



ISSN: 2525-815X

# Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: [www.jeap.ufrpe.br/](http://www.jeap.ufrpe.br/)

10.24221/jeap.9.2.2024.5755.114-121



## O paradoxo da *Escherichia coli* como bioindicador

### The *Escherichia coli* paradox as a bioindicator

Lucas Alves Batista Pequeno<sup>a</sup>, Mayara Pereira Carolino<sup>a</sup>, Marilda Nascimento Carvalho<sup>a</sup>, Soraya Giovanetti El-Deir<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Campus Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900. E-mail: [lucaspequenoo.alves@gmail.com](mailto:lucaspequenoo.alves@gmail.com), [mayaracarolino1@gmail.com](mailto:mayaracarolino1@gmail.com), [marilda-carvalho.ppeamb@ufrpe.br](mailto:marilda-carvalho.ppeamb@ufrpe.br), [soraya-el-deir@ufrpe.br](mailto:soraya-el-deir@ufrpe.br).

#### ARTICLE INFO

Recebido 03 Mai 2023  
Aceito 17 Mai 2024  
Publicado 23 Mai 2024

#### ABSTRACT

In the literature, it is possible to see several research aimed at studying and monitoring *Escherichia coli* (Theodor Escherich) in water for human consumption. Commonly, this organism is associated with the term bioindicator. Considering a biocentric view of nature and understanding that bioindicators are living beings typical of an environment or actively introduced by man to monitor a characteristic of the ecosystem, this article aims to look at *E. coli* as a biological indicator of fecal contamination to the detriment of the bioindicator terminology. Therefore, it is exploratory and descriptive research with a survey of secondary data. With the use of a methodology that denotes the bioindication potential of a species, a weighting was performed for each of the defined aspects, assigning weights that vary according to the relevance of the parameter to indicate an ideal biological indicator. Through the results, it was possible to observe that the definitions given by the literature to classify a species as a bioindicator do not apply to *E. coli*, the terminology "biological indicator" being more appropriate. However, the bacterium can provide an ideal biological indication, as it reached 78 points on a bioindication scale, with a maximum score equal to 100.

**Keywords:** Microbiological monitoring, biological indicator, fecal contamination.

#### RESUMO

É possível perceber na literatura diversas pesquisas voltadas ao estudo e ao monitoramento da *Escherichia coli* (Theodor Escherich) em águas para consumo humano. Costumeiramente, este organismo está associado ao termo bioindicador. A partir de uma visão biocêntrica da natureza e entendendo-se que os bioindicadores são seres vivos típicos de um ambiente ou introduzido ativamente pelo homem com o intuito de monitorar uma característica do ecossistema, este artigo objetiva lançar um olhar sobre a *E. coli* como um indicador biológico de contaminação fecal em detrimento da terminologia bioindicador. Sendo assim, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, com levantamento de dados secundários. Com o emprego de uma metodologia que denota o potencial de bioindicação de uma espécie, foi realizada uma ponderação para cada um dos aspectos definidos, atribuindo pesos que variam de acordo com a relevância do parâmetro para apontar um indicador biológico ideal. Mediante os resultados, foi possível observar que as definições dadas pela literatura para classificar uma espécie como bioindicadora não se aplica a *E. coli*, sendo a terminologia "indicador biológico" mais adequada. Todavia, a bactéria pode fornecer uma indicação biológica ideal, pois alcançou 78 pontos em uma escala de bioindicação, de pontuação máxima igual a 100.

**Palavras-Chave:** Monitoramento microbiológico, indicador biológico, contaminação fecal.



Journal of Environmental Analysis and Progress © 2016  
is licensed under CC BY-NC-SA 4.0

#### Introdução

O Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 28 de setembro de 2017 (PRC n.º

5/2017), que foi alterado em 04 de maio de 2021 pela Portaria GM/MS n.º 888 (Brasil, 2021a) e em 28 de setembro de 2021 pela Portaria GM/MS n.º

2.472 (Brasil, 2021b), dispõe sobre os padrões da qualidade da água para consumo humano por meio de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos. Dentre os indicadores microbiológicos para o controle e monitoramento da água, destaca-se a contagem de *Escherichia coli* (Theodor Escherich), a principal bactéria termotolerante do Grupo Coliforme e o indicador mais específico de contaminação fecal. A Portaria exige a ausência de Coliformes Termotolerantes, consequentemente de *E. coli* para cada 100 mL de amostra de água. A contagem de *E. coli* passou a vigorar a partir da Portaria GM/MS n.º 36 (Brasil, 1990).

Todos os organismos vivos são classificados segundo suas semelhanças e agrupados em categorias. Assim, com a utilização da Sistemática, busca-se a ordenação dos organismos em categorias hierárquicas. A nomenclatura e descrição dos seres vivos utilizados na Sistemática, recebe o nome de Categorias ou Grupos Taxonômicos. A Taxonomia para a *E. coli* foi descrita pela primeira vez por Theodor Escherich em 1885 (Hacker & Blum-Oehler, 2007).

Os gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella* são os principais representantes formadores do grupo denominado Coliforme, que se diferencia em dois subgrupos: Total e Termotolerantes. Os Coliformes Totais são bactérias com morfologia de bacilos. São gram-negativos, oxidase-negativos e não apresenta esporos. O processo respiratório é aeróbio ou anaeróbio facultativo, fermentando lactose e produzindo gás a uma temperatura de 35°C, entre 24 e 48 horas. Estes coliformes fazem parte da microbiota natural do trato gastrointestinal de alguns animais endotérmicos, incluindo o homem (Funasa, 2013; Mueller & Tainter, 2022).

Todavia, a existência de Coliformes Totais não é uma precisa denotação de contaminação fecal, pois bactérias não entéricas, a exemplo da *Serratia* e *Aeromonas*, também estão incluídas nesse grupo. No entanto, a presença e a quantidade de colônias são indicativos da qualidade higiênico-sanitária de um produto (Silva & Melo, 2021). Por fazer parte da flora natural do intestino (bactéria comensal), os coliformes não são patogênicos; porém, quando encontrada fora do trato intestinal, algumas linhagens ou a proliferação destes microrganismos podem ser a causa de doenças intestinais e extra-intestinais em humanos, como as infecções do trato urinário e a pneumonia (Lopes Neto et al., 2021; Mueller & Tainter, 2022).

Os Coliformes Termotolerantes diferenciam-se dos Coliformes Totais devido à presença da enzima  $\beta$  galactosidase que fermenta lactose gerando gás a uma temperatura de aproximadamente 44°C, em 24 horas, em meios contendo agentes tensoativos, como sais biliares, conforme a Fundação Nacional de Saúde (Funasa, 2013). Em sua maioria, são móveis, com flagelo peritríqueos como sua estrutura de locomoção (Silva, 2016). O principal representante do grupo termotolerante e o indicador mais específico de contaminação fecal, além de eventual presença de organismos patogênicos, é a *E. coli*.

É indiscutível a procedência fecal da *E. coli*, visto que esta se faz presente, majoritariamente, no trato intestinal de animais endotérmicos (aves e mamíferos), o que valida seu papel mais preciso de indicador de contaminação tanto em águas naturais, quanto tratadas. Assim, a presença ou ausência desse patógeno aponta, de forma simples, a confiabilidade sanitária da água e, consequentemente, possíveis impactos ambientais de origem antrópica.

A água poluída por material fecal é um veículo de transmissão direta de microrganismos causadores de diversas doenças, principalmente infecções intestinais. O controle e o monitoramento da contaminação microbiana das águas são extremamente importantes, devido ao seu potencial patogênico.

A falta de saneamento básico é a principal razão para a presença desse microrganismo em rios, lagos, lagoas, açudes e riachos. Além disso, tais despejos causam à entrada contínua e elevada de matéria orgânica, que promovem o processo de eutrofização do corpo aquático, comprometendo toda a biota do sistema e aumentando o grau de complexidade do tratamento da água para a utilização humana. Assim, a ausência de práticas conservacionistas voltadas à sustentabilidade ambiental vem desencadeando severos problemas ao meio ambiente.

Dessa forma, é possível perceber na literatura diversos estudos voltados ao estudo e ao monitoramento da *E. coli* em águas para consumo humano. Costumeiramente, este organismo está associado ao termo bioindicador, quando presente na água (Oliveira et al., 2015; Andrade & Barros, 2019; Ramos et al., 2020; Handam, 2021; Silva et al., 2022). Bioindicadores são seres vivos que possuem a capacidade de apresentar alterações morfológicas, fisiológicas ou comportamentais às oscilações do ambiente, em um determinado tempo. Esses seres bioindicadores estão nos mais variados níveis de organização biológica e fornecem informações gerenciais ou científicas complementares, sobre a condição ambiental ou o

estado de saúde do ecossistema que fazem parte (Prestes & Vincenci, 2019).

A *E. coli*, como organismo indicador de águas contaminadas, apresenta como principal característica o fator quantitativo de colônias que indicam o grau de poluição da água. Vários métodos são usados para a identificação quantitativa, auxiliando em processos de triagem confiáveis (Osińska et al., 2022).

A partir de uma visão biocêntrica da natureza e entendendo-se que os bioindicadores são seres vivos típicos de um ambiente ou introduzido ativamente pelo homem com o intuito de monitorar uma característica do ecossistema, este artigo objetiva lançar um olhar sobre a *E. coli* como um indicador biológico de contaminação fecal em detrimento da terminologia bioindicador, ao se referir a bactéria quando presente em águas naturais ou tratadas.

### Material e Métodos

O estudo é uma pesquisa exploratória e descritiva, com levantamento de dados secundários. Valeu-se de informação científica por meio de teorias publicadas em obras do mesmo gênero e legislações pertinentes ao tema, disponíveis em forma digital para o

enquadramento da bactéria *E. coli*, como indicador biológico da qualidade de água, em detrimento do uso da terminologia “bioindicador”.

Utilizou-se as bases de dados Google Acadêmico, *Science Direct* e *SciELO*, sendo as duas últimas acessadas por meio do Portal de Periódicos Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior). A busca dos dados em suma foi realizada no segundo semestre de 2022, a partir da aplicação das seguintes palavras-chaves: Bioindicadores, monitoramento ambiental, indicador biológico, *Escherichia coli*, monitoramento da qualidade da água, tratamento de água. No criterioso levantamento bibliográfico da literatura científica, foram priorizados estudos publicados nos últimos dez anos (2012-2022).

Adaptou-se a metodologia estabelecida por Neumann-Leitão & El-Deir (2009), a qual objetiva caracterizar o potencial de bioindicação para denotar o potencial de indicação biológica de uma espécie. Foi realizada uma ponderação para cada um dos aspectos, definindo pesos que variam segundo a relevância do parâmetro para apontar um indicador biológico ideal: 1 – baixa relevância; 2 – média relevância; 3 – alta relevância (Tabela 1).

Tabela 1. Pesos atribuídos aos parâmetros. Fonte: Pequeno et al. (2023).

Parâmetro	Peso
Taxonomia bem definida	3
Dispor de características ecológicas bem definidas	3
Longo ciclo de vida	3
Ser abundante	2
Ter baixa variabilidade etológica e gênica	2
Ter baixa mobilidade	2
Ter possibilidade de uso em bioensaios	2
Facilmente reconhecida por não especialistas	1
Distribuição geográfica ampla	1
Ter preferencialmente tamanho grande	1

Buscou-se definir três parâmetros como de “alta relevância”, quatro parâmetros como de “média relevância” e três parâmetros como de “baixa relevância”, de modo que a pontuação final do indicador biológico, feita a partir de uma média ponderada, venha a assumir um valor máximo de 100 pontos, em uma escala de classificação da qualidade do indicador (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação da qualidade do indicador. Fonte: Pequeno et al. (2023).

Pontos	Classificação
0 - 25	Ruim
26 - 50	Regular
51 - 75	Bom

76 - 100	Ideal
----------	-------

Por último, foram atribuídas notas para cada parâmetro, de acordo com a relevância do parâmetro para a espécie em estudo. Os valores variaram em uma escala de 1 a 5, em que: 1 – mínima representatividade; 2 – baixa representatividade; 3 – média representatividade; 4 – boa representatividade; 5 – excelente representatividade.

### Resultados e Discussão

No período de busca, percebeu-se uma vertiginosa produção científica nacional e internacional relacionada a análise do parâmetro “presença/ausência de *E. coli*” como indicativo de

contaminação fecal na água destinada ao consumo humano, validando-se como uma importante ferramenta na área de análise de águas. Foram selecionados 30 estudos para o aprofundamento do tema, com base nas palavras chaves utilizadas.

Contatou-se que algumas estirpes de *E. coli* conseguem crescer em ambientes com temperaturas entre 7°C e 45°C sendo 37°C (mesófilos) a temperatura ideal. Nos animais de sangue quente, a bactéria consegue proliferar em cultura com temperaturas de 45°C, que é a temperatura comum do intestino (Silva, 2016; Asae, 2022). No meio ambiente, essas bactérias podem sobreviver a diversas condições e por longos períodos. Diversos estudos ao longo da história mostram o crescimento da *E. coli* em diferentes habitats como, por exemplo, água, sedimentos e solo, suportando altas e baixas temperaturas, salinidade, umidade limitada, baixo teor de matéria orgânica, radiação solar e predação (Correa, 2015).

Ishii et al. (2006) apontaram que o microrganismo sobreviveu durante os meses de inverno, por meio de vários ciclos de congelamento/descongelamento e, posteriormente, cresceram durante os meses de verão, em temperaturas que chegaram até 32,2°C. Esses resultados sugerem que a *E. coli* pode persistir em solos mais frios por longo prazo e multiplicar-se, se ocorrer condições favoráveis. Todavia, Elving (2009) apontou que a *E. coli* consegue sobreviver e reproduzir-se em temperaturas de 22°C a 37°C, por um período de até dois meses no solo.

Cerqueira et al. (2019) realizaram uma pesquisa exploratória e apontaram que a *E. coli* é

inativada em água, quando exposta à radiação solar, com temperaturas próximas a 70°C, inclusive em dias nublados, durante 4 horas. Nascimento et al. (2018) demonstraram que é possível alcançar uma remoção de 100% da *E. coli* presente na água em uma temperatura a partir de 63,8°C, com uma irradiação solar estimada em cerca de 4,25 kWh.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Silva et al. (2016) demonstraram que a desativação do indicador de contaminação da água é possível a 55°C, a partir de uma irradiação solar crítica de 8,3 MJ.m<sup>-2</sup>.

Os estudos supracitados também apontaram que as cepas de *E. coli* são móveis nos solos, percolando e lixiviando para as camadas mais profundas (Ferreira, 2022). Devido aos eventos de erosão ou escoamento, é possível fazer a identificação de cepas encontradas no solo, em rios próximos. Logo, o comprometimento das águas pode ocorrer devido uma contaminação prévia do solo. Se trata de uma bactéria neutrofílica, proliferando melhor em pH próximo à neutralidade e sobrevivendo em solo ou na água com características ácidas, por ser capaz de gerar compostos básicos, a partir da degradação de aminoácidos (Silva, 2016).

Neumann-Leitão & El-Deir (2009) estabelecem diversos critérios para o conhecimento e classificação do organismo que se pretende usar como bioindicador (Quadro 1). Os autores afirmam que todos os organismos vivos apresentam um nível específico de tolerância fisiológica e etológica, que regula o grau de adaptação de uma espécie a alterações ambientais.

Quadro 1. Princípios no uso de bioindicadores. Fonte: Adaptado de Neumann-Leitão & El-Deir (2009).

<b>Critérios</b>	<b>Classificação</b>
Tolerância Fisiológica e Etológica	Euripotentes Estenopotentes
Cadeia de Reação	Direta Indireta
Sucessão Ecológica	R- Estrategista K – Estrategista
Tempo de Resposta	Curto Longo
Finalidades do Uso	Organismo Monitor Monitor Ativo Monitor Passivo Detectora Exploradora Bioensaios ou Teste
Reações provocadas na espécie	Sensível Acumulativo

Seguindo a classificação de Neumann-Leitão & El-Deir (2009), a *E. coli* é um organismo

que apresenta elevada amplitude térmica (bactéria termotolerante) e hidrogênico para o seu

desenvolvimento e sobrevivência sendo chamado, portanto, de “organismo euripotente”. Ao relacionar a *E. coli* a um bioindicador, pode-se afirmar que a espécie fornece uma bioindicação indireta do despejo de esgotos sem tratamento, pois essa ação antrópica que introduz o microrganismo no meio aquático não atua diretamente sobre o sistema biológico. O efeito da ação antrópica provoca respostas nas condições de saúde da comunidade biológica que utiliza o recurso.

Todos os outros critérios estabelecidos pelos autores estão relacionados a resposta de uma espécie a um fator estressante. Todavia, a *E. coli* não se configura dessa maneira, pois a bactéria é o próprio fator estressante, introduzida ao meio devido um impacto ambiental, ou seja, não faz parte daquele ambiente. Logo, não pode ser classificada de acordo com a sucessão ecológica, como espécie R-estrategista ou K-estrategista. Contudo, ao lançar um olhar sobre a bactéria como organismo não vinculado ao impacto ambiental, ela apresenta características de uma R-estrategista, pois em diversas condições ambientais, consegue povoar os espaços.

Em contiguidade, não há sentido em analisar a resposta temporal da bactéria ao fator estressante, pois como dito, a *E. coli* faz parte do próprio fator estressante, resultante de um impacto ambiental, que irá atuar de maneira indireta nos organismos da comunidade aquática, a partir do consumo da água contaminada. Contudo, também não se pode classificar como um organismo sentinela ou monitor ativo, que é aquele introduzido ativamente no ecossistema para o estudo do impacto ambiental, justamente porque o microrganismo é introduzido em conjunto com o impacto ambiental. Vale ressaltar que, no meio abiótico, a espécie em si, não causa transtornos, crescendo e sobrevivendo na água doce ou com algum grau de salinidade, enquanto os nutrientes da matéria orgânica continuam a ser lançados.

Dentro do aspecto da finalidade do uso do bioindicador, também não se pode classificar como biomonitor, pois segundo Neumann-Leitão & El-Deir (2009) organismos monitores (biomonitor) são “seres vivos que apresentam repercussão na ecologia de um ecossistema” e com a simples presença de *E. coli* na água, nenhuma repercussão ecológica acontece no sistema; detector, pois não é uma espécie própria do ecossistema, sensível a alterações no meio; ou exploradora, pois apesar de ser resistente a diversas condições, não faz parte da biota natural do sistema, logo as reações provocadas na espécie não fazem parte da análise. Além do mais, também não pode ser considerado “organismo teste”, visto que, apesar de costumeiramente ser usada em bioensaios para o monitoramento e controle da poluição da água por despejos orgânicos, a espécie não é utilizada para verificar a resposta biológica, em virtude desta ser o próprio agente causador do impacto, ou seja, o parâmetro biológico para o impacto ambiental do derramamento de esgoto *in natura*.

Sendo assim, considerando os critérios estabelecidos por Neumann-Leitão & El-Deir (2009) para definir uma espécie como bioindicadora, é incongruente afirmar que a *E. coli* pode ser designada como bioindicador. Dessa forma, a utilização do termo “indicador biológico” se enquadra de maneira mais adequada ao se referir a essa bactéria quando presente no meio ambiente, como na água ou no solo.

Abaixo, pode-se observar as notas estabelecidas para cada um dos parâmetros utilizados para classificar a qualidade do indicador biológico (Tabela 3). A listagem da taxonomia como aspecto a ser ponderado deve-se ao fato que para ser um indicador biológico ideal a espécie precisar está cientificamente bem definida. Portanto, a *E. coli* recebeu pontuação máxima, pois as suas características morfológicas e funcionais são conhecidas.

Tabela 3. Análise ponderada dos parâmetros de indicador biológico ideal para *Escherichia coli*. Fonte: Pequeno et al. (2023).

Parâmetro	Peso	Nota	Total
Taxonomia bem definida	3	5	15
Dispor de características ecológicas bem definidas	3	5	15
Longo ciclo de vida	3	3	9
Ser abundante	2	5	10
Ter baixa variabilidade etológica e gênica	2	4	8
Ter baixa mobilidade	2	4	8
Ter possibilidade de uso em bioensaios	2	3	6
Facilmente reconhecida por não especialistas	1	1	1
Distribuição geográfica ampla	1	5	5
Ter preferencialmente tamanho grande	1	1	1
Somatório			78

Compreender o habitat e entender a função do organismo vivo nesse ambiente e as interações dos fatores bióticos e abióticos com a espécie, são características que se deve levantar para definir um ser vivo para indicação biológica de um parâmetro ambiental. Como o microrganismo em estudo dispõe de características ecológicas bem definidas, o mesmo recebeu nota cinco para esse parâmetro de alta relevância.

Ciclos de vida mais longos facilitam análises temporais; por isso é, preferível que a espécie escolhida se comporte dessa maneira, pois em casos de monitoramento de poluição é possível verificar a bioacumulação de substâncias tóxicas no organismo desses seres ao longo de uma série temporal (Paz et al., 2013). Todavia, a depender do estudo de caso, espécies com curto ciclo de vida podem fornecer bio respostas etológicas importantes. O ciclo de vida da *E. coli* é variado, altamente dependente das condições do meio (Elving, 2009; Silva, 2016; Cerqueira et al., 2019; Asae, 2022). Sendo assim, a pontuação intermediária estabelecida, concorda com essa característica.

Em relação à abundância, que reflete na facilidade de coleta da *E. coli* para a análise, devido ao fato dessas bactérias se multiplicarem rapidamente em colônias (Silva & Melo, 2021), esta característica acaba por receber nota máxima. A *E. coli* apresenta baixa variabilidade genética e ecológica, fator este, que tem relação com a evolução, mutação e capacidade de adaptação. O genoma bem definido desse organismo, sendo uma das formas de vida mais bem compreendida, colabora para o potencial de indicação biológica da espécie (Hacker & Blum-Oehler, 2007).

Apesar da *E. coli* ter suas estruturas de locomoção, a sua distribuição no meio acontece principalmente devido a movimentação de massas, como os caminhos que a água faz nos cursos hídricos ou no solo (Correa, 2015; Ferreira, 2022). Sendo assim, esse microrganismo apresenta baixa mobilidade e, segundo Paz et al. (2013), para a indicação biológica, deve-se optar por espécies com baixa mobilidade, pois estas sofrem alterações no mesmo ambiente em que provém as respostas, contribuindo na análise das causas de um problema. Espécies que realizam migrações frequentes são mais difíceis de fornecer a resposta desejada. Ademais, algumas respostas fornecidas pelas espécies, só podem ser detectadas por meio de análises laboratoriais; logo, a baixa mobilidade também ajuda na coleta da espécie para estudo em laboratórios. Por esses motivos, esses parâmetros foram qualificados com notas intermediárias.

No que concerne à facilidade da espécie ser reconhecida por não especialistas, este aspecto apresenta relevância nos casos em que a população local pode auxiliar o pesquisador, ao perceberem alterações no meio. Todavia, muitas espécies de microrganismos são ótimas bioindicadoras ou indicadoras biológicas e só podem ser visualizados por especialistas, como é no caso da *E. coli*. Devido essa especificidade científica de visualização, o que torna o estudo mais complexo, foi atribuída uma nota baixa para o parâmetro “facilmente reconhecida por não especialistas” e “tamanho”.

Apesar da *E. coli* estar presente em ambientes habitados por animais de sangue quente (Mueller & Tainter, 2022), a necessidade de uma distribuição geográfica ampla para que o estudo possa ser replicável e não fique restrito a pesquisas locais (Paz et al., 2013), foi considerada como não sendo um dos parâmetros de maior importância, visto que não é recomendável deixar de usar uma espécie endêmica ou regional que pode ser ótima em fornecer informações sobre o ecossistema, apenas por ela não está presente de maneira cosmopolita. Portanto, observa-se uma atribuição de nota mais baixa.

Mediante os resultados, pode-se verificar que o somatório das notas, fruto de médias ponderadas, em relação aos parâmetros de indicador biológico ideal, mostrou-se bastante satisfatório, alcançando um valor de 78 pontos. Essa pontuação classifica a *E. coli* como um indicador biológico ideal, reafirmando a importância desse parâmetro microbiológico e o uso amplamente difundido pelo mundo, principalmente no controle da contaminação de corpos hídricos.

## Conclusão

Conclui-se que o emprego de indicadores biológicos ou bioindicadores na análise de impactos ambientais configura-se como uma alternativa de integração e análise da biocenose, a partir de espécies típicas do ecossistema, contribuindo com a visão biocêntrica de meio ambiente.

O estudo identificou que a terminologia “indicador biológico” ou “indicador microbiológico” é mais adequada ao se referir a *E. coli*, visto que a introdução deste microrganismo no meio é resultante de um impacto ambiental. Além disso, a bactéria pode fornecer uma indicação biológica ideal.

Se ratifica a importância desse parâmetro microbiológico para diagnosticar a contaminação da água por material fecal. Por se tratar de um patógeno que se adequa a variadas condições

ambientais e sendo responsável por uma quantidade significativa de doenças infecciosas, recomenda-se a continuidade de pesquisas dedicadas a esse microrganismo, pois muitos aspectos da biologia deste, ainda podem ser elucidados.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo bolsa de estudos concedida ao Lucas Alves Batista Pequeno (IBPG-0689-3.07/22) e à Mayara Pereira Carolino (IBPG-0681-3.07/22).

### Referências

- Andrade, G. F.; Barros, D. B. 2019. Bioindicadores Microbiológicos para Indicação de poluição Fecal. Revista Eletrônica Acervo Saúde, 34, 1-7. <http://dx.doi.org/10.25248/reas.e1099.2019>.
- ASAE, Autoridade de Segurança Alimentar e Económica. 2022. *Escherichia coli*. Disponível em: <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/riscos-biologicos/escherichia-coli.aspx>. Acesso em: 17 de outubro, 2022.
- Brasil. 2017. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 - Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017. Disponível em: [http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria\\_Consolidacao\\_5\\_28\\_SETEMBRO\\_2017.pdf](http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf). Acesso em: 14 de janeiro, 2023.
- Brasil. 1990. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 36, de 19 de janeiro de 1990. Brasília, 1990. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1990/prt0036\\_19\\_01\\_1990.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1990/prt0036_19_01_1990.html). Acesso em: 23 de janeiro, 2023.
- Brasil. 2021a. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília, 2021. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 3 de outubro, 2022.
- Brasil. 2021b. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 2.472, 28 de setembro de 2021. Brasília, 2021. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt2472\\_30\\_09\\_2021.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt2472_30_09_2021.html). Acesso em: 3 de outubro, 2022.
- Cerqueira, T. B.; Oliveira, E. J. A.; Silva, R. F.; Domingues, M. A. O.; Lyra, M. R. C. C. 2019. Considerações sobre a qualidade de água pluvial armazenada em cisternas e sua desinfecção com energia solar. Revista Brasileira de Energia Solar, 10, (2), 104-110.
- Correa, T. P. 2015. Persistência de cepas de *Escherichia coli* genérica e de stec não-o157 em solos agricultáveis. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. 60p.
- Elving, J. 2009. Pathogen Inactivation and Regrowth in Organic Waste during Biological Treatment. Tese de Doutorado, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Department of Biomedical Sciences and Veterinary Public, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 57p.
- Ferreira, F. D. G. 2022. Avaliação da segurança no uso de biofertilizantes produzidos a partir de excretas humanas em cultivo de vegetais: Contaminação do solo e das plantas. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. 121p.
- FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. 2013. Manual Prático de Análise de Água. Fundação Nacional de Saúde. 4.ed. Vigilância Ambiental em Saúde. Brasília, Brasil.
- Hacker, J.; Blum-Oehler, G. 2007. In appreciation of Theodor Escherich. Nature Reviews Microbiology, 5, (12), 902-902. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1810>.
- Handam, N. B. 2021. Qualidade Sanitária da Água de Reúso como Destino Sustentável para a Agricultura. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil. 179p.
- Ishii, S.; Ksoll, W. B.; Hicks, R. E.; Sadowsky, M. J. 2006. Presence and Growth of Naturalized *Escherichia coli* in Temperate Soils from Lake Superior Watersheds. Applied and Environmental Microbiology, 72, (1), 612-621. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.72.1.612-621.2006>.
- ITIS, Sistema Integrado de Informações Taxonômicas. 2023. *Escherichia coli* (Migula, 1895) Castellani e Chalmers, 1919.

- Disponível em: [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=285#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=285#null). Acesso em: 23 de fevereiro, 2023.
- Lopes Neto, M. A.; Osti, J. V. de S.; Rocha, B. da S.; Mendonça, L. P. de. 2021. Qualidade microbiológica de alimentos servidos em restaurantes universitários. *Cientific@ Multidisciplinary Journal*, 8, (2), 1-8. <https://doi.org/10.37951/2358-260X.2021v8i2.5813>
- Mueller, M.; Tainter, C. 2022. *Escherichia coli*. In: Statpearls [internet]. Ilha do Tesouro (FL): StatPearls Publishing. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK564298/>. Acesso 21 de outubro, 2022.
- Nascimento, F. T. do.; Nascimento, C. A. do.; Spilki, F. R.; Staggemeier, R.; Lauer Júnior, C. M. 2018. Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13, (4), 1-12. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2084>.
- Neumann-Leitão, S.; El-Deir, S. 2009. Bioindicadores da Qualidade Ambiental. Recife: Instituto Brasileiro Pró-Cidadania. 298p.
- Oliveira, A. J. de.; Santos, M. C. H. G.; Itaya, N. M.; Calil, R. M. 2015. Coliformes termotolerantes: bioindicadores da qualidade da água destinada ao consumo humano. IV Simpósio em Saúde Ambiental, São Paulo, Brasil, Asa. pp. 24-29.
- Osńska, A.; Korzeniewska, E.; Korzeniewska-Kowal, A.; Wzorek, A.; Harnisz, M.; Jachimowicz, P.; Buta-Hubeny, M.; Zieliński, W. 2022. The challenges in the identification of *Escherichia coli* from environmental samples and their genetic characterization. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 11572-11583. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22870-8>.
- Ramos, S.; Silva, V.; Dapkevicius, M. L. E.; Caniça, M., Tejedor-JuncO, M. T.; Igrejas, G.; Poeta, P. 2020. *Escherichia coli* as Commensal and Pathogenic Bacteria among Food-Producing Animals: Health Implications of Extended Spectrum  $\beta$ -Lactamase (ESBL) Production. *Animals*, 10, (12), 2239-2253. <https://doi.org/10.3390/ani10122239>.
- Silva, G. C.; Tiba, C.; Calazans, G. M. T. 2016. Solar pasteurizer for the microbiological decontamination of water. *Renewable Energy*, 87, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.012>.
- Silva, K. G. da.; Melo, A. M. M. F. de. 2021. Controle microbiológico de linguiça artesanal. *Visão Acadêmica*, 22, (4), 4-9. <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v22i4.82067>.
- Silva, L. R. C. 2016. *Escherichia coli*: microbiologia da água. Disponível em: <https://www.luciacangussu.bio.br/atlas/escherichia-coli/>. Acesso em: 17 de outubro, 2022.
- Silva, T. de S. M. da.; Abrantes, J. A.; Ramos, T. M. V.; Cozendey-Silva, E. N.; Nogueira, Joseli, M. da R. 2022. Perfil de sensibilidade aos antimicrobianos das cepas de *Escherichia coli* isoladas de amostras de águas superficiais do Rio Carioca-RJ, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27, (4), 673-682. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200405>.
- Paz, Y. M.; Almeida, M. de M.; Aravanis, N.; El-Deir, S. G. 2013. Proposta metodológica para seleção de bioindicadores para monitoramento da qualidade ambiental de efluentes. *Anais XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves, RS, Brasil, Abrh. pp. 1-8.
- Prestes, R. M.; Vincenci, K. L. 2019. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2, (4), 1473-1493.