

Eficiência do monitoramento da balneabilidade da costa marítima de Fortaleza: análise do período de 2019 a 2021

Efficiency of monitoring the bathing quality of the Fortaleza coast: analysis of the period from 2019 to 2021

Yohanna Carvalho Rodrigues Rocha¹; Fábio de Oliveira Matos²; Janaína Melo Oliveira³; Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa⁴; Fabiano Rocha⁵

¹ Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza/CE, Brasil. Email: yohannagestaoambiental@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3334-8141>

² Universidade Federal do Ceará/Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza/CE, Brasil. Email: fabiomatos@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9275-9361>

³ Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza/CE, Brasil. Email: jana.melo@uece.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0594-4233>

⁴ Universidade Federal do Ceará/Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza/CE, Brasil. Email: paulosousa@ufc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4544-6017>

⁵ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará, Fortaleza/CE, Brasil. Email: fabiano.rocha@ifce.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1940-561X>

Resumo: A balneabilidade da costa marítima tem grande importância para a sociedade em várias dimensões. Muitos são os desafios para equilibrar os diversos interesses conflitantes nesta área ambiental. A Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará, desenvolve o Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias, com objetivo principal de monitorar a qualidade das águas das praias para o uso primário; com abrangência maior de pontos de monitoramento na orla de Fortaleza. O objetivo deste estudo foi analisar a eficiência do monitoramento da orla marítima de Fortaleza, e utilizou a técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) como instrumento de análise de eficiência relativa. A DEA utiliza unidades de decisão (DMU) analisando o desempenho destas na utilização de suas entradas (*inputs*) para produzir as saídas (*outputs*). Foram utilizados 5 cenários diferentes de análise, tomando como DMUs os três anos de gestão do Programa de Balneabilidade (2019 a 2021). Os resultados mostraram que o menor resultado de eficiência em todos os cenários foi de 82,30% (a maioria das eficiências foi de 100%) e que portanto o monitoramento da balneabilidade da costa marítima de Fortaleza pode ser considerado eficiente diante da amostra escolhida, mas há espaço para melhorias serem implementadas.

Palavras-chave: monitoramento; costa marítima; balneabilidade.

Abstract: The suitability of the coast for bathing is of great importance to society in several dimensions. There are many challenges in balancing the various conflicting interests in this environmental area. The State Environmental Superintendence of Ceará develops the Beach Suitability Monitoring Program, with the main objective of monitoring the quality of beach waters for primary use; with a greater scope of monitoring points on the coast of Fortaleza. The objective of this study was to analyze the efficiency of monitoring the coast of Fortaleza, and used the Data Envelopment Analysis (DEA) technique as an instrument for analyzing relative efficiency. DEA uses decision-making units (DMU) to analyze their performance in using their inputs to produce outputs. Five different analysis scenarios were used, taking as DMUs the three years of management of the Bathing Suitability Program (2019 to 2021). The results showed that the lowest efficiency result in all scenarios was 82.30% (most efficiencies were 100%) and that therefore the monitoring of the bathing suitability of the Fortaleza coast can be considered efficient given the chosen sample, but there is room for improvements to be implemented.

Keywords: monitoring; sea coast; water quality.

1. Introdução

A zona costeira brasileira possui uma importância estratégica que pode ser evidenciada em diversos aspectos. Interesses conflitantes sobre sua utilização permitem debates científicos que podem embasar decisões que podem melhorar o cenário provocado por ações antrópicas. A devida utilização da água das praias de uma específica zona costeira é determinada por sua balneabilidade. Mas esta pode ser afetada por ações antrópicas ou expansão urbana no litoral (MARQUES *et al.*, 2024).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução nº 274/2000 e da Resolução nº 374/2005 versa sobre os critérios de balneabilidade, orientando sobre os fundamentos do monitoramento de balneabilidade das praias no Brasil (BRASIL, 2000; 2005). O estado do Ceará, através da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE), desenvolve o Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias que tem por objetivo principal o monitoramento da qualidade da água das praias do Estado (SEMACE, 2019).

Até 2021 foram estabelecidos 32 pontos de coleta somente para as praias da capital e 34 pontos para o restante das praias de todo o estado de Ceará (SEMACE, 2022). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução no 1/1986, considera que o impacto ambiental está ligado essencialmente às atividades humanas que causem qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (BRASIL, 1986). Coelho (2004) define impacto ambiental como sendo um processo de mudanças sociais e ecológicas causado por perturbações no ambiente.

A urbanização desordenada nas zonas costeiras trazem impactos negativos ao meio ambiente, com fatores relacionados à segurança sanitária e economia do turismo (MOURA, 2009). De acordo com Kobiyama e Mota (2008), os recursos hídricos são compreendidos como fontes de valor econômico essencial para o desenvolvimento dos seres vivos. Mas a análise das atividades antrópicas e seus impactos sobre os recursos hídricos costeiro, deve levar em consideração todo o contexto envolvido, e suas formas de atuação pontual ou não (RIBEIRO *et al.*, 2007). O Ceará é um dos estados brasileiros de maior ocupação da zona costeira, tendo alto nível de exploração comercial ligado ao Turismo (CAMPOS *et al.*, 2003; MARQUES *et al.*, 2024). As análises das problemáticas relacionadas às ações antrópicas são fundamentais para a manutenção sustentável da balneabilidade de uma região praiana (GRAND *et al.*, 2017).

Ruckelshaus *et al.* (2020) realizaram estudos na Suíça e China e observaram esta problemática das ações antrópicas em regiões costeiras. Zheng *et al.* (2020) desenvolveram estudos sobre inovações no monitoramento de zonas costeiras com tecnologias de dados, a fim de embasamento para decisões da gestão pública. Torna-se importante uma discussão sobre a eficiência do monitoramento realizado pelo Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias do Ceará.

Apresenta-se a questão de pesquisa: O monitoramento da balneabilidade da costa marítima de Fortaleza entre os anos 2019 e 2021 pode ser considerado eficiente? O período de análise se justifica pelo fato de analisar a transição do momento antes e durante pandemia provocada pelo vírus de COVID19.

Tem-se como objetivo geral deste estudo: analisar a eficiência do monitoramento da balneabilidade das praias da cidade de Fortaleza (CE). Em consequência tem-se como objetivos específicos: (i) analisar o Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias nos anos de 2019 a 2021, com foco nas informações sobre a cidade de Fortaleza; (ii) realizar análise quantitativa dos dados da amostra do período, implementando a Análise Envoltória de Dados (DEA) a fim de obter novas informações sobre a eficiência do monitoramento da balneabilidade das praias de Fortaleza no período de 2019 a 2021; e (iii) implementar análise qualitativa das informações levantadas sobre eficiência do monitoramento da balneabilidade das praias de Fortaleza no período de 2019 a 2021.

A metodologia utilizada, do ponto de vista de seus objetivos, é uma pesquisa exploratória e que permite o desenvolvimento de uma investigação de caráter descritivo (PRODANOV; FREITAS, 2013). Entende-se que foi desenvolvida uma pesquisa que utiliza métodos quantitativos e qualitativos. Foi realizado tratamento matemático e interpretativo dos resultados em face às legislações vigentes. O cálculo de eficiência foi realizado pela técnica chamada Análise Envoltória de Dados (DEA) utilizando cenários diferentes de observação e tratamento dos dados da amostra.

1.1 Zona Costeira e Balneabilidade

Conforme Dias e Oliveira (2013, p. 372) o cenário de abundante riqueza do meio ambiente que constitui a zona costeira é também assim relatado: "Ecossistemas que se alternam entre mangues, praias, campos de dunas, estuários, além de outros ambientes, por isso, se configura como um ambiente de significativa riqueza natural".

A zona costeira é detentora de áreas particularmente sensíveis e frágeis do ponto de vista ecossistêmico, com uma série de ambientes restritos a esse sistema de interação água, terra e ar (AMBIENTE, 2020). Conforme o Decreto presidencial

brasileiro nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004, a zona costeira brasileira é delimitada por uma faixa marítima e uma faixa terrestre (BRASIL, 2004).

Diversas pesquisas têm mostrado a influência que o homem exerce na alteração da paisagem natural da Zona Costeira, destaca-se nesta área os estudos de Kawakubo *et al.* (2003), Silva *et al.* (2008), Meireles (2008), Paula *et al.* (2013), Dias e Oliveira (2013), Lima e Amaral (2013) e Silva e Farias Filho (2015). Mostra-se importante desenvolver a discussão sobre boas práticas de gestão e proteção deste ambiente ecossistêmico. Kobiyama e Mota (2008) evidenciam a necessidade da boa gestão dos recursos hídricos em todos os ambientes naturais, evidenciando as zonas costeiras em suas análises. Observou-se (dados da *Science Direct - Elsevier*) poucos estudos que tratam da avaliação dos métodos de mineração de dados em Ciência de Dados Ambientais, ou utilização de modelos matemáticos relacionados a aplicação da técnica de Análise Envoltória de Dados, e que podem ser aplicados em estudos de zonas costeiras. Tais aplicações representariam formas inovadoras de tratar este assunto (GIBERT *et al.*, 2018).

No Brasil um dos estados com a maior índice de ocupação da zona costeira é o Ceará atingindo atualmente um índice de 49,22% de ocupação, fazendo com que a densidade demográfica seja uma das mais altas no país (CAMPOS *et al.*, 2003). Assim como em todo o mundo, este alto nível de ocupação, impõe forte estresse ambiental relacionado ao uso de dessa região geográfica (GRUBER; BARBOZA; NICOLODI, 2003). Neste contexto pode-se evidenciar a conjuntura de urbanização acelerada da orla de Fortaleza, capital do estado do Ceará (RODRIGUES, 2016).

A respeito do planejamento e gestão racional do uso e ocupação do solo na zona costeira, torna-se importante e necessária a existência de monitoramento constante desses espaços (SILVA, 2019). A urbanização em torno da orla marítima de Fortaleza é a mais antiga do estado do Ceará, e por isso foi desorganizada. A sua configuração imobiliária costeira foi transformada pelo impacto das atividades econômicas ligadas ao turismo principalmente na segunda metade do século XX (QUEIROZ, 2017).

A balneabilidade de uma zona costeira tem impacto direto com a saúde e o bem-estar humano (BRASIL, 2000). Conforme Berg, Guercio e Ulbricht (2013, p. 8) balneabilidade é assim definida:

Balneabilidade é a capacidade que um local tem de possibilitar o banho e atividades esportivas em suas águas, ou seja, é a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário. A balneabilidade é determinada a partir da quantidade de bactérias do grupo coliforme presentes na água. É feita análise que quantifica os coliformes totais e fecais, *Escherichia coli* e/ou *Enterococos*. (BERG; GUERCIO; ULRICH, 2013, p. 8).

Observa-se nesta definição que a balneabilidade na região praial está diretamente ligada ao contato primário. Tal fato traz necessário cuidado com a qualidade das águas da zona costeira. A OMS afirma que do total de doenças que acometem os países em desenvolvimento, em torno de 80% estão relacionados a má qualidade da água (ARRUDA *et al.*, 2016).

As ações antrópicas somadas à falta gerenciamento de recursos costeiros em determinadas regiões do Brasil geram impactos negativos em resultados de balneabilidade das praias (MARTINS *et al.*, 2017). Valiela (1991), em sua obra clássica, evidencia também que o acúmulo populacional traz uma pressão significativa sobre os recursos costeiros. Ainda, o problema de eutrofização da zona costeira está relacionado a qualquer atividade em que as condições naturais da bacia são alteradas em função da expansão urbana (MOURA; BOAVENTURA; PINELLI, 2010).

Portanto a zona costeira é a área de maior acúmulo de sinergismo de impactos negativos causados pela atividade humana, e um dos casos principais são atividades turísticas. Ainda que não seja a única atividade que exerce pressão sobre os ecossistemas e sistemas sociais, o turismo tem recebido especial atenção devida a sua acelerada expansão, consumindo espaços cada vez maiores (MARQUES *et al.*, 2024). Ações antrópicas imprudentes podem gerar impactos de ordem social, ambiental e econômica, contribuindo para a insustentabilidade dos destinos turísticos (RIOS, 2006).

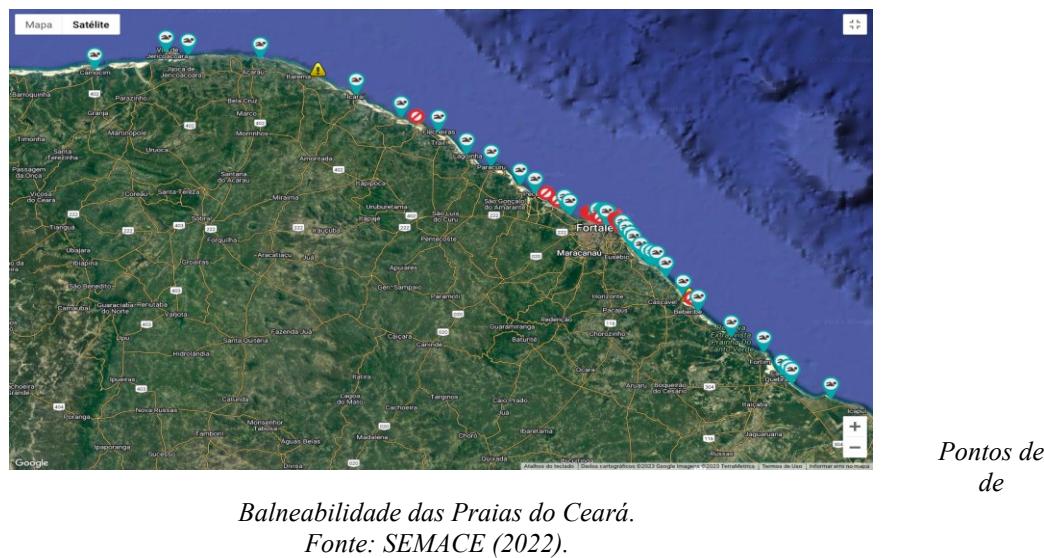
Conforme Lemos *et al.* (2002) no final dos anos de 1990 a maioria das barracas da Praia do Futuro, na orla de Fortaleza, não tinham ligação de esgoto legalizada. Este cenário foi mudando com o passar dos anos, através de uma sistemática intervenção de melhorias por parte do poder público, mas ainda apresenta desafios. Segundo Ferreira, Andrade e Costa (2013), em Fortaleza, o sistema de coleta das águas pluviais é separado do sistema de coleta do esgoto. Neste caso as águas pluviais, dentro de seu sistema de coleta, são lançadas diretamente no mar, caracterizando assim a irregularidade do sistema de esgoto nesta importante região costeira (PAIVA *et al.*, 2025); e em alguns casos são misturados a elementos poluidores que se encontram nas galerias pluviais, tornando um ambiente de grande fluxo social e turístico impróprio para o contato primário (MARQUES *et al.*, 2024).

A avaliação dos impactos antrópicos sobre a zona costeira deve determinar se ações humanas ou atividades econômicas têm, em seu conjunto, resultados positivos ou negativos (VASCONCELOS; CORIOLANO, 2008).

É fundamental o estudo e monitoramento da qualidade da água superficial para se conhecer a situação em relação às atividades antrópicas que ocorrem em sua região. Necessitando de um programa de monitoramento de qualidade ambiental, que deve ser desenvolvido de forma que seja possível acompanhar sistematicamente as variações ocorridas na esfera espaço-temporal do ecossistema (GODOI, 2008). De acordo com Bitar e Ortega (1998), monitoramento ambiental consiste na realização de medições e/ou observações específicas, dirigidas a alguns poucos indicadores e parâmetros, com a finalidade de verificar se determinados impactos ambientais estão ocorrendo.

O estado do Ceará tem aplicado esforços para atuação ampla na gestão costeira integrada, por exemplo com o Projeto Espacial Ambiental (PEA), onde é realizado o mapeamento da linha de costa, importante ação para subsidiar decisões e políticas públicas (SEMA, 2025). O estado brasileiro também possui o Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias que tem por objetivo principal o monitoramento da qualidade da água das praias do Estado, atendendo às determinações das resoluções Resolução nº 274/2000 e da Resolução nº 374/2005.

É um serviço desenvolvido e realizado pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará - SEMACE. A presente pesquisa delimita-se ao monitoramento das praias do município de Fortaleza; conforme SEMACE (2022), o Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias faz o monitoramento de 32 pontos na orla da capital cearense. Observa-se estes pontos na Figura 1 a seguir:



A orla de Fortaleza foi dividida em três grandes setores dentro do Programa de Monitoramento Balneabilidade, buscando assim melhor organização dos relatórios de coletas através de setores que possibilitam direcionar possíveis ações de melhoria dos índices de balneabilidade. As coletas são semanais e os 32 pontos de coleta estão distribuídos praticamente de forma igualitária nos 3 setores, assim denominados: Setor Leste, Setor Centro e Setor Oeste (SEMACE, 2022). Nota-se que a eficiência deste programa tem impacto direto com o nível de balneabilidade das praias e podem embasar decisões específicas do poder público.

Observou-se a partir da análise bibliográfica já mencionada neste trabalho que poucos estudos sobre eficiência do monitoramento da balneabilidade são desenvolvidos com a implementação da Análise Envoltória de Dados. O estudo de Gambiroža *et al.* (2025) indica limitações do monitoramento tradicional baseado apenas em análise de bactérias indicadoras fecais, e apresenta proposta de abordagem preditiva associada a demais técnicas quantitativas para respostas mais imediatas.

Diante disso, implementar uma análise quantitativa tem grande importância para o cenário da balneabilidade. Pode-se dizer que há uma evidente contribuição em desenvolver estudos sobre a eficiência do monitoramento da balneabilidade utilizando a técnica DEA, que é reconhecida em vários estudos por seu valor metodológico.

2. Metodologia

A metodologia a ser utilizada, do ponto de vista de seus objetivos, refere-se a uma pesquisa exploratória pois trata-se também de um estudo de caso que procura desenvolver mais informações sobre o assunto tratado (PRODANOV, FREITAS, 2013).

O estudo é de caráter descritivo pois baseia-se na análise de dados secundários a respeito do monitoramento da balneabilidade das praias de Fortaleza (CE). Assume-se também que será desenvolvida uma pesquisa quantitativa quanto ao tratamento dos dados matemáticos e qualitativa quanto à interpretação destes resultados em confronto às normativas em níveis federais e estaduais pertinentes ao tema em estudo.

A proposição da pesquisa está direcionada a analisar a eficiência do monitoramento da balneabilidade das praias de Fortaleza, entre os anos de 2019 a 2021. Para tanto tem-se a seguinte proposta metodológica: (i) Levantamento de Dados sobre monitoramento da balneabilidade das praias de Fortaleza no período de 2019 a 2021; (ii) Implementação da Análise Envoltória de Dados para cálculo de eficiência do monitoramento da balneabilidade no período escolhido; (iii) Tabulação de resultados em forma descritiva; (iv) Análise qualitativa dos resultados; (v) Conclusão crítica do autor.

A Análise Envoltória de Dados também chamada DEA (DEA - *Data Envelopment Analysis*), é uma abordagem não-paramétrica que analisa o confronto entre variados produtos (saídas) e insumos (entradas) pertencentes a uma mesma unidade produtiva. Medindo basicamente a eficiência produtiva destas unidades em utilizar suas entradas para produzir as saídas informadas (CASADO; SOUZA, 2007; PÉRICO; SANTANA; REBELATTO, 2017).

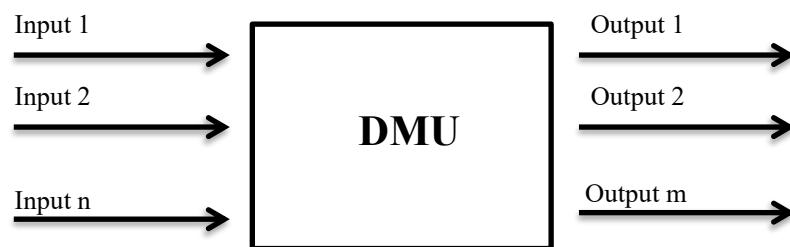


Figura 2 – Estrutura básica de uma DMU.

Fonte: elaborado pela autora. Adaptado de (PÉRICO, SANTANA, REBELATTO, 2017).

Os principais estudos sobre DEA identificam a unidade produtiva como *Decision Making Units* (DMU), ou simplesmente denominada de DMU. A DMU, também entendida como unidade de decisão, tem a função de processar determinadas entradas e entregar determinadas saídas. A figura 2 mostra a estrutura básica da DMU e da estrutura geral da análise feita pela DEA. Esta técnica avalia o nível de eficiência relativa de unidades produtivas independentes (comparando a um referencial da amostra estudada), permitindo confrontar entradas e suas saídas.

A quantidade de *inputs* e *outputs* não são necessariamente iguais, podendo ter combinações múltiplas do número de entradas e saídas na DMU. Dentro do cenário desta técnica de cálculo de eficiência o conceito de produtividade está relacionado a razão entre o quantitativo do que é produzido e a quantificação insumos que foram utilizados na fabricação destas saídas (CASADO; SOUZA, 2007); e o conceito de eficiência está relacionado a capacidade de uma DMU em atingir o melhor resultado possível com o mínimo de desperdício de insumos relacionados a esta saída (MERKERT; ASSAF, 2015). Dependendo do número de entradas e saídas envolvidos nos cálculos de DEA será necessário atribuir pesos multiplicados aos valores de *inputs* e *outputs* no processo de cálculo de eficiência, conforme é apresentado a seguir nas equações (CASADO; SOUZA, 2007):

$$(i) \text{Eficiência} = \frac{\text{Saídas}}{\text{Entradas}}$$

$$(ii) \text{Eficiência da unidade B} = \frac{u_1 y_{1b} + u_2 y_{2b} + \dots}{v_1 x_{1b} + v_2 x_{2b} + \dots}$$

Onde temos que:

u_1 = o peso relacionado a saída 1

y_{1b} = valor da saída 1 da unidade b

v_1 = peso relacionado a entrada 1

x_{1b} = valor da entrada 1 da unidade b.

A eficiência a ser calculada recebe valor de 0 a 100%, ou 0 a 1. Os cálculos de eficiência da Análise Envoltória de Dados são feitos, dentre outros meios, em plataforma de Excel e permite detectar lacunas de eficiência, ou seja, o quanto a unidade produtiva está longe da mais eficiente, possibilitando assim análise qualitativa de possíveis estratégias para melhoria de eficiência. Neste caso esta lacuna é também chamada de eficiência relativa, pois está abaixo de 100% de eficiência, que é considerada eficiência total, em comparação às demais DMU's utilizadas na comparação (MERKERT; ASSAF, 2015). Após o tratamento dos dados pela referida técnica de cálculo de eficiência é prosseguido, a análise qualitativa dos resultados obtidos e feito o confronto com informações específicas do cenário em estudo.

Um modelo de aplicação da Análise Envoltória de Dados amplamente utilizado propõe os seguintes passos (CASADO; SOUZA, 2007): (i) Definição das DMUs; (ii) Definição de *inputs* e *outputs* mais oportunos possíveis para o cenário de análise; e (iii) implementação da técnica DEA e análise de resultados.

3. Resultados e discussão

A seguir são denominados os valores de cada input e output que serão utilizados nas DMU's, ao ser implementado o cálculo via DEA:

- a) **DMU 1** - Gestão do Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias - Período 2019; **ENTRADAS (inputs)** - (i) Número de coletas realizadas no período – 2019: **1455** e (ii) Densidade de Monitoramento das Balneabilidade das Praias de Fortaleza - 2019: **2,58**; **SAÍDAS (outputs)** - (i) Balneabilidade - Quantidade de resultados próprios para o banho (Fortaleza) - 2019: **644** e (ii) Número de boletins de balneabilidade emitidos em 2019: **62**
- a) **DMU 2** - Gestão do Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias - Período 2020; **ENTRADAS (inputs)** - (i) Número de coletas realizadas no período – 2020: **1043** e (ii) Densidade de Monitoramento das Balneabilidade das Praias de Fortaleza - 2020: **2,66**; **SAÍDAS (outputs)** - (i) Balneabilidade - Quantidade de resultados próprios para o banho (Fortaleza) - 2020: **548** e (ii) Número de boletins de balneabilidade emitidos em 2020: **36**
- b) **DMU 3** - Gestão do Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias - Período 2021; **ENTRADAS (inputs)** - (i) Número de coletas realizadas no período – 2021: **1315** e (ii) Densidade de Monitoramento das Balneabilidade das Praias de Fortaleza - 2021: **2,66**; **SAÍDAS (outputs)** - (i) Balneabilidade - Quantidade de resultados próprios para o banho (Fortaleza) - 2021: **717** e (ii) Número de boletins de balneabilidade emitidos em 2021: **45**

A técnica DEA permite a elaboração de cenário diferentes para análise, onde inputs e outputs podem ser combinados de forma a ampliar as perspectivas de investigação sobre a amostra escolhida. Assim, foram propostos cinco cenários de implementação dos cálculos, com os seus respectivos resultados de eficiência e possíveis metas de melhoria. Em cada cenário foram combinados de formas diferentes os *inputs* e *outputs* indicados nas Tabelas 1 e 2.

Prossegue-se então para a apresentação dos resultados de cada um dos cenários de análise, após implementação da DEA:

- a) **Cenário 1:** Foram combinadas duas entradas e duas saídas, que são todos os *inputs* e *outputs* disponíveis para utilização na DEA. Observa-se neste Cenário 1 que todas as eficiências foram 100%, ou seja, a eficiência total foi atingida por todas as DMU's envolvidas na análise. Os insumos empregados foram utilizados da melhor forma possível dentro da amostra analisada;
- b) **Cenário 2:** O Cenário 2 confrontou os *input1* e o *output1* para verificação de eficiência das DMUs. A DMU2 e DMU3 atingiram a eficiência total para este cenário, e a DMU1 teve eficiência relativa de 82,30%. Considera-se este valor uma boa eficiência pois está próxima da fronteira de eficiência total atingida pela DMU2 e DMU3.

- Em termos absolutos representa que a DEA indica que com 258 coletas a menos a DMU1 teria atingido eficiência total, ou seja, teria atingido o resultado do *output1* de 644 pontos próprios para banho;
- c) **Cenário 3:** O Cenário 3 confrontou a eficiência da DMUs utilizando o *input1* e o *output2*, e dessa vez a eficiência total foi registrada nas DMUs 1 e 2. A DMU3 apresentou 90,16% de eficiência relativa (quando comparada as demais DMUs). A folga calculada, dentro dos parâmetros da DEA, indicou que com uma diferença absoluta de 130 coletas a menos (um mês de trabalho) em relação as coletas realizadas em 2021, a DMU3 atingiria a mesma eficiência das DMUs 1 e 2;
- d) **Cenário 4:** A partir deste Cenário 4 o *input2*, começa ser testado como única entrada nos cálculos de DEA. É considerado um parâmetro de pouca possibilidade de variação, se for comparado ao *input1* (número de coletas realizadas no período), situação importante de ser considerada para a análise mais apurada do cenário. Neste cenário apenas a DMU2 não atingiu a eficiência total, sendo que sua eficiência relativa chegou a praticamente 97%;
- e) **Cenário 5:** Neste último cenário de análise é feito o confronto entre *input2* e *output2* para análise das DMUs escolhidas nesta amostra. Apenas a DMU1 atingiu a eficiência total. As DMUs 2 e 3 tiveram eficiência relativa idêntica, sendo o valor praticamente de 97% de eficiência. Mesmo valor de eficiência relativa da DMU2 no Cenário 4, onde esta foi a única DMU a não atingir a fronteira de eficiência total. Portanto, nos dois cenários onde o *input2* foi a única entrada designada para as DMUs, a DMU que não atingiu a eficiência total teve o mesmo valor de eficiência relativa que foi de 96,99%.

4. Considerações finais

Diante dos objetivos propostos para a presente pesquisa, encaminha-se as principais conclusões. Observando cada cenário analisado em particular pode-se concluir assim sobre cada um deles:

- a) **Cenário 1:** Neste cenário conclui-se a falta de necessidade de intervenções da gestão do Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias para melhoria da eficiência, pois ela já está atingida em sua totalidade; apenas a manutenção dos níveis de resultados contribui para a continuidade de eficiência total atingida por cada período de gestão analisado;
- b) **Cenário 2:** Observa-se que no período referente à DMU1 muitos pontos foram impróprios para o banho. Entende-se que um número significativo de pontos impróprios para o banho deve ser melhor investigado e alvo de intervenções de políticas públicas que permitam a melhoria do índice de balneabilidade das praias, devem ser implementados. Acredita-se também que a análise profunda de um cenário deste permitirá à gestão do Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias tomar decisões preventivas em outros cenários futuros que se apresentarem de forma semelhante;
- c) **Cenário 3:** Conclui-se que apesar do valor alto de eficiência relativa, esta DMU3 oportuniza a necessidade de investigar melhor a relação da atividade de coleta de amostras para análise de balneabilidade e boletins emitidos, a fim de verificar se algum desperdício de recurso é percebido na realização destas atividades;
- d) **Cenário 4:** Entende-se que os impactos gerados pela pandemia de COVID19 foram determinantes para o resultado neste cenário, mas que ainda assim a eficiência relativa foi muito alta, concluindo que possíveis intervenções para melhoria dos índices poderiam ter sido de forma moderada que já atingiriam resultados de eficiência total. Conclui-se aqui que o impacto de mudanças na densidade de monitoramento da balneabilidade ainda pouco influencia nas mudanças de resultados da eficiência;
- e) **Cenário 5:** Observa-se que o período de pandemia de COVID19, não afetou de forma significativa a eficiência do Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias, sendo considerado muito alto o valor da eficiência relativa atingida pelas DMUs 2 e 3. Conclui-se que intervenções moderadas, em termos de políticas públicas, já poderiam gerar resultados significativos para o alcance da eficiência total.

Analizando então, de forma global, os cenários propostos para a tabulação de resultados desta pesquisa entende-se que a eficiência do Programa de Monitoramento Balneabilidade das Praias, com foco de análise na cidade de Fortaleza, teve níveis altos de eficiência. Dentre todos os cenários analisados a menor de todas as eficiências registradas nos cálculos da Análise Envoltória de Dados foi de 82,30% (DMU1 do Cenário 2). Isto indica que mesmo com as combinações propostas de inputs e outputs que proporcionaram cenários diferentes de perspectivas de análise, os valores finais de eficiência relativa são considerados muito altos.

Conclui-se aqui então que a pergunta de pesquisa foi respondida, e que os objetivos geral e específicos propostos nesta pesquisa foram atendidos. Pois os dados sobre o monitoramento da balneabilidade das praias de Fortaleza foram tratados

pela técnica de Análise Envoltória de Dados, e posteriormente a análise qualitativa com conclusões a respeito da amostra escolhida para estudo foi realizada, resultando em conclusões de que altos níveis de eficiência foram observados.

O monitoramento da balneabilidade da costa marítima de Fortaleza tem, ainda assim, oportunidades de melhoria para que os níveis satisfatórios de resultados observados nesta pesquisa sejam mantidos e progressivamente melhorados, consequentemente várias dimensões da sociedade fortalecense ganhará com sua crescente eficiência.

Agradecimentos

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio, que possibilitou a realização do trabalho de pesquisa.

Referências

- ARRUDA, R. O. M. et al. Análise geoambiental aplicada ao estudo da relação entre qualidade da água e ocupação das margens da represa Guarapiranga (São Paulo/SP), entre 2004 e 2014. *Revista Ung – Geociências*, Guarulhos, v. 15, n. 1, p. 77-93, 2016.
- BERG, C. H.; GUERCIO, M. J.; ULBRICHT, V. R. Indicadores de balneabilidade: a situação brasileira e as recomendações da World Health Organization. *International Journal of Knowledge Engineering and Management*, Florianópolis, p. 83-101, out. 2013.
- BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. p. 499-508.
- BRASIL. Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC. Brasília, DF, 8 dez. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.htm. Acesso em: 20 dez. 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/areas-protégidas-ecoturismo/sistema-nacional-de-unidades-de-conservação-da-natureza-snuc>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Resolução Conama, Brasília, DF, Seção 1, p. 2548-2549, 17 fev. 1986. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745. Acesso em: 10 dez. 2022.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Brasília, DF, 25 jan. 2001, n. 18, Seção 1, p. 70-71.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2018.
- CAMPOS, A. A.; MONTEIRO, A. Q.; NETO, M. C.; POLETTE, M. (coord.). *A Zona Costeira do Ceará: diagnóstico para a gestão integrada*. Fortaleza: AQUASIS - Associação de Pesquisa e Preservação de Ecossistema Aquático / Editora Pouchain Ramos, 2003. 292p.
- CASADO, F. L.; SOUZA, A. M. Análise Envoltória de Dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na Educação Superior. *Revista Sociais e Humanas*, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 59-71, jan. 2007.

- COELHO, M. C. N. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 19-45.
- DIAS, R. L.; OLIVEIRA, R. C. Zoneamento geoambiental do litoral sul do Estado de São Paulo. *Geografia, Rio Claro*, v. 38, n. 2, p. 371-383, 2013.
- FERREIRA, K. C. D.; ANDRADE, M. V.; COSTA, A. G. A influência do lançamento de efluentes de galerias pluviais na balneabilidade da Praia do Futuro em Fortaleza-CE. *Conexões: Ciência e Tecnologia* (IFCE), Fortaleza, v. 7, n. 13, p. 9-17, nov. 2013.
- GAMBIROŽA, Jelena Čulić; KOSOVIĆ, Ivana Nižetić; ORDULJ, Marin; BAUMGARTNER, Nikolina; IVANKOVIĆ, Damir; TOMAŁ, Ana Vrdoljak; JOZIĆ, Slaven. Beach oriented models for estimating bathing water quality. *Ecological Informatics*, [S.L.], v. 92, p. 103515, dez. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103515>.
- GIBERT, K. *et al.* Environmental Data Science. *Environmental Modelling & Software*, v. 106, n. 1, p. 4-12, ago. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.04.005>.
- GODOI, E. L. Monitoramento de água superficial densamente poluída: o Córrego Pirajuçara, região metropolitana de São Paulo, Brasil. 2008. 117f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-17082009-092617/publico/EvelynLouresDeGodoi.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2022.
- GRAND, A. L. *et al.* Assessment and monitoring of water quality of the gulf of Morbihan, a littoral ecosystem under high anthropic pressure. *Marine Pollution Bulletin*, v. 124, n. 1, p. 74-81, nov. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.003>.
- GRUBER, N. L. S.; BARBOZA, E. G.; NICOLODI, J. L. Geografia dos Sistemas Costeiros e Oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira. *Gravel*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 81-89, jan. 2003. Disponível em: https://www.ufrgs.br/gravel/1/Gravel_1_07.pdf. Acesso em: 01 maio 2022.
- KAWAKUBO, F. S.; LUCHIARI, A.; MORATO, R. G. Análise comparativa das imagens TM/LANDSAT 5 e HRV-SPOT no mapeamento da cobertura vegetal no litoral sul do estado de São Paulo. *Geografia*, v. 28, n. 2, p. 279-289, 2003.
- KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A. Recursos hídricos e saneamento. In: Seminário Saneamento Ambiental (2008: Rio Negrinho), Rio Negrinho: ACIRNE, Anais, 2008.
- LEMOS, C. C. *et al.* A sustentabilidade ambiental da Praia do Futuro, em Fortaleza-Ceará, no desenvolvimento da atividade turística. *Revista do Centro de Ciências Administrativas*: UNIFOR, Fortaleza, v. 2, n. 8, p. 125-130, dez. 2002.
- LIMA, E. Q.; AMARAL, R. F. Vulnerabilidade da zona costeira de Pititinga/RN, Brasil. *Revista Mercator*, v. 12, n. 28, p. 141-153, 2013.
- MARQUES, Eudson Almeida Teixeira; CARVALHO, Eloise Rubens; COSTA, Gabriela Maia; RIOS, Louise Rodrigues da Costa Sales; GONDIM, Sofia Bezerra de Menezes. Balneabilidade das praias de Fortaleza: padrões de poluição e necessidade de políticas públicas de saneamento. *Revista Ft*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 140, p. 02-03, 16 nov. 2024. Revista Ft Ltda. <http://dx.doi.org/10.69849/revistaft/cl10202411161402>.

- MARTINS, L. M. M. et al. Análise dos parâmetros de balneabilidade: um estudo de caso sobre as praias dos municípios de João Pessoa e Cabedelo/PB. *Inter Scientia*, João Pessoa, v. 5, n. 1, p. 116-128, jun. 2017.
- MEIRELES, A. J. A. Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície costeira da Caponga, município de Cascavel, litoral leste cearense. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 2, v. 1, 2008.
- MERKERT, R.; ASSAF, A. G. Using DEA models to jointly estimate service quality perception and profitability – evidence from international airports. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 75, n. 1, p. 42-50, maio 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2015.03.008>.
- MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: bacia do Gama - Distrito Federal. *Química Nova*, v. 33, n. 1, p. 97-103, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422010000100018>.
- MOURA, D. V. Proteção legal e danos a zona costeira brasileira. 2009. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2009-jun-24/protecao-legal-instrumentos-prevencao-danos-zona-costeira>. Acesso em: 27 maio 2020.
- ONU. United Nations, Department of Economic and Social Affairs The United Nations. Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2012. Disponível em: <https://www.un.org/en/essential-un/>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- PAIVA, Luigi Pereira de; ALMEIDA, Marcos Vinicios da Silva; AZEVEDO, Benito Moreira de; CANJA, Juvenaldo Florentino; FERREIRA, Matheus Amorim; SILVA, Wevertonn Vasconcelos Rocha e; LOBATO, Luis Fernando de Jesus; CAVALCANTE, Ruan Santana; PAIVA, Pedro Victor Veras. Sensoriamento remoto e modelagem espectral aplicados ao mapeamento de qualidade de água em Fortaleza, Ceará. *Observatório de La Economía Latinoamericana*, [S.L.], v. 23, n. 9, p. 11361, 9 set. 2025. Brazilian Journals. <http://dx.doi.org/10.55905/oelv23n9-034>.
- PAULA, A. S. D.; BARROS, O. N. F.; CAINZOS, R. L. P.; RALICHI, R. Dinâmica da ocupação e uso do solo em Londrina (PR): um olhar sobre a interface urbano-rural. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 17, v. 1, 2013.
- PÉRICO, A. E.; SANTANA, N. B.; REBELATTO, D. A. do N. Eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros: uma análise envoltória de dados com bootstrap. *Gestão & Produção*, v. 24, n. 2, p. 370-381, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1810-15>.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 274p.
- QUEIROZ, A. Planejamento e metropolização do lazer marítimo em Fortaleza-Ceará, Nordeste do Brasil. *Eure* (Santiago), v. 43, n. 128, p. 153-173, jan. 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612017000100007>.
- RIBEIRO, M. L.; LOURENCETTI, C.; PEREIRA, S. Y.; MARCHI, M. R. R. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 688-694, jun. 2007.
- RIOS, R. L. Aspectos socioambientais do turismo na praia do porto das dunas nos município de Aquiraz. 2006. 147f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- RODRIGUES, F. N. Turismo e meio ambiente: da inserção dos resorts à (in) sustentável gestão ambiental no Porto das

-
- Dunas, Aquiraz/CE. 2016. 168f. Tese (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- RUCKELSHAUS, M. *et al.* Harnessing new data technologies for nature-based solutions in assessing and managing risk in coastal zones. *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, v. 51, n. 1, p. 101795-101825, dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101795>.
- SEMA, Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima -. Sema realiza nova etapa de mapeamento da linha de costa, em Fortaleza. 2025. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/2025/08/28/sema-realiza-nova-etapa-de-mapeamento-da-linha-de-costa-em-fortaleza/>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- SEMACE (org.). Relatório do Desempenho da Gestão de 2019. Fortaleza: Semace, 2020. 79p.
- SEMACE (org.). Relatório do Desempenho da Gestão de 2020. Fortaleza: Semace, 2021. 106p.
- SEMACE (org.). Relatório do Desempenho da Gestão de 2021. Fortaleza: Semace, 2022. 95p.
- SEMACE, Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará (org.). Programa de Monitoramento da Balneabilidade das Praias. 2019. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/monitoramento/balneabilidade-das-praias/>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- SILVA, I. R.; BITTENCOURT, A. C. D. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MELLO, S. B. Uma contribuição à gestão ambiental da Costa do Descobrimento (litoral sul do Estado da Bahia): Avaliação da qualidade recreacional das praias. *Geografia*, v. 28, n. 3, p. 397-414, 2008.
- SILVA, J. S.; FARIAS FILHO, M. S. Instrumentos legais de prevenção de impactos ambientais na Zona Costeira: estratégias integradas de gestão territorial. *REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental*, v. 32, n. 2, p. 7-25, 2015.
- SILVA, J. S. Expansão urbana e impactos ambientais na zona costeira norte do município de São Luís (MA). *Ra'e Ga*, Curitiba, v. 46, n. 1, p. 07-24, mar. 2019.
- VASCONCELOS, F. P.; CORIOLANO, L. N. M. T. Impactos Sócio-Ambientais no Litoral: Um Foco no Turismo e na Gestão Integrada da Zona Costeira no Estado do Ceará/Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 8, n. 2, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340124019>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- VALIELA, I. *Ecology of Coastal Ecosystems*. In: BARNES, R. S.; MANN, K. H. (Eds.). *Fundamentals of Aquatic Ecology*. 2. ed. Oxford: Blackwell Science, 1991.
- ZHENG, Z. *et al.* Exploration of eco-environment and urbanization changes in coastal zones: a case study in China over the past 20 years. *Ecological Indicators*, v. 119, n. 1, p. 106847-106862, dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106847>.