

## **SOBREVIVÊNCIA E VIABILIDADE DE PATÓGENOS EMERGENTES EM MEIO AQUÁTICO**

**David Américo Nakagawa, Dra. Claudia Telles Benatti.**

UEM - Universidade Estadual de Maringá, PEU – Pós-graduação em Engenharia Urbana, davidnakagawa84@gmail.com

### **RESUMO**

Patógenos emergentes, em especial vírus, são agentes infecciosos causadores de doenças que podem culminar em surtos, epidemias e pandemias. Eles constituem um risco constante a saúde pública global, ameaçando a sociedade e alarmando para a necessidade de desdobramento de tecnologias de enfrentamento. Este trabalho é configurado num estudo qualitativo de revisão narrativa de 37 publicações, entre nacionais e internacionais, com informações sobre a sobrevivência e viabilidade de agentes patológicos emergentes de veiculação hídrica que representem riscos à saúde humana, em especial vírus. Como resultado, ele relaciona os principais agentes patológicos presentes em meio aquático e reúne informações sobre fatores de influência na sobrevivência e reprodução dos patógenos identificados, além de descrever os principais métodos de detecção, concentração, inativação e controle dos mesmos, reportados pela literatura mais recente. Além disso, este artigo enfatiza a importância do acesso universal ao saneamento e a necessidade da continuidade do desenvolvimento de conhecimento científico para a base de dados sobre os patógenos emergentes e dados de qualidade da água, como medida de vigilância e controle.

**PALAVRAS-CHAVE:** Patógenos emergentes. Meio aquático. Sobrevivência e viabilidade viral.

### **INTRODUÇÃO**

Mundo afora, diversas doenças afetam a população humana. Enquanto algumas são amplamente conhecidas pela ciência e, por consequência, seu combate já é bem determinado, outras surgem constantemente. Há ainda aquelas que não eram mais motivo de preocupação, mas que acabam retornando e causando problemas de ordem pública. Tais doenças infecciosas podem ser classificadas de acordo com o seu comportamento epidemiológico em dois tipos: doenças emergentes (novas ou recentemente identificadas) e reemergentes (reincidentes). Ambas relacionadas a agentes patológicos infecciosos (EPSTEIN, 1995).

Patógenos emergentes infecciosos transmissores de enfermidades podem ser definidos como aqueles que surgiram recentemente, ou estão aumentando rapidamente em incidência e/ou faixa geográfica, e aqueles cujas rotas de transmissão foram reconhecidas a pouco tempo. O surgimento destes patógenos está relacionado com uma complexidade de fatores entre o hospedeiro, o próprio patógeno e o ambiente natural de proliferação. No mundo globalizado, a circulação de micróbios é facilitada pela circulação humana e interferência do homem na composição dos ambientes, fazendo com que agentes infecciosos consigam espalhar-se com facilidade e rapidez. Entre os microorganismos, os vírus são os mais propícios a tornarem-se patógenos emergentes, pois são capazes de se adaptar não apenas por mutação, mas também por recombinação e rearranjo, podendo infectar novos hospedeiros e se adequar a novos ambientes com eficiência (LA ROSA et al., 2012).

Mesmo com o avanço no controle de agentes infecciosos no último século, as doenças transmissíveis ainda representam riscos significativos para a saúde pública. Dentre as principais doenças de alto risco a população global, pode-se afirmar que boa parte está diretamente ligada a doenças infecciosas como, por exemplo, a gripe pandêmica, o HIV, a dengue ou a malária. Portanto, as doenças infecciosas emergentes causadas por novos organismos patogênicos são motivo de grande preocupação. A Organização Mundial da Saúde (OMS) relata que desde os anos 1970, mais de 1500 novos patógenos foram descobertos e quase 40 novas doenças infecciosas foram identificadas. Muitas delas impactaram severamente as comunidades, com vários surtos importantes ocorrendo nos últimos 20 anos, incluindo síndrome respiratória aguda grave (SARS) (2002–2003), Ebola (2014–2016), gripe H1N1 (gripe suína) (2009–2010), Zika virus (2015–2016) e COVID-19 (2019–2020) (SIMS, 2020).

O contágio por patógenos de veiculação hídrica pode acontecer principalmente após o consumo de água potável contaminada, ou de alimentos, incluindo desde peixes e frutos marinhos, até frutas, vegetais ou leguminosas cultivadas em solos irrigados com água de reuso sem o tratamento adequado. Os patógenos virais emergentes também podem ser transmissíveis por meio de água de recreação poluída (MARQUES, 1991; WYN-JONES e SELLWOOD, 2001).

Pessoas acometidas de infecções virais podem excretar uma enorme quantidade de partículas virais por grama de fezes. Consequentemente, as concentrações de vírus nas águas residuais que recebem matéria fecal podem ser altas. Este nível de contaminação pode variar de acordo com fatores climáticos, infraestrutura sanitária, da prevalência de infecções virais e das características dos vírus em circulação. Os sistemas de tratamento de águas residuais, mesmo quando funcionando adequadamente, removem em torno de 20 a 80% dos vírus, permitindo que uma carga viral significativa seja liberada na descarga de efluentes e espalhada no ambiente, sendo transportada pelas águas subterrâneas, pelas águas estuarinas, pelas águas do mar e pelos rios. A concentração de vírus na água pode variar significativamente em tempo e espaço, dependendo se a fonte poluidora é contínua ou o resultado de um influxo repentino de contaminação fecal. E mesmo quando há uma

concentração relativamente baixa de vírus na água, esses microrganismos apresentam riscos à saúde, uma vez que têm doses infecciosas muito baixas (10 a 100 viriões), de modo que mesmo algumas partículas virais na água podem representar riscos para as populações circundantes. (OKOH, 2010; PAYMENT, 1986; OTTOSON et al., 2006; LA ROSA et al., 2012).

O surgimento de doenças emergentes pode também estar sendo facilitado pela degradação ambiental. Num cenário habitual, a migração de um patógeno para novos locais não garante sua sobrevivência. Sabe-se que a maior parte das introduções não culminam em colonizações porque as espécies não encontram um ambiente natural apropriado e morrem. Um patógeno intruso precisa encontrar um meio adequado e uma população hospedeira receptiva. Em geral, isso é mais fácil em regiões de baixa diversidade biológica, onde o transmissor encontra menos competição com as espécies nativas. Como é comum que em habitats alterados pelas atividades humanas (ou naturais) os predadores e competidores sejam eliminados ou dissipados devido a degradação do ambiente, criam-se oportunidades para novas espécies se instalarem (PIGNATTI, 2004).

## **OBJETIVOS**

Considerando a relevância do assunto para questões de saúde pública, o objetivo deste trabalho é revisar informações sobre a sobrevivência e viabilidade de agentes patológicos emergentes de veiculação hídrica que representem riscos à saúde humana, em especial vírus. Para tanto, pretende-se: 1) relacionar os principais agentes patológicos emergentes de veiculação hídrica; 2) reunir informações sobre fatores de influência na dinâmica da sobrevivência e reprodução dos patógenos identificados; 3) descrever os principais métodos, recentemente utilizados, de detecção, concentração, inativação e controle dos agentes; 4) relacionar a presença dos patógenos e as alterações ambientais com possíveis riscos à saúde humana.

## **METODOLOGIA**

Este artigo configura um estudo qualitativo de revisão narrativa para discutir o estado da arte do assunto definido pela questão levantada. É composto por uma análise da literatura disponível, sem estabelecer uma metodologia rigorosa e replicável. Este método permite a aquisição e atualização do conhecimento sobre a temática específica, evidenciando novas abordagens, estudos e subtemas que têm recebido maior ou menor ênfase na literatura selecionada (VOSGERAU e ROMANOWSK, 2014).

Durante o processo de levantamento de informações, realizou-se uma busca avançada por material de leitura nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar. As buscas foram feitas com base em palavras-chave, composições ou termos que remetessem à “sobrevivência e viabilidade de agentes patológicos emergentes de veiculação hídrica que representem riscos à saúde humana”, como exemplos: “patógenos emergentes”, “sobrevivência e viabilidade de patógenos em meio aquático”, “vírus de veiculação hídrica”, entre outras. Ao finalizar as pesquisas em cada base, as referências duplicadas foram descartadas.

Limite de tempo: Inicialmente, foram selecionados trabalhos publicados entre 2015 e 2020. Todavia, a partir da leitura dos materiais selecionados, outras leituras fizeram-se necessárias, para um maior entendimento dos assuntos. Em muitos casos, materiais “clássicos”, de publicação anterior a este período, precisaram ser consultados e anexados dentre as referências bibliográficas.

Idiomas: Foram selecionados artigos escritos em inglês, português ou francês.

As buscas iniciais resultaram em um total de 67 arquivos selecionados. Após terem sido recuperadas as informações-alvo, realizou-se a leitura dos títulos e resumos, ocorrendo a exclusão de 28 publicações. Dentre as causas para a exclusão, destacam-se: duplicidade de referências, irrelevância, divergência entre as áreas de interesse e baixo impacto da publicação. Na sequência, fez-se a leitura completa dos demais textos. A partir daí, prosseguiu-se com a análise da fundamentação teórica dos estudos e a observação das características gerais dos artigos, tais como ano de publicação e língua, seguido de seus objetivos. Por fim, realizou-se a apreciação da metodologia aplicada, resultados obtidos e discussão. Especificamente, para analisar a produção científica identificada, não se utilizaram técnicas qualitativas e/ou quantitativas específicas de tratamento de dados, tendo sido feita a análise de cada um dos textos, tomando notas e fichamento de seu conteúdo e pontos relevantes a serem observados e reproduzidos em síntese.

## **RESULTADOS**

### **PATÓGENOS VIRAIS TRANSMITIDOS PELA ÁGUA**

Os vírus entéricos são aqueles presentes no trato gastrointestinal humano e que, após transmissão por via fecal-oral, podem causar infecções ou enfermidades em indivíduos susceptíveis (WYN-JONES; SELLWOOD, 2001). Os vírus transmitidos pela água pertencem às famílias Caliciviridae (norovírus), Picornaviridae (enterovírus e vírus da hepatite A) e Adenoviridae (adenovírus). Todos esses patógenos virais foram detectados em fontes de esgoto, águas superficiais e subterrâneas e água potável em todo o mundo (LA ROSA et al. 2012). A Tabela 01 apresenta os principais vírus infecciosos e algumas de suas características como a taxonomia, a forma de transmissão, os principais sintomas apresentados pelos infectados e as possíveis complicações na saúde dos mesmos.

Quadro 1 - Patógenos virais transmitidos pela água - Fonte: Adaptado de La Rosa et al., 2012

VÍRUS	TAXONOMIA	TRANSMISSÃO	SINTOMAS	COMPLICAÇÕES
Norovírus	não-envelopado, RNA de fita simples	fecal-oral (ingestão de água contaminada, consumo de alimentos contaminados ou contato direto com superfícies contaminadas); pessoa para pessoa	vômitos, diarreia, febre leve, dor abdominal, cólicas e náuseas	gastroenterite, encefalopatia, coagulação intravascular disseminada, convulsões, enterocolite necrosante, síndrome do intestino irritável pós-infecciosa e convulsões infantis.
Enterovírus	não-envelopado, RNA de fita simples	água contaminada; pessoa para pessoa	febre, mal-estar, dor de garganta, vômito, erupções cutâneas e doenças do trato respiratório superior, gastroenterite aguda	meningite, encefalite, poliomielite e miocardite, mialgia, síndrome de Guillain-Barré, hepatite e conjuntivite
Hepatitis A vírus	não-envelopado, RNA de fita simples	fecal-oral, água contaminada	febre, mal-estar, anorexia, náusea, desconforto abdominal, icterícia	dano hepático; hepatite fulminante (falência hiperaguda do fígado)
Adenovirus	envelopado, DNA de fita dupla	água contaminada, esgoto	infecções do trato respiratório superior e inferior, gastroenterite, pneumonia, infecção do trato urinário, conjuntivite, hepatite, miocardite e encefalite	doença grave ou com risco de vida em imunocomprometidos, crianças e idosos
Hepatitis E vírus	não-envelopado, RNA de fita simples	fecal-oral, água contaminada	mal-estar, anorexia, dor abdominal, artralgia, febre e icterícia	mortalidade em gestantes
Influenza vírus	envelopado, RNA de fita simples	pessoa para pessoa; contato direto com aves infectadas; água contaminada por fezes de aves	gripe	Infecção aguda do sistema respiratório
Coronavírus	envelopado, RNA de fita simples	pessoa para pessoa; fecal-oral; potencial: esgoto; ventilação; água da torneira e águas residuais	resfriado comum	síndrome respiratória aguda grave (SARS)
Polyomaviruses	não-envelopado, RNA de fita dupla	água contaminada por fezes e urina	assintomático	tumor nos rins e cérebro em imunocomprometidos
Picobirnavirus	não-envelopado, RNA de fita dupla	água contaminada por fezes	gastroenterite	desconhecidas
Papillomaviruses	não-envelopado, RNA de fita dupla	água contaminada; sexual; vertical (mãe para filho)	verrugas palmoplantares, verrugas orais e verrugas genitais	câncer cervicais, genitais, de laringe, oral e de pulmão

## ROTA DE TRANSMISSÃO, SOBREVIVÊNCIA E VIABILIDADE EM MEIO AQUÁTICO

Ainda que, para muitos agentes infecciosos, a principal via de transmissão seja através de gotículas de saliva e contatos próximos, a transmissão fecal-oral é a via mais conhecida de infecção por vírus entéricos transmitidos pela água. Embora outros excrementos como a urina e secreta (suor) também possam desempenhar um papel na transmissão de vírus pela água, em geral são menos estudados. A transmissão através de aerossóis e gotículas derivadas da água contaminada também pode levar à contaminação. Quando espalhados no ambiente aquático, mesmo vírus envelopados não perdem sua capacidade de sobrevivência, mutação ou eventual transmissão. Eles não podem se replicar fora dos tecidos de seus hospedeiros, mas podem sobreviver no ambiente por longos períodos de tempo, mais do que a maioria das bactérias intestinais, tornando inseguro confiar apenas nos padrões bacteriológicos de qualidade da água. Embora não se multipliquem por serem parasitas intracelulares obrigatórios, os vírus podem permanecer viáveis (potencialmente infectantes) durante certo tempo na água. Até o momento, acredita-se que o coronavírus, por exemplo, pode sobreviver por apenas alguns dias no ambiente, fora das células vivas, mas seria tempo suficiente para alcançar outros organismos com “viabilidade”. Nos estudos sobre a sobrevivência, uma persistência variável de vírus foi identificada, dependendo do tipo de vírus, tipo de amostra de água e temperatura do ambiente aquático. Embora esses estudos sejam dispersos e incomparáveis entre si, eles indicam que o coronavírus humano, e similares, são menos resistentes do que vírus não envelopados em ambientes aquáticos. E ainda, que sua sobrevivência geralmente é reduzida em águas com poluição orgânica e microbiana, onde a inativação viral aumenta com o aumento de temperaturas e presença de outros microrganismos concorrentes (KAMPF et al., 2020; CARDUCCI et al., 2020; MARQUES, 1991; FONG e LIPP, 2005; DE RODA HUSMAN e BARTRAM, 2007).

Duan et al. (2003) encontraram uma redução na infecciosidade de SARS-CoV até um nível indetectável após 3 ou 4 dias, em temperatura ambiente. Durante um período de 21 dias de estudo, Gundy et al. (2009) compararam a sobrevivência de HCoV-229E e FIVP com a do poliovírus 1 em água da torneira e águas residuais filtradas e não filtradas. Na água da torneira, o coronavírus mostrou uma diminuição abrupta em 10 dias a 23°C e, por um período mais longo (estimado > 100 dias), em 4°C. A persistência do SARS-CoV infeccioso foi reduzida em 2 dias, a 20°C, em todos os tipos de água testados por Wang et al. (2005), mas a 4°C aumentou para 14 dias, que foi a duração de todo o período de seu estudo. Assim sendo, os estudos demonstraram que, ainda que curto, o período em que o vírus se mantém ativo no meio aquático é suficiente para alertar aos riscos decorrentes. Como já citado, a variabilidade da temperatura do ambiente tem intensa influência sobre a sobrevivência do agente patológico. Um bom exemplo deste fator seria o de Casanova et al. (2009), que relataram um declínio sutil na infectividade de TGEV e MHV após mais de 15 dias em água bruta a 25°C, mas onde a sobrevivência foi fortemente prolongada a 4°C, chegando a 49 dias. Em outro estudo subsequente, Casanova e Weaver (2015) demonstraram um declínio mais rápido da infecciosidade nas águas residuais, e pontuaram que, em amostras de esgoto pasteurizado, os vírus ficaram inativos muito mais rapidamente, indicando o possível papel de outros microrganismos (bactérias e protozoários) na inativação viral. A redução na concentração de vírus envelopados também foi significativamente mais lenta nas águas residuais a 10°C em comparação aos 25°C, e os fagos não envelopados sobreviveram por mais tempo em todas as condições e matrizes.

Temperaturas mais altas significam uma redução mais rápida da população viral, assim como o aumento da luz solar implica uma maior concentração de antimicrobianos ou níveis mais altos de oxigênio. Tais fatores ambientais inativam os vírus por meio de ação direta ou indireta, em uma parte ou em toda estrutura viral: genoma, capsídeo ou envelope, se presente. Contudo, as populações virais também possuem mecanismos de resistência, geralmente envolvendo proteção física contra efeitos nocivos, dificultando sua inativação. Dentre estes mecanismos, destacam-se: agregação, adesão ou até mesmo internalização dentro de estruturas vivas (PINOT; VIALETTE, 2018).

## DETECÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE PATÓGENOS

Estudos sobre a detecção de vírus são importantes para auxiliar instituições e autoridades na tomada de decisão estratégica sobre a saúde pública. Sabendo que os vírus humanos transmitidos pela água são excretados nas fezes dos indivíduos infectados e transmitidos pela via fecal-oral, incluindo água e alimentos contaminados, muitos estudos se concentraram até o momento na detecção de vírus entéricos em vários tipos de ambientes aquáticos, como águas residuais brutas e tratadas, águas superficiais, subterrâneas, marítimas e até água potável tratada. Entretanto, de forma geral, os vírus estão presentes nos ambientes aquáticos em baixas concentrações. Assim, eles devem ser concentrados em volumes menores antes das aplicações de qualquer método de detecção. O desenvolvimento e a aplicação de métodos para concentrar vírus têm contribuído significativamente para a detecção de diversos vírus usando ensaios de cultura em células ou moleculares (FONG e LIPP, 2005; GERBA et al., 2013; IKNER et al., 2012; CASHDOLLAR e WYMER, 2013; MARQUES, 1991). Os métodos convencionais para a detecção e quantificação de vírus entéricos no ambiente aquático são baseados em cultura de células ou de base molecular, e envolvem duas etapas principais: concentração de vírus e detecção de alvo. Uma variedade de técnicas de concentração de vírus está disponível, otimizada para diferentes matrizes ambientais, que aproveitam as propriedades físico-químicas dos vírus (adsorção/eluição) e utilizam separação de tamanho de partícula, como por exemplo, a filtração. Mas a eficiência do isolamento e concentração do vírus varia amplamente, com valores de 5 a 92%. Embora os métodos baseados em cultura possam determinar a concentração de vírus entéricos infecciosos, eles são caros, demandam muito tempo em laboratório, atrasam resultados e não detectam com eficiência muitos dos vírus mais preocupantes transmitidos pela água, como por exemplo, norovírus humano, que ainda não foi obtido na cultura de células. Por esses motivos, os métodos moleculares, particularmente os quantitativos, tornaram-se cada vez mais

populares. Os métodos mais comuns são baseados em amplificação e incluem: (transcrição reversa) (RT<sup>-</sup>) qPCR e amplificação baseada em sequência de ácido nucleico (NASBA). A limitação dos métodos qPCR e NASBA incluem tempo de laboratório, despesa de equipamento e reagentes, co-concentração de inibidores (por exemplo, húmicos, orgânicos), seleção de vírus alvo, especificidade do iniciador, padrões e controles adequados. Apesar das tentativas de remover vírus não infecciosos antes dos métodos moleculares baseados em amplificação, não existe ainda um método molecular eficaz para diferenciar vírus entéricos infecciosos e não infecciosos (SYMONDS e BREITBART, 2015; GIRONES et al., 2010; JOFRE e BLANCH, 2010).

Haramoto et al (2018) descreveram os progressos realizados no desenvolvimento de métodos de concentração e detecção de vírus entéricos humanos na água, discutindo suas aplicações para proporcionar uma melhor compreensão da prevalência dos vírus em vários tipos de água em todo o mundo. Os autores relataram que inúmeros métodos para concentrar vírus foram desenvolvidos, mas nenhum método isolado parece ser totalmente eficaz na concentração de todos os vírus entéricos humanos de interesse, nos vários tipos de amostras de água. Portanto, é importante monitorar as eficiências de recuperação dos vírus estudados, especialmente para vírus emergentes, porque as recuperações podem variar bastante entre as amostras. A concentração simultânea de vírus, protozoários e bactérias em uma única amostra de água também é de grande interesse para uma melhor compreensão da prevalência de patógenos transmitidos pela água. Eles ressaltam que, apesar dos grandes esforços, às vezes os vírus não são detectados nas amostras de água testadas. Mas esses dados, chamados "não detectáveis", devem ser considerados para estudos posteriores mais apropriados, visto que, no passado, muitos estudos desconsideraram a possibilidade de uma detecção falha e apresentaram dados que hoje se mostram invalidados. Por fim, concluem que há um número crescente de estudos ambientais que pesquisaram a diversidade genética de genomas virais, incluindo os genomas de novos vírus, em amostras de água e que, além das técnicas convencionais de sequenciamento de clonagem, os métodos NGS (next-generation sequencing) desenvolvidos recentemente foram utilizados com sucesso para vírus selecionados, como adenovírus e norovírus, sugerindo um papel contínuo em pesquisas futuras. Como se espera que a distribuição genotípica de vírus no esgoto bruto reflita a incidência real de casos infecciosos virais locais, é necessário realizar mais vigilância ambiental em mais regiões do mundo, o que reforça a sugestão de outros atores, a serem citados neste trabalho, sobre a importância do monitoramento de águas residuais e/ou de abastecimento.

#### EPIDEMIOLOGIA DE ÁGUAS RESIDUAIS

Considerando que pessoas infectadas podem espalhar vírus por meio de seus excrementos, seria conveniente avaliar a eficácia e as consequências do tratamento das águas residuais e lodo de esgoto, afim de evitar a disseminação subsequente de patógenos para o ambiente (AVELINO NUNES DELGADO, 2020). Bowser (2020) relatou recentemente a presença de Covid-19 nas fezes de seres humanos. Além disso, Pan et al. (2020) publicaram alguns dos primeiros resultados, também a esse respeito. Adicionalmente, Martínez-Puchol et al. (2020) afirmam que, se os vírus não são totalmente erradicados com os métodos tradicionais, seria necessário repensar uma triagem adicional focada nas águas residuais. Já Nag et al. (2020) sugerem uma triagem adicional no lodo de esgoto, para a avaliação da sobrevivência de bactérias e vírus; enquanto Corsi et al. (2014) e Givens et al. (2016) indicam tal procedimento para águas superficiais e subterrâneas à jusante das estações de tratamento de águas residuais.

A abordagem da "epidemiologia dos esgotos" tem sido apontada como um meio para monitorar a sobrevivência de patógenos em águas residuais, pois esse conceito de monitoramento passou de um foco inicial em drogas ilícitas (VAN NUIJS et al., 2011) para a visão atual, também chamada de "epidemiologia baseada em águas residuais", abrangendo um amplo conjunto de substâncias nas águas residuais, incluindo partículas virais (DAUGHTON, 2020; SIMS e KASPRZYK-HORDERN, 2020), o que permitiria uma redução drástica no tempo necessário para desenvolver um monitoramento de contaminantes potenciais presentes nos efluentes (MAO et al., 2020).

Indo além, Hart e Halden (2020) desenvolveram um estudo de modelagem computacional e análise de custos associados a "epidemiologia baseada em águas residuais", sugerindo uma ferramenta rápida, barata e potencialmente robusta para rastrear o SARS-CoV-2 / COVID-19. A viabilidade do uso eficaz dessa ferramenta de vigilância emergente exigiria a consideração dos efeitos da temperatura para obter dados informativos consistentes. Os autores advertem que o método não pode substituir os testes clínicos, mas pode servir para alertar as equipes de resposta a emergências sobre a presença de indivíduos infectados nas cidades, áreas de drenagem específicas (grandes áreas subterrâneas) e de grandes centros metropolitanos, ou até o nível do bairro e edifício. O problema é que, como o uso efetivo do monitoramento em larga escala requer acesso a águas residuais que são coletadas, compostas e tratadas centralmente, o uso global da ferramenta, que depende de amostragem de estações de tratamento de águas residuais, fica restrito a cerca de 2,1 bilhões de pessoas ou 27% da população global que possui este tipo de serviço em suas comunidades. Bilhões de pessoas adicionais poderiam se beneficiar da análise de resíduos humanos, integrando amostras de latrinas na vigilância global da saúde, com um investimento maior em monitoramento de efluentes, através de medidas de saneamento básico.

#### DESINFECÇÃO DE ÁGUA E EFLUENTES

A oxidação com ácido hipocloroso ou ácido peracético e a inativação por irradiação ultravioleta, bem como o cloro, são considerados os meios tradicionais mais adotados para inativação de vírus. Nas estações de tratamento de águas residuais que utilizam biorreatores de membrana, os efeitos sinérgicos de microrganismos benéficos e a separação física de sólidos em suspensão filtram os vírus concentrados no lodo de esgoto. E ainda, sistemas de ponto de uso ultravioleta com

eficiência energética, emissores de luz e diodos podem desinfetar a água antes de entrar no sistema público de tratamento (NADDEO e LIU, 2020).

Em estações de tratamento de água e em estações de tratamento de esgoto, o projeto e operação dos processos de desinfecção de água e efluentes são baseados nos patógenos mais resistentes presentes. Para desinfetantes oxidantes (cloro, monocloramina e dióxido de cloro), os vírus mais resistentes e não-envelopados, revestidos com capsídeo protéico, como o vírus da hepatite A e os coxsackieviruses, historicamente têm sido usados para definir os requisitos operacionais e de design da desinfecção. Para a irradiação UV, vírus de DNA de fita dupla, como adenovírus, têm sido historicamente usados para definir os requisitos operacionais e de projeto para desinfecção (AUSTRALIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF HEALTH, 2020).

As alterações ambientais afetam de forma geral a distribuição das doenças infecciosas. A dinâmica entre o desenvolvimento econômico, condicionamento ambiental e de saúde pública é muito tênue e sensível. Intervenções abruptas como a da expansão da fronteira agrícola, do desmatamento rápido ou da degradação dos entornos dos mananciais, podem provocar o deslocamento de vetores ou de agentes etiológicos, atingindo desde populações das comunidades localizadas próximas da área até periferias das grandes cidades ou populações inteiras. A escassez de políticas públicas integradas e a deficiência de medidas voltadas à promoção da Saúde Humana (incluindo a promoção do saneamento básico e conservação de ambientes naturais estratégicos) culminam em um cenário de prospectos sombrios para o futuro (PIGNATTI, 2004).

#### IMPACTO GLOBAL DAS DOENÇAS E DESAFIOS DE SANEAMENTO

É complexo avaliar o impacto global das doenças transmitidas pela água e difícil de mensurar as suas consequências diretas e indiretas. Em parte, devido à grande variedade de sintomas associadas aos vírus transmitidos pela água, a períodos longos de latência e ao fato de que, em diversos casos, doenças relacionadas à água também podem ser transmitidas por outras vias. Outro fator é que as evidências de contaminação da água nem sempre estão disponíveis no momento em que um surto de doença é caracterizado. Isso se deve, principalmente, às dificuldades relacionadas com a detecção de vírus na água. Além disso, os dados sobre doenças virais transmitidas pela água são fragmentados, geralmente focados em países, regiões ou patógenos específicos (CRAUN, 2010; LA ROSA et al., 2012).

Naddeo e Liu (2020) consideram que a globalização também apresenta novos riscos à saúde, bem como desafios para sistemas globalizados. Os autores pontuam que em um cenário responsável e ideal, os governos e empresariado dos países desenvolvidos devem apoiar e financiar os sistemas de água e saneamento nos países em desenvolvimento, onde os sistemas de água e saneamento são frequentemente insuficientes ou ineficazes e o risco de encontrar novos vírus é muito alto, até mesmo como forma de proteger seus próprios cidadãos, visto que o trânsito internacional é contínuo.

Ressalta-se que, apesar do progresso na tecnologia de tratamento de água e esgoto, as doenças transmitidas pela água continuam a ter consequências de longo alcance na saúde pública, em todos os países. Desse modo, utilizar dados de qualidade da água, características específicas de patógenos, dados de prevalência e dados de exposição, essas informações levarão a uma melhor compreensão dos riscos à saúde pública global relacionados aos sistemas de água, gerando melhores métodos de controle e sondagem (LA ROSA et al., 2012).

O novo coronavírus certamente não será o último vírus a surgir e a ameaçar seriamente a saúde pública global. Portanto, pesquisadores de ciência e engenharia devem adotar uma abordagem ampla e de longo prazo para entender a dinâmica dos vírus que se espalham pelo ambiente, bem como entender como os fatores ambientais moldam possíveis rotas de transmissão de vírus. De forma que, seja qual for a identidade do vírus que causa o próximo grande surto, será possível fornecer descrições mais informadas de sua persistência e recomendações sobre como mitigar sua disseminação (WIGGINTON e BOEHM, 2020).

#### CONCLUSÕES

A intensidade com que surgem novas ameaças microbianas à qualidade da água e à saúde das populações é preocupante. Tais patógenos emergentes e reemergentes são desafios globais para a saúde pública, visto que as suas ocorrências e persistências em meio aquático representam um risco à saúde humana devido ao contato de populações sem saneamento básico com águas contaminadas de corpos hídricos que recebem efluentes sem quaisquer tratamentos prévios. Algumas das principais causas que culminaram no cenário atual são a diminuição das barreiras internacionais proporcionada pelo fluxo das pessoas devido à globalização; as mutações e as evoluções genéticas dos patógenos; a degradação ambiental; e a falta de infraestrutura de saneamento básico e tecnologias de enfrentamento.

Um problema tão grande requer esforços conjuntos de instituições governamentais, agências reguladoras, meio acadêmico, empresas privadas e cidadãos para mudar esse quadro. Percebe-se que é papel das autoridades investir na ciência para o desenvolvimento de tecnologia para fornecer métodos válidos e reproduzíveis para a detecção, monitoramento e controle de patógenos transmitidos pela água, e outras vias, a fim de determinar a extensão dos riscos e as estratégias de mitigação da contaminação dos ambientes aquáticos. E cabe também ao poder público investir em infraestrutura de tratamento de águas de abastecimento e efluentes, garantindo o acesso universal ao saneamento básico para a população, como medida preventiva de saúde pública. Somado a isso, deve-se considerar um compromisso de todos contribuir para conservação dos recursos naturais e a preservação dos ambientes aquáticos, principalmente os arredores de mananciais e o perímetro de aquíferos e reservatórios.

Em outras palavras, são necessários esforços gerais em várias frentes, e ainda muita pesquisa para determinar formas de reduzir os efeitos de ameaças infecciosas, com ênfase na melhora da técnica de vigilância, controle e combate das agentes patológicos. Isso inclui aprimorar também as formas de investigação e notificação de surtos nos níveis local e nacional, em todo o mundo, para identificar as causas dos surtos, avaliar a dinâmica dos agentes, e entender os fatores ambientais que contribuem para esses surtos. Mesmo com todo avanço tecnológico atualmente edificado, apenas a continuidade da estruturação da base de dados sobre a qualidade da água e os mecanismos dos agentes patológicos permitirá uma melhor compreensão dos riscos à saúde pública global que tenham relação com os sistemas de água e ambientes aquáticos naturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carducci, A., Federigi, I., Liu, D., Thompson, J. R., Verani, M., **Making Waves: Coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: State of the art and knowledge needs for public health**, Water Research, Volume 179, 2020, 115907, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115907>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420304449>>. Acesso em: ago. 2020.
2. Australian Government Department of Health. 2020. **Coronavirus (COVID-19) health alert**. Disponível em: <<https://www.health.gov.au/news/health-alerts/novel-coronavirus-2019-ncov-health-alert>>. Acesso em: ago. 2020.
3. Bowser, A.D., 2020. **Coronavirus may cause environmental contamination through fecal shedding**. Medscape Medical News. Disponível em: <<https://www.medscape.com/viewarticle/926390>>. Acesso em: ago. 2020.
4. Casanova, L.M., Rutala, W.A., Weber, D.J., Sobsey, M.D., 2009. **Survival of surrogate coronaviruses in water**. Water Res. 43 (7), 1893e1898.
5. Casanova, L.M., Weaver, S.R., 2015. **Inactivation of an enveloped surrogate virus in human sewage**. Environ. Sci. Technol. Lett. 2 (3), 76e78. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00029>.
6. Corsi, S.R., Borchardt, M.A., Spencer, S.K., Hughes, P.E., Baldwin, A.K., 2014. **Human and bovine viruses in the Milwaukee River watershed: hydrologically relevant representation and relations with environmental variables**. Sci. Total Environ. 490, 849–860. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.072>.
7. Craun GF, Brunkard JM, Yoder JS, Roberts VA, Carpenter J, Wade T, et al. **Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006**. Clin Microbiol Rev 2010;23(3):507-28. <http://dx.doi.org/10.1128/CMR.00077-09>.
8. Daughton, C., 2020. **The international imperative to rapidly and inexpensively monitor community-wide Covid-19 infection status and trends**. Sci. Total Environ. 138149. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138149>.
9. de Roda Husman AM, Bartram J. **Chapter 7 Global Supply of Virus-Safe Drinking Water**. Perspect Med Virol. 2007;17:127-162. doi:10.1016/S0168-7069(07)17007-5
10. Duan, S.M., Zhao, X.S., Wen, R.F., Huang, J.J., Pi, G.H., Zhang, S.X., Han, J., Bi, S.L., Ruan, L., Dong, X.P., 2003. **Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation**. Biomed. Environ. Sci. 16, 246e255.
11. Epstein PR. **Emerging diseases and ecosystem instability: new threats to public health**. Am J Public Health. 1995;85(2):168-172. doi:10.2105/ajph.85.2.168
12. Fong TT, Lipp EK. **Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: health risks, detection, and potential water quality assessment tools**. Microbiol Mol Biol Rev 2005;69(2):357-71. <http://dx.doi.org/10.1128/MMBR.69.2.357-371.2005>
13. Givens, C.E., Kolpin, D.W., Borchardt, M.A., Duris, J.W., Moorman, T.B., Spencer, S.K., 2016. **Detection of hepatitis E virus and other livestock-related pathogens in Iowa streams**. Sci. Total Environ. 566–567, 1042–1051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.123>.
14. Gundy, P.M., Gerba, C.P., Pepper, I.L., 2009. **Survival of coronaviruses in water and wastewater**. Food Environ. Virol. 1 (1), 10e14.
15. Haramoto, Eiji & Kitajima, Masaaki & Katayama, Hiroyuki & Ito, Takafumi & Ohgaki, S. (2009). **Development of virus concentration methods for detection of koi herpesvirus in water**. Journal of fish diseases. 32. 297-300. 10.1111/j.1365-2761.2008.00977.
16. J. Jofre, A. R. Blanch, **Feasibility of Methods Based on Nucleic Acid Amplification Techniques to Fulfil the Requirements for Microbiological Analysis of Water Quality**, J. Appl. Microbiol. 2010, 109 (6), 1853– 1867.

17. Kampf, G., Todt, D., Pfaender, S., Steinmann, E., 2020. **Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents.** *J. Hosp. Infect.* 104 (3), 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>.
18. Kang Mao, Kuankuan Zhang, Wei Du, Waqar Ali, Xinbin Feng, Hua Zhang, **The potential of wastewater-based epidemiology as surveillance and early warning of infectious disease outbreaks,** *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Volume 17, 2020, Pages 1-7, ISSN 2468-5844, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.04.006>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584420300337>>. Acesso em: ago. 2020.
19. Krista R. Wigginton and Alexandria B. Boehm. **Environmental Science & Technology** 2020 54 (7), 3736-3739. DOI: 10.1021/acs.est.0c01476
20. La Rosa, G., Fratini, M., della Libera, S., Iaconelli, M., Muscillo, M. **Emerging and potentially emerging viruses in water environments.** *Ann Ist Super Sanita.* 2012;48(4):397-406. doi: 10.4415/ANN\_12\_04\_07. PMID: 23247136.
21. Marques E. **A importância do estudo da presença e detecção de vírus em água e alimentos.** In: IV Simpósio Brasileiro de Microbiologia de Alimentos, 2 a 5 abr. 1991; Goiânia/GO. p.129-130.
22. Mao, Ling, et al. **Neurologic manifestations of hospitalized patients with coronavirus disease 2019 in Wuhan, China.** *JAMA neurology* 77.6 (2020): 683-690.
23. Martínez-Puchol, S., Rusiñol, M., Fernández-Cassi, X., Timoneda, N., Itarte, M., Andrés, C., Antón, A., Abril, J.F., Girones, R., Bofill-Mas, S., 2020. **Characterisation of the sewage virome: comparison of NGS tools and occurrence of significant pathogens.** *Sci. Total Environ.* 713, 136604. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136604>.
24. Naddeo, Vincenzo & Liu, Haizhou. 2020. Editorial Perspectives: 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2): **what is its fate in urban water cycle and how can the water research community respond?.** *Environmental Science: Water Research & Technology.* 10.1039/D0EW90015J.
25. Nag, R., Whyte, P., Markey, B.K., O'Flaherty, V., Bolton, D., Fenton, O., Richards, K.G., eCummins, E., 2020. **Ranking hazards pertaining to human health concerns from land application of anaerobic digestate.** *Sci. Total Environ.* 710, 136297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136297>.
26. Okoh AI, Sibanda T, Gusha SS. **Inadequately treated wastewater as a source of human enteric viruses in the environment.** *Int J Environ Res Public Health* 2010;7(6):2620-37. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph7062620>
27. Olga E. Hart, Rolf U. Halden, **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*, Volume 730, 2020, 138875, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138875>.
28. Ottoson J, Hansen A, Bjorlenius B, Norder H, Stenstrom TA. **Removal of viruses, parasitic protozoa and microbial indicators in conventional and membrane processes in a wastewater pilot plant.** *Water Res* 2006;40(7):1449-57. [Hhttp://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.039](http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.039)
29. Pan, Y., Zhang, D., Yang, P., Poon, L.L.M., Wang, Q., 2020. **Viral load of SARS-CoV-2 in clinical samples.** *Lancet Infect. Dis.* [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30113-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30113-4)
30. Payment P, Fortin S, Trudel M. **Elimination of human enteric viruses during conventional waste water treatment by activated sludge.** *Can J Microbiol* 1986;32(12):922-5. <http://dx.doi.org/10.1139/m86-170>
31. Pignatti, Marta G. (2004). **Saúde e ambiente: as doenças emergentes no Brasil.** *Ambiente & Sociedade*, 7(1), 133-147. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000100008>
32. Pinon, A., & Vialette, M. (2018). **Survival of Viruses in Water.** *Intervirology*, 61(5), 214–222. <https://doi.org/10.1159/000484899>
33. R. Girones, M. A. Ferrús, J. L. Alonso, J. Rodríguez-Manzano, et al., **Molecular Detection of Pathogens in Water – the Pros and Cons of Molecular Techniques,** *Water Res.* 2010, 44 (15), 4325– 4339.
34. Sims, N., Kasprzyk-Hordern, B., 2020. **Future perspectives of wastewater-based epidemiology: monitoring infectious disease spread and resistance to the community level.** *Environ. Int.* 105689. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105689>
35. Symonds, E.M. and Breitbart, M. (2015), **Affordable Enteric Virus Detection Techniques Are Needed to Support Changing Paradigms in Water Quality Management.** *Clean Soil Air Water*, 43: 8-12. doi:10.1002/clen.201400235

36. Ivan Nuijs, A.L.N., Castiglioni, S., Tarcomnicu, I., Postigo, C., Alda, Lopez de, Neels, M.H., Zuccato, E., Barcelo, D., Covaci, A., 2011. **Illicit drug consumption estimations derived from wastewater analysis: a critical review.** Sci. Total Environ. 409 (19), 3564–3577. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.030>
37. Vosgerau, D. S. A. R. & Romanowski, J. P. (2014) **Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas.** Revista de Diálogo Educacional, (14)41, 165-189.
38. Wang, X.W., Li, J.S., Guo, T.K., Zhen, B., Kong, Q.X., Yi, B., Li, Z., Song, N., Jin, M., Xiao, W.J., 2005. **Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan hospital and the 309th hospital.** J. Virol. Methods 128, 156e161.
39. Wyn-Jones AP, Sellwood J. **A review: Enteric viruses in aquatic environment.** J Appl Microbiol 91: 945-962, 2001.