Modelo fuzzy para avaliação de desempenho de aeroportos brasileiros em relação às mudanças climáticas e adaptação

RESUMO

MODELO FUZZY PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE AEROPORTOS BRASILEIROS EM RELAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ADAPTAÇÃO INTRODUÇÃO De acordo com a International Energy Agency [IEA] (IEA, 2023), autoridade mundial de energia, a aviação foi responsável em 2022 por aproximadamente 2% das emissões globais de CO₂ relacionadas a energia, o que resultou na emissão de quase 800 milhões de toneladas de CO₂. Esses dados demonstram o tamanho do impacto ambiental que o transporte aéreo gera em relação às mudanças climáticas, o que traz desafios a serem enfrentados neste tema relacionados a necessidade de diminuir rapidamente o impacto climático das emissões de dióxido de carbono (CO₂), de outras emissões de gases de efeito estufa (GEE) assim como a crescente necessidade de adaptação às mudanças climáticas (BURBIDGE; PALING; DUNK, 2024). Diante do impacto das mudanças climáticas e os desafios envolvidos neste assunto, a realização de um estudo como este se justifica com o intuito de contribuir para a discussão do tema e permitir avanços relacionados a avaliação de desempenho de aeroportos. O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho de aeroportos brasileiros nas ações voltadas às mudanças climáticas e sua adaptação por intermédio da construção e aplicação de um modelo matemático. METODOLOGIA Neste estudo, a avaliação do desempenho dos aeroportos foi realizada por intermédio da construção e aplicação de um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) (BARROS; BASSANEZI; LODWICK, 2017). O sistema proposto para este trabalho tem três entradas e como saída um Índice de Mudanças Climáticas, que avalia o aeroporto em relação às suas ações na mitigação das mudanças climáticas e varia de 0 a 10. O desenvolvimento do Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) proposto envolveu quatro etapas, a saber (BARROS; BASSANEZI; LODWICK, 2017): I. Fuzzificação: etapa onde as entradas e saídas são modeladas por conjuntos fuzzy com seus respectivos domínios, onde são utilizados termos linguísticos (péssimo, regular, etc) para descrever as variáveis. II. Base de regras: engloba as proposições fuzzy que são descritas a partir da estrutura linguística “se-então” com base em informações fornecidas por especialistas no assunto. III. Inferência Fuzzy: nesta etapa são adotadas técnicas de lógica fuzzy para traduzir as proposições fuzzy em relações fuzzy. O método de inferência selecionado para este trabalho foi o método de Mamdani que se utiliza do conhecimento de especialistas em determinado tema para desenvolver sua estrutura de aplicação (MAMDANI, 1974). IV. Defuzzificação: consiste em gerar uma saída real a partir da conversão da saída fuzzy da etapa anterior. Para isso, foi utilizado o método centroide de defuzzificação que funciona de maneira semelhante a média aritmética. Após o desenvolvimento do SBRF, foi definido o objeto de estudo desta pesquisa que teve como critérios de escolha a movimentação de passageiros no ano de 2022 (maior) e a participação dos aeroportos no Projeto Aeródromos Sustentáveis do governo federal (ANAC, 2021; 2022). Foram selecionados os seguintes aeroportos: Aeroporto Santos Dummont (SBRJ), Aeroporto de Confins (SBCF), Aeroporto de Congonhas (SBSP), Aeroporto de Viracopos (SBKP) e Aeroporto de Brasília (SBBR). Com o objeto de estudo delimitado, procedeu-se a coleta dos dados do estudo com base nas informações e dados disponibilizados pelos aeroportos no Projeto Aeródromos Sustentáveis para os anos de 2019 e 2022. Por fim, todo o desenvolvimento do SBRF e a geração dos resultados foram realizados com o apoio do software MATLAB (2023a) e os resultados obtidos foram analisados de maneira quantitativa ao se considerar as características dos dados obtidos (numéricos). RESULTADOS E DISCUSSÃO Os resultados do estudo indicam que, de maneira geral, os aeroportos avaliados possuem um excelente desempenho (mediana de 9,06) nas ações voltadas às mudanças climáticas, onde se destacam o Aeroporto de Confins (mediana de 9,53) e o Aeroporto Santos Dummont (mediana de 9,31) com melhores desempenhos. Esse desempenho dos aeroportos é explicado em função desses terem indicadores para acompanhamento das emissões de gases do efeito estufa, metas de redução de emissões, inventários de emissões e também um plano de adaptação às mudanças climáticas que norteia as ações futuras. Cita-se ainda o ótimo desempenho do Aeroporto de Congonhas e do Aeroporto de Brasília no índice de mudanças climáticas (mediana acima de 9,00). Já o Aeroporto de Viracopos (SBKP) possui o pior desempenho (mediana de 7,54) no período avaliado em decorrência de não ter um plano de adaptação de mudanças climáticas, o que fez com que seu resultado esteja abaixo dos outros aeroportos. CONSIDERAÇÕES FINAIS O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de aeroportos em relação às mudanças climáticas e sua adaptação. Para isso, foi desenvolvido e aplicado um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) com três entradas e um Índice de Mudanças Climáticas como saída. Os resultados demonstram que os aeroportos brasileiros escolhidos para o estudo possuem um ótimo desempenho nas ações relacionadas às mudanças climáticas, com destaque para o Aeroporto de Confins e para o Aeroporto Santos Dummont nos aspectos de acompanhamento das emissões e plano de adaptação às mudanças climáticas. Destaca-se que a metodologia proposta permitiu um diagnóstico da situação atual dos aeroportos no que tange às mudanças climáticas e em estudos futuros é possível acrescentar novos indicadores que sejam relevantes assim como avaliar novos aeroportos. REFERÊNCIAS ANAC. Aeroportos Sustentáveis 2021: Respostas fornecidas pelos aeroportos. , 2021. Disponível em: . Acesso em: 9 set. 2024 ANAC. Aeroportos Sustentáveis 2022: respostas dos aeroportos. , 2022. Disponível em: . Acesso em: 8 set. 2024 BARROS, L. C. DE; BASSANEZI, R. C.; LODWICK, W. A. A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics. 1. ed. [s.l.] Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017. v. 347 BURBIDGE, R.; PALING, C.; DUNK, R. M. A systematic review of adaptation to climate change impacts in the aviation sector. *Transport Reviews*, v. 44, n. 1, p. 8-33, 2 jan. 2024. IEA. Tracking Clean Energy Progress 2023. Paris, França.: IEA, 2023. Disponível em: . Acesso em: 7 set. 2024 MATLAB. MATLAB version: 9.14 (R2023a), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc, 2023. MAMDANI, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, v. 121, n. 12, p. 1585, 1974.

Palavras-Chave: Mudanças Climáticas. / Aeroportos. / Avaliação de desempenho.