



Avaliação da *Escherichia coli* como bioindicador ideal *Evaluation of Escherichia coli as an ideal bioindicator*

Maria Eduarda Borges de Almeida¹, Fabrynne Mendes de Oliveira¹, Daniel Pereira de Morais¹, Patrícia Karla Batista de Andrade¹, Soraya Giovanetti El-Deir¹, Rosângela Gomes Tavares¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil

Contato: meborges.almeida@gmail.com

Palavras-Chave

ecologia
poluição
bactéria
qualidade ambiental

RESUMO

As águas residuárias podem ser fontes de poluição para o meio ambiente, independentemente de sua origem, quando não tratadas devidamente. Para o seu reuso na irrigação de hortaliças, produtos ingeridos crus e com casca, é recomendada a realização de análises físico-químicas e microbiológicas que comprovem ser isenta de substâncias químicas e patógenos. Objetivou-se com esse estudo caracterizar a *Escherichia coli* como bioindicador da qualidade de efluente e os riscos de sua presença no sistema solo-água. A metodologia consistiu na definição dos critérios e parâmetros para caracterizar a *E. coli* como bioindicador ideal baseados em análises de estudos publicados. Esses estudos consistiram no estabelecimento de aspectos importantes para a seleção da espécie mediante um método de rankagem, no qual cada característica se relacionava a um peso definido e foram atribuídas notas em cada um destes. A definição dos pesos foi feita com base numa escala de 1 a 3 - sendo 1 para baixa relevância, 2 para média relevância e 3 para alta relevância. Foram 10 características listadas, aos quais foram atribuídas notas de uma escala variando de 1 a 5, sendo (1) mínima representatividade, (2) baixa representatividade, (3) média representatividade, (4) boa representatividade e (5) excelente representatividade. Constatou-se que as bactérias do grupo coliforme são bastante estudadas como bioindicadores e quando presente na água ou solo pode indicar também a contaminação por outros microrganismos. Na rankagem, a sua pontuação total foi de 82, caracterizando-a como um indicador excelente. Contudo, é fundamental reconhecer suas limitações e complementar as análises convencionais com abordagens mais avançadas e integradas.

Keyword

ecology
pollution
bacteria
environmental quality

ABSTRACT

Wastewater can be sources of environmental pollution, regardless of its origin, when not properly treated. For its reuse in the irrigation of vegetables, which are consumed raw and with their peel, it is recommended to conduct physicochemical and microbiological analyses to ensure it is free of chemical substances and pathogens. This study aimed to characterize Escherichia coli as a bioindicator of effluent quality and the risks of its presence in the soil-water system. The methodology consisted of defining criteria and parameters to characterize E. coli as an ideal bioindicator based on analyses of published studies. These studies established important aspects for the selection of the species through a ranking method, in which each characteristic was assigned a defined weight and scored accordingly. The definition of the weights was based on a scale of 1 to 3 - with 1 for low relevance, 2 for medium relevance, and 3 for high relevance. Ten characteristics were listed, to which scores were assigned on a scale ranging from 1 to 5, with (1) minimal representativeness, (2) low representativeness, (3) medium representativeness, (4) good representativeness, and (5) excellent representativeness. It was found that coliform bacteria are extensively studied as bioindicators and their presence in water or soil can also indicate contamination by other microorganisms. In the ranking, its total score was 82, characterizing it as an excellent indicator. However, it is essential to recognize its limitations and complement conventional analyses with more advanced and integrated approaches.

Informações do artigo

Recebido: 28 de novembro, 2023

Aceito: 26 de agosto, 2024

Publicado: 30 de agosto, 2024

Introdução

Muitas das águas residuárias tem altas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, principalmente as que advêm do esgoto doméstico, tornando-a adequada para aplicação de reuso na agricultura. Um contraponto é a falta de regulamentação de parâmetros específicos para esse tipo de prática no país; pois devem ser avaliados também aspectos sanitários, pela presença de microrganismos que podem acarretar doenças. Ainda não se sabe os danos que cada contaminante pode causar ao sistema solo-água-plantas (TORRES, 2019).

Além disso, a presença de *E. coli* em alimentos é bastante monitorada, pois pode indicar a contaminação por patógenos. A sua aplicação como bioindicador também alcança os estudos sobre tratamento de resíduos e processos de purificação de água para avaliar a eficácia dos processos de tratamento. Portanto, a identificação da *E. coli* desempenha um papel importante na proteção da saúde pública e na preservação do meio ambiente por ser sensível em uma variedade de contextos científicos (MOHANAPRIYA et al., 2024).

A contaminação das águas pode ser de origem química ou microbiológica. No âmbito microbiológico, quando se emprega bioindicadores de contaminação de origem fecal, algumas características a serem reportadas são: respondem ao meio ambiente e métodos de tratamento similar aos patogênicos; resistência superior; métodos de análise descomplicada, de baixo custo e resultados rápidos e confiáveis e entre outras. As características que baseiam o uso das bactérias do grupo coliforme como bioindicador de qualidade da água diz respeito à elevada quantidade eliminada por dia por um indivíduo nos esgotos domésticos; logo é alta a capacidade de detecção nas amostras de água bruta e possível presença de patógenos associados (HENRIQUES et al., 2021; KHANAL et al., 2024).

Uma bactéria para ser considerada um indicador ideal de contaminação fecal deve estar em grande concentração nas fezes de seres de sangue quente, ser facilmente identificável, não crescer em águas naturais, estar presente em efluentes e ser exclusiva de origem fecal. A *Escherichia coli* pode indicar a presença de outros microrganismos, tal como *Salmonella* e vírus. A contaminação por *E. coli* está diretamente relacionada ao lançamento de esgoto doméstico não tratado nos cursos d'água, carreamento de solos expostos a fezes de animais e irrigação de culturas agrícolas por essas águas (DRUMOND et al., 2018).

As bactérias coliformes se dividem em totais e termotolerantes. As termotolerantes são um subgrupo dos coliformes totais. A presença destes indica uma possível contaminação por microrganismos por causa de tratamento inadequado da água. Entre as bactérias, há a espécie *E. coli* de origem fecal. Na taxonomia, o gênero *Escherichia* é composto por três espécies: *E. albertii*, *E. fergusonii* e *E. coli*. Fenotipicamente, estes não diferem da *E. coli*, não divergindo em vários aspectos a nível de nucleotídeos (DENAMUR et al., 2021).

As bactérias *E. coli* são gram-negativas, da família Enterobacteriaceae. Estas têm forma de bacilos, sendo imóveis ou móveis por flagelos.

Algumas estirpes sobrevivem com temperaturas entre 7 e 46 °C e sua temperatura ótima de crescimento está entre 35 e 40 °C; conseguem crescer em meios com pH 4,5; não hidrolisa a ureia e são anaeróbias facultativas. Diferente dos demais coliformes termotolerantes, são capazes de produzir a enzima β -glicuronidase, um biofilme composto por açúcares que oferece proteção. Para servir como um bom indicador, atende a alguns critérios, tais como a capacidade de fermentação da lactose em presença de agentes tensoativos à 44-45°C, com formação de ácido, gás e aldeído. Por esse motivo, seu habitat é quase que limitado ao trato intestinal de seres humanos e animais de sangue quente. Os métodos analíticos laborais são baseados na presença da enzima β -glicuronidase. Outra alternativa tem sido o uso de meios de cultura seletivos, com substratos específicos, para enzimas do grupo de microrganismos analisado (ASAE, s.a.).

A densidade dos termotolerantes é expressa como Unidade de Formação de Colônia por 100 mL de amostra de água coletada. A *E. coli*, comumente, não se multiplica no ambiente aquático, mas quando presente, pode trazer risco à saúde. Silva et al. (2019) utilizaram a técnica de membrana filtrante afim de verificar se a presença de atividades antrópicas próximas ao mar teria impacto sobre a qualidade da água. Em seu estudo, foi comprovada a variação na densidade de coliformes termotolerantes.

Para um efluente doméstico tratado por tanque séptico, seguido por filtro submerso anaeróbio, a remoção dos termotolerantes foi de 47%. Este foi um resultado bastante favorável, mas com ressalva para a necessidade de um pós-tratamento. As concentrações máximas são de 20 organismos em 100 mL para os termotolerantes e de 100 organismos em 100 mL para os totais. A detecção dos coliformes totais e termotolerantes pode também ser feita pelo método dos tubos múltiplos ou pelo método do substrato cromogênico, com vantagem que os resultados são apurados em até 24 horas (MARQUES, 2019; TORRES, 2019). A *E. coli* pode causar diversas doenças relacionadas a infecções urinárias, dermatológicas e intestinais; além de estar progredindo quanto a resistência a antibióticos. Os surtos diarreicos de origem alimentar estão associados aos grupos de bactérias chamados de STEC/EHEC, EPEC e ETEC. Em seus subgrupos, destaca-se a *E. coli* diarreio gênica. A sua transmissão é caracterizada pela ingestão de alimentos, como carne malcozida e vegetais irrigados com água contaminada, bem como a ingestão direta dessa água. As culturas que são consumidas cruas ou que são cultivadas nas camadas superficiais do solo, como alface, couve, rabanete, cebola ou beterraba irrigadas com água residuária, representam os maiores riscos para a saúde pública. O nível de concentração de organismos patogênicos nas águas residuárias varia de acordo com a localidade, em virtude das condições socioeconômicas e sanitárias da população residente (SILVA, 2018; DRUMOND et al., 2018; DENAMUR et al., 2021).

As águas residuárias podem ser fontes de poluição para o meio ambiente, independentemente de sua origem, quando não tratadas devidamente. Quando lançadas em corpos hídricos, ocasionam o decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido, eutrofização e disseminação de

patógenos. Para o reuso de águas residuárias na irrigação de hortaliças, produtos ingeridos crus e com casca, é recomendada a realização de análises físico-químicas e microbiológicas que comprovem ser isenta de substâncias químicas, patógenos e excesso de sais, que impliquem em riscos à saúde pública e ao solo. A identificação da presença de patógenos, geralmente, é baseada na enumeração de indicadores fecais e de ovos de nematoides (SILVA, 2018).

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é o principal índice usado no Brasil. A maioria de seus indicadores advém da contaminação causada por esgotos domésticos e serve para avaliar a qualidade da água bruta para fins de abastecimento público. Este índice é geralmente composto por uma variedade de parâmetros que são analisados e comparados com padrões estabelecidos. Os parâmetros utilizados são oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez, resíduo total, assim como a presença de microrganismos indicadores de contaminação (ANA, s.a.).

A falta de estudos mais detalhados para a caracterização de efluentes é um problema para a sua implementação em atividades de reuso. Não se trata apenas de identificar os riscos à saúde e propriedades físico-químicas, mas também o tratamento mais adequado e eficiente. Esse tratamento deve ser viável economicamente e oferecer qualidade para que, assim, haja melhor aceitação do público das práticas de reuso. Alguns tratamentos indicados são químicos, triagem e filtração por membrana, associados ao monitoramento periódico (OH et al., 2018). Para que os efluentes domésticos tenham seu reuso para irrigação de jardins externos, deve haver filtragem de areia, mas a ausência de outros tratamentos torna essa água não adequada para irrigação por meio da pulverização. A presença de patógenos aumenta o risco de contaminação de águas subterrâneas, do solo e das plantas. A escolha de uma tecnologia de desinfecção adequada mantém a segurança sanitária necessária. A maioria das diretrizes mundiais impõem que a quantidade de microrganismos patogênicos na água de reuso deve ser o menor nível possível, visando a segurança sanitária. No Reino Unido, a concentração máxima para descarga é de 1000 NMP/100 mL, enquanto no Canadá é 200 NMP/100 mL. Os Estados Unidos não admitem detecção e na Austrália, permitem menos do que 1 NMP/100 mL, para águas tratadas (OH et al., 2018; UNESCO, 2021).

No Brasil, a utilização de águas residuárias é afetada diretamente pela falta de planejamento e de estudos que considerem os impactos ambientais e a saúde pública. A Resolução nº 54 (CNRH, 2005) estabelece alguns critérios gerais para reuso da água, mas não detalha quais requisitos são necessários para a regulação da qualidade. Para o reuso de água na agricultura (classe 4), a Normativa NBR 13969 (ABNT, 1997) apenas recomenda que a quantidade de coliformes fecais deva ser inferior a 5000 NMP/100 mL e as aplicações interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita, mas não faz menção aos possíveis impactos (FERREIRA, 2020). De maneira geral, a quantidade de coliformes termotolerantes e helmintos presentes nas águas para irrigação no Brasil são baseadas nas recomendações da Organização Mundial de Saúde.

Material e Métodos

A definição dos critérios e parâmetros para caracterizar a *E. coli* como bioindicador ideal foram baseados nos estudos publicados por Neumann-Leitão e El-Deir (2009) e discutido por Paz et al. (2013). Esses estudos consistiram no estabelecimento de aspectos importantes para a seleção de uma espécie ideal mediante um método de rankagem, no qual foram atribuídos pesos e notas em cada um destes. Os pesos estavam relacionados a importância de cada característica da espécie em estudo para o uso em questão. A definição dos pesos foi feita com base numa escala de 1 a 3 - sendo 1 para baixa relevância, 2 para média relevância e 3 para alta relevância (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros e seus respectivos pesos atribuídos para definição de bioindicador ideal

Parâmetros	Pesos	Nota máxima	Pontuação total máxima
Taxonomia bem definida	3	5	15
Facilmente reconhecível por não especialistas	2	5	10
Distribuição geográfica ampla	1	5	5
Ser abundante	2	5	10
Ter baixa variedade genética e ecológica	2	5	10
Ter preferencialmente um tamanho grande	1	5	5
Apresentar longo ciclo de vida	1	5	5
Apresentar baixa mobilidade	3	5	15
Disponer de características ecológicas bem conhecidas	2	5	10
Ter possibilidade de uso em estudos em laboratório	3	5	15
Média			10
Somatório			100

Fonte: Autoras (2023)

Para cada uma das 10 características listadas acima, foram atribuídas notas de uma escala variando de 1 a 5, sendo (1) mínima representatividade, (2) baixa representatividade, (3) média representatividade, (4) boa representatividade e (5) excelente representatividade. Essas notas foram definidas baseadas nos estudos encontrados na literatura sobre a espécie, chamadas de notas atribuídas. Em seguida, calculou-se o somatório e a média do produto entre os pesos e as notas, chamada de pontuação total. Com base na pontuação total máxima das notas atribuídas (100), a classificação do indicador foi alocada em quartis como ruim (1 a 25), bom (26 a 50), ótimo (51 a 75) ou excelente (76 a 100).

Com esta revisão, objetivou-se caracterizar a *E. coli* como bioindicador da qualidade de efluente e os riscos de sua presença no sistema solo-água. O desenvolvimento do artigo versou sobre a caracterização e identificação da *E. coli* como indicador, parâmetros de qualidade e a legislação para uso da água residuária e a relação da *E. coli* com os riscos à saúde. Ao final, foram pontuadas considerações importantes com base nos trabalhos analisados para a atribuição de pesos e notas no método de rankagem.

Resultados e Discussão

Foi possível observar que os parâmetros de taxonomia bem definida, de baixa mobilidade e de possibilidade de uso em estudos em laboratórios receberam a nota máxima de 5. Seguindo a esses, com nota 4 foram os de ser abundante, de baixa variedade genética e ecológica e de características ecológicas bem conhecidas. Com nota 3 foram os de facilmente reconhecível por não especialistas, de distribuição geográfica ampla e de longo ciclo de vida. Por fim, o de preferencialmente um tamanho grande foi o único com nota atribuída 1 (Tabela 2).

Tabela 2. Análise dos pesos e notas atribuídos a *E. coli* como bioindicador ideal

Parâmetros	Pesos	Nota atribuída	Pontuação total
Taxonomia bem definida	3	5	15
Facilmente reconhecível por não especialistas	2	3	6
Distribuição geográfica ampla	1	3	3
Ser abundante	2	4	8
Ter baixa variedade genética e ecológica	2	4	8
Ter preferencialmente um tamanho grande	1	1	1
Apresentar longo ciclo de vida	1	3	3
Apresentar baixa mobilidade	3	5	15
Dispor de características ecológicas bem conhecidas	2	4	8
Ter possibilidade de uso em estudos em laboratório	3	5	15
Média			8,2
Somatório			82

Fonte: Autoras (2023)

A bactéria *E. coli* é o microrganismo mais estudado mundialmente e bem distribuído geograficamente, por estar presente no microbioma de humanos e animais de sangue quente. Devido ao fato de ser excretada por esses dois organismos, uma das limitações está na incapacidade de identificar qual a origem da contaminação. Outra limitação está na impossibilidade de distinção de poluição recente, pelo fato de que em locais de clima tropical esses microrganismos podem sobreviver em sedimentos e o escoamento superficial intensifica o transporte de partículas contaminadas para os corpos hídricos distantes (DRUMONDE et al., 2018; ANDRADE et al., 2019).

Taxonomicamente, a *E. coli* é bem definida, pertencente ao gênero *Escherichia*, da família *Enterobacteriaceae*. Análises bioquímicas serviram de base para a diferenciação de grupos atípicos dentro da família em espécies. Dentre estes, por exemplo, o grupo 1 é associado a infecções em humanos e o grupo 11 é comumente isolado de espécimes clínicos, nomeados como *E. vulveris* e *E. hermannii*. Válido salientar que no âmbito genético ela possui mais de 2 mil genes em seu genoma (DEVANE et al., 2020; YU et al., 2021).

Além disso, a sua diversidade genética e fenotípica dentro do gênero, juntamente com a capacidade de adaptação a diferentes ambientes, pode afetar a interpretação dos resultados obtidos com base em análises taxonômicas e bioquímicas convencionais.

Portanto, abordagens complementares, como sequenciamento genético e métodos moleculares avançados, são essenciais para uma caracterização mais precisa e confiável das cepas de *E. coli* presentes em amostras ambientais (VAN DER MEULEN et al., 2024).

Nos laboratórios de pesquisa, a *E. coli* é usada como organismo modelo por conta de fatores como o seu rápido crescimento, amplo histórico de estudos e fácil manipulação genética. A análise em PCR possibilita acessar a filogenética dos grupos e identificar associações entre eles quanto ao ambiente, localidade geográfica e atividade humana. Assim fizeram Varandas et al. (2023), ao identificarem maior prevalência dos grupos D, seguido do E, em amostras isoladas de bivalves de água doce. Um outro teste comumente adotado é a reação em cadeia de polimerase (ILIEVA et al., 2023).

Sob o ponto de vista ecológico, a proliferação de *E. coli* nos rios é influenciada pela presença ou ausência de estresse ambiental. Em estudo de Braga et al. (2023), essa bactéria foi introduzida em diferentes tratamentos e foi comprovado que a presença de cobre influenciou o microbioma, tornando-o mais suscetível à invasão de bactéria resistente. Do mesmo modo, a descarga de efluente contaminado em rios sofre influência da diluição, características do curso d'água e taxas de sobrevivência do patógeno (LIU et al., 2024). Ao considerar patógenos fecais em águas não tratadas, os do gênero *Enterococcus* também são bons indicadores. Podem ainda ser associados com a presença de outros, como o *Cryptosporidium*, persistentes no solo e sedimentos (DEVANE et al., 2020).

Os estudos mais aprofundados versam sobre a descrição de patótipos que causam doenças intestinais em humanos, a dinâmica metagenômica, as enzimas, características evolutivas, dentre outros aspectos. Com ênfase ao uso dessa bactéria como bioindicador de qualidade da água têm-se países como o Japão, a França, o Brasil, a Alemanha e a Rússia, entre outros (KUMAR et al., 2019; LIU et al., 2020; WEN et al., 2020).

O ciclo de vida da *E. coli* inicia-se com a colonização intestinal pela adesão às células epiteliais intestinais. Na fase de multiplicação, seus mecanismos de regulação genética são essenciais na expressão de genes e os fatores externos influenciam essa fase. Algumas cepas adquirem genes que podem causar doenças no hospedeiro. Esse é um ciclo que interage com fatores ambientais, genéticos e dos hospedeiros (KIM et al., 2024).

Sob o ponto de vista ecológico, a proliferação de *E. coli* nos rios é influenciada pela presença ou ausência de estresse ambiental. Em estudo de Braga et al. (2023), essa bactéria foi introduzida em diferentes tratamentos e foi comprovado que na presença de estresse houve uma perda da comunidade microbiana natural e aumento da *E. coli*. Ou seja, a presença de Cu influenciou o microbioma, tornando-o mais suscetível à invasão de bactéria resistente.

Do mesmo modo, a descarga de efluente contaminado em rios sofre influência da diluição, características do curso d'água e taxas de sobrevivência do patógeno. Ao considerar patógenos fecais em águas não tratadas, os do gênero *Enterococcus* também são bons indicadores e sofrem efeito da disponibilidade de amônia nitrogenada e temperatura da água. Podem ainda ser associados com a presença de outros, como o

Cryptosporidium, persistentes no solo e sedimentos (DEVANE et al., 2020; PATTIS et al., 2024).

Diante do exposto, em relação a análise das notas atribuídas aos parâmetros em estudo, foi possível constatar que os valores obtidos na análise do bioindicador ideal com somatório 82 e média 8,2, respectivamente, correspondem a classificação de excelente espécie para bioindicação ambiental. Assim, é possível reafirmar que a *E. coli* pode ser considerada ideal para avaliação da qualidade da água.

Considerando a análise realizada sobre os parâmetros de avaliação da *E. coli* como bioindicador ideal, observa-se que sua classificação como excelente espécie para bioindicação ambiental é respaldada por uma série de características. Contudo, a complexidade ambiental e os desafios ligados à identificação da origem da contaminação representam limitações significativas para o uso efetivo desse microrganismo como indicador exclusivo de qualidade da água.

Em síntese, embora a *E. coli* apresente muitas características desejáveis para ser um indicador eficaz da qualidade da água, é fundamental reconhecer suas limitações e complementar as análises convencionais com abordagens mais avançadas e integradas. Somente assim será possível obter uma avaliação abrangente e precisa do estado ambiental dos ecossistemas aquáticos, contribuindo para a proteção e gestão sustentável dos recursos hídricos.

Conclusão

Os bioindicadores podem ser definidos como organismos vivos aos quais, devido a sua presença ou ausência, servem como ferramenta de análise para avaliação dos impactos de fatores antrópicos e naturais no ambiente.

As bactérias do grupo Coliforme são bastante estudadas como bioindicadores. Quando presente na água ou solo, pode indicar também a contaminação por outros microrganismos. Logo, é posto em risco a saúde humana e animal, caso estes entrem em contato direto ou ingiram alimentos contaminados.

Os parâmetros que receberam pesos e notas máximas foram os de taxonomia bem definida, de baixa mobilidade e de possibilidade de uso em estudos em laboratórios.

A pontuação total enquadra a *E. coli* como um indicador excelente. Nesse contexto, destaca-se a importância de ser realizado um monitoramento preciso com utilização de tratamentos que garantam a segurança sanitária para o reuso de águas residuárias, principalmente das provenientes de esgoto doméstico.

Diante do exposto, ressalta-se que a temática sobre bioindicadores deve ter maior atenção por parte de pesquisadores e gestores ambientais, visto a importância desses seres vivos para melhor compreensão da condição ambiental dos ecossistemas, no sentido de implantar ações para a manutenção do equilíbrio dinâmico ecológico.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) por oferecer o Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa de mestrado, a professora Soraya El-Deir e minha orientadora Rosângela Gomes Tavares.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: 1997 - Tanques sépticos. Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos** – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, p. 60. Disponível em: https://acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Indicadores de qualidade**: Índices de qualidade das águas (IQA). Portal da qualidade das águas (s/a). Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>

ANDRADE, Gabriela Felismino; DE BARROS, Daniela Bomfim. Bioindicadores microbiológicos para indicação de poluição fecal. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, n. 34, p. e1099-e1099, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25248/reas.e1099.2019>

ASAE – AUTORIDADE DE SEGURANÇA ALIMENTAR E ECONÔMICA. **República Portuguesa**: Economia e Mar. ASAE (s/a). <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/riscos-biologicos/escherichia-coli.aspx>

BRAGA, Canyon; BELLANGER, Xavier; MERLIN, Christophe; SINGH, Gargi; BERENDONK, Thomas U.; KLÜMPER, Uli. Environmental stress increases the invasion success of antimicrobial resistant bacteria in river microbial communities. **Science of the Total Environment**, v. 904, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166661>

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, 09 de março de 2006, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Brasil, 2005, 3p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/838F10BD/Resol5408_ReusoDiretoAguas1.pdf

DENAMUR, Erick; CLERMONT, Olivier; BONACORSI, Stéphane; GORDON, David. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. **Nature Reviews Microbiology**, v. 19, n. 1, p. 37-54, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0416-x>

DEVANE, Megan L.; MORIARTY, Elaine; WEAVER, Louise; COOKSON, Adrian; GILPIN, Brent. Fecal indicator bacteria from environmental sources; strategies for identification to improve water quality monitoring. **Water Research**, v. 185, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116204>

DRUMOND, Sheila Neves; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca; MOREIRA, Mariana; LANNA, Maria Célia da Silva; ROESER, Hubert Mathias Peter. Identificação molecular de *Escherichia coli* diarréiogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Xopotó na região do Alto Rio Doce. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 579-590, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018165696>

FERREIRA, Douglisnilson de Morais; NAVONI, Julio Alejandro; ARAÚJO, André Luis Calado; TINOCO, Juliana Delgado; DO AMARAL, Viviane Souza. Wastewater use in agriculture: analytical limits of sewage for impact control in Brazil. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 1048-1059, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n421rc>

- HENRIQUES, Juscelino Alves; DE OLIVEIRA, Rui; COURA, Monica de Amorim; LIBÂNIO, Marcelo; BAPTISTA, Márcio Benedito. Água de drenagem ou esgoto sanitário? Uma análise do sistema de macrodrenagem em cidade de médio porte na Região Nordeste. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 935-943, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190223>
- ILIEVA, Yana; ZAHARIEVA, Maya Margaritova; DIMITROVA, Lyudmila; MILA, D. Kaleva; JORDANOVA, Joanna. Preliminary data on *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, and other bacteria, as well as absent african swine fever virus in the gut microbiota of wild mice and voles from Bulgaria. **Microbiology research**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/microbiolres14040123>
- KHANAL, Aditya; TIMILSINA, Ram Hari; SHARMA, Bala; POKHAREL, Bharat; ARYAL, Rabin. Contaminated water and an indication of risk: examining microbial contamination in the water used by consumers and commercial growers in fresh produce systems in Nepal. **Journal of Food Protection**, v. 87, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100228>
- KIM, Chyer; RILEY, Allissa; SRIHARAN, Shobha; NARTEA, Theresa; NDEGWA, Eunice. Examining antimicrobial resistance in *Escherichia coli*: A case study in Central Virginia's environmental. **Antibiotics**, v. 13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics13030223>
- KUMAR, Manish; JI, Boyang; ZENGLER, Karsten; NILSEN, Jens. Modelling approaches for studying the microbiome. **Nature Microbiology**, v. 4, n. 8, p. 1253-1267, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0491-9>
- LEW, Sylwia; GLINSKA-LEWCZUK, Katarzyna; BURANDT, Pawel; GRZYBOWSKI, Mirosław. Fecal bacteria in coastal lakes: an anthropogenic contamination or natural element of microbial diversity?. **Ecological Indicators**, v. 152, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110370>
- LIU, Bin; FUREVI, Axel; PEREPELOV, Andrei V.; GUO, Xi; CAO, Hengchun; WANG, Quan; REEVES, Peter R.; KNIREL, Yuriy A.; WANG, Lei; WIDMALM, Göran. Structure and genetics of *Escherichia coli* O antigens. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 44, n. 6, p. 655-683, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsre/fuz028>
- LIU, Boyu; LEE, Choon Weng; BONG, Chui Wei; WANG, Ai-jun. Investigating *Escherichia coli* habitat transition from sediments to water in tropical urban lakes. **PeerJ**, v. 12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.16556>
- MARQUES, Luis Otávio do Amaral; TAFFARELLO, Denise; CALIJURI, Maria do Carmo; MENDIONDO, Eduardo Mario; FERREIRA, Murilo de Souza; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. Phosphorus and thermotolerant coliforms' loads in Brazilian watersheds with limited data: considerations on the integrated water quality and quantity analysis. **RBRH**, v. 24, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920170137>
- MOHANAPRIYA, Rangasamy; PARANIDHARAN, Vaikuntavasan; KARTHIKEYAN, Subburamu; BALACHANDAR, Dananjeyan. Surveillance and source tracking of foodborne pathogens in the vegetable production systems of India. **Food Control**, v. 162, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110427>
- NEUMANN-LEITAO, S.; EL-DEIR, S. G. Uso de bioindicadores no monitoramento da qualidade ambiental. In: NEUMANN-LEITAO, S.; EL-DEIR, S. G. (org.). **Bioindicadores de qualidade ambiental**. 1. ed. Recife: Instituto Brasileiro Procidadania, p.19-49, 2009.
- OH, Kai Siang; LEONG, Janet Yip Cheng; POH, Phaik Eong; CHONG, Meng Nan; LAU, Ee Von. A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 17-29, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>
- PATTIS, Isabelle; MORIARTY, Elaine; ANDERSON, Juliet; MCLINTOSH, Angus; GILPIN, Brent. Recreational disturbance of river sediments during base flow deteriorates microbial water quality. **International Journal of Environmental Research**, v. 18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41742-023-00557-3>
- PAZ, Yenê Medeiros; ALMEIDA, Marília de Macêdo; ARAVANIS, Nikolle; EL-DEIR, Soraya Giovanetti. Proposta metodológica para seleção de bioindicadores para monitoramento da qualidade ambiental de efluentes. **Anais... XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, Bento Gonçalves, 2013.
- SILVA, Jannine Cardoso; DA COSTA, Isabel Gonçalo Silva; TRAJANO, Lucas Araujo; CARMONA, Raquel Miranda; DE OLIVEIRA, Bárbara Freire; E SILVA, João Calor de Miranda. Condições de balneabilidade da Praia do Jacaré, em Cabedelo, PB, a partir da densidade de coliformes termotolerantes como bioindicador de qualidade da água. **Acta Scientia**, v. 1, n. 1, 2019.
- SILVA, Tamires Lima. Qualidade da água residuária para reuso na agricultura irrigada. **Irriga**, [s. L.], v. 1, n. 1, p. 101-111, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p101-111>
- TORRES, Dayana Melo. Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas. **Holos**, v. 8, p. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2019.9192>
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água; fatos e dados**. Washington: UNESCO, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por
- VAN DER MEULEN, E. S.; TERTIENKO, A.; BLAUW, A. N.; SUTTON, N. B.; VAN DE VEN, F. H. M. A review of prediction models for *E. coli* in urban surface waters. **Urban Water Journal**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2024.2313634>
- VARANDAS, Simone; FERNANDES, Conceição; CABECINHA, Edna; GOMES, Sônia. *Escherichia coli* phylogenetic and antimicrobial pattern as an indicator anthropogenic impact on threatened freshwater mussels. **Antibiotics**, v. 12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12091401>
- WEN, Xiaotong; CHEN, Feiyu; LIN, Yixiang; ZHU, Hui; YUAN, Fang; KUANG, Duyi; JIA, Zhihui; YUAN, Zhaokang. Microbial indicators and their use for monitoring drinking water quality—A review. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 2249, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062249>
- YU, Daniel; BANTING, Graham; NEUMANN, Norman F. A review of the taxonomy, genetics, and biology of the genus *Escherichia* and the type species *Escherichia coli*. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 67, n. 8, p. 553-571, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjm-2020-0508>