. D.; YOON, Y. S. **Enhanced phosphorus and COD removals for retrofit of existing sewage treatment by electrocoagulation process with cylindrical aluminum electrodes.** Desalination and Water Treatment, v. 52, n. 13-15, p. 2388-2399, 2014.

OTOSSEN, L. M.; KIRKELUND, G. M.; JENSEN, P. E. **Extracting phosphorus from incinerated sewage sludge ash rich in iron or aluminum.** Chemosphere, v. 91, n. 7, p. 963-969, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.101>.

ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D.; COPETTI, A. C. C. **A poluição causada por aterros de resíduos sólidos urbanos sobre os recursos hídricos.** Revista Gaia Scientia, v. 7, n. 1, 2013.

SAYANTHAN, S.; THUSYANTHY, Y. **Rice parboiling and effluent treatment models; a review.** International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS), v. 4, n. 5, p. 17-23, 2018.

SIRÉS, I.; BRILLAS, E. **Remediation of water pollution caused by pharmaceutical residues based on electrochemical separation and degradation technologies: A review.** Environment International, v. 40, p. 212-229, 2012.

TRAN, N.; DROGUI, P.; BLAIS, J.-F.; MERCIER, G. **Phosphorus removal from spiked municipal wastewater using either electrochemical coagulation or chemical coagulation as tertiary treatment.** Sep. Purif. Technol., v. 95, p. 16-25, 2012.

WANG, S.; LI, F.; LIU, Z.; LIU, G. **Phosphorus removal from wastewater in Johkasou sewage treatment tank by electro-coagulation.** International Journal of Environmental Science and Development, v. 7, n. 11, p. 798, 2016.

WIESNIESKI, J. A.; COSTA, W. **Características dos sedimentos das lagoas de estabilização do aterro controlado do Botuquara, Ponta Grossa –PR, que levam à retenção de metais.** Ciência e Natura, v. 34, n. 1, 2012.

YAVUZ, Y.; ÖGÜTVEREN, Ü. B. **Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes.** Journal of environmental management, v. 207, p. 151-158, 2018.

# DEGRADAÇÃO DOS FÁRMACOS GEMFIBROZIL, HIDROCLOROTIAZIDA E NAPROXENO PELOS PROCESSOS DE FOTÓLISE UV-C, PEROXIDAÇÃO FOTOASSISTIDA, FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA E FOTO-FENTON MODIFICADO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO UBERABINHA, UBERLÂNDIA-MINAS GERAIS

Data de aceite: 26/01/2024

### Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Discente do curso de Engenharia Química da Universidade Santo Amaro (UNISA)  
Pós-doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU)  
Doutor em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU)  
<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>

**RESUMO:** A degradação da mistura dos fármacos gemfibrozil (GEM) hidroclorotiazida (HCTZ) e naproxeno (NAP) foi avaliada pelos processos de fotólise (UV-C), peroxidação fotoassistida ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ), fotocatálise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ ) e foto-Fenton modificado ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) em água de superfície (AS) – rio Uberabinha, Uberlândia. Inicialmente, foi avaliada a influência da fotólise em diferentes valores iniciais de pH (4,0; 6,2 e 7,0) com radiação UV-C, apresentando melhor eficiência em pH 6,2 (natural da água do Rio Uberabinha). Para o processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ , foi avaliada a influência da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (2,0; 4,0 e 6,0  $\text{mg L}^{-1}$ ), tendo sido obtida melhor eficiência de degradação com 4,0  $\text{mg L}^{-1}$  do oxidante após 30 min de irradiação. No processo  $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ , foi avaliada a influência da concentração de  $\text{TiO}_2$  (50, 100,

150 e 200  $\text{mg L}^{-1}$ ) e a da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (1,0; 3,0; 6,0 e 9,0  $\text{mg L}^{-1}$ ) obtendo-se melhor eficiência ao se empregar 150  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{TiO}_2$  e 6,0  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , atingindo 87% de degradação da mistura após 120 min de tratamento. Para o processo  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ , foi avaliada a influência da concentração de  $\text{FeOx}$  (18, 54 e 89  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), obtendo-se melhor resultado ao se empregar 54  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de  $\text{FeOx}$  na proporção molar de 1:9 de ferro/oxalato na presença de 4,0  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Sob tais condições experimentais, as concentrações dos compostos-alvo ficaram abaixo do limite de detecção (0,0033  $\mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e 0,01  $\mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) após 15 min de irradiação. O tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) para o processo  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  foi 5,2 vezes menor em relação ao processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  e 16,7 vezes menor em relação ao processo  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ . Além disso, apresentou o menor custo de tratamento por  $\text{m}^3$  de água contaminada. Assim, o processo foto-Fenton pode ser utilizado como alternativa de tratamento para a degradação desses contaminantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** foto-Fenton modificado; ferrioxalato; fotocatálise heterogênea; peroxidação fotoassistida; radiação.

# DEGRADATION OF THE DRUGS GEMFIBROZIL, HYDROCHLOROTHIAZIDE AND NAPROXEN BY THE PROCESSES OF UV-C PHOTOLYSIS, PHOTOASSISTED PEROXIDATION, HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS AND MODIFIED PHOTO-FENTON IN SURFACE WATERS OF THE UBERABINHA RIVER, UBERLÂNDIA-MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** The degradation of the mixture of the pharmaceutical drugs gemfibrozil (GEM) hydrochlorothiazide (HCTZ) and naproxen (NAP) by photolysis (UV-A and UV-C), photo-assisted peroxidation ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ), heterogeneous photocatalysis ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ ) and modified photo-Fenton ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) was evaluated in surface waters (SW, Uberabinha river, Uberlândia). Initially, the influence of different pH values (4.0, 6.2 and 7.0) on photolysis under UV-C radiation was evaluated, and better efficiency was obtained at pH 6.2 (natural pH of Uberabinha river surface water). For the  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  process, different  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations (2.0, 4.0 and 6.0  $\text{mg L}^{-1}$ ) were evaluated, and the best degradation efficiency was obtained using 4.0  $\text{mg L}^{-1}$  of the oxidant within 30 min of irradiation. In the  $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  process, the influence of different concentrations of  $\text{TiO}_2$  (50, 100, 150 e 200  $\text{mg L}^{-1}$ ) and  $\text{H}_2\text{O}_2$  (1.0; 3.0; 6.0 and 9.0  $\text{mg L}^{-1}$ ) were evaluated. The best efficiency was achieved using 150  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{TiO}_2$  and 6.0  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{H}_2\text{O}_2$ , which reached 87% degradation of the mixture after 120 min of treatment. For the  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  process, various FeOx concentrations (18, 54 and 89  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) were evaluated, and the best result was obtained using 54  $\mu\text{mol L}^{-1}$  of FeOx in a molar ratio of 1:9 iron/oxalate in the presence of 4.0  $\text{mg L}^{-1}$  of  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Under such conditions, concentrations of target compounds were below the detection limit (0.0033  $\mu\text{mol L}^{-1}$  for NAP and 0.01  $\mu\text{mol L}^{-1}$  for GEM and HCTZ) after 15 min of irradiation. Half-life time ( $t_{1/2}$ ) calculated for the  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  process was 5.2 times lower than that obtained for the  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  process, and 16.7 times lower than the  $t_{1/2}$  obtained for the  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  process. Thus, the photo-Fenton process can be used as an alternative treatment for the degradation of these contaminants.

**KEYWORDS:** modified photo-Fenton, ferrioxalate, heterogeneous photocatalysis; photo-assisted peroxidation; radiation.

## 1 | INTRODUÇÃO

O crescimento da economia global aliado ao aumento populacional tem sido apontado como precursor na expansão de atividades industriais e no aumento da produção agrícola. Essas atividades são as principais consumidoras de recursos hídricos e geram grande quantidade de resíduos, alguns dos quais com características recalcitrantes (SHUKLA et al., 2010). No entanto, a disposição e o tratamento inadequado desses resíduos geram impactos ambientais sobre o meio biótico e abiótico (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017).

Diferentes classes de compostos como fármacos, produtos de higiene pessoal, esteróides, hormônios, detergentes, pesticidas, plásticos, drogas ilícitas e metabólitos de degradação desses compostos têm sido detectados em estudos de monitoramento ambiental (BÖGER et al., 2021; LÓPEZ-GARCÍA et al., 2021) e fazem parte dos poluentes denominados de contaminantes de interesse emergente (CIE). Os CIE são substâncias

químicas de origem antrópica e natural, cuja ocorrência ou relevância no ambiente foi constatada a partir do início da década de 1990, com potencial ou real ameaça à saúde humana e/ou ambiente e que não possuem legislação que estabeleça tanto os padrões de potabilidade ou níveis de toxicidade seguro (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017; STARLING; AMORIM; LEÃO, 2019).

Existem várias fontes de entrada dos CIE em compartimentos aquáticos: (i) efluente doméstico e lançamento de efluentes contendo fármacos por indústrias farmacêuticas e hospitais, (ii) eliminação de medicamentos vencidos ou não consumidos, (iii) uso de fezes de animais como adubo para o solo e (iv) contaminação do solo, pela aplicação de lodos provenientes de estação de tratamento de esgoto a campos agrícolas, com posterior escoamento para águas superficiais (STARLING; AMORIM; LEÃO, 2019).

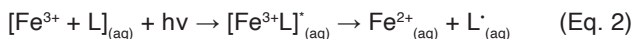
Em relação aos fármacos, vale ressaltar que muitos são lipossolúveis e apresentam baixa volatilidade e biodegradabilidade, que favorecem a sua bioacumulação e persistência no ambiente, contribuindo para o desencadeamento de alguns efeitos deletérios a biota aquática (BUENO et al., 2012). Dentre eles, destacam-se o gemfibrozil (GEM), a hidroclorotiazida (HCTZ) e o naproxeno (NAP) pelo fato de terem sido detectados em concentrações acima de  $1 \mu\text{g L}^{-1}$  em águas superficiais (CAHILL et al., 2012; DODGEN et al., 2017; MARSIK et al., 2017). Assim, é importante avaliar alternativas para a degradação desses compostos.

Uma das alternativas promissoras para remoção de CIE em matrizes aquosas são os processos de oxidação avançada (POA), que consistem na geração de radicais hidroxilas ( $\text{HO}^\bullet$ ) (BABUPONNUSAMI; MUTHUKUMAR, 2014) e sulfato ( $\text{SO}_4^{\bullet-}$ ) (MIRALLES-CUEVAS et al., 2019) que, devido aos altos valores de seus potenciais padrão de redução ( $E^\circ = +2,6\text{-}3,1\text{V}$ ), são capazes de oxidar e mineralizar uma diversificada classe de compostos orgânicos (MIRALLES-CUEVAS et al., 2019). Os POA são classificados em sistemas homogêneos ou heterogêneos e podem ocorrer na presença ou ausência da radiação.

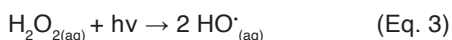
Neste trabalho, atenção especial é dada aos processos que envolvem a radiação para geração de radicais  $\text{HO}^\bullet$ , em específico os processos foto-Fenton modificado ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ), peroxidação foto-assistida ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ) e fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  e  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ). A principal desvantagem do processo Fenton (equação 1) é a sua faixa restrita de pH (2,5-3,0), pois, a precipitação de  $\text{Fe(III)}$  como hidróxidos insolúveis ocorre em pH acima de 3,0, diminuindo drasticamente a sua interação com o  $\text{H}_2\text{O}_2$  e, consequentemente, há baixa produção de radicais  $\text{HO}^\bullet$ . Por outro lado, em valores de pH abaixo de 2,5, apesar de as espécies de ferro permanecerem solúveis, a velocidade de degradação também diminui, devido aos íons  $\text{H}^+$  em altas concentrações atuarem como sequestradores de radicais  $\text{HO}^\bullet$  (LAL; GARG, 2017; PAIVA et al., 2018). Portanto, o processo foto-Fenton modificado ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) caracterizado pelo uso de ligantes orgânicos de  $\text{Fe(III)}$  (equação 2) como ferrioxalato ( $\text{FeOx}$ ), tem sido apontado como alternativa para superar a limitação referente ao pH no processo Fenton clássico. O uso desses ligantes



permitem aplicar o processo foto-Fenton em valores de pH próximos à neutralidade devido à geração de complexos orgânicos de Fe(III) solúveis e fotossensíveis (CLARIZIA et al., 2017).



A fotoperoxidação, um POA baseado na combinação da radiação UV-C com o  $\text{H}_2\text{O}_2$ , aumenta a eficiência de degradação quando comparado ao uso isolado de radiação UV-C devido à geração de radicais hidroxilas através da quebra homolítica de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (equação 3) (LEYVA et al., 2017; MONDAL; SAHA; SINHA, 2018).



Além disso, o  $\text{H}_2\text{O}_2$  é estável, solúvel em água e disponível comercialmente, o que torna o processo  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-C vantajoso em relação a outros POA e, não há formação de lodo no final do processo (MATAFONOVA; BATOEV, 2018).

Aliados aos outros POA, a fotocatalise heterogênea, um processo que consiste na excitação eletrônica de um óxido semiconductor, pela luz solar ou luz artificial, gera radicais  $\text{HO}^\bullet$  que são responsáveis pela oxidação da matéria orgânica (NEZAR; LAOUFI, 2018). Vários semicondutores podem ser utilizados na fotocatalise heterogênea, tais como:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CdS}$  e  $\text{TiO}_2$  (IBHADON; FITZPATRICK, 2013). Contudo, o  $\text{TiO}_2$  é o mais amplamente utilizado devido a algumas propriedades, entre as quais: (i) insolubilidade em água; (ii) fotoestabilidade e (iii) estabilidade química em uma ampla faixa de pH (6,5 a 8,0) (KHAKI et al., 2017). Como apenas 3-5% da radiação solar incidente na superfície da Terra corresponde à luz UV, o uso de  $\text{TiO}_2$  é limitado. Devido ao valor da sua energia de gap (+3,2 eV), o  $\text{TiO}_2$  precisa de radiação UV (300-400 nm) para se tornar fotoativado (DEWIL et al., 2017; MAZIVILA et al., 2019).

Vários trabalhos avaliando a degradação dos compostos-alvo em meio ácido pelo processo Fenton e foto-Fenton (GIMENO et al., 2016) em água desionizada e, em concentrações na ordem de  $\text{mg L}^{-1}$  por diferentes POA (PAN et al., 2018) foram publicados. Contudo, após revisão da literatura, observou-se uma escassez de trabalhos que reportassem estudos de degradação simultânea destes três fármacos em água de rio e em concentrações mais próximas as detectadas nessa matriz aquosa.

Assim, o presente estudo visa avaliar a degradação da mistura dos fármacos GEM, HCTZ e NAP em água superficial do rio Uberabinha por diferentes POAs ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-A,  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-C e  $\text{TiO}_2$ /UV-A) em condições mais próximas às reais e, comparar o potencial e a eficácia de cada processo avaliado como alternativa para a degradação deste tipo de poluente.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Reagentes

Todas as soluções foram preparadas em água desionizada e com reagentes de grau analítico. Os padrões de GEM, HCTZ e NAP com grau de pureza de 99% (m/m), foram adquiridos da Sigma-Aldrich. As análises cromatográficas foram realizadas em um HPLC-DAD, utilizando metanol grau HPLC-UV 99,9% (v/v). Os demais reagentes utilizados neste trabalho foram:  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30% v/v),  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Vetec);  $\text{C}_4\text{K}_2\text{O}_9\text{Ti} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Sigma-Aldrich  $\geq 90\%$  m/m);  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , 1,10-fenantrolina (Synth);  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – FeOx,  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (Panreac) e o  $\text{TiO}_2$  P-25 (Evonik Corporation).

### 2.2 Água superficial – rio Uberabinha

A matriz da água do rio Uberabinha (água bruta) foi coletada na Estação de Tratamento de Água (ETA Bom Jardim), a qual abastece a população de Uberlândia – Minas Gerais (Brasil). A coleta foi efetuada antes dos processos de tratamento e, as amostras foram armazenadas e mantidas sob refrigeração a 4 °C durante 3 semanas até a execução dos experimentos. Os parâmetros físico-químicos e biológicos foram fornecidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE).

### 2.3 Preparo da solução estoque da mistura dos fármacos

Preparou-se uma solução estoque dos fármacos (18 mmol L<sup>-1</sup>) em metanol grau HPLC. A partir dessa solução foi feita a fortificação na matriz real para resultar na concentração desejada dos compostos-alvo (1,8 µmol L<sup>-1</sup> de cada composto), a qual corresponde a concentrações comuns de 451 µg L<sup>-1</sup> de GEM, 536 µg L<sup>-1</sup> de HCTZ e 413 µg L<sup>-1</sup> de NAP.

### 2.4 Determinação da concentração dos fármacos HCTZ, NAP e GEM

A concentração da mistura de fármacos (GEM, HCTZ e NAP) foi determinada usando um cromatógrafo líquido Shimadzu – (LC-6AD), equipado com injetor automático (SIL-10AF) utilizando uma coluna C-18 fase reversa - Phenomenex (5 µm, 250 x 4,60 mm) e detector UV-DAD, SPD-M20A – Shimadzu. Em todos processos avaliados, os resultados de degradação foram apresentados em função das médias das concentrações normalizadas dos compostos-alvo em cada instante (equação 4).

$$C_{(t)} = \frac{C_{GEM(t)} + C_{HCTZ(t)} + C_{NAP(t)}}{3} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde,  $C_{(t)}$ : média das concentrações dos compostos-alvo em cada tempo de amostragem;  $C_{GEM(t)}$ ,  $C_{HCTZ(t)}$ ,  $C_{NAP(t)}$ : concentração normalizada, respectivamente, de GEM, HCTZ e NAP em cada tempo de amostragem.

A determinação da concentração dos compostos-alvo foi feita conforme metodologia descrita em Paiva et al. (2018). Os limites de detecção (LD) obtidos para cada composto foram  $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Processo UV-C

Antes da aplicação dos POA, foi avaliada a influência da fotólise direta usando a radiação UV-C em diferentes valores iniciais de pH (4,0; 6,2 e 7,0) (Figura 1). Neste processo, a solução contendo a mistura de fármacos foi irradiada durante 30 min, utilizando-se duas lâmpadas germicidas de 8 W.

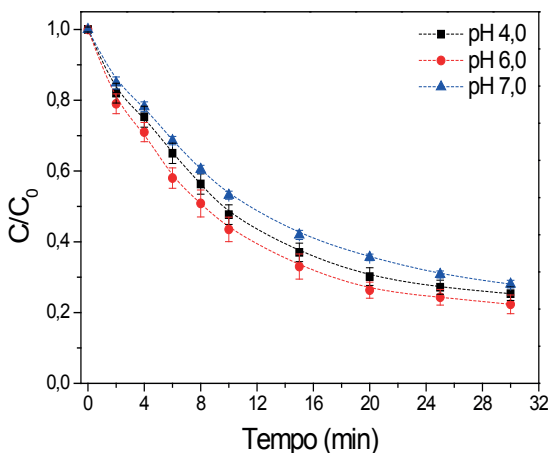


Figura 1: Influência do pH na degradação da mistura dos fármacos por fotólise UV-C. Condições iniciais:  $[GEM] = [HCTZ] = [NAP] = 1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

A Figura 1 mostra que os compostos-alvo são passíveis à fotodegradação na presença de radiação UV-C, sendo obtido 78% de degradação após 30 min de irradiação em pH 6,2 (natural da matriz). Além disso, não houve diferença significativa para os valores de pH avaliados (entre 4,0 e 7,0). Assim, os experimentos seguintes combinando  $\text{H}_2\text{O}_2$  foram feitos em pH natural dessa solução.

### 3.2 Processo $\text{H}_2\text{O}_2$ /UVC

A combinação da radiação UV-C com diferentes concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi avaliada (Figura 2). Houve uma melhora na eficiência de degradação da mistura dos fármacos na presença de  $\text{H}_2\text{O}_2$  devido à geração de radicais  $\text{HO}^\bullet$  através da quebra hemolítica de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (equação 3).

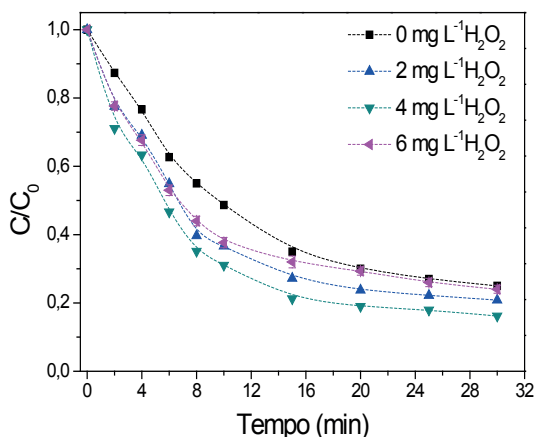


Figura 2: Influência da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  na degradação da mistura dos fármacos pelo processo  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV-C. Condições iniciais:  $[\text{GEM}] = [\text{HCTZ}] = [\text{NAP}] = 1,80 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $\text{pH} = 6,2$ .

O melhor resultado de degradação ocorreu com o emprego de  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ; uma eficiência máxima de 84% foi alcançada após 30 min de irradiação (Figura 2). Para a maior concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $6,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) avaliada ocorreu uma redução na degradação da mistura (Figura 2), a qual pode ser atribuída tanto a ocorrência de reações paralelas que atuam como sequestradores de radicais  $\text{HO}^\bullet$  (MONDAL; SAHA; SINHA, 2018), quanto por reações de recombinação entre estes radicais (LIU et al., 2016), levando a formação dos radicais hidroperoxila ( $\text{HO}_2^\bullet$ ) que, devido ao seu menor potencial padrão de redução (+1,42 V) quando comparado ao radical  $\text{HO}^\bullet$  (+2,80 V), diminuem a eficiência de degradação (LIU et al., 2016).

### 3.3 Processo $\text{TiO}_2$ /UV-A

A influência da concentração do catalisador  $\text{TiO}_2$  P-25 (50, 100, 150 e  $200 \text{ mg L}^{-1}$ ) na presença de radiação UV-A foi avaliada e comparada ao processo isolado UV-A (Figura 3).

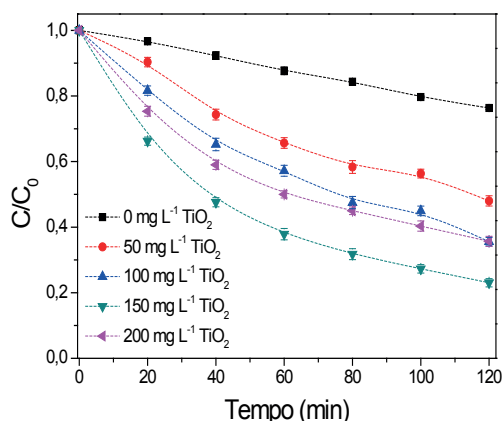


Figura 3: Influência da concentração de TiO<sub>2</sub> P-25 na degradação da mistura dos fármacos pelo processo TiO<sub>2</sub>/UV-A. Condições iniciais: [GEM] = [HCTZ] = [NAP] = 1,80 μmol L<sup>-1</sup> e pH 6,2.

A degradação da mistura dos fármacos foi de apenas 24% após 120 min de irradiação na presença isolada de irradiação UV-A (Figura 3). Por outro lado, um aumento expressivo na eficiência de degradação foi obtido ao combinar radiação UV-A com TiO<sub>2</sub> até uma concentração de 150 mg L<sup>-1</sup>, atingindo-se 67% de eficiência de degradação. Em concentrações maiores (200 mg L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>), houve uma redução na eficiência de degradação (Figura 3). Este comportamento pode ser atribuído à: (i) redução da quantidade de fotoenergia que é transferida para o meio em função da maior turbidez conferida pelas partículas do catalisador que possui um efeito inibidor sobre a penetração da luz, em função da diminuição da quantidade de fótons que serão efetivamente transferidos (KOLTSAKIDOU et al., 2017) e, (ii) agregação das partículas do catalisador em suspensão, diminuindo a área superficial que contém os sítios ativos (GOMES JÚNIOR et al., 2017).

O uso de diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> combinado ao processo TiO<sub>2</sub>/UV-A também foi avaliado (Figura 4).

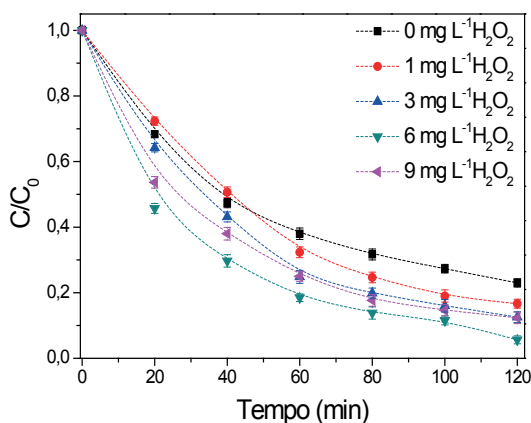


Figura 4: Influência da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na degradação da mistura dos fármacos pelo processo TiO<sub>2</sub>/UV-A. Condições iniciais: [GEM] = [HCTZ] = [NAP] = 1,80 μmol L<sup>-1</sup>; [TiO<sub>2</sub>] = 150 mg L<sup>-1</sup> e pH = 6,2.

Um aumento na eficiência de degradação da mistura dos fármacos foi observado ao se adicionar o oxidante H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, chegando a 94% com 6,0 mg L<sup>-1</sup> do oxidante (Figura 4). Na presença de 9,0 mg L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, houve uma redução na eficiência do processo (Figura 4). Isto pode ser atribuído ao excesso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que pode: (i) adsorver sobre a superfície do catalisador, ocasionando alterações tanto na superfície quanto em sua atividade catalítica; (ii) competir com os compostos-alvo e outras substâncias presentes na composição da matriz pelos radicais HO· ou (iii) reagir com os sítios de adsorção, ocasionando a diminuição na eficiência (NOSAKA; NOSAKA, 2017).

### 3.4 Processo foto-Fenton

A influência da concentração de FeOx (18, 54 e 89 μmol L<sup>-1</sup>), no processo foto-Fenton modificado na presença de uma concentração inicial de 4,0 mg L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e em pH natural dessa matriz (pH 6,2) foi avaliada (Figura 5).

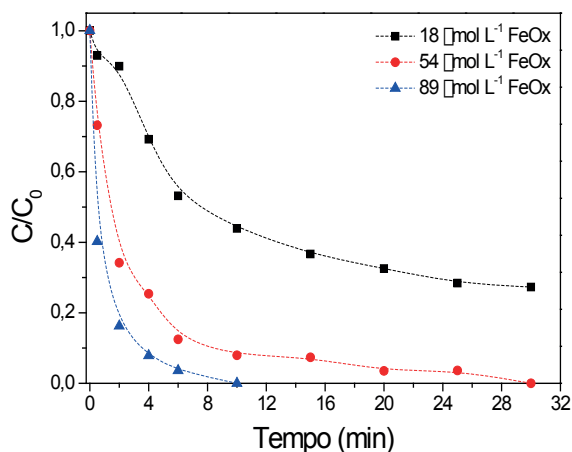


Figura 5: Efeito da concentração de FeOx na degradação da mistura dos fármacos pelo processo foto-Fenton modificado. Condição inicial: [GEM] = [HCTZ] = [NAP] =  $1,80 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  =  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$  e pH = 6,2.

O aumento da concentração de FeOx, de 18 para  $54 \mu\text{mol L}^{-1}$ , influenciou significativamente a cinética e a eficiência de degradação alcançando concentrações abaixo do LD ( $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) após 30 min de reação (Figura 5). Contudo, a melhor eficiência de degradação foi obtida ao se utilizar  $89 \mu\text{mol L}^{-1}$  de FeOx, pois as concentrações ficaram abaixo do LD ( $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) dos compostos-alvo após 10 min de irradiação. No entanto, a concentração de  $54 \mu\text{mol L}^{-1}$  foi escolhida para avaliar a influência da proporção ferro/ligante, representada como  $\text{Fe}^{3+}:\text{Ox}$ , na degradação da mistura dos fármacos, a fim de avaliar melhor a influência do excesso do oxalato (1:3; 1:6; 1:9 e 1:12) no perfil da cinética do decaimento da concentração dos fármacos (Figura 6).

Melhores resultados foram obtidos na proporção molar de  $\text{Fe}^{3+}:\text{Ox}$  de 1:9, visto que as concentrações dos compostos-alvos ficaram abaixo dos respectivos LD ( $0,0033 \mu\text{mol L}^{-1}$  para NAP e  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$  para GEM e HCTZ) após 15 min de reação. Por outro lado, na presença da maior proporção de  $\text{Fe}^{3+}:\text{Ox}$  (1:12), houve uma redução na degradação (Figura 6). Isso pode ser atribuído ao excesso do oxalato, o qual compete com os compostos-alvo pelos radicais  $\text{HO}^\bullet$  (CLARIZIA et al., 2017).

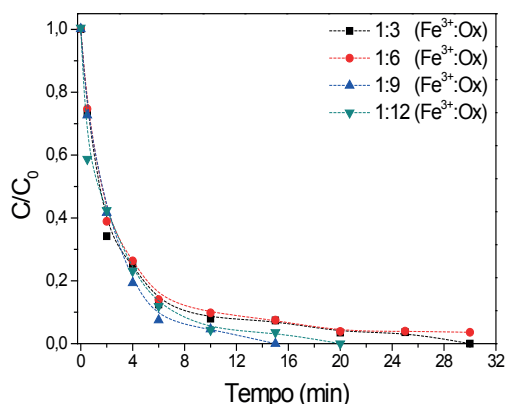


Figura 6: Influência da proporção molar  $\text{Fe}^{3+}$ : Ox na degradação da mistura dos fármacos. Condições iniciais:  $[\text{GEM}] = [\text{HCTZ}] = [\text{NAP}] = 1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $[\text{Fe}^{3+}] = 54 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}_2] = 4,0 \text{ mg L}^{-1}$ .

### 3.5 Estudos cinéticos

Os estudos cinéticos da mistura dos compostos-alvo foram feitos em condições otimizadas dos POA avaliados. Em todos os processos, o estudo sugeriu um modelo cinético de primeira ordem e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) foi calculado ajustando os dados por regressão linear a um modelo cinético de pseudo-primeira ordem. Os valores da constante cinética da reação ( $k$ ), o tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) são apresentados na Tabela 1.

Processos	$\text{FeOx}$ ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	$\text{TiO}_2$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$\text{H}_2\text{O}_2$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$t_{1/2}$ (min)	Custo (R\$)
$\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$	54	486	-	4	0,33	0,95	2,1	38
$\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$	-	-	150	6	0,020	0,92	35	1231
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$	-	-	-	4	0,062	0,95	11	54

Tabela 1. Parâmetros cinéticos obtidos durante a degradação da misturados fármacos por diferentes POA em condições otimizadas. Condições iniciais:  $[\text{GEM}] = [\text{HCTZ}] = [\text{NAP}] = 1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ ; pH 6,2.

Maiores valores de constantes de velocidade ( $k$ ) e menores valores de tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) foram obtidos usando o processo foto-Fenton ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) seguido de fotoperoxidação ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ) e fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ), Tabela 1. O  $t_{1/2}$  para o processo foto-Fenton foi 5,2 vezes menor em relação ao processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$  e 16,7 vezes menor em relação ao processo  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$  (Tabela 1). Além disso, apresentou o menor custo de tratamento por  $\text{m}^3$  (Tabela 1), considerando a redução da concentração inicial de cada composto em uma ordem de magnitude (BOLTON et al., 2001). Assim, o processo foto-Fenton pode ser utilizado como alternativa de tratamento para a degradação



desses contaminantes.

## 4 | CONCLUSÕES

A degradação da mistura dos fármacos GEM, HCTZ e NAP foi influenciada diretamente pela fotólise UV-C, fotoperoxidação ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ), fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  e  $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ) e foto-Fenton modificado ( $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ ), sendo obtido melhores resultados de degradação pelo processo  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ . Maiores valores de constante de velocidade e menores valores de tempo de meia-vida foram obtidos usando o processo  $\text{FeOx}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-A}$ . Além disso, este processo apresentou o menor custo de tratamento quando comparado aos outros POA avaliados, o que permite inferir que o processo foto-Fenton é uma alternativa viável de tratamento para a degradação desses contaminantes. Além disso, o uso de radiação solar pode ser aplicado e contribuir para reduzir o custo do tratamento.

## REFERÊNCIAS

- BABUPONNUSAMI, A.; MUTHUKUMAR, K. A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 557–572, 2014.
- BÖGER, B. et al. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistant bacteria in subtropical urban rivers in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 402, n. July 2020, p. 123448, 2021.
- BOLTON, J. R. et al. Figures-of-merit for the technical development and application of advanced oxidation technologies for both electric- and solar-driven systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 627–637, 2001.
- BUENO, M. J. M. et al. Occurrence and persistence of organic emerging contaminants and priority pollutants in five sewage treatment plants of Spain: Two years pilot survey monitoring. **Environmental Pollution**, v. 164, p. 267–273, 2012.
- CAHILL, M. G. et al. A critical evaluation of liquid chromatography with hybrid linear ion trap-Orbitrap mass spectrometry for the determination of acidic contaminants in wastewater effluents. **Journal of Chromatography A**, v. 1270, p. 88–95, 2012.
- CLARIZIA, L. et al. Applied Catalysis B : Environmental Homogeneous photo-Fenton processes at near neutral pH : A review. **Applied Catalysis B, Environmental**, v. 209, p. 358–371, 2017.
- DEWIL, R. et al. New perspectives for Advanced Oxidation Processes. **Journal of Environmental Management**, v. 195, p. 93–99, 2017.
- DODGEN, L. K. et al. Characterizing pharmaceutical, personal care product, and hormone contamination in a karst aquifer of southwestern Illinois, USA, using water quality and stream flow parameters. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 281–289, 2017.

GIMENO, O. et al. Removal of emerging contaminants from a primary effluent of municipal wastewater by means of sequential biological degradation-solar photocatalytic oxidation processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 290, p. 12–20, 2016.

GOMES JÚNIOR, O. et al. Optimization of fipronil degradation by heterogeneous photocatalysis: Identification of transformation products and toxicity assessment. **Water Research**, v. 110, p. 133–140, 2017.

IBHADON, A. O.; FITZPATRICK, P. Heterogeneous photocatalysis: Recent advances and applications. **Catalysts**, v. 3, n. 1, p. 189–218, 2013.

KHAKI, M. R. D. et al. Application of doped photocatalysts for organic pollutant degradation - A review. **Journal of Environmental Management**, v. 198, p. 78–94, 2017.

KOLTSAKIDOU, A. et al. Cytarabine degradation by simulated solar assisted photocatalysis using. **Chemical Engineering Journal**, v. 316, p. 823–831, 2017.

LAL, K.; GARG, A. Utilization of dissolved iron as catalyst during Fenton-like oxidation of pretreated pulping effluent. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 111, p. 766–774, 2017.

LEYVA, E. et al. A Review on Chemical Advanced Oxidation Processes for Pharmaceuticals with Paracetamol as a Model Compound. Reaction Conditions, Intermediates and Total Mechanism. **Current Organic Chemistry**, v. 22, n. 1, p. 2–17, 2017.

LIU, Y. et al. Degradation kinetics and mechanism of oxytetracycline by hydroxyl radical-based advanced oxidation processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 284, p. 1317–1327, 2016.

LÓPEZ-GARCÍA, E. et al. Drugs of abuse and their metabolites in river sediments: Analysis, occurrence in four Spanish river basins and environmental risk assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 401, n. April 2020, p. 123312, 2021.

MARSIK, P. et al. Non-steroidal anti-inflammatory drugs in the watercourses of Elbe basin in Czech Republic. **Chemosphere**, v. 171, p. 97–105, 2017.

MATAFONOVA, G.; BATOEV, V. Recent advances in application of UV light-emitting diodes for degrading organic pollutants in water through advanced oxidation processes: A review. **Water Research**, v. 132, p. 177–189, 2018.

MAZIVILA, S. J. et al. A review on advanced oxidation processes: From classical to new perspectives coupled to two- and multi-way calibration strategies to monitor degradation of contaminants in environmental samples. **Trends in Environmental Analytical Chemistry**, v. 24, p. 1–10, 2019.

MIRALLES-CUEVAS, S. et al. EDDS as complexing agent for enhancing solar advanced oxidation processes in natural water: Effect of iron species and different oxidants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 372, n. March 2018, p. 129–136, 2019.

MONDAL, S. K.; SAHA, A. K.; SINHA, A. Removal of ciprofloxacin using modified advanced oxidation processes: Kinetics, pathways and process optimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1203–1214, 2018.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094–1110, 2017.

NEZAR, S.; LAOUFI, N. A. Electron acceptors effect on photocatalytic degradation of metformin under sunlight irradiation. **Solar Energy**, v. 164, n. March, p. 267–275, 2018.

NOSAKA, Y.; NOSAKA, A. Y. Generation and Detection of Reactive Oxygen Species in Photocatalysis. **Chemical Reviews**, v. 117, n. 17, p. 11302–11336, 2017.

PAIVA, V. A. B. et al. Simultaneous degradation of pharmaceuticals by classic and modified photo-Fenton process. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, 2018.

PAN, M. et al. Environmental Science Emerging investigators series : comparative study of naproxen degradation by the UV / chlorine and. **Environmental Science: Water Research & Technology** n. 1, p. 1219–1230, 2018.

SHUKLA, P. et al. Adsorption and heterogeneous advanced oxidation of phenolic contaminants using Fe loaded mesoporous SBA-15 and  $H_2O_2$ . **Chemical Engineering Journal**, v. 164, n. 1, p. 255–260, 2010.

STARLING, M. C. V. M.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 372, n. April 2018, p. 17–36, 2019.

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA** - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), licenciado em Química (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba, licenciado em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única. Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e em Química Analítica pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo (FAMES) em 2024. Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a fevereiro de 2024) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de ETE. Atuou como Técnico de Laboratório/Química no Instituto Federal de Goiás (junho/2010 até janeiro/2022), instrutor de Formação no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) em Minas Gerais e Goiás e químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio (março/2023 a janeiro/2024). Atualmente, é professor concursado e lotado no Colégio Militar de Araguaína/TO e do Colégio Santa Cruz em Araguaína/TO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos;; (ii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iii) Aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2$ /UV C,  $TiO_2$ /UV-A e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (iv) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (v) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências da Natureza, em especial biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 70 e-books e publicou 40 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente dentre outras áreas afins.

## A

Abastecimento de água 13, 16, 17, 20, 23, 25, 26, 27, 30, 31, 34, 35, 39, 40, 42, 45

Agente coagulante 50

Aglomerados subnormais 30, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 48

Agricultura 1, 7, 8, 9, 10

Água contaminada 61

Água de superfície 61

Âodos 50, 52, 53, 54, 55

Áreas de Preservação Permanente – APP 2

Arroz 50, 51, 53, 57

## B

Biodiversidade 2, 5, 10

## C

Cátodos 54

Código Florestal 1, 2, 3, 10, 12

Compostos-alvo 61, 64, 65, 66, 69, 70, 71

Contaminantes de Interesse Emergente (CIE) 62

Contaminantes orgânicos 50

Conversão florestal 2

Corpos hídricos 50

## D

Desenvolvimento urbano 30, 33, 37, 48

## E

Econômica-financeira 13

Ecossistemas 50

Efluente 50, 51, 53, 55, 56, 57, 59, 63

Eletrocoagulação 50, 52, 53, 54, 57, 58, 60

Eletrodissolução 50

Eletrodos 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57

Eletroxidação 52

Energia elétrica 50, 51, 52, 55, 56, 58

Esgotamento sanitário 13, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 34, 35, 39,

40, 41, 42, 45

## F

Formação Florestal 1, 7

Fotocatálise heterogênea 61, 63, 64, 71, 72

Foto-Fenton modificado 61, 63, 69, 70, 72

Fotólise 61, 66, 72

## G

Gemfibrozil 61, 62, 63

Geoprocessamento 2, 4

## H

Hidroclorotiazida 61, 63

## I

Impactos ambientais 27, 62

## M

Meio ambiente 2, 12, 13, 30, 48, 75

Monitoramento ambiental 62

## N

Naproxeno 61, 63

## O

Oxidante 61, 69

## P

Pancas 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10

Parboilização 50, 51, 53, 57

Parcerias Público-Privadas (PPP) 16

Pastagens 1, 5, 8, 9, 10

Peroxidação fotoassistida 61

Plano diretor de desenvolvimento urbano 30, 37, 48

Plataforma do Projeto Mapbiomas 1, 6

Políticas públicas 31, 32, 35, 43

Problemas socioambientais 30

Processos de Oxidação Avançada (POA) 63

## R

Radiação 61, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 75

Recalcitrantes 50, 57, 62

Recursos hídricos 1, 2, 6, 8, 10, 27, 32, 47, 60, 62

Relevo 3, 5, 9

Resíduos 17, 30, 31, 39, 40, 41, 44, 46, 60, 62, 75

Rio Uberabinha 61

## S

Saneamento básico 1, 15, 16, 17, 18, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Sensoriamento remoto 4, 11, 12


Serviços públicos 13, 14, 16, 17, 18, 20, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 39, 43, 44, 45, 46, 47


## T


Técnicas eletroquímicas 52, 58


# ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

conceitos fundamentais  
e aplicações práticas 2

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

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

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


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


 **Atena**  
Editora  
Ano 2024





# ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

conceitos fundamentais  
e aplicações práticas 2

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

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

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

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

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024