



ACESSO ABERTO

Data de Recebimento:

30/06/2022

Data de Aceite:

14/09/2022

Data de Publicação:

16/09/2022

***Autor correspondente:**Paulo Ricardo Conceição
Marques.paricomar2@gmail.com**Citação:**MARQUES, P. R. C. et al.
Contribuições da epidemiologia
baseada em águas residuais para
vigilância em saúde pública.**Revista Multidisciplinar em
Saúde**, v. 3, n. 3, 2022. [https://
doi.org/10.51161/rem/3487](https://doi.org/10.51161/rem/3487)**CONTRIBUIÇÕES DA EPIDEMIOLOGIA BASEADA EM
ÁGUAS RESIDUAIS PARA VIGILÂNCIA EM SAÚDE
PÚBLICA**Paulo Ricardo Conceição Marques ^{1,*}, Silvio Santana Dolabella ^{1,2}, Sona Jain ³, Ana
Andréa Teixeira Barbosa ^{1,2}.¹ Programa de Pós-Graduação em Biologia Parasitária, Universidade Federal de Sergipe
- UFS. Avenida Marechal Rondon Jardim, s/n - Rosa Elze, São Cristóvão – SE, Brasil,
49100-000.² Departamento de Morfologia, Universidade Federal de Sergipe - UFS. Avenida
Marechal Rondon Jardim, s/n - Rosa Elze, São Cristóvão – SE, Brasil, 49100-000.³ Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial, Universidade Tiradentes -
UNIT. Avenida Murilo Dantas, 300 - Farolândia, Aracaju – SE, Brasil, 49032-490.**RESUMO**

Introdução: A vigilância em saúde planeja e executa ações que visam a eliminação, controle e prevenção dos riscos à saúde dos cidadãos. Neste contexto, a epidemiologia baseada em águas residuais promete revolucionar as técnicas de monitoramento de doenças através da detecção de biomarcadores em amostras de esgotos, o que norteará decisões e intervenções imediatas de prevenção, controle e tratamento a serem implementadas pelos órgãos de saúde. **Objetivo:** Identificar e discutir as vantagens, desafios e contribuições da epidemiologia baseada em águas residuais no monitoramento de doenças e orientação das ações de vigilância em saúde pública. **Métodos:** Através da análise pormenorizada de artigos científicos, com informações relevantes sobre entrelaces da epidemiologia baseada em águas residuais e a vigilância em saúde, obtivemos uma ideia precisa sobre o estado atual dos conhecimentos, lacunas e contribuições para o desenvolvimento científico dessa abordagem epidemiológica. **Resultados:** A análise de biomarcadores presentes na excreção humana tem proporcionado a obtenção de informações sobre estimativas populacionais, alertas precoces de surtos de doenças infecciosas como a covid-19, consumo de medicamentos e drogas, adesão às terapias farmacológicas prescritas, resistência antimicrobiana, exposição a substâncias tóxicas e poluentes, segurança alimentar e rastreamento de câncer na população. **Conclusão:** Apesar dessa abordagem avaliar as condições de vida e saúde da população de forma rápida, econômica, padronizada e eficiente, a sua expansão e inserção aos programas de vigilância, principalmente em países em desenvolvimento, depende de investimentos que garantam a universalização do saneamento básico, desenvolvimento e aplicação de novos biomarcadores no monitoramento de águas residuais e profissionais capacitados.

DOI: 10.51161/rem/3487
Editora IME© 2022.
Todos os direitos reservados.**Palavras-chave:** Saúde pública; Águas residuais; Biomarcadores;
Epidemiologia; Vigilância.

ABSTRACT

Introduction: Health surveillance plans and executes actions aimed at eliminating, controlling and preventing risks to citizens' health. In this context, wastewater-based epidemiology promises to revolutionize disease monitoring techniques through the detection of biomarkers in sewage samples, which will guide decisions and immediate prevention, control and treatment interventions to be implemented by health agencies. **Objective:** To identify and discuss the advantages, challenges and contributions of wastewater-based epidemiology in monitoring diseases and guiding public health surveillance actions. **Methods:** Through the detailed analysis of scientific articles, with relevant information on the intertwining of wastewater-based epidemiology and health surveillance, we obtained a precise idea of the current state of knowledge, gaps and contributions to the scientific development of this epidemiological approach. **Results:** The analysis of biomarkers present in human excretion has provided information on population estimates, early warnings of outbreaks of infectious diseases such as covid-19, consumption of medicines and drugs, adherence to prescribed pharmacological therapies, antimicrobial resistance, exposure to toxic substances and pollutants, food safety and cancer screening in the population. **Conclusion:** Although this approach assesses the population's living and health conditions in a fast, economical, standardized and efficient way, its expansion and insertion into surveillance programs, especially in developing countries, depends on investments that guarantee the universalization of basic sanitation, development and application of new biomarkers in wastewater monitoring and trained professionals.

Keywords: Public health; Wastewater; Biomarkers; Epidemiology; Surveillance.

1 INTRODUÇÃO

A vigilância em saúde, por seu caráter abrangente, compreende a vigilância epidemiológica, ambiental, sanitária e a saúde do trabalhador. É responsável pelo planejamento e execução de ações que objetivam eliminar, controlar, diminuir e prevenir riscos à saúde dos cidadãos. Para tanto, utiliza conhecimentos de diversas áreas como política, planejamento, territorialização, epidemiologia, vulnerabilidade social, condições de trabalho e saúde ambiental (FIOCRUZ, 2021).

Os serviços de saneamento básico são imprescindíveis para o desenvolvimento do país porque, simultaneamente, preservam o meio ambiente e melhoram a qualidade de vida da população. Porém, apesar da ausência destes impactarem diretamente no trabalho, educação e saúde, milhões de brasileiros continuam sem acesso à água tratada de qualidade e à coleta e tratamento de esgoto, tornando ainda mais distante o cumprimento do princípio fundamental de universalização do acesso a estes serviços (SOUZA *et al.*, 2021).

Simultaneamente, a epidemiologia baseada em águas residuais assevera revolucionar o monitoramento de doenças transmissíveis e não transmissíveis, através do rastreamento e quantificação de biomarcadores e marcadores químicos presentes em amostras de esgotos, fornecendo um sistema de detecção e alerta que norteará ações eficazes de prevenção, controle e tratamento de enfermidades, a serem implementadas pelos governos através dos órgãos de vigilância em saúde (YANG *et al.*, 2017).

Quando comparada aos programas de vigilância clínica, nos quais é analisado um grande número de amostras obtidas diretamente de humanos e, por isso, são dependentes de amplos recursos e considerável infraestrutura, a epidemiologia baseada em águas residuais apresenta, dentre outras vantagens, a facilidade de obtenção e análise de amostras anônimas de milhares de indivíduos, ao mesmo tempo que reduz a amostragem, tempo e custos de análises (GRACIA-LOR *et al.*, 2017; HENDRIKSEN *et al.*, 2019;

HUTINEL *et al.*, 2019).

Exemplo disso é a atual pandemia de covid-19, causada pelo vírus denominado de coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2), na qual, a epidemiologia baseada em águas residuais foi evidenciada por ser uma poderosa ferramenta de monitoramento, capaz de analisar diversos biomarcadores em amostras comunitárias de águas residuais brutas em tempo real e a nível local, fornecendo informações essenciais em tempo real para nortear decisões e intervenções imediatas (MAO *et al.*, 2021).

Entretanto, um dos entraves desta ferramenta é a obtenção de estimativas precisas sobre o consumo e exposição da população as substâncias tóxicas e patógenos, principalmente em grandes cidades densamente povoadas e com alta mobilidade populacional (ZHANG *et al.*, 2019).

Apesar disso, pesquisas de biomarcadores específicos e o desenvolvimento de biossensores apropriados permitiram que a aplicação da epidemiologia do esgoto estimasse o consumo de medicamentos e drogas ilícitas, além de ter sido empregada na vigilância de patógenos virais e bacterianos (MAIDA *et al.*, 2017; MEDEMA *et al.*, 2020).

No que diz respeito à resistência a antibióticos, vários estudos com cepas bacterianas e genes de resistência antimicrobiana, isolados de amostras de esgoto, já foram publicados indicando as estações de tratamento de esgoto como principais reservatórios (HUIJBERS; LARSSON; FLACH, 2020; HUTINEL *et al.*, 2019; PÄRNÄNEN *et al.*, 2019; TUROLLA *et al.*, 2018).

Considerando a importância dessa abordagem na atualidade, este trabalho é uma revisão narrativa de literatura acerca das produções científicas publicadas recentemente, com o objetivo de apresentar e discutir as contribuições da epidemiologia baseada em águas residuais para a vigilância em saúde pública, destacando as suas vantagens e desafios, a fim de promover discussões, divulgar conhecimentos e preencher possíveis lacunas que servirão de base para a formulação e execução de políticas que visem a expansão da inserção dessa ferramenta epidemiológica complementar aos programas de vigilância em saúde.

Neste estudo são abordados temas como saneamento básico e seus impactos na saúde humana e ambiental; as vantagens, desafios e contribuições da epidemiologia baseada em águas residuais na detecção de agentes químicos e biológicos que comprometem a saúde da população; características dos biomarcadores e biossensores adequados para esse tipo de amostra; além das perspectivas sobre como o monitoramento comunitário de doenças, através desta abordagem epidemiológica, poderá auxiliar os programas de vigilância no planejamento e execução de ações em saúde pública, principalmente em regiões com escassez de recursos.

2 METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma pesquisa qualitativa de revisão narrativa de literatura que, segundo Brum *et al.* (2015), é apropriada para descrever e discutir o desenvolvimento de um determinado assunto sob o ponto de vista teórico ou contextual, mediante análise e interpretação da produção científica existente, proporcionando uma visão geral do tema e possibilitando a identificação das lacunas a serem preenchidas por novas pesquisas.

A operacionalização deste tipo de pesquisa ocorre através de uma análise ampla da literatura publicada sem estabelecer uma metodologia rigorosa e replicável para a reprodução de dados específicos (VOSGERAU; ROMANOWSKI, 2014), sendo o produto final constituído pela descrição, interpretação, análise crítica e discussão teórico-reflexiva, pelo autor, dos estudos já produzidos, permitindo ao leitor

adquirir e atualizar o conhecimento a respeito de um assunto relevante e atual em curto espaço de tempo e de forma clara e objetiva (ROTHER *et al.*, 2007).

Tendo em vista as contribuições da epidemiologia baseada em águas residuais para a vigilância em saúde pública como questão norteadora desta investigação, foram eleitos os seguintes descritores: epidemiologia, águas residuais, vigilância sanitária, saneamento, saúde pública, esgoto e biomarcadores humanos, utilizados também na língua inglesa e cruzados entre si, que possibilitaram uma varredura de artigos científicos, avaliados por pares de pesquisadores, nas bases de dados da Literatura Internacional em Ciências da Saúde (MEDLINE), Portal Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Scientific Electronic Library (SCIELO), Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS). As pesquisas bibliográficas foram realizadas entre abril de 2021 e março de 2022, tendo como período de referência os últimos 20 anos.

Inicialmente, foram encontradas 238 produções científicas através dos descritores eleitos. Destas, selecionou-se 67 artigos científicos que atendiam aos critérios de inclusão: artigos online, gratuitos, disponíveis integralmente na língua portuguesa ou inglesa e com o recorte temporal de 2012 a 2022. Posteriormente, a seleção dos artigos foi realizada pela leitura dos resumos considerando os seguintes critérios de exclusão: artigos que não respondiam à questão norteadora ou os que tratavam parcialmente sobre o assunto. Após o refinamento, 28 estudos foram incluídos nesta revisão narrativa de literatura.

Os dados obtidos foram analisados por meio da análise temática que, segundo Minayo (2007), é definida como a descoberta dos núcleos de sentidos através de um método interpretativo de análise de dados que compreende as etapas de ordenação dos dados, classificação com a formulação de categorias para a compreensão do texto e o tratamento e interpretação dos resultados obtidos que se articulam ao referencial teórico para responder à questão norteadora.

A partir desta análise, identificamos quatro núcleos temáticos nos quais as publicações foram agrupadas: Saneamento básico e saúde pública no Brasil; Vantagens e desafios da epidemiologia baseada em águas residuais; Contribuições da epidemiologia baseada em águas residuais para a vigilância em saúde, e Vigilância em saúde pública através de águas residuais.

3 RESULTADOS

3.1 SANEAMENTO BÁSICO E SAÚDE PÚBLICA NO BRASIL

A lei n. 11.445/2007, alterada pela lei n. 14.026/2020, define o saneamento básico como um conjunto integrado de serviços, infraestruturas e instalações relacionadas ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais. Ainda estabelece, como um dos princípios básicos da política federal do saneamento básico, a universalização do acesso e efetiva prestação destes serviços, mediante a garantia da conservação dos recursos naturais e proteção do meio ambiente (BRASIL, 2007, 2020).

A Constituição Federal de 1988 considera o saneamento básico como direito fundamental de seus cidadãos, sendo condição essencial para a qualidade de vida. Nesse sentido, o artigo 196 estabelece que “A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação” (BRASIL, 1988, p.118), enquanto que o artigo 200 determina que “Ao sistema único de saúde compete, além de outras atribuições, nos termos da lei: [...]

IV - participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico” (BRASIL, 1988, p.120).

Complementarmente, a lei n. 8.080/90, também conhecida como a lei orgânica do SUS (Sistema Único de Saúde), a qual “dispõe sobre as condições para promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços”, traz o saneamento básico como um dos determinantes e condicionantes da saúde (BRASIL, 1990).

O saneamento básico, enquanto política pública socioambiental, compreende ações voltadas à melhoria da qualidade do ambiente no qual as pessoas vivem, sendo impossível dissociar a saúde pública desse tema. Além disso, os serviços de saneamento possuem uma relação direta com a economia à medida que geram emprego e renda através da execução de obras de médio e grande porte, reduzem o número de pessoas doentes e, conseqüentemente, as despesas com saúde pública, minimizam ausências ao trabalho e escola por doenças que poderiam ser evitadas e ainda valorizam os espaços urbanos devido à implantação da infraestrutura de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Por fim, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), cada R\$ 1,00 (um real) aplicado em saneamento básico gera economia de R\$ 4,00 (quatro reais) nos serviços de saúde pública (SILVEIRA, 2019).

Nesse contexto, dentre as doenças causadas pela ausência na prestação do serviço de esgotamento sanitário destacam-se a febre tifoide, geohelmintíases, cólera e esquistossomose, cujas transmissões poderiam ser evitadas através do abastecimento regular de água de qualidade, práticas de educação sanitária, construção de banheiros nas residências, tratamento do esgoto doméstico antes do lançamento no meio ambiente, diagnóstico e tratamento dos doentes. No entanto, observa-se baixos investimentos no setor e políticas públicas ineficientes na área de saneamento, principalmente nas regiões com população mais vulnerável (JORDÃO; PESSÔA, 2017).

Outro agravante é o despejo de esgotos sem tratamento nos rios, prática comum no país, poluindo mananciais e limitando o uso dessas águas. Conseqüentemente, reduz a qualidade de vida através da maior incidência de doenças de veiculação hídrica, aumenta a mortalidade e reduz a expectativa de vida, além do acréscimo nas despesas para o tratamento de doenças evitáveis e custos de tratamento de água para abastecimento. Apesar disso, a implantação de uma infraestrutura de esgotamento sanitário representa um grande desafio para o Brasil, pois requer altos investimentos financeiros atrelados à garantia de qualidade de vida à população e ao meio ambiente por meio da preservação dos corpos hídricos (CONCEIÇÃO *et al.*, 2019).

3.2 VANTAGENS E DESAFIOS DA EPIDEMIOLOGIA BASEADA EM ÁGUAS RESIDUAIS

A epidemiologia baseada em águas residuais sugere que as análises de amostras de esgoto têm potencial para servirem como um recurso eficiente na complementação da vigilância clínica, permitindo o monitoramento abrangente e em tempo real de doenças infecciosas, a disseminação de bactérias resistentes e genes de resistência, exposição da população a poluentes, consumo de fármacos e drogas ilícitas (HUTINEL *et al.*, 2019; SIMS; KASPRZYK-HORDERN, 2020).

Segundo Gracia-Lor *et al.* (2018, p. 10224), “A análise de águas residuais urbanas pode ser melhor descrita como um teste de urina em grande escala, já que as águas residuais coletivas de uma cidade reúnem

amostras anônimas de urina de milhares de indivíduos.” Consideram essa abordagem epidemiológica promissora porque, ao mesmo tempo que reduz a amostragem, tempo e custos de análises, monitora, simultaneamente, milhares de indivíduos gerando dados sobre o perfil de consumo e exposição a um determinado produto químico ou patógeno a nível populacional.

Apresenta, ainda, algumas vantagens adicionais em comparação com a vigilância clínica, na qual as amostras são obtidas diretamente de humanos. Dentre os benefícios, pode-se citar a facilidade de obtenção e análise das amostras sem preocupações éticas e o fornecimento de material de amostragem da população saudável, que de outra forma não seria viável monitorar (HENDRIKSEN *et al.*, 2019).

Hart e Halden (2020, p.7) estimaram que essa abordagem epidemiológica pode atingir, atualmente, cerca de 2,1 bilhões de pessoas em todo o mundo, cujas residências estejam conectadas a uma das aproximadamente 105.600 estações de tratamento de esgotos operadas globalmente e fizeram considerações sobre os custos e aplicabilidade dos testes aplicados pela epidemiologia baseada em águas residuais em detrimento dos testes clínicos:

“Mesmo em países como a Alemanha, onde a capacidade de teste é a mais alta na Europa [...], quase 3 meses de testes ininterruptos seriam necessários para avaliar o estado de infecção de toda a população de 83 milhões apenas uma vez. Isso implica que a triagem abrangente da população de uma nação usando kits de teste individuais não é apenas cara [...], mas também impraticavelmente lenta [...]. Em contraste, todas as 9636 estações de tratamento de águas residuais da Alemanha poderiam ser facilmente amostradas e analisadas dentro de 24 a 48h [...]. Nesse caso, o custo dos reagentes de vigilância constituiria apenas 0,014% dos necessários para o teste clínico de indivíduos. Isso implica que testar as águas residuais desta nação milhões de vezes ainda seria mais barato do que uma única triagem de todas as pessoas individualmente”.

Logo, informações relevantes sobre as condições de saúde pública podem ser obtidas a partir da análise química de biomarcadores presentes na excreção humana, desde que critérios específicos sejam seguidos para selecioná-los adequadamente de acordo com os dados farmacocinéticos de estabilidade destes, tanto na urina quanto em águas residuais brutas, fornecendo estimativas sobre o tamanho da população, estilo de vida, consumo de medicamentos, drogas ilícitas e exposição da população a substâncias tóxicas presentes no ambiente e alimentos (GRACIA-LOR *et al.*, 2017).

Outrossim, os biossensores são ferramentas eficazes no rastreamento de biomarcadores, através de receptores biológicos como aptâmeros e anticorpos que se expressam por meio de sinais ópticos e eletroquímicos. Eles são vantajosos por apresentarem respostas rápidas, baixo custo e facilidade de execução dos testes em campo, além da alta sensibilidade e seletividade de detecção em águas residuais brutas. Para tanto, um biomarcador adequado deve ser estável, exclusivo da excreção humana, com perfil definido de excreção e livre de interferências, quantificável neste tipo de amostra e não ser adsorvido pela matéria suspensa (GRACIA-LOR *et al.*, 2018).

Dentre os biomarcadores potenciais pesquisados atualmente, o ácido desoxirribonucleico (DNA) se destaca devido à estabilidade, persistência em amostras ambientais, regularidade de excreção pelos humanos e quantificação de sequências específicas, sendo que alterações sutis nas mesmas, resultantes de danos, reparos ou mutações, podem indicar evolução da doença. Neste contexto, biomarcadores de câncer de mama, renal e gástrico, presentes no genoma mitocondrial, já estão sendo rastreados em amostras comunitárias (YANG *et al.*, 2017).

Um dos maiores desafios no desenvolvimento de estudos de epidemiologia baseada em águas

residuais é a incerteza quanto a precisão da população contribuinte, sendo essa informação fundamental para normalização das cargas de marcadores químicos a serem analisados em amostras de águas residuais brutas (PANDOPULOS *et al.*, 2021). Todavia, com a colaboração da pesquisa interdisciplinar, vêm sendo desenvolvidos e aplicados biossensores capazes de reconhecer e quantificar biomarcadores humanos, estes recomendados para normalizar as concentrações dos analitos em estudo, permitindo estimar a população contribuinte, assim como biomarcadores para o monitoramento do consumo de drogas, exposição a substâncias tóxicas, segurança alimentar, avaliação de doenças, rastreamento de fontes de patógenos e alerta precoce de surtos de moléstias infecciosas (MAO *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2019).

Apesar da complexidade da matriz de esgoto impor limitações que afetam a sensibilidade dos ensaios, a seleção de biomarcadores adequados e específicos possibilitou a execução de pesquisas relacionadas ao biomonitoramento humano capazes de estimar o perfil de consumo e exposição da população a medicamentos, cafeína, tabaco, álcool, drogas ilícitas, pesticidas, além de poluentes como micotoxinas, nitrosaminas, carbamatos, acrilamida, neonicotinóides e parabenos (GRACIA-LOR *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2017).

3.3 CONTRIBUIÇÕES DA EPIDEMIOLOGIA BASEADA EM ÁGUAS RESIDUAIS PARA A VIGILÂNCIA EM SAÚDE

Inúmeras pesquisas de base populacional vêm sendo realizadas aplicando essa abordagem epidemiológica, a exemplo do trabalho realizado por Causanilles, Emke e de Voogt (2016), que desenvolveram e validaram - utilizando modelagem farmacocinética - um método analítico simples, rápido e confiável para a detecção e quantificação do consumo de inibidores de fosfodiesterase tipo V (PDE5), substâncias presentes em medicamentos usados para o tratamento da disfunção erétil, em amostras de águas residuais brutas de três cidades holandesas, entre 2012 e 2015. Segundo os autores, a detecção de produtos análogos, potencialmente adulterados, é crucial para o monitoramento da exposição da população aos agravos da saúde, visto que muitos usuários adquirem medicamentos falsificados ou produtos ilegítimos por serem mais baratos que os medicamentos oficiais.

Da mesma forma, Lai *et al.* (2017) desenvolveram e validaram um procedimento analítico, porém para quantificar alcalóides em águas residuais brutas de duas cidades belgas e avaliar a exposição da população a substâncias tóxicas e cancerígenas associadas ao tabaco, servindo como um indicador de saúde populacional.

Enquanto Pandopoulos *et al.* (2021) avaliaram o potencial dos metabólitos de catecolaminas como biomarcadores populacionais. Para tanto, quantificaram as cargas dessas substâncias em amostras de esgotos brutos e urina dos indivíduos e, a partir da análise de regressão, evidenciaram que estes metabólitos são candidatos adequados para o monitoramento de mudanças populacionais relativas.

Quanto ao consumo de drogas ilícitas, Maida *et al.* (2017) estimaram o consumo médio de cocaína, canabinóides e anfetaminas na cidade de Palermo (Itália) e investigaram a variabilidade mensal das cargas destes entorpecentes em águas residuais brutas em diferentes áreas da cidade, demonstrando a versatilidade desta ferramenta de pesquisa na vigilância em saúde.

Causanilles *et al.* (2018) identificaram e quantificaram substâncias esteroides anabolizantes e para emagrecimento, consumidas pela população em geral e por atletas amadores, onde constataram

aumento do consumo de estimulantes para perda de peso, como efedrina, norefedrina, metilhexanamina e 2,4-dinitrofenol, às vésperas e nos dias das competições esportivas, superando o consumo dos esteroides anabolizantes. Segundo os autores, os resultados da pesquisa são importantes para orientar as ações das autoridades antidopagem e de vigilância em saúde pública.

No que tange à exposição da população a substâncias tóxicas, Du *et al.* (2018), na primeira estimativa nacional de exposição a ésteres ftalatos, avaliaram a concentração destes contaminantes em estações de tratamento de esgotos de 27 cidades chinesas. Segundo os autores, apesar de ser comum este tipo de análise em amostras de urina dos pacientes, a epidemiologia baseada em águas residuais é vantajosa por permitir coletar amostras contendo urina de toda a comunidade, contribuindo para avaliar riscos à saúde, principalmente em crianças, cuja exposição prolongada pode ocasionar obesidade, alergias, asma, hipertensão, dificuldade de atenção, além de retardar ou acelerar o início da puberdade.

Quanto ao monitoramento de câncer por meio da epidemiologia baseada em águas residuais, foi desenvolvido um ensaio rápido e portátil para detecção de DNA mitocondrial (mtDNA) humano em amostras de águas residuais brutas, com potencial de biomonitoramento populacional do câncer de mama, renal e gástrico. Dentre as vantagens, o dispositivo apresentava um método de amplificação simples, rápido, específico e de baixo custo, com monitoramento quantitativo de biomarcadores genéticos variados, intervenção mínima do usuário e leitura visual direta, ideal para áreas com escassez de recursos, principalmente pela possibilidade de execução em campo, sem necessitar de instalações laboratoriais robustas (YANG *et al.*, 2017).

No campo nutricional, Choi *et al.* (2020) investigaram o potencial de detecção e aplicação de biomarcadores de alimentos consumidos pelos indivíduos que compõem uma bacia hidrográfica. Para tanto, avaliaram a estabilidade desses biomarcadores nas condições do esgoto e estimaram as cargas per capita. Concluíram que certos biomarcadores relacionados ao consumo de vitaminas, fibras e frutas cítricas são adequados para a epidemiologia baseada em águas residuais, enquanto os demais apresentaram incertezas, sendo necessárias mais pesquisas.

Enquanto isso, O'Brien *et al.* (2019) propuseram derivados do isoprostano como biomarcadores de estresse oxidativo em estudos de epidemiologia baseada em águas residuais, isto porque os estudos de degradação e transformação revelaram que estas substâncias possuem suficiente estabilidade sob as condições características dos esgotos.

Outra aplicação da epidemiologia baseada em águas residuais é para estimar a concentração de metabólitos urinários relacionados ao consumo de produtos farmacêuticos e quantificáveis em águas residuais brutas, que permitem avaliar a adesão da população às terapias farmacológicas prescritas, possibilitando a comparação do consumo real com as taxas de prescrições. Isso é importante porque a baixa adesão às terapias medicamentosas compromete a eficácia dos tratamentos, diminui qualidade de vida e aumenta os custos terapêuticos para os serviços de saúde (RIVA *et al.*, 2020).

No que diz respeito à resistência antimicrobiana, Pärnänen *et al.* (2019) realizaram a primeira vigilância transeuropeia, avaliando amostras de esgoto coletadas em 12 (doze) estações de tratamento de águas residuais localizadas em sete países europeus (Portugal, Espanha, Irlanda, Chipre, Alemanha, Finlândia e Noruega) e chegaram à conclusão de que o padrão de prevalência observado nas amostras de águas residuais brutas refletia o padrão de prevalência clínica de resistência a antibióticos da população. Ainda, concluíram que o consumo de antibióticos, a temperatura ambiental e o porte das estações de

tratamento influenciam na persistência e disseminação da resistência no meio ambiente.

Quanto ao monitoramento de agentes infecciosos, com destaque para o SARS-CoV-2, agente etiológico da pandemia de covid-19, Polo et al. (2020) afirmam que a vigilância em escala comunitária, por meio da epidemiologia baseada em águas residuais, pode unir a comunidade mais ampla e a clínica, tornando-se uma valiosa ferramenta de previsão epidemiológica indireta para o SARS-CoV-2 e outros vírus pandêmicos. Além disso, Larsen e Wigginton (2020) destacam que a experiência com outras doenças virais mostrou que monitorar o esgoto em busca de traços de um patógeno permite a vigilância eficaz de comunidades inteiras, fornecendo um sinal sensível da presença do patógeno na população e indicando se a transmissão está progredindo ou reduzindo.

A presença do ácido ribonucleico (RNA) do SARS-CoV-2 em águas residuais brutas constitui uma ferramenta diagnóstica indireta e epidemiológica para a prevalência de covid-19 na comunidade, representando um novo desafio e uma oportunidade de empregar a pesquisa da epidemiologia baseada em águas residuais para sua vigilância. No entanto, a otimização dos métodos de recuperação e concentração para vírus encapsulados, obtenção de amostras representativas, normalização da população contribuinte e o estabelecimento de diretrizes éticas são fatores cruciais para a validação de uma abordagem epidemiológica confiável (POLO *et al.*, 2020).

No campo prático, Prado et al. (2021), analisando amostras de esgotos coletadas em diferentes pontos da cidade de Niterói, no Rio de Janeiro (RJ), conseguiram demonstrar a excelência da epidemiologia baseada em águas residuais à medida que os dados ambientais sobre o SARS-CoV-2 foram convertidos em um indicador de saúde ambiental, sendo útil para o monitoramento da doença, tomada de decisões efetivas de controle da pandemia e promoção de ações rápidas de saúde pública, além de servir como alerta para a população em tempo real.

3.4 VIGILÂNCIA EM SAÚDE PÚBLICA ATRAVÉS DE ÁGUAS RESIDUAIS

No Brasil, a lei n. 8.080, de 19 de setembro de 1990, intitulada de Lei Orgânica da Saúde, define a vigilância sanitária como um conjunto de ações de prevenção aos riscos à saúde e intervenção nos problemas sanitários do meio ambiente decorrentes das atividades humanas relacionadas direta ou indiretamente com a saúde (BRASIL, 2020).

O Sistema Global de Vigilância de Resistência Antimicrobiana (GLASS) é um exemplo de vigilância ampla em saúde pública, que foi lançado para fornecer uma abordagem padronizada para a coleta, análise e compartilhamento de dados sobre resistência a antibióticos. Porém, a OMS conclui que alguns países ainda enfrentam desafios substanciais na construção de seus sistemas nacionais de vigilância e as melhorias são urgentes (HUIJBERS; LARSSON; FLACH, 2020; WHO, 2018).

Ademais, programas de vigilância clínica são dependentes da análise de amostras de um grande número de indivíduos para fornecer dados epidemiológicos relevantes, processo que exige amplos recursos e requer considerável infraestrutura, uma das principais razões das limitações ou completa falta de vigilância em grandes partes do mundo (HUTINEL *et al.*, 2019; WHO, 2018).

O monitoramento rápido da disseminação de uma doença é imprescindível para que as ações de prevenção, intervenção e controle sejam eficazes, porém, existem limitações nos sistemas de vigilância atuais. Nesse cenário, a análise de águas residuais é uma nova ferramenta da epidemiologia com potencial

de complementar os atuais sistemas de vigilância de doenças (SIMS; KASPRZYK-HORDERN, 2020).

Desse modo, os esgotos, por carregarem excrementos de um grande número de indivíduos, podem fornecer informações relevantes sobre hábitos de vida, saúde e bem-estar da população. Além disso, é possível estimar a exposição ou o consumo de uma determinada substância pela população sob investigação. Conseqüentemente, esta análise surge como um meio atraente para diferentes fins de vigilância com base populacional (GRACIA-LOR *et al.*, 2017).

Em 2003, a OMS divulgou diretrizes relativas ao emprego de amostragem de águas residuais para o monitoramento da poliomielite (WHO, 2003), sendo que, desde os anos 80, essa vigilância ambiental já era utilizada para a doença (SIMS e KASPRZYK-HORDERN, 2020). A partir daí, a vigilância, através de águas residuais, tem sido utilizada no monitoramento de várias doenças como Salmonelose (YAN *et al.*, 2018), Hepatite A e norovírus (HELLMER *et al.*, 2014), isolamento de bactérias resistentes a antibióticos (KWAK *et al.*, 2015) e, mais recentemente, monitoramento da covid-19 (MEDEMA *et al.*, 2020).

Além do monitoramento de doenças infecciosas, a abordagem da epidemiologia baseada em águas residuais pode ser aplicada à supervisão do consumo de drogas ilícitas, investigando, por exemplo, a variabilidade mensal das cargas de drogas nestas águas de uma cidade e demonstrando a versatilidade desta abordagem (MAIDA *et al.*, 2017).

Outrossim, a importância de uma vigilância eficaz vem sendo destacada recentemente com a pandemia da covid-19. Em dezembro de 2019, vários casos de pneumonia de causa desconhecida foram registrados na cidade de Wuhan, na China. No início de janeiro de 2020, as autoridades chinesas relataram uma nova cepa do coronavírus e, dois meses depois, 73 países registraram casos da doença, com surtos graves na Ásia e Europa (WHO, 2020). Nesse cenário, a epidemiologia de águas residuais tem sido indispensável para conter e mitigar os surtos de covid-19, além de direcionar estratégias de abertura da economia e/ou isolamento social (DAUGHTON, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório que a epidemiologia baseada em águas residuais é uma abordagem científica em rápida ascensão, constituindo uma ferramenta auxiliar da vigilância em saúde pública ao contribuir em várias frentes para a obtenção de informações sobre as condições de vida e saúde da população de forma rápida, econômica, padronizada e eficiente, principalmente nos países em desenvolvimento com escassez de recursos.

Porém, para a expansão e inserção integral dessa abordagem aos programas de vigilância, são necessários altos investimentos que garantam a universalização dos serviços de saneamento básico, o desenvolvimento de pesquisas de novos biomarcadores e biossensores e a aplicação destes em programas de monitoramento de águas residuais, além de profissionais capacitados para a obtenção de dados epidemiologicamente relevantes a partir das análises de amostras de esgotos.

Por fim, é indispensável destacar que a escassez de estudos e pesquisas sobre esta abordagem epidemiológica no âmbito nacional resultará na implantação tardia dessa ferramenta de monitoramento da saúde da população em tempo real. Portanto, faz-se necessário fomentar o desenvolvimento de grupos de pesquisas que se dediquem à investigação científica da epidemiologia baseada em águas residuais no país, além de criar meios para a implementação de ações estratégicas articuladas junto aos órgãos de vigilância em saúde para o controle de doenças.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 20 jan. 2022.
- BRASIL. Lei nº 8.080/90. **Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8080.htm. Acesso em: 3 jun. 2020.
- BRASIL. Lei nº 11.445/07. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 20 de jan. de 2022.
- BRASIL. Lei nº 14.026/20. **Atualiza o Marco Legal de Saneamento Básico**. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/875819060/lei-14026-20>. Acesso em: 20 de jan. de 2022.
- BRUM, C.N. et al. Revisão narrativa de literatura: aspectos conceituais e metodológicos na construção do conhecimento da enfermagem. In: LACERDA, M. R.; COSTENARO, R.G.S. (Orgs). **Metodologias da pesquisa para a enfermagem e saúde: da teoria à prática**. Porto Alegre: Moriá, 2015.
- CAUSANILLES, A.; EMKE, E.; DE VOOGT, P. Determination of phosphodiesterase type V inhibitors in wastewater by direct injection followed by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. **Science of The Total Environment**, v. 565, n. 15, p. 140 - 147, 2016.
- CAUSANILLES, A; *et al.* Wastewater-based tracing of doping use by the general population and amateur athletes. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 410, n. 6, p. 1793-1803, 2018.
- CHOI, P. M. *et al.* Do food and stress biomarkers work for wastewater-based epidemiology? A critical evaluation. **Science of the Total Environment**, v. 736, n. 139654, 2020.
- CONCEIÇÃO, M. C. **Análise comparativa de desempenho de estações de tratamento de esgotos sanitários de grande e pequeno porte em Aracaju**. 2019. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
- DAUGHTON, C. G. Wastewater surveillance for population-wide Covid-19: the present and future. **Science of the Total Environment**, v. 736, n. 139631, 2020.
- DU, P. *et al.* Estimating population exposure to phthalate esters in major chinese cities through wastewater-based epidemiology. **Science of the Total Environment**, v. 643, p. 1602-1609, 2018.
- FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. **Pense SUS – vigilância em saúde**. Disponível em: <https://pensesus.fiocruz.br/vigilancia-em-saude>. Acesso em: 25 maio 2021.
- GRACIA-LOR, E. *et al.* Measuring biomarkers in wastewater as a new source of epidemiological information: current state and future perspectives. **Environment International**, v. 99, p. 131-150, 2017.
- GRACIA-LOR, E. *et al.* Wastewater-based epidemiology as a novel biomonitoring tool to evaluate human exposure to pollutants. **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 18, p. 10224-10226, 2018.
- HART, O. E.; HALDEN, R. U. Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: feasibility, economy, opportunities and challenges. **Science of the Total Environment**, v. 730, n. 138875, 2020.

- HELLMER, M. *et al.* Detection of pathogenic viruses in sewage provided early warnings of hepatitis a virus and norovirus outbreaks. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 80, n. 21, p. 6771–6781, 2014.
- HENDRIKSEN, R. S. *et al.* Global monitoring of antimicrobial resistance based on metagenomics analyses of urban sewage. **Nature Communications**, v. 10, n. 1124, 2019.
- HUIJBERS, P.; LARSSON, J.; FLACH, C. Surveillance of antibiotic resistant *Escherichia coli* in human populations through urban wastewater in ten European countries. **Environmental Pollution**, v. 261, n. 114200, 2020.
- HUTINEL, M. *et al.* Population-level surveillance of antibiotic resistance in *Escherichia coli* through sewage analysis. **Euro Surveillance**, v. 24, n. 37, 2019.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES; 2017. p. 19-35.
- KWAK, Y-K. *et al.* Surveillance of antimicrobial resistance among *Escherichia coli* in wastewater in Stockholm during 1 year: does it reflect the resistance trends in the society? **International Journal of Antimicrobial Agents**, v. 45, n. 1, p. 25-32, 2015.
- LAI, F.Y. *et al.* Novel Wastewater-Based Epidemiology Approach Based on Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry for Assessing Population Exposure to Tobacco-Specific Toxicants and Carcinogens. **Analytical Chemistry**, v. 89, n. 17, p. 9268-9278, 2017.
- LARSEN, D. A.; WIGGINTON, K. R. Tracking COVID-19 with wastewater. **Nature Biotechnology**, v. 38, p. 1151–1153, 2020.
- MAIDA, C. M. *et al.* Illicit drugs consumption evaluation by wastewater-based epidemiology in the urban area of Palermo city (Italy). **Annali dell' Istituto Superiore di Sanità**, v. 53, n. 3, p. 192-198, 2017.
- MAO, K. *et al.* Biosensors for wastewater-based epidemiology for monitoring public health. **Water Research**, v. 191, n. Mar 1, p 1-13, 2021.
- MEDEMA, G. *et al.* Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in The Netherlands. **Environmental Science & Technology Letters**, v. 7, p. 511-516, 2020.
- MINAYO, M.C.S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 10. ed. São Paulo: Hucitec; 2007. p. 205.
- O'BRIEN, J. W. *et al.* Evaluating the stability of three oxidative stress biomarkers under sewer conditions and potential impact for use in wastewater-based epidemiology. **Water Research**, v. 166, n. 115068, 2019.
- PANDOPULOS, A. J. *et al.* Application of catecholamine metabolites as endogenous population biomarkers for wastewater-based epidemiology. **Science of the Total Environment**, v. 763, n. 142992, 2021.
- PÄRNÄNEN, K. *et al.* Antibiotic resistance in european wastewater treatment plants mirrors the pattern of clinical antibiotic resistance prevalence. **Science Advances**, v. 5, n. 3, 2019.

POLO, D. *et al.* Making waves: wastewater-based epidemiology for COVID-19 – approaches and challenges for surveillance and prediction. **Water Research**, v. 186, n. 116404, 2020.

PRADO, T. *et al.* Wastewater-based epidemiology as a useful tool to track SARS-CoV-2 and support public health policies at municipal level in Brazil. **Water Research**, v. 191, n. 116810, 2021.

RIVA, F. *et al.* Testing urban wastewater to assess compliance with prescription data through wastewater-based epidemiology: First case study in Italy. **Science of the Total Environment**, v. 739, n. 139741, 2020.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática x revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 20, n. 2, 2007.

SILVEIRA, L. S. **Políticas de saneamento básico no município de Aracaju/SE: Gestão à luz da lei federal nº 11.445/2007 e da lei municipal nº 4.973/2017**. 2019. 150 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

SIMS, N.; KASPRZYK-HORDERN, B. Future perspectives of wastewater-based epidemiology: monitoring infectious disease spread and resistance to the community level. **Environment International**, v. 139, n. 105689, 2020.

SOUZA, B. S. *et al.* Proposal for an environmental health indicator (ISA) for sanitation analysis on the Federal University of Sergipe campus-São Cristóvão, Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e9110111515, 2021.

TUROLLA, A. *et al.* Antibiotic resistant bacteria in urban sewage: role of full-scale wastewater treatment plants on environmental spreading. **Chemosphere**, v. 191, p. 761–769, 2018.

VOSGERAU, D. S. A. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista de Diálogo Educacional**, v. 14, n. 41, p. 165-189, 2014.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for environmental surveillance of poliovirus circulation. 2003**. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67854>. Acesso em: 02 jun. 2020.

WHO. World Health Organization. **Global antimicrobial resistance surveillance system (GLASS) report: early implementation 2017-2018**. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241515061>. Acesso em: 15 jun. 2020.

WHO. World Health Organization. **Novel coronavirus (COVID-19) situation. 2020**. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>. Acesso em: 12 jul. 2020.

YAN, T. *et al.* Municipal wastewater as a microbial surveillance platform for enteric diseases: a case study for salmonella and salmonellosis. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 4869-4877, 2018.

YANG, Z. *et al.* Monitoring genetic population biomarkers for wastewater-based epidemiology. **Analytical Chemistry**, v. 89, p. 9941-9945, 2017.

ZHANG, Y. *et al.* Wastewater-based epidemiology in Beijing, China: prevalence of antibiotic use in flu season and association of pharmaceuticals and personal care products with socioeconomic characteristics. **Environment International**, v. 125, n. Apr, p. 152-160, 2019.