

**VÍRUS CONTAMINANTES DO AMBIENTE EM UMA ABORDAGEM DE
SAÚDE ÚNICA**

DOI: <https://doi.org/10.56041/9786599841804-3>

DAHMER, Mariane

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-0248-3723>

PILATI, Giulia V. T.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0001-9689-0279>

ELOIS, Mariana A.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-2986-6900>

SAVI, Beatriz P.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-7948-6212>

CADAMURO, Rafael D.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-4096-9022>

CAIO, Helena Y.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0001-5626-4708>

PENSO, Júlia Z.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-0593-5879>

PADILHA, Dayane A.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0002-2082-2883>

SOUSA, Amanda K. F.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-2718-3129>

SOUZA, Doris S. M.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0001-7854-7661>

FONGARO, Gislaine*

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0001-5596-3320>

Autor correspondente: Gislaine Fongaro, gislaine.fongaro@ufsc.br, Laboratório de Virologia Aplicada, Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 88040-970 – Brasil

RESUMO

Os vírus entéricos são vírus não envelopados que se replicam no trato gastrointestinal e apresentam transmissão fecal-oral. Estão, portanto, associados às más condições de saneamento básico e controles sanitários. As infecções por vírus entéricos podem causar enfermidades em indivíduos susceptíveis, principalmente crianças com idade inferior aos dez anos. Estas enfermidades estão associadas ao consumo de água e alimentos contaminados devido ao descarte inadequado de esgotos e águas residuais. A legislação brasileira não inclui a análise de vírus entéricos para determinar a qualidade da água, apenas padrões bacterianos, recomendando a análise de vírus apenas em caso de surtos de veiculação hídrica. Os vírus entéricos, por terem característica proteica e serem não-envelopados permanecem com capacidade infecciosa no ambiente, mesmo em contato com cloro, salinidade e aumentos de temperatura. Neste sentido, o presente capítulo apresenta uma introdução aos vírus entéricos, destacando sua presença em águas, alimentos e em efluentes de humanos e animais, considerando a necessidade do seu monitoramento para fins de segurança sanitária.

Palavras-chave: vírus entéricos; controle viral; reciclo de nutrientes.

1. INTRODUÇÃO GERAL: VÍRUS AMBIENTAIS

Os vírus entéricos pertencem ao grupo de vírus que colonizam o trato gastrointestinal humano e/ou animal, transmitidos por via fecal-oral, causando enfermidades em indivíduos susceptíveis (Salvador et al., 2020). Segundo a Organização Mundial da Saúde, em 2019 as doenças diarreicas (gastroenterites) foram a oitava causa de mortes no mundo (WHO, 2020). Elas podem ser ocasionadas por diferentes grupos de micro-organismos, sendo os vírus entéricos importantes causadores destes surtos. Embora estejam normalmente associados a doenças gastrointestinais, os vírus entéricos podem ocasionar doenças em outros sistemas, como problemas respiratórios, conjuntivite, hepatites e até mesmo meningite e encefalite (Fong & Lipp, 2005).

Os vírus entéricos têm se mostrado resistentes às condições ambientais adversas, uma vez que são resistentes a mudanças de temperatura, ampla faixa de pH e também possuem capacidade de suportar a salinidade, favorecendo sua transmissão por contato pessoa-pessoa, rota zoonótica ou por algum objeto. Pela grande persistência no meio ambiente, por serem excretados em grande quantidade nas fezes (até

10¹¹ cópias genômicas/g) e por possuírem dose infecciosa baixa (1 a 100 partículas virais), estão frequentemente associados ao consumo de água e alimentos (Noble et al., 2004).

Existem aproximadamente 150 tipos de vírus entéricos humanos conhecidos, que quando em contato com o corpo humano pela via oral, multiplicam-se no trato gastrointestinal sendo excretados abundantemente nas fezes de indivíduos contaminados sintomáticos ou não. Os vírus entéricos encontram-se amplamente disseminados em todo o mundo e uma vez liberados no ambiente podem contaminar sistemas de fornecimento de água, águas recreacionais, águas estuarinas, alimentos, solos e fômites (Figura 1) (Martins, 2013; Oliveira, 2018).

Os vírus entéricos pertencem a diferentes famílias, os mais comuns pertencentes às famílias *Adenoviridae* (adenovírus), *Caliciviridae* (norovírus, calicivírus, astrovírus), *Reoviridae* (reovírus, rotavírus) e *Picornaviridae* (poliovírus, coxsakievírus, vírus da hepatite A e echovírus) (Fong & Lipp, 2005; Prado & Miagostovich 2014). A patogênese das viroses entéricas relaciona-se ao hospedeiro e a virulência do agente. Este mecanismo envolve múltiplos fatores, assim, as infecções virais podem levar à doença subaguda, aguda ou crônica, dependendo da forma como o vírus interfere diretamente nas funções celulares, ou indireta, através da resposta do hospedeiro à infecção (Flores et al., 2007; Mcvey et al., 2017).

O objetivo deste capítulo é abordar os vírus entéricos como patógenos humanos e de outros animais, bem como a contribuição do estudo da virologia ambiental para a melhoria da qualidade de vida, propiciando a construção de ambientes sustentáveis, em prol da saúde única.

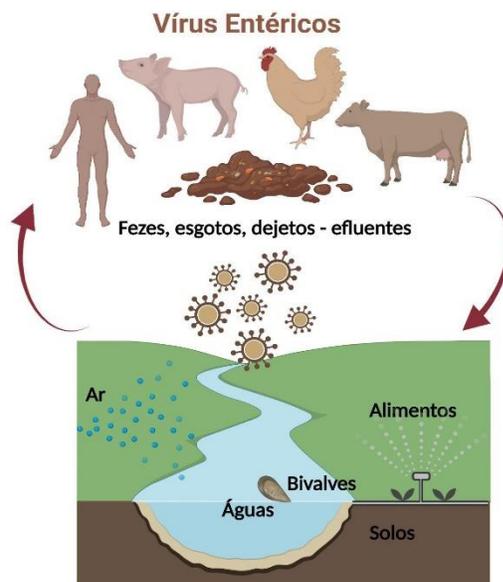


Figura 1 – Principais rotas de transmissão dos vírus entéricos.

1.1 VÍRUS CONTAMINANTES DE ALIMENTOS

A contaminação dos alimentos pode ocorrer durante a produção primária, como nas lavouras (contato com água e fertilizantes orgânicos contaminados) e na criação dos animais (água, ração contaminada e contato com outros animais infectados); ou nas etapas subsequentes, que envolvem transporte e processamento dos alimentos nas indústrias e nos comércios (Doro et al., 2015; Rodríguez-Lázaro et al., 2012). O uso de fertilizantes orgânicos nas lavouras é uma importante fonte de contaminação da água e dos alimentos por patógenos virais zoonóticos.

Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA) são responsáveis por perdas na saúde e são de grande impacto econômico (Hussain & Dawson, 2013). Mundialmente, os vírus entéricos constituem uma importante parcela dentre os patógenos causadores de DTHA. Em estimativa realizada pela OMS entre 2007 a 2015, o número de doentes chegou aos 600 milhões, sendo 120 milhões (20%) das doenças ocasionadas por norovírus (NoV) e 14 milhões (2%) pelo vírus da hepatite A (HAV) (Bosch et al., 2018). Em 2018, nos EUA, os NoV foram responsáveis por mais de 5 milhões de casos de gastroenterites, ocasionando um impacto econômico de mais de dois bilhões de dólares (Hoffmann, 2022). NoV e HAV foram a terceira e sétima causas, respectivamente, de alertas de contaminação e rejeição de alimentos nas fronteiras da União Europeia entre 2012 a 2019 (FAO, 2020).

Algumas particularidades fazem com que eles sejam os mais frequentemente relacionados às doenças entéricas de origem viral associadas ao consumo de alimentos contaminados. No caso dos NoV, a resistência à descontaminação química pelo cloro nas concentrações usuais aplicadas nas estações de tratamento de água e esgoto (10 mg/L), é uma importante característica que favorece sua persistência no meio ambiente (Goda et al., 2022; Tavares et al., 2005). Além da maior resistência aos desinfetantes, os NoV humanos são capazes de se ligarem a um tipo de ligante, presente nas células de algumas espécies de moluscos bivalves, especialmente das ostras. Esse ligante, denominado HBGA-*like*, tem estrutura semelhante à dos Antígenos de Grupo Histo-Sanguíneo Humanos (*Histo-Blood Group Antigens*, HBGA), estrutura esta utilizada por esses vírus durante o processo de infecção nos humanos. Em decorrência disto, eles permanecem ligados às células desses animais, não sendo eliminados nem mesmo pelo processo de depuração em tanques. Isto faz com que permaneçam nos animais por semanas ou meses. Aliado a este fato, a tradição de consumo de ostras cruas ou levemente cozidas aumenta o risco de contaminação humana por esses vírus (Le Guyader et al., 2012).

Diferentemente do que ocorre com os NoV, HAV pode ser inativado por cloro a 5 mg/L em 5 min de contato (Tavares et al., 2005). Entretanto, dentre os vírus entéricos humanos, ele é o que possui maior resistência ao aumento da temperatura. Estudos reportaram que este micro-organismo pode permanecer infeccioso, mesmo após alguns preparos culinários envolvendo moluscos bivalves (mexilhões, mariscos e ostras). Dependendo da composição da amostra, ou matriz, em que ele se encontra (quantidade de proteínas, carboidratos, lipídeos, etc.), pode permanecer infeccioso mesmo após cozimentos a 90°C por 9 min (Bertrand et al., 2012; Croci et al., 2005; Sow et al., 2011). Esta característica faz com que HAV seja um risco potencial de doença após consumo de alimentos crus ou brevemente cozidos.

Manipuladores ou equipamentos contaminados nas indústrias e comércios também são importantes causas na produção de surtos de doenças ocasionados por esses vírus (Souza et al., 2021). É importante atentar aos cuidados na produção primária dos alimentos, principalmente na qualidade da água de irrigação (ou criação) e na utilização de fertilizantes orgânicos não contaminados por patógenos zoonóticos. O monitoramento de animais doentes nos rebanhos e dos parâmetros bacterianos e virais nos moluscos bivalves também reduz o risco de surtos de doenças entéricas nos humanos. Boas práticas de manipulação dos alimentos e de descontaminação dos equipamentos e recipientes utilizados durante o processamento, armazenamento ou transporte, reduz o risco potencial de veiculação de patógenos pelos alimentos.

1.2 VÍRUS CONTAMINANTES DO AMBIENTE AQUÁTICO E ESGOTOS

A formação da vida e a seleção natural indubitavelmente dependeram da presença da água. Participando como solvente universal e/ou como doador de prótons (H^+) ou hidroxilas (OH^-), característica que propiciou desde o início na formação de moléculas orgânicas, aminoácidos até a polimerização de primeiras fitas de RNA e o surgimento de proto-células (Robertson & Joyce, 2012; Vieira et al., 2020).

A demanda por água potável está diretamente relacionada com o crescimento populacional. Ao longo dos últimos 100 anos a demanda por água cresceu em 600%, havendo relação com o modelo econômico, produção industrial e a agricultura (Wada et al., 2016). O crescimento populacional estimado para 2050 está entre 9,2 e 10 bilhões de pessoas no planeta, o que contribuirá para maior demanda hídrica no futuro (Boretti & Rosa, 2019).

Os primeiros processos de tratamento de água foram descritos pelos egípcios, em torno de 1500 a.C, usando o alumínio para deposição de matéria orgânica, além do uso de ervas para o tratamento de água (Ahmed et al., 2020). O desenvolvimento ao longo dos anos nas formas de tratamento de água incluiu ozônio e cloro como opções de tratamento, além do uso de camadas de areia para retenção de partículas, estabelecido nos Estados Unidos, apenas em 1914, o primeiro padrão bacteriológico para coliformes em água potável (Hall & Dietrich, 2000). Em 1984, vírus entéricos foram detectados em amostras de água com índices aceitáveis de coliformes, cloro e turbidez, demonstrando a ineficácia do sistema de tratamento de água adotado para vírus (Keswick et al., 1984). A presença de vírus no esgoto trouxe uma nova perspectiva acerca de contaminações diretas e/ou indiretas por vírus entéricos que utilizam a rota fecal-oral, considerando a contaminação por esgotos de corpos d'água e vegetais e frutas cultivados utilizando água contaminada.

Para a garantia da saúde pública, é essencial que todos tenham acesso à água de qualidade e a boas condições de saneamento básico e redes de esgoto. Baseado nisto, é possível utilizar os esgotos para monitoramento epidemiológico. Este monitoramento torna-se essencial principalmente em áreas remotas, com populações com padrões de higiene precários, sistemas de saneamento baixos ou inexistentes (Fongaro et al., 2021). O monitoramento ambiental ("Wastewater-Based Epidemiology") permite identificar variantes de vírus, assim como a presença e/ou abundância de vírus. Tal ferramenta foi utilizada para identificar a circulação do novo coronavírus SARS-CoV-2, assim como de diversos outros vírus, como rotavírus A, hepatite A, norovírus, coxsackievirus, echovirus, reovirus e astrovirus (Hart & Halden, 2020; Mao et al., 2020; Thompson et al., 2020).

Atualmente mais de 25% da população mundial não possui acesso às redes de coleta de esgoto e saneamento básico (WHO/UNICEF, 2017). Esses resíduos descartados inadequadamente acabam sendo direcionados à corpos d'água, onde patógenos presentes nos dejetos conseguem permanecer viáveis por longos períodos em condições desfavoráveis. Devido à alta resistência às variações ambientais e a processos de desinfecção, a baixa dose infecciosa e a alta taxa com que são excretados nas fezes, a presença de vírus entéricos em ambientes aquáticos gera preocupações quanto à saúde pública (Fong & Lipp, 2005).

Uma vez presentes no ambiente aquático, os vírus entéricos o utilizarão como via de transporte, podendo contaminar águas subterrâneas, mares, rios e lagos (De Giglio et al., 2017; Farkas et al., 2018; Girardi et al., 2019; Pang et al., 2019). Através do consumo ou do contato direto por meio de atividades

recreativas com águas contaminadas, ou insuficientemente tratadas, a disseminação dos vírus entéricos pode levar ao desenvolvimento de surtos gastroentéricos na população. Estes vírus já foram apontados como responsáveis por diversos surtos relacionados ao consumo de águas conforme o padrão de potabilidade exigido e à realização de atividades recreativas aquáticas, como nado, canoagem e surfe (Elmahdy et al., 2016; Vieira et al., 2012).

Utilizando o ambiente aquático como via, os vírus entéricos podem atingir recursos hídricos designados para captação de água para a população. Represas, mananciais, lagos, poços e reservatórios utilizados para captar a água que será destinada ao tratamento e distribuição, estarão potencialmente contaminados com patógenos advindos do descarte inadequado de esgotos e águas residuais (Luz et al., 2017; Salvador et al., 2020).

O processo de desinfecção aplicado na maioria das estações de tratamento de água baseia-se na adição de cloro à água, tratamento este que já se mostrou ineficaz para a remoção de vírus entéricos do ambiente na presença de partículas orgânicas (Prado & Miagostovich, 2014). Apesar deste risco, e da ineficiência dos tratamentos usuais aplicados, a legislação brasileira ainda opta por não incluir a análise em busca da presença de vírus nos padrões de potabilidade da água. Na última alteração realizada na legislação referente aos padrões de potabilidade de água, brasileiros ainda recomendam a análise em busca da presença de vírus nas águas apenas em casos de surtos de gastroenterites diarreicas (Ministério da saúde, 2021). Em comparação, a legislação dos Estados Unidos inclui não apenas a avaliação da presença de vírus entéricos, como também de bactérias heterotróficas e protozoários (USEPA, 1996).

Os vírus entéricos são importantes patógenos frequentemente isolados em esgotos e ambientes aquáticos contaminados com fezes. São responsáveis pelo desenvolvimento de inúmeros surtos relacionados ao consumo ou contato com águas contaminadas, inclusive em casos onde o recurso hídrico em questão se encontrava conforme os padrões de potabilidade da água exigidos pela legislação brasileira. A contaminação do ambiente aquático por vírus entéricos prejudica economicamente a população, uma vez que a implementação de tratamentos mais sofisticados serão necessários para a eliminação destes resistentes patógenos. Por fim, aponta-se a importância da avaliação da contaminação viral no ambiente como ferramenta eficaz do monitoramento da disseminação e circulação de patógenos na população (Prado & Miagostovich, 2014).

1.3 VÍRUS ENTÉRICOS EM ANIMAIS DOMÉSTICOS E DE PRODUÇÃO

Infecções entéricas levam à importantes impactos e perdas econômicas na produção animal, além de aumentarem a suscetibilidade às infecções secundárias por outros agentes (Mcvey et al., 2017; Quin et al., 2007). Os principais vírus entéricos, com transmissão fecal-oral, de importância na medicina veterinária são os dos gêneros *Rotavirus*, *Parvovirus*, *Circovirus*, *Norovirus* e alguns membros das famílias *Adenoviridae* e *Coronaviridae*.

Os rotavírus pertencentes à família *Reoviridae*, são vírus não envelopados de RNA de cadeia dupla, relacionados à quadros de enterite e diarreia em animais jovens de diferentes espécies, como bezerros, leitões, cordeiros e equinos, assim como em humanos. Os rotavírus são organizados em grupos A, B e C e acometem tanto humanos quanto animais, enquanto os grupos D, E e F foram descritos apenas em animais. Picos de casos em meses frios sugerem a sazonalidade das infecções pelo rotavírus (Flores, 2007; Fongaro et al., 2015).

O parvovírus canino (PCV) é um vírus de DNA de fita simples, o qual teve uma grande importância mundial na década de 70, devido à alta morbidade e mortalidade, e mantém-se circulante, globalmente, até os dias atuais. Os sinais característicos da parvovirose são enterite grave, com anorexia, vômito, diarreia hemorrágica e choque (Flores, 2007). Filhotes são os mais propensos a desenvolver gastroenterite hemorrágica (Voorhees et al., 2019).

O circovírus suíno tipo 2 (PCV2) é um vírus não envelopado de DNA circular de fita simples, associado às diferentes síndromes clínicas. A infecção por PCV2 tem início no sistema imunológico e, após o período de viremia, se dissemina pelo sistema. Os sinais clínicos mais comuns dos animais são: emagrecimento, anorexia, aumento dos linfonodos e diarreia. Os circovírus são muito resistentes às condições ambientais e aos desinfetantes, facilitando a transmissão por contato direto ou indireto, ou por fômites (Flores, 2007; Opriessnig et al., 2020).

Apesar de poderem estar associados às doenças em humanos, os norovírus podem causar gastroenterite severa em animais domésticos, assim como também podem ser isolados de animais saudáveis, fato que sugere que os animais possam atuar como reservatórios não só de norovírus, mas também de outros gêneros da família *Caliciviridae* que causam gastroenterite em humanos (Flores, 2007).

Os adenovírus, vírus não envelopados de DNA de fita dupla, estão envolvidos em infecções em diferentes espécies animais de mamíferos, aves, répteis e anfíbios. A família *Adenoviridae* é composta pelos gêneros *Aviadenovirus* e *Mastadenovirus*. No segundo grupo encontram-se os adenovírus de mamíferos que são: adenovírus suínos, adenovírus bovinos e adenovírus ovinos. Nos bovinos, produzem sinais clínicos leves ou inaparentes, porém, alguns sorotipos podem ser associados às doenças entéricas agudas e fatais em bezerros (Fong & Lipp, 2005).

Os coronavírus, vírus RNA de fita simples, são associados às doenças respiratórias, neurológicas e entéricas. Os principais vírus causadores de doenças entéricas em animais domésticos dessa família são: vírus da gastroenterite transmissível dos suínos (TGEV), vírus da diarreia epidêmica dos suínos (PEDV), coronavírus canino (CCoV) e coronavírus bovino (BCoV). O TGEV é causador de uma doença entérica, altamente contagiosa que acomete principalmente leitões com maior prevalência no hemisfério norte durante o inverno, fato associado à estabilidade em baixas temperaturas e à baixa incidência de luz solar no período. O PEDV, é prevalente em estações frias e encontra-se mundialmente difundido na indústria suinícola. Suínos em todas as fases são suscetíveis aos patógenos, porém os leitões são os mais sensíveis, apresentando altas taxas de morbidade e letalidade (Wu et al., 2022). O CCoV está associado a surtos esporádicos de enterite em cães, todavia, filhotes são mais sensíveis. O BCoV é endêmico na população de bovinos e está envolvido nos casos de enterite em bezerros e bovinos adultos, todavia também pode causar quadros respiratórios em bovinos jovens (Flores, 2007).

2. PADRÕES SANITÁRIOS E PROCESSOS PARA CONTROLE VIRAL

2.1. Redução de vírus em cama de aviário e dejetos de suínos usados como biofertilizantes

A produção animal aumenta a cada ano e com isso gera-se uma grande quantidade de resíduos e dejetos animais que causam grande preocupação devido ao seu impacto no meio ambiente. Uma das soluções para a reciclagem destes resíduos é sua aplicação como biofertilizantes.

A cama de aviário é a mistura dos materiais utilizados como cama, como maravalha e serragem, excreta das aves, restos de comida e penas. A cama é um substrato rico em nutrientes, por esta razão pode ser aplicada como adubo. Todavia, existe a necessidade do conhecimento da quantidade de cama produzido em cada ciclo de aves, para o cálculo do balanço de nutrientes (Lopes et al., 2015; Vaz et al., 2017).

O reuso da cama de aviário garante a sustentabilidade da produção, porém para a reutilização da cama, existe a necessidade da utilização de processos visando a redução e/ou inativação de microorganismos com potencial patogênico. No Brasil, os procedimentos mais utilizados para tratamento de cama são a fermentação plana, a fermentação em leira e a adição de cal virgem (EMBRAPA, 2017). O processo de fermentação plana consiste no empilhamento, seguido de umidificação da cama de aviário e a cobertura deste material com uma lona impermeável. Passados 12 dias, a lona é retirada e o material permanece em repouso por 2 dias, período em que a amônia produzida por fermentação se dissipa ao ambiente e reduz-se a umidade. Depois deste período, a cama de aviário se encontra apta para receber o próximo lote de aves. Através deste método, foi demonstrada a inativação do vírus da Doença de Gumboro, o qual serve como modelo viral, tendo em vista sua alta resistência a diferentes tratamentos (Voss-Rech et al., 2017). No método de enleiramento a cama é empilhada em um ponto do galpão e coberta com lona. O calor necessário para a inativação de patógenos é gerado por bactérias presentes na cama (Lopes et al., 2015; Voss-Rech et al., 2017). O método de adição de cal virgem é utilizado em galpões com postes centrais, neste caso ocorre uma diminuição da carga bacteriana na cama devido à redução da atividade da água e aumento do pH (Lopes et al., 2015).

Os dejetos suínos são compostos de fezes, urina e água e apresentam alto teor de sólidos, matéria orgânica, fósforo e minerais (Fongaro et al., 2015). Estima-se que mil suínos criados no sistema de terminação liberam anualmente nas estrumeiras ou lagoas de armazenagem cerca de 8.000 kg de nitrogênio (N), 4.300 kg de pentóxido de difósforo (P_2O_5) e 4.000 kg de óxido de potássio (K_2O), totalizando 16.300 kg destes nutrientes (EMBRAPA, 2019). Antes que seja aplicado ao solo, é recomendado que este material seja tratado com a finalidade de reduzir seus impactos no ambiente.

Os principais métodos de tratamento combinam processos físicos e biológicos. No processo físico, o dejetos é submetido a um ou mais processos físicos para a separação das partes sólida e líquida. Os processos utilizados podem ser a centrifugação, decantação, peneiramento e/ou prensagem (Viancelli et al., 2013). No Brasil, os tratamentos mais utilizados incluem a fermentação (biodigestor anaeróbio com produção de biogás), compostagem e alcalinização. A utilização de biodigestor é a estratégia mais utilizada no Brasil, nesta técnica o biogás gerado é utilizado como fonte de energia na forma de calor ou eletricidade. A compostagem é um método alternativo que modifica as características químicas e físicas dos dejetos. Durante o processo ocorre a produção de calor que tem como resultado um produto de alto valor

agronômico. Por fim a alcalinização, que utiliza de CaO (cal), que atua no aumento do pH do material e na quantidade de amônia livre, o que leva à inativação viral (Kunz et al., 2009).

2.2. Material fecal de origem humana para fins de biofertilização e irrigação

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2017, 57.6% dos municípios brasileiros possuem serviço de coleta de esgoto sanitário. Destes, 62.8% possuem estações de tratamento de esgoto em operação (IBGE, 2020). A falta de saneamento pode implicar na reintrodução de vírus que apresentam transmissão fecal-oral, como por exemplo, os enterovírus e se tornar um problema de saúde pública.

A legislação brasileira vigente determina apenas a análise de padrões bacterianos como controle de qualidade de amostras de água que serão utilizadas para o consumo humano. A análise destas amostras deve resultar na ausência de *Escherichia coli* e coliformes totais em 100 mL de água (Portaria GM/MS Nº 888 de 04/05/2021). Apenas em situações de surto de doença diarreica aguda ou outro agravo de transmissão fecal-oral é recomendada a análise dos vírus de transmissão gastrointestinal *adenovírus*, *astrovírus*, *enterovírus*, *hepatite A e E*, *norovírus*, *rotavírus* e *sapovírus* (Portaria Nº 2.914 de 12/12/2011).

No Brasil e em muitos outros países, o método tradicional para tratamento do esgoto doméstico é a estação de tratamento de esgoto (ETE), a qual consiste em cinco etapas. Do total da água residual, cerca de 1% consiste em material sólido e 99% em material líquido. Na primeira etapa do tratamento, materiais sólidos grandes descartados incorretamente na rede de esgoto (por exemplo, absorventes) são retidos por meio de grades (gradeamento). Em seguida, a água residual passa por uma caixa de areia (desarenadores), onde ocorre a remoção de sólidos mediante sedimentação, e segue para tanques de aeração, onde micro-organismos (bactérias, fungos e parasitas) promovem reações químicas que condensam a matéria orgânica em flocos de lodo. Por meio do processo de decantação, o lodo formado sedimenta, separando-se da parte líquida. Este lodo é então desidratado e descartado em um aterro sanitário. A parte líquida restante é tratada e devolvida ao meio ambiente (Ministério das Cidades, 2008).

Estudos indicam a presença de adenovírus humano infeccioso em amostras de água provenientes do sistema de abastecimento (Fongaro et al., 2015; Garcia et al., 2012), evidenciando a contaminação destas com dejetos humanos e a ineficiência do processo de tratamento de esgoto em eliminar este vírus. Do mesmo modo, estes estudos demonstram a necessidade de implementação de um sistema de controle viral

para garantir a qualidade da água, uma vez que não há uma correlação direta entre a presença de bactérias e vírus entéricos (Ley et al., 2002).

2.2.1. Uso de biofertilizantes líquidos

Além do descarte do lodo feito em aterro sanitário e devolução da porção líquida ao meio ambiente, há outros destinos que podem ser traçados para o efluente de esgoto tratado. Considerando que a agricultura é a principal usufrutuária da água proveniente de rios e reservatórios naturais e artificiais (Pereira, 2011), a porção líquida do efluente de esgoto tratado pode ser utilizada como biofertilizante para irrigação.

O reuso de efluente de esgoto tratado de maneira eficaz para irrigação traz benefícios ambientais, sociais e econômicos, além da redução dos custos de produção agrícola, haja visto a grande contribuição do efluente tratado com o aporte de água e nutrientes para as plantas que auxiliam na promoção da agricultura sustentável e do desenvolvimento rural (Haandel et al, 2009; Sandri & Rosa, 2017).

Países como Israel, Alemanha e Estados Unidos destacam-se no que diz respeito à utilização de esgoto tratado. No Brasil, entretanto, o reuso da irrigação agrícola é uma prática recente e sem dados oficiais de quantidade de efluentes reutilizados (Kramer, 2016; Sandri & Rosa, 2017).

A falta de controle e regulamentação no reuso, como ocorre no Brasil, podem provocar alterações nos atributos do solo causadas pela presença de sais no esgoto e alterações na fertilidade do solo causadas pela elevação do pH que influenciam na disponibilidade de nutrientes. Desta forma, o manejo da irrigação com esgoto deve prever estas e outras variáveis, garantindo a prática do reuso de maneira eficaz e evitando alterações físicas e químicas do solo, contaminação de plantas e trabalhadores com patógenos microbianos e metais pesados (Haandel et al, 2009; Silva et al., 2016).

Com relação aos vírus, os bacteriófagos são utilizados como indicadores virais de vírus patogênicos, pois compartilham propriedades com vírus humanos como composição, morfologia, estrutura e modo de replicação (Armon & Kott, 1996; Grabow, 2001; Jofre et al., 2007; Jofre et al, 2016). Dessa forma, autoridades regulatórias em diferentes partes do mundo estão começando a considerá-los como indicadores virais em água de reuso, por exemplo (NCDENC, 2011; QEPA, 2005). Os regulamentos da Califórnia incluem bacteriófagos F específicos como uma meta de desempenho (99,999% de remoção/inativação de águas residuais brutas) para irrigação de culturas alimentares (CDPH, 2015). Além

disso, os regulamentos estaduais da Carolina do Norte adotam colífagos como meta de qualidade para irrigação de culturas alimentares não processadas (USEPA, 2012). Em contrapartida, os regulamentos dos Estados Membros para irrigação agrícola não incluem colífagos ou qualquer vírus indicador para monitoramento, com exceção do regulamento francês que inclui F-RNA colífagos como meta de desempenho para monitoramento de validação em agricultura de irrigação (Sanz & Gawlik, 2014).

2.2.2. Uso de biofertilizantes sólidos

Após o processo de decantação e desidratação, sendo esta feita por Leito de Secagem ou por Filtro de Prensa, a massa sólida de lodo ainda corresponde somente a 18-20%, sendo o restante água (CASAN, 2022). Esta massa é transportada para os aterros sanitários ou incineração, o que além de apresentar altos custos de manutenção, pode apresentar riscos de contaminação de solos e lençóis freáticos (Quintana et al., 2011). Visando uma alternativa mais ecológica e economicamente viável, algumas ETEs, como a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), estão desenvolvendo técnicas de refinamento, transporte e uso do lodo de esgoto como agregado leve na construção civil e/ou como fertilizante orgânico na agricultura e reflorestamento. Neste último caso, o lodo recebe o nome de biossólido e atua como fertilizante ou um adicional na compostagem (Quintana et al., 2011).

Historicamente, os Estados Unidos e a União Europeia se tornaram referências mundiais na determinação de normas e diretrizes nos fatores de qualidade e manuseio dos biofertilizantes derivados de esgoto (Batista, 2015). Por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), rege o seu uso na agricultura desde 1997 (USEPA, 1997) e descreve os tratamentos mínimos do lodo por aquecimento, pasteurização e até irradiação por raios beta/gama, entre outros, para o seu uso legal como biofertilizante (e-CFR, 1993). Esta norma serviu como base para a criação da legislação brasileira sobre os biossólidos, é atualmente regida pela Resolução nº 375/2006 da CONAMA. Segundo esta, o biossólido deve ser caracterizado quanto a presença e quantidade de agentes patogênicos como coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* e vírus entéricos. Estes últimos não podem apresentar valores maiores que 0,25 Unidades Formadoras de Placa por grama de sólidos totais.

Desde os anos 2000, diversos estudos estão sendo realizados para avaliar a segurança e os benefícios dos biossólidos aplicados na agricultura brasileira, vários destes conduzidos pela Embrapa. O seu uso é vantajoso devido ao alto teor de matéria orgânica, macro e micronutrientes, especialmente de

nitrogênio e fósforo, muito importantes para o desenvolvimento das plantas. Além de ser mais economicamente viável, já se comprovou que uma substituição parcial do fertilizante mineral pelo lodo promove uma produtividade igual ou até maior no cultivo de soja (Souza et al., 2009), milho (Lemainski & Silva, 2006), mamona (Silva et al., 2014), entre outros. Entretanto, o seu uso é proibido em “[...] pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo” (Resolução 375/2006 CONAMA) devido ao maior risco de contaminação.

3. CONCLUSÃO

Os vírus entéricos têm grande importância na saúde humana e animal, possuindo sua manutenção pela via ambiental. Sua presença nos ambientes aquáticos reforça a necessidade de melhorias em sistemas de tratamentos de água, esgoto e de dejetos animais, promovendo segurança sanitária e por consequência a redução de doenças entéricas.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

- Ahmed, A T., Gohary, F. E., Tzanakakis, V. A., & Angelakis, A N (2020). Egyptian and Greek Water Cultures and Hydro-Technologies in Ancient Times. *Sustainability*, 12(9760), 1-26. doi: 10.3390/su12229760.
- Armon, R., & Kott, Y. (1996). Bacteriophages as indicators of pollution. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 26(4), 299-335. doi: 10.1080/10643389609388494.
- Batista, L. F. (2015). Lodos Gerados Nas Estações De Tratamento De Esgotos No Distrito Federal: Um Estudo De Sua Aptidão Para O Condicionamento, Utilização E Disposição Final. Dissertação De Mestrado Em Tecnologia Ambiental E Recursos Hídricos. Disponível em <<http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/PUBLICA%C3%87%C3%83O-PTARHDM-%E2%80%93-1682015.pdf>>. Acesso em 29 de maio de 2022.
- Bertrand, I., Schijven, J. F., Sánchez, G., Wyn-Jones, P., Ottoson, J., Morin, T., Muscillo, M., Verani, M., Nasser, A M, Husman, de Roda, Myrrel, M., Sellwood, J., Cook, N., & Gantzer C. (2012). The impact of temperature on the inactivation of enteric viruses in food and water: A review. *Journal of Applied Microbiology*, 112(6), 1059-1074. doi: 10.1111/j.1365-2672.2012.05267.x.
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development. *Clean Water*, 2(1), 1-6. doi: 10.1038/s41545-019-0039-9.

Bosch, A, Gkogka, E, Le Guyader, F. S, Loisy-Hamon, F, Lee, A, Lieshout, L.V, Marthi, B, Myrnel, M, Sansom, A, Schultz, A.C, Winkler, A, Zuber, S, & Phister, T. (2018). Foodborne viruses: Detection, risk assessment, and control options in food processing. *International Journal of Food Microbiology*, 285, 110–128. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.001.

ODPH (2015). Regulations related to recycled water. California Code of Regulations. California Department of Public Health, Sacramento, California, USA Disponível em <https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/documents/lawbook/RWregulations_20181001.pdf>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) (2022). ETE - Estação de tratamento de esgotos sanitários. Disponível em <<https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index?url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Croci, L, De Medici, D, Di Pasquale, S, & Toti, L (2005). Resistance of hepatitis A virus in mussels subjected to different domestic cookings. *International Journal of Food Microbiology*, 105(2), p. 139–144. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.04.008.

De Giglio, O, Caggiano, G, Bagordo, F, Barbuti, G, Brigida, S, Lugoli, F, Grassi, T, Rosa, G L, Lucentini, L, Uricchio, V. F, De Donno, A, & Montagna, M T. (2017). Enteric Viruses and Fecal Bacteria Indicators to Assess Groundwater Quality and Suitability for Irrigation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(6), 1–13. doi: 10.3390/ijerph14060558.

Doro, R, Farkas, S L, Martella, V, & Banyai, K (2015). Zoonotic transmission of rotavirus: Surveillance and control. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 13(11), 1337–1350. doi: 10.1586/14787210.2015.1089171.

Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR). (1993). 40 CFR Appendix B to Part 503 - Pathogen Treatment Processes. Disponível em <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-B_to_part_503>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Elmahdy, M E I, Fongaro, G, Magri, M E, Petruccio, M M, & Barardi, C R M (2016). Spatial distribution of enteric viruses and somatic coliphages in a Lagoon used as drinking water source and recreation in Southern Brazil. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(7), 617–625. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.07.009.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2019). Potencial Agrônomo do Dejetos de Suínos. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/207427/1/final9052.pdf>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2017). Manejo Ambiental da Cama de Aviário. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163141/1/MANEJO-AMBIENTAL-DA-CAMA-DE-AMARICO03082017.pdf>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Farkas, K, Cooper, D M, McDonald, J. E, Malham, S K, de Rougemont, A, & Jones, D L (2018). Seasonal and spatial dynamics of enteric viruses in wastewater and in riverine and estuarine receiving waters. *Science of The Total Environment*, 634(1), 1174–1183. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.038.

Flores, E F. (2007). *Virologia Veterinária*. Editora UFSM Santa Maria.

Fong, T, & Lipp, E K (2005). Enteric Viruses of Humans and Animals in Aquatic Environments: Health Risks, Detection, and Potential Water Quality Assessment Tools. *ASM Journals*, 69(2). doi: 10.1128/MMBR.69.2.357–371.2005.

Fongaro, G, Padilha, J, Schissi, C D, Nascimento, M A, Bampi, G B, Viancelli, A, & Barardi, C R M (2015). Human and animal enteric virus in groundwater from deep wells, and recreational and network water. *Environ Sci Pollut Res* doi: 10.1007/s11356-015-5196-x.

Fongaro, G, Rogovski, P., Savi, B P., Cadamuro, R D, Pereira, J. V. F., Anna, L H S, Rodrigues, I. H, Souza, D S M, Saravia, E G T., Rodríguez-Lázaro, D, & Lanna, M C S. (2021). SARS-CoV-2 in Human Sewage and River Water from a Remote and Vulnerable Area as a Surveillance Tool in Brazil. *Food and Environmental Virology*. doi: 10.1007/s12560-021-09487-9.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). Alerts & border rejections by causes (2012-2019) - Microbiological causes, GLOBEFISH Information and Analysis on World Fish Trade_ Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em <http://www.fao.org/in-action/globefish/border-rejections/border-rejections-eu/en/>. Acesso em 24 de maio, 2022.

Garcia, L A T, Mancelli, A, Rigotto, C, Pilotto, M R, Esteves, P. A, Kunz, A, & Barardi, C R M (2012). Surveillance of human and swine adenovirus, human norovirus and swine circovirus in water samples in Santa Catarina, Brazil. *Journal of Water and Health*, 10 (3), 445-452. doi: 10.2166/wh.2012.190.

Girard, V, Demoliner, M, Gualarte, J. S, & Spilki, F. R (2019). 'Don't put your head under water': enteric viruses in Brazilian recreational waters. *New Microbes and New Infections*, 29(100519). doi: 10.1016/j.nmi.2019.100519.

Goda, H, Nakayama-imachiji, H, Yamaoka, H, Tada, A, Nagao, T, Fujisawa, T, Koyama, A H, & Kuwahara, T. (2022). Inactivation of human norovirus by chlorous acid water, a novel chlorine-based disinfectant. *Journal of Infection and Chemotherapy*, 28(1), 67-72. doi: 10.1016/j.jiac.2021.10.001.

Grabow, W (2001). Bacteriophages update on application as models for viruses in water. *Water SA* 27(2). doi: 10.4314/wsa.v27i2.4999.

Hall, E L, & Dietrich, A M (2000). A Brief History of Drinking Water. *Opflow* 26(6), 46-49. doi:10.1002/j.1551-8701.2000.tb02243.x.

Hart, O E, & Halden, R U (2020). 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*, 730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138875.

Hoffmann, S. (2022). Cost Estimates of Foodborne Illnesses. Disponível em <http://ers.usda.gov/data-products/cost-estimates-of-foodborne-illnesses.aspx>. Acesso em 11 de maio de 2022.

Hussain, M A, & Dawson, C D (2013). Economic Impact of Food Safety Outbreaks on Food Businesses. *Foods* 2(4), 585-589. doi: 10.3390/foods2040585.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Coordenação da População e Indicadores Sociais. (2020). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Rio de Janeiro. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>>. Acesso em 12 de maio de 2022.

Jofre, J, Lucena, F, Blanch, A R, & Muniesa, M (2016). Coliphages as Model Organisms in the Characterization and Management of Water Resources. *Water*, 8(199), 1-21. doi: 10.3390/w8050199.

Jofre, J. (2007). Indicators of Waterborne Enteric Viruses. *Perspectives in Medical Virology*, 17, 227-249. doi: 10.1016/S0168-7069(07)17011-7.

Keswick, B H, Gerba, C P, DuPont, H L, & Rose, J. B (1984). Detection of Enteric Viruses in Treated Drinking Water. *Applied And Environmental Microbiology*, 47(6), 1290-1294. doi: 0099-2240/84/0601290-05\$02.00/0.

Kramer, D (2016). Israel: A water innovator. *Physics Today*, 69(6), 24-26. doi: 10.1063/PT.3.3193.

- Kunz, A, Mele, M, & Steinmetz, R L R (2009). Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. *Bioresource Technology*, 100(22), 5485–5489. doi: 10.1016/j.biortech.2008.10.039.
- Le Guyader, F. S, Atmar, R L, & Le Pendu, J. (2012). Transmission of viruses through shellfish: When specific ligands come into play. *Current Opinion in Virology*, 2(1), 103–110. doi: 10.1016/j.coviro.2011.10.029.
- Leminski, J, Silva, J. E (2006). Utilização do Brossólido da CAESB na Produção de Milho no Distrito Federal. *Rev. Bras Ciênc Sdq* 30(4), 741–750. doi: 10.1590/S0100-06832006000400015.
- Ley, V, Hggins, J, & Fayer, R (2002). Bovine Enteroviruses as Indicators of Fecal Contamination. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(7), 3455–3461. doi:10.1128/aem68.7.3455-3461.2002.
- Lopes, M, Leite, F. L, Valente, B S, Heres, T., Dai Prá, M A, Xavier, E G, & Roll, V. F. B (2015). An assessment of the effectiveness of four in-house treatments to reduce the bacterial levels in poultry litter. *Poultry Science*, 94(9), 2094–2098. doi:10.3382/ps/pev195.
- Luz, R B, Staggemeier, R, Fratta, L X S, Longo, L, Schutz, R, Soliman, M C, Kluge, M, Fabres, R B, Schenkel, G C, Bruni, F. P, Fleck, J. D, Ficoli, S U, & Spilki, F. R (2017). Contaminação viral e bacteriana em águas subterrâneas na porção aflorante do Aquífero Guarani, município de Ivoti, RS. *Rev. Ambient. Água*, 12(5), 871–880. doi:10.4136/ambi-agua.2068.
- Mao, K, Zhang, K, Du, W, Ali, W, Feng, X, & Zhang, H (2020). The potential of wastewater-based epidemiology as surveillance and early warning of infectious disease outbreaks. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 17, 1–7. doi:10.1016/j.coesh.2020.04.006.
- Martins, S A (2013). Pesquisa de vírus entéricos e indicadores bacterianos de poluição fecal na água e no sedimento em área de manguezal da Baía de Vitória (ES). Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em <<https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/6138/1/Sara%20Angelino%20Martins.pdf>>. Acesso em 25 de maio de 2022.
- Mcvey, D.S, Kennedy, M, & Chengappa, M M (2017) Microbiologia veterinária. 3ed. Editora Guanabara Koogan Ltda: Rio de Janeiro, RJ.
- Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília, 2021. Disponível em <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em 29 de maio de 2022.
- Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Brasília, 2011. Disponível em <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 29 de maio de 2022.
- Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2008). Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1. Brasília. Disponível em <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/processosdetratamentodeesgoto-nivel1.pdf>. Acesso em 16 de maio de 2022.
- Ministério do Meio Ambiente - Conselho Nacional do Meio ambiente. (2006). Resolução Nº 375, de 29 de agosto de 2006. Disponível em <<http://www.siammg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5956>>. Acesso em 17 de junho de 2022.
- NCENR (2011) North Carolina Adm Code 15A NCAC 2U Reclaimed Water.
- Noble, R T., Lee, I. M, & Schiff, K C (2004). Inactivation of indicator micro-organisms from various sources of faecal contamination in seawater and freshwater. *Journal of Applied Microbiology*, 96(3), 464–472. doi: 10.1111/j.1365-2672.2004.02155.x.

Oliveira, J. F., Ker, R R F, Teixeira, G A, Bastos, R K X, & Bevilacqua, P. D. (2018). Avaliação da sobrevivência de indicadores bacterianos e vírus durante higienização de lodo de esgoto por secagem térmica em estufa agrícola. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(6), 1079-1089. doi: 10.1590/S1413-41522018167356.

Opriessnig, T, Karuppanan, A K, Castro, A M M G, Xiao, C T. (2020). Porcine circoviruses: current status, knowledge gaps and challenges. *Virus Research*, 286. doi:10.1016/j.virusres.2020.198044.

Pang, X, Qiu, Y, Gao, T, Zurawell, R, Neumann, N F, Craik, S, & Lee, B E (2019). Prevalence, levels and seasonal variations of human enteric viruses in six major rivers in Alberta, Canada. *Water Research*, 153(15), 349-356. doi: 10.1016/j.watres.2019.01.034.

Pereira, A R (2011). Balanço hídrico para irrigação de precisão aplicada em pomares. Campinas: Fundag, 90p.

Prado, T., & Magostovich, M P. (2014). Virologia ambiental e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa. *Cadernos de Saúde Pública*, 30, 1367-1378. doi: 10.1590/0102-311X00109213.

QEPA (2005). Queensland Water Recycling Guidelines. Disponível em <<https://www.hort360.com.au/wordpress/wp-content/uploads/2015/03/Queensland-Water-Recycling-Guidelines-Dec-2005.pdf>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Quinn, P. J. (2007). Microbiologia Veterinária e Doenças Infecciosas. *Artmed Editora*. Porto Alegre, RS.

Quintana, N R G, do Carmo, M S, & de Melo, W J. (2011). Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. *Nucleus*, 8(1), 183-191. doi: 10.3738/1982.2278.527.

Robertson, M P., & Joyce, G F. (2012). The Origins of the RNA World. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 4(5). doi: 10.1101/cshperspect.a003608.

Rodríguez-Lázaro, D, Cook, N, Ruggeri, F M, Sellwood, J, Nasser, A, Nascimento, M S J, DiAgostino, M, Santos, R, Saiz, J C, Rzeżutka, A, Bosch, A, Gironés, R, Carducci, A, Muscillo, M, Kovač, K, Diez-Valcarce, M, Vantarakis, A, Bonselhoff, C V, Husman, A M R, Hernández, M, & van der Poel, W H M (2012). Virus hazards from food, water and other contaminated environments. *FEMS Microbiology Reviews*, 36(4), 786-814. doi: 10.1111/j.1574-6976.2011.00306.x.

Salvador, D, Caeiro, M, Aguilár, J., & Bendiel, M J. (2020). Detecção de vírus entéricos em amostras de água natural superficial e de água para consumo humano. *Águas&Resíduos*, 7. doi: 10.22181/aer.2020.0701.

Sandri, D, & Rosa, R R B (2017). Atributos Químicos Do Solo Irrigado Com Efluente De Esgoto Tratado, Fertirrigação Convencional e Água De Poço. *Irriga, Ebtucatu*, 22(1), 18-33. doi: 10.15809/irriga.2017v22n1p18-33.

Sanz, A L, & Gawlik, B (2014). Water Reuse in Europe. Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. A synoptic overview. *JRC scientific and policy reports*, 26947. doi: 10.2788/29234.

Silva, G D, Carvalho, J, da Luz, M R, & Silva, E C. (2016). Fertigation with domestic wastewater: Uses and implications. *Academic Journals*, 15(20), 806-815. doi: 10.5897/AJB2015.15115.

Silva, M T, Silva, S D A, Echolz, E D, Morselli, T. B G A, Oliveira, R J P, Antunes, W R, Pereira, V R, & Campos, A D S (2014). Biossólido Como Adubação Orgânica No Crescimento Inicial De Mamona. In: VI Congresso Brasileiro de Mamona III Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, Fortaleza, CE.

Souza, D S M, Corrêa, V S, Motto, M; Lindner, J D, Rodríguez-Lázaro, D, & Fongaro, G (2021). Biopreservation: Foodborne Virus Contamination and Control in Minimally Processed Food. In: Jose Lorenzo, Paulo Munekata, Francisco Barba (org). Sustainable Production Technology in Food. 1st. ed. USA: Academic Press. p. 191.

Souza, C A, Junior, F B R, Mendes, I. C, Lemainski, J., Silva, J. E (2009). Efeitos do Uso de Lodo de Esgoto na Nbdulação da Soja e em Atributos Biológicos do Solo. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 250.

Sow, H, Desbiens, M, Morales-rayas, R, Ngazoa, S E, & Jean, J. (2011). Heat inactivation of hepatitis A virus and a norovirus surrogate in soft-shell clams (*Mya arenaria*). *Foodborne Pathogens and Disease*, 8(3), 387–393. doi: 10.1089/fpd.2010.0681.

Tavares, T. M, Cardoso, D D P., & Brito, W M E D. (2005). Revisão Vírus Entéricos Veiculados Por Água: Aspectos Microbiológicos e de Controle da Qualidade da Água. *Patologia*, 34(2), 85–104. doi: 10.5216/rpt.v34i21914.

Thompson, J. R, Nancharaiyah, Y. V., Gu, X, Lee, W L, Rajal, V. B, Hanes, M B, Girones, R, Ng L C, Alm E J., & Wuertz, S. (2020). Making waves: Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 for population-based health management. *Water Research*, 184(116181), 1–7. doi: 10.1016/j.watres.2020.116181.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2012). Guidelines for water reuse. (EPA/600/R-12/618) United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA Disponível em <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>>. Acesso em 17 de junho de 2022.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1997). Exposure Factors Handbook Disponível em <<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=12464#main-content>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1996). National Primary Drinking Water Regulations. Disponível em <<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations#Microorganismst>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Handel, A, Santos, A B, Chemicharo, C A L, Montes, C A, Neto, C O A, Nascimento, C W A, Santos, E S, Foresti, E, Melo, H N S, Figueiredo, I. C, Júnior, I. V., Júnior, I. V., Florêncio, L, Monteggia, L O, Girard, L, Pinto, M T., von Sperling, M, Kato, M, Mendonça, N M, Oliveira, O, Almeida, P. G S, Pifer, R C, Padilha, R S, Stefanutti, R, Pivetti, R P., Oliveira, S C, Botelho, S, & Mota, S. (2009). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. *FRQSAB* Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.

Vaz, C S L, Voss-Rech, D, de Avila, V. S, Coldebella, A, & Silva, V. S. (2017). Interventions to reduce the bacterial load in recycled broiler litter. *Poultry Science*, 96(8), 2587–2594. doi: 10.3382/ps/pex063.

Viancelli, A, Kunz, A, Steinmetz, R L R, Kich, J. D, Souza, C K, Canal, C W, Coldebella, A, Esteves, P. A, & Barardi, C R M (2013). Performance of two swine manure treatment systems on chemical composition and on the reduction of pathogens. *Chemosphere*, 90(4), 1539–1544. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.08.055.

Vieira, A N, Kleinermanns, K, Martin, W F., & Preiner, M (2020). The ambivalent role of water at the origins of life. *FEBS Letters*, 594, 2717–2733. doi:10.1002/1873-3468.13815.

Vieira, C B, Mendes, A C O, Guimarães, F R, Fumian, T. M, Leite, J. P. G, Gaspar, A M C, & Magostovich, M P. (2012). Detection of enteric viruses in recreational waters of an urban lagoon in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Mem Inst. Oswaldo Cruz*, 107 (6). doi: 10.1590/S0074-02762012000600012.

Voorhees, I. E H, Lee, H, Alisson, A B, Lopez-Astacio, R, Goodman, L B, Oyesola, O O, Fagbohun, O, Dubovi, E J., Hfstein, S L, Holmes, E C, & Parrish, C R (2019). Limited Intrahost Diversity and Background Evolution Accompany 40 Years of Canine Parvovirus Host Adaptation and Spread. *Journal of Virology*, 94(1). doi: 10.1128/jvi.01162-19.

Voss-Rech, D, Trevisol, I. M, Brantano, L, Silva, V. S, Rebelatto, R, Jaenisch, F R F, Okino, C H, Mores, M A Z, Coldebella, A, Botton, S A, & Vaz, C S L. (2017). Impact of treatments for recycled broiler litter on the viability and infectivity of microorganisms. *Veterinary Microbiology*, 203, 308–314. doi: 10.1016/j.vetmic.2017.03.020.

Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., Van, M.T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P., & Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geosci. Model Dev.*, 9, 175–222. doi: 10.5194/gmd-9-175-2016.

World Health Organization (WHO). (2017). Global Water, Sanitation, & Hygiene (WASH). Disponível em <<https://www.who.int/health-topics/water-sanitation-and-hygiene-wash>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

World Health Organization (WHO). (2020). The top 10 causes of death – Factsheet. *WHO reports*, December 2020, 1–90. Disponível em <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>>. Acesso em 29 de maio de 2022.

Wu, X., Liu, Y., Gao, L., Yan, Z., Zhao, Q., Chen, F., Xie, Q., & Zhang, X. (2022). Development and Application of a Reverse-Transcription Recombinase-Aided Amplification Assay for Porcine Epidemic Diarrhea Virus. *Viruses*, 14(3), 591. doi: 10.3390/v14030591.