

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO BASEADO EM METODOLOGIA FUZZY PARA SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS URBANOS: UMA ABORDAGEM PARA MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA NAS CIDADES

Marinaldo Arruda de Santana Junior
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
marinaldo.santanajunior@ufpe.br

José Leão e Silva Filho
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
ze.leao@ufpe.br

Ana Julia Biesdorf de Lima
Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC)
biesdorfanajulia@gmail.com

Elisson Bezerra de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)
elissonb.oliveira@alu.ufc.br

RESUMO

Uma das responsabilidades do governo é escolher projetos urbanos destinados ao investimento público no âmbito do desenvolvimento produtivo, social, educacional, de infraestrutura, de inovação e ambiental. No entanto, esta questão é permeada de complexidades e incertezas. Este trabalho apresenta um sistema de apoio à tomada de decisão multicritério baseado nos *Picture Fuzzy Sets* e na Metodologia MABAC. O estudo ocorreu em Fortaleza, com o objetivo de selecionar e priorizar os projetos urbanos mais alinhados às demandas da população e diretrizes da SUDENE, proporcionando-lhes qualidade de vida, seguindo critérios predefinidos que refletem as preocupações e prioridades locais, cujos pesos foram calculados sob a perspectiva de uma engenheira especialista em gerenciamento de projetos. Assim, a hierarquia baseada em critérios foi agregada a uma análise de sensibilidade pelo método da entropia, que visa auxiliar uma gestão mais eficaz e alinhada às reais demandas da comunidade, promovendo melhorias significativas na qualidade de vida urbana.

PALAVRAS CHAVE. Tomada de decisão, MABAC, Lógica *Fuzzy*, Projetos Urbanos, Sistema de Apoio à Decisão.

ADM - Apoio à Decisão Multicritério, SE - FITradeoff

ABSTRACT

One of the government's responsibilities is to choose urban projects for public investment in the areas of productive, social, educational, infrastructure, innovation, and environmental development. However, this issue is fraught with complexities and uncertainties. This work presents a multicriteria decision support system based on Picture Fuzzy Sets and the MABAC Methodology. The study took place in Fortaleza, with the aim of selecting and prioritizing urban projects that are most aligned with the population's demands and the guidelines of SUDENE, providing them with quality of life. This was done following predefined criteria that reflect local concerns and priorities, with weights calculated from the perspective of a project management specialist engineer. Thus, the hierarchy based on criteria was integrated with a sensitivity analysis using the entropy method, which aims to assist in more effective management aligned with the community's real demands, promoting significant improvements in urban quality of life.

KEYWORDS. Decision making, MABAC, Fuzzy Logic, Urban Projects, Decision Support System.

ADM - Support for Multicriteria Decision. SE - FITradeoff

1. Introdução

A gestão eficiente e escolha de projetos urbanos é uma necessidade diante dos desafios complexos que as cidades enfrentam atualmente. [GARCIAS et al. 2020] destacam a ideia de que integrar os serviços ecossistêmicos nas cidades está ganhando destaque em novos projetos urbanos, isso porque ressalta a importância dos benefícios sociais, culturais, econômicos e de lazer. Segundo [Cláudio 2013], projetos urbanos, envolvem a colaboração entre o poder público, a iniciativa privada e os usuários. O rápido crescimento populacional, as demandas por infraestrutura sustentável, a busca pela qualidade de vida e a otimização dos recursos disponíveis são apenas alguns dos fatores que demandam estratégias inovadoras na tomada de decisões relacionadas a projetos urbanos. Corroborando com essa perspectiva, [Vanin 2020] discorre sobre as consequências de aplicação de grandes projetos urbanos, que é compreendida de maneira benéfica ou maléfica, a depender de quem a analisa. Sobretudo, quando analisado uma cidade influente, como a que será explorada neste trabalho, Fortaleza, a capital do Estado do Ceará.

Nesse contexto, [Santos et al. 2023] evidenciam que a aplicação de abordagens *Picture Fuzzy Sets* (PFS) incorporam a forma humana de pensar, capturando a experiência do usuário, transformando fatores de incerteza em graus de pertinência, raciocínio em base de regras e tomada de decisão em defuzzificação. De acordo com [Coyaso e Vermonden 2016], essa abordagem ajuda a reduzir a ambiguidade e a subjetividade inerentes à decisão nestes processos. Ou seja, permite capturar nuances que muitas vezes escapam aos métodos tradicionais de tomada de decisão. A incerteza associada a variáveis urbanas, tais como expectativas da comunidade, impactos ambientais e restrições orçamentárias, pode ser modelada de maneira mais precisa e realista, proporcionando uma visão mais abrangente e adaptável para os gestores urbanos.

Ao direcionar seus esforços para a melhoria da qualidade de vida nas cidades, este artigo busca gerenciar o ranking de projetos que estejam alinhados com as necessidades específicas da comunidade, seguindo critérios definidos cujos pesos foram calculados sob a ótica de uma especialista com enfoque em gestão de projetos.

Portanto, o objetivo central deste artigo é abordar intervenções e projetos urbanos, com foco na cidade de Fortaleza para aprimorar o bem-estar dos cidadãos. Sabendo da complexidade desse cenário, propõe-se a adoção de um sistema de apoio à decisão que incorpora conjuntos *Picture Fuzzy Sets*, integrando métodos como MABAC e conceitos de entropia para análise de sensibilidade. Essa abordagem visa proporcionar uma solução mais robusta e abrangente para a tomada de decisões em intervenções urbanas, levando em consideração as particularidades e demandas específicas da cidade.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Projetos Urbanos

Os projetos urbanos desempenham um papel crucial na promoção do bem-estar da população. O dinheiro público gasto em investimentos é compreendido como acelerador da riqueza local [Ganelli; Tervala, 2016]. Dessa forma, se bem executados, promove melhoria do bem-estar social e no Índice de Desenvolvimento Humano no setor social.

Um estudo realizado por [Araújo et al. 2020], no bairro Messejana, na cidade de Fortaleza, exemplifica um dos danos da falta de investimentos em projetos urbanos, o bairro apresenta muitas

áreas que sofreram impacto ambiental em função da urbanização indiscriminada. Os resultados disso, apesar de frequentemente serem assunto de discussões complexas, infelizmente, muitas vezes, não geram decisões plausíveis. Ao atuar no processo de investimentos urbanos e na criação do espaço urbano, o Estado está em uma situação intrinsecamente complexa, visto que envolve uma variedade de partes interessadas [Santos, 2013], como organizações, cidadãos e o governo.

2.2 Picture Fuzzy Sets

Conforme observado por [Galvão 1999], os métodos difusos são categorizados como "possibilísticos", uma vez que sua aplicação envolve a definição de classe e implica incerteza relativa ao significado. A definição fundamental de pertinência em conjuntos difusos consiste em atribuir a cada elemento um grau de pertinência entre 0 e 1, indicando em que medida o elemento pertence ao conjunto.

Nesta área, destacam-se os *Picture Fuzzy Sets* (PFS), os quais, de acordo com [Zuo 2019], demonstram eficácia ao lidar com situações incertas envolvendo diversos tipos de respostas comuns nas opiniões humanas, como associações positivas, negativas e neutras, oferecendo também a opção de recusa. Matematicamente, o conjunto dos PFS pode ser representado conforme descrito por Cuong (2014) por meio de um conjunto em um espaço universo X , conforme expresso na Equação 1.

$$A(x) = \{(x, \mu_A(x), \eta_A(x), \nu_A(x))\} \quad (1)$$

- Onde:
- $\mu_A(x)$, pertinência positiva de x em A ;
- $\eta_A(x)$ pertinência neutra de x em A ;
- $\nu_A(x)$ pertinência negativa de x em A ;
- $\pi_A(x) = 1 - (\mu_A(x) + \eta_A(x) + \nu_A(x))$, representa o grau de recusa de adesão de x em A .

Duas métricas importantes dos conceitos de PFS são a função de escore e acurácia. Eles são úteis para avaliar e organizar números difusos. Seja $\alpha = [\mu_\alpha, \eta_\alpha, \nu_\alpha]$ um *Picture Fuzzy Number* (PFN). Então, a função de pontuação $S(\alpha)$ pode ser definida como $S(\alpha) = \mu_\alpha - \eta_\alpha$, e a função de precisão $H(\alpha)$ é definida como $H(\alpha) = \mu_\alpha + \eta_\alpha + \nu_\alpha$. Outro ponto interessante é que o PFS possui operações semelhantes às operações aritméticas, conforme utilizado por [Wang et al. 2018].

O PFS pode possuir diversas aplicações e áreas de pesquisa. Exemplificando, [Leão e Fontana 2020] o utilizaram para avaliar riscos num projeto de requalificação urbana. Enquanto isso, [Fontana et al. 2023] apresentaram uma avaliação de projeto na cidade de Maceió para avaliar soluções de mobilidade para o desastre ecológico ocorrido na região.

2.3 Critérios de Avaliação para Seleção de Projetos:

A seleção de projetos é crucial para o sucesso de qualquer empreendimento, o que está atrelado à importância de considerar uma variedade de critérios para avaliar projetos de forma abrangente. [Carvalho e Longaray 2021] ressaltam a relevância de uma visão acerca dos critérios para a priorização de projetos, indo além dos tradicionais critérios de tempo e custo. Da mesma forma, [Costa e Bastos 2022] enfatizam a importância de considerar critérios de desempenho desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico para garantir um bom resultado ambiental.

[Chan e Chan 2004] resumem e consolidam, pela literatura, diferentes tipos de critérios que alcançam sucessos nos projetos, sendo estes de: custo, prazo, satisfação dos participantes, expectativas e satisfação dos usuários, aspectos relacionados à sustentabilidade, saúde e segurança, valor e lucratividade comercial. Além disso, é lúcido ressaltar que os critérios para tomada de decisão multicritério, variam conforme sua aplicação.

A escolha cuidadosa desses critérios depende da definição clara para garantir que o processo decisório abranja as diversas dimensões que impactam a qualidade de vida nas cidades. Na Figura 1 são apresentados os critérios utilizados para avaliação e seleção de projetos urbanos que foram discutidos com uma amostra da população de Fortaleza e, posteriormente, tiveram seus pesos estabelecidos por uma especialista com MBA na área de projeto. A escolha dos critérios se deu pela avaliação com o especialista, em que os três primeiros critérios para avaliação estão relacionados ao Tripé da Sustentabilidade, haja vista que é pertinente ressaltar a importância de práticas que compreendam o *Triple Bottom Line* (TBL) interconectados, ou seja, a integração de objetivos ambientais, sociais e econômicos. Os critérios, C4 - Custos operacionais e manutenção e C5-Inovação tecnológica foram coletados de [Arruda et al. 2023] devido à sua significância para a problemática e por estarem estreitamente relacionados com a problemática atual.

Crítérios	Descrição
C1- Econômico	Análise de como os diferentes projetos de infraestrutura contribuirão para a economia local e nacional.
C2- Ambiental	Ao se escolher projetos, deve-se levar em consideração o impacto ambiental, a eficiência energética e as medidas de mitigação de emissões de gases.
C3- Equidade Social	Inclusão social, redução de desigualdades e benefícios para as comunidades carentes.
C4- Custos Operacionais e Manutenção	Custos operacionais, manutenção a longo prazo e durabilidade.
C5-Inovação Tecnológica	Análise da aplicação de tecnologias inovadoras nos projetos, priorizando os que incorporam soluções mais eficientes, sustentáveis e que possuem potencial para impulsionar o desenvolvimento futuro.

Figura 1 - Critérios para avaliação de projetos.

2.4 Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC)

O modelo *Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison* (MABAC), apresentado por [Pamučar e Ćirović 2015], é um método compensatório cardinal que demanda a conversão de critérios qualitativos em quantitativos, uma tarefa executada pelos especialistas. [Fontana e Leão 2020] destacam a utilidade deste método na agregação de opiniões de metodologias *fuzzy*, pois se baseia em um conjunto de alternativas, critérios e pesos compatíveis com requisitos *fuzzy*.

Outra característica do método MABAC é a sua simplicidade e estabilidade [Gong et al., 2020]. Ele fornece uma lógica direta para a tomada de decisões, o tornando fácil de entender e aplicar. O método considera a importância relativa dos critérios, normaliza os valores de desempenho e permite a possibilidade de veto. [Alinezhad e Khalili 2019] afirmam que o pressuposto básico deste método consiste em definir a distância das alternativas da borda da área de abordagem, ou seja, cada alternativa é avaliada e classificada, especificando a diferença entre as distâncias. Uma vantagem significativa do MABAC é sua capacidade de lidar com dados do PFS, permitindo assim a apresentação de um ranking de alternativas de forma simples e direta.

O processo matemático do MABAC é apresentado a seguir, seguindo seis etapas de acordo com os estudos de [Pamučar e Ćirović 2015]. A Figura 2 representa a estrutura deste método, cujas características são:

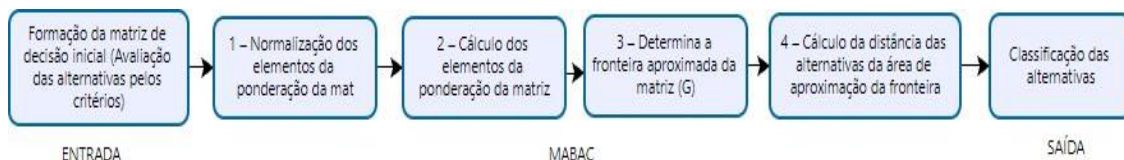


Figura 2 - Processo geral do MABAC Adaptado de [Alinezhad e Khalili 2019]

Uma vez visualizado o processo do MABAC, observa-se que a entrada consiste na matriz de decisão inicial, isto é, a avaliação das alternativas pelos critérios. Em que as alternativas são avaliadas pelos critérios, que podem ser representados por $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$. Em seguida, [Pamučar e Ćirović 2015] calculam os elementos da matriz normalizadas com relação a Equação 2, quando o critério em questão for de benefício e pela Equação 3, quando o critério for de custo.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (2); \quad \tilde{r}_i = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^+ - x_i^-} \quad (3)$$

Onde x_{ij}, x_i^+, x_i^- , apresentam os elementos da matriz de decisão inicial, em que $x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m)$ representa os valores máximo do critério observado por alternativa, enquanto $x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m)$ representa os valores mínimos.

Logo, a ponderação da matriz normalizada ocorre de acordo com [Pamučar e Čirović 2015], por meio da Equação 4, quando se atribui peso aos critérios $W = \langle w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \rangle$. A matriz t_{ij} gerada pelos elementos ponderados t_{ij} , podem ser simplificados pela seguinte fórmula:

$t_{ij} = w_j r_{ij} = \langle 1 - (1 - u_r)^{w_j}, n_r^{w_j} (n_r + p_r)^{w_j} - n_r^{w_j} \rangle_j$ (4) Complementando, [Pamučar e Čirović 2015] determinam a área aproximada da fronteira de acordo com a Equação 5.

$$g_i = \left(\sum_{j=1}^m t_{ij} \right) \quad (5)$$

A distância das alternativas de área de aproximação da borda para os elementos da matriz (Q) é determinada pela Equação (6). Esta é definida pela diferença entre os elementos da matriz ponderada (V) e o valor da aproximação da área da fronteira (G).

$$Q = V - G \quad (6)$$

Finalmente, a saída consiste na ordenação das alternativas, conforme proposto por [Pamučar e Čirović 2015]. Esse processo é conduzido pela soma das distâncias das alternativas em relação à área da fronteira de ação, calculando a soma dos ganhos e perdas de cada risco com todos os critérios, conforme expresso na Equação (7).

$$h_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}; \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

Nesta equação, h representa a ordenação da alternativa (i), q_{ij} representa a distância da alternativa (i) para o critério (j), e (n) é o número total de critérios considerados.

2.5 Entropia

É uma técnica que elimina a necessidade de atribuição direta dos níveis de importância pelos decisores e assume-se que quanto maior a variabilidade de valores de dado critério, maior deverá ser sua importância. [Melo et al.2018]. No estudo, a aplicação deste método na determinação de pesos para critérios é essencial devido ao cenário nebuloso, onde a incerteza é elevada, visto que viabiliza a contemplação da variabilidade e imprevisibilidade dos dados.

A fórmula para o cálculo da entropia de cada peso nos conceitos PFS é calculada utilizando a Equação 9, proposto por [Thao 2020], o qual normaliza os pesos de entropia por meio de uma média regular de pesos, conforme a Equação 10.

$$e_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{(-\mu_A(x_i) \ln \mu_A(x_i) - \eta_A(x_i) \ln \eta_A(x_i))}{(-\nu_A(x_i) \ln \nu_A(x_i) - \pi_A(x_i) \ln \pi_A(x_i)) \ln 4} \quad (8) \quad w_j \quad = \frac{e_j}{\sum_{j=1}^n e_j} \quad (9)$$

- j representa critérios e m é o total de alternativas no processo.

3. Procedimento Metodológico

Esta seção faz à exposição do desenvolvimento metodológico deste estudo, composto de um modelo de três etapas para apoiar a avaliação da escolha dos projetos com relação à tomada de decisão multicritério. O fluxograma dessas etapas é delineado na Figura 3.

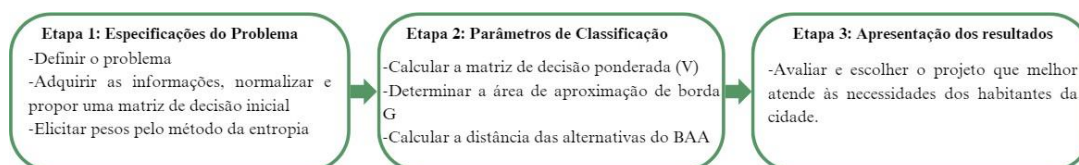


Figura 3- Procedimento metodológico

3.1 Especificações do problema

Visa estabelecer uma compreensão clara do problema, reunir informações relevantes, criar uma estrutura de decisão inicial e determinar os pesos dos critérios. No presente estudo, o peso dos critérios foi determinado sob a ótica de uma especialista com enfoque em gestão de projetos para guiar o processo de tomada de decisão.

Após a definição da área de estudo, que pode ser uma cidade, Estado ou região específica, o próximo passo foi selecionar um conjunto m de projetos e n critérios relevantes para avaliação. Uma vez identificados, o modelo deve buscar avaliações dos residentes locais para que possam responder a um formulário contendo os projetos sob os critérios estabelecidos. Este artigo propõe obter recomendações utilizando modelos que convertem avaliações em *Picture Fuzzy Numbers* (PFN). [Wang et al. 2018] afirmam que a informação do peso dos critérios não é totalmente desconhecida, podendo ser obtida por especialistas com base em suas experiências e pesquisas relevantes.

3.2 Parâmetros de classificação

Visa a aplicação de parâmetros específicos para a classificação, a definição das matrizes (V) e (G), a matriz (V) representa uma matriz de decisão na qual estão contidos os pesos atribuídos a cada critério. Seguido do cálculo da distância das alternativas em relação ao BAA. Esses pesos refletem as preferências e prioridades dos especialistas envolvidos no processo de avaliação. Por outro lado, a matriz (G) funciona como uma referência marginal, sendo empregada para comparar as avaliações ponderadas dos projetos. A integração do MABAC de acordo com [Wang et al. 2018] advém da preferência de comportamento e a psicologia dos especialistas são fatores que podem influenciar o processo de tomada de decisão

3.3 Apresentação dos resultados

O foco está na avaliação e seleção do projeto que melhor atende às necessidades dos habitantes da cidade. Nessa fase, os resultados obtidos ao longo do processo são expostos de forma clara e abrangente. A ênfase recai sobre a análise e apresentação dos projetos, em que o ranking é determinado por meio da Equação 7. Essa etapa representa uma fase pós-tomada de decisão, na qual o analista é encarregado de comunicar de maneira clara o ranking obtido pelo método MABAC.

4. Estudo de caso

Esta seção apresenta os resultados da aplicação do modelo proposto em um caso relacionado à seleção de projetos em Fortaleza. Uma discussão sobre oportunidades é também detalhada.

4.1 Seleção de Projetos em Cidades: uma descrição

4.1.1 Especificações do problema

A cidade de Fortaleza, marcada pelo constante desenvolvimento e uma diversidade sociocultural, enfrenta desafios complexos que demandam soluções igualmente complexas e adaptativas no que diz ao crescimento populacional em conjunto com investimentos públicos. Logo, a colaboração ativa da população nesse processo é essencial para garantir que essas políticas de investimentos estejam alinhadas com as verdadeiras necessidades da comunidade.

No presente estudo concentrou-se em envolver ativamente a população dessa cidade na identificação do grau de importância de projetos específicos, utilizando critérios predefinidos que refletem as preocupações e prioridades locais. A inclusão de diferentes segmentos da sociedade foi voluntária e anônima, com o objetivo de abranger diferentes segmentos da população, garantindo que as opiniões de todos fossem consideradas para alcançar um resultado que atendesse às necessidades de todas as partes envolvidas. A necessidade de agilidade na tomada de decisões e na alocação de recursos também foi um fator crucial para a adoção deste modelo. O ranking de priorização de investimentos gerado por meio desta abordagem diversificada permite uma resposta mais ágil e eficiente às necessidades da cidade, garantindo que os recursos públicos sejam direcionados para os projetos de maior relevância e impacto positivo.

A coleta de dados foi realizada por meio da ferramenta Google Formulários, preenchido por um público de diferentes faixas etárias que residem em Fortaleza e que possuem conhecimentos sobre os projetos discutidos no estudo, sem qualquer viés partidário, em seguida, os resultados foram desfuzzificados por meio da abordagem *fuzzy* para construir a matriz de decisão inicial, essencial para a aplicação do método. Este estudo não apenas proporciona uma valiosa priorização de investimentos para Fortaleza, mas também estabelece um modelo versátil que pode ser adaptado e aplicado em diversas áreas de tomada de decisões estratégicas.

Inicialmente, se consultou uma especialista em gestão de projetos urbanos com mais de dez anos de atuação para identificar quais critérios são mais relevantes para a sociedade, bem como seus respectivos pesos. Em seguida, foi aplicado um questionário elaborado, no qual os participantes indicaram se o projeto m_i atendia aos critérios definidos em níveis alto, médio ou baixo, que corresponde a integração dos PFS. A utilização dos PFS visa então capturar e analisar as nuances qualitativas das preferências e opiniões da população na presente problemática ao permitir a representação e o tratamento de incertezas e imprecisões inerentes às decisões humanas. Também foi incluída a opção de recusa para casos em que os respondentes não possuíam certeza sobre aquele projeto dentre as opções dadas, ou por motivos diversos, o que permitiu garantir a robustez dos resultados.

Como parte do cenário abordado e visando aprimorar o processo de seleção inicial, utilizou-se como mecanismo de avaliação os projetos com maior potencial de beneficiar a cidade. Para isso, foi consultado a carteira de projetos do Plano Regional de Desenvolvimento do Nordeste, disponível no site da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Assim, realizou-se uma cuidadosa filtragem para identificar os projetos diretamente aplicáveis à cidade de Fortaleza, conforme o Quadro 1.

Essa abordagem amplia ainda mais a base de dados utilizada, enriquecendo o escopo do estudo e garantindo que as opções consideradas inicialmente estejam alinhadas com estratégias regionais de desenvolvimento. A análise desses projetos, em conjunto com as preferências da população, contribuirá para uma tomada de decisão mais informada e alinhada com as diretrizes de desenvolvimento regional estabelecidas pela SUDENE. Essa integração de fontes confiáveis reforça a robustez do processo de seleção de projetos para benefício da cidade de Fortaleza.

Projeto	Descrição
1	Construção de galpões para implantação da fábrica de móveis no Bom Jardim, Fortaleza - CE.
2	Implantar o centro de excelência em pesquisa e inovação para transição energética e hidrogênio verde.
3	Casas da Juventude Cearense - CAJUs e Residência Inclusiva para Pessoas com Deficiência da Região da Grande Fortaleza, Litoral Leste e Vale do Jaguaribe.
4	Construção e Estruturação de Delegacias de Polícia Civil e Construção de Unidades da Polícia Militar.
5	Programa auxílio catador.
6	Construção de 29 escolas estaduais sendo escolas de educação profissional – EEEP; escolas de ensino médio em área rural – EEM; escola de ensino médio urbana; escola de ensino médio modelo vertical – EEM vertical; escola indígena; e escola quilombola.
7	Implantação da linha leste do metrô de Fortaleza.
8	Duplicação BR-222 (trecho km 11 ao 35).
9	C-Jovem Speed - Qualificação de mão de obra para promoção da indústria do conhecimento e da indústria 4.0.
10	Unidades regionais de atendimento veterinário para cães e gatos - UNIVET.
11	Implementação da política de gestão integrada de resíduos sólidos no Estado do Ceará e programa Selo Município Verde.

Quadro 1 - Projetos inovadores identificados

O critério de Custos operacionais de manutenção foi classificado como critério de custo e os critérios Econômico, Ambiental, Equidade Social e Inovação Tecnológica foram classificados como critérios de benefício. Por meio das respostas dos moradores da cidade de Fortaleza-CE, foi feita uma avaliação via PFS dos Projetos m_i sobre os critérios n_i , em quatro níveis, alto, médio, baixo e abstenção.

Em seguida, os critérios foram normalizados com base nas Equações 2 e 3, proposto pelo MABAC. Onde o critério de Custos operacionais de manutenção foi normalizado pela equação de custo e os demais critérios de benefício. Conforme apresentado na Tabela 1.

	C1			C2			C3			C4			C5		
	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v
P1	0,333	0,556	0,074	0,111	0,481	0,333	0,333	0,370	0,259	0,111	0,296	0,556	0,259	0,519	0,222
P2	0,667	0,222	0,037	0,556	0,370	0,074	0,333	0,333	0,296	0,074	0,296	0,630	0,630	0,259	0,074
P3	0,185	0,519	0,259	0,111	0,407	0,407	0,556	0,370	0,074	0,074	0,630	0,259	0,222	0,296	0,407
P4	0,444	0,370	0,148	0,148	0,185	0,593	0,370	0,407	0,185	0,074	0,333	0,593	0,259	0,185	0,556
P5	0,296	0,593	0,111	0,556	0,296	0,148	0,556	0,407	0,037	0,296	0,630	0,074	0,148	0,370	0,444
P6	0,704	0,185	0,074	0,148	0,519	0,259	0,704	0,222	0,037	0,111	0,259	0,556	0,444	0,370	0,148
P7	0,852	0,111	0,037	0,481	0,333	0,185	0,519	0,333	0,111	0,037	0,333	0,630	0,556	0,370	0,037
P8	0,667	0,222	0,111	0,444	0,185	0,296	0,296	0,296	0,370	0,111	0,222	0,593	0,259	0,333	0,296
P9	0,630	0,296	0,074	0,259	0,333	0,333	0,556	0,333	0,111	0,148	0,407	0,407	0,667	0,296	0,037
P10	0,370	0,556	0,074	0,407	0,333	0,259	0,519	0,370	0,111	0,074	0,556	0,333	0,296	0,370	0,333
P11	0,444	0,481	0,074	0,704	0,259	0,037	0,370	0,444	0,148	0,111	0,593	0,296	0,481	0,259	0,222

Tabela 1 - Matriz de decisão inicial normalizada

4.1.2 Parâmetros de classificação

Por conseguinte, foi calculada a Matriz de Decisão Normalizada Ponderada, disposta na Tabela 2 a partir da Equação 4, com base nos pesos obtidos pela expertise da especialista na área de projetos, em que os pesos dos critérios foram: C1=0,28; C2=0,28; C3=0,18; C4=0,18 e C5=0,08. Esta matriz permite estabelecer um sistema de hierarquização dos fatores envolvidos na tomada de decisão, a fim de obter um melhor resultado.

	C1			C2			C3			C4			C5		
	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v
P1	0,107	0,848	0,030	0,032	0,815	0,129	0,070	0,836	0,084	0,021	0,803	0,168	0,024	0,949	0,059
P2	0,265	0,656	0,029	0,203	0,757	0,040	0,070	0,821	0,100	0,014	0,803	0,183	0,076	0,898	0,036
P3	0,056	0,832	0,100	0,032	0,778	0,167	0,136	0,836	0,028	0,014	0,920	0,059	0,020	0,907	0,135
P4	0,152	0,757	0,075	0,044	0,624	0,308	0,080	0,851	0,059	0,014	0,821	0,166	0,024	0,874	0,209
P5	0,094	0,864	0,043	0,203	0,711	0,086	0,136	0,851	0,013	0,061	0,920	0,019	0,013	0,924	0,128
P6	0,289	0,624	0,062	0,044	0,832	0,100	0,197	0,763	0,021	0,021	0,784	0,180	0,046	0,924	0,052
P7	0,414	0,541	0,045	0,168	0,735	0,097	0,123	0,821	0,044	0,007	0,821	0,173	0,063	0,924	0,014
P8	0,265	0,656	0,079	0,152	0,624	0,191	0,061	0,803	0,126	0,021	0,763	0,201	0,024	0,916	0,100
P9	0,243	0,711	0,046	0,081	0,735	0,157	0,136	0,821	0,044	0,028	0,851	0,113	0,084	0,907	0,017
P10	0,121	0,848	0,030	0,136	0,735	0,129	0,123	0,836	0,040	0,014	0,900	0,079	0,028	0,924	0,102
P11	0,152	0,815	0,033	0,289	0,685	0,026	0,080	0,864	0,046	0,021	0,910	0,069	0,051	0,898	0,092

Tabela 2 - Matriz de Decisão Normalizada Ponderada

Por conseguinte, a área de aproximação de Borda G, disposta na Tabela 3 foi obtida por meio da Equação 5. A qual permitiu o cálculo da distância da alternativa da matriz BAA. O que permite o cálculo do coeficiente de proximidade (h_i) para um ranking referencial.

	C1			C2			C3			C4			C5		
	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v	μ	η	v
P1	0,994	0,980	0,996	0,980	0,975	0,983	0,988	0,978	0,989	0,976	0,973	0,977	0,997	0,993	0,992
P2	0,990	0,949	0,996	0,995	0,966	0,995	0,986	0,976	0,987	0,975	0,973	0,975	0,997	0,987	0,995
P3	0,985	0,977	0,987	0,974	0,969	0,977	0,996	0,978	0,996	0,991	0,990	0,992	0,991	0,988	0,982
P4	0,988	0,966	0,990	0,951	0,943	0,955	0,991	0,980	0,992	0,978	0,976	0,978	0,987	0,983	0,971
P5	0,995	0,982	0,995	0,989	0,958	0,989	0,998	0,980	0,998	0,998	0,990	0,998	0,992	0,990	0,983
P6	0,989	0,943	0,992	0,984	0,977	0,987	0,995	0,967	0,997	0,973	0,970	0,976	0,996	0,990	0,993
P7	0,994	0,926	0,994	0,987	0,962	0,987	0,993	0,976	0,994	0,977	0,976	0,977	0,998	0,990	0,998
P8	0,990	0,949	0,990	0,969	0,943	0,974	0,982	0,973	0,983	0,970	0,967	0,972	0,992	0,989	0,987
P9	0,994	0,958	0,994	0,975	0,962	0,979	0,994	0,976	0,994	0,984	0,980	0,985	0,999	0,988	0,998
P10	0,996	0,980	0,996	0,983	0,962	0,983	0,995	0,978	0,995	0,989	0,987	0,990	0,994	0,990	0,987
P11	0,996	0,975	0,996	0,997	0,954	0,997	0,993	0,982	0,994	0,991	0,988	0,991	0,993	0,987	0,988
G margem	0,261	0,653	0,071	0,157	0,645	0,179	0,144	0,770	0,076	0,027	0,791	0,174	0,055	0,882	0,119

Tabela 3- Área de aproximação de Borda G

O desvio de V e G gera o vetor Q (Equação 6). No modelo MABAC original, a soma de todos os elementos de cada linha de Q fornece o coeficiente de proximidade (h), que representa uma classificação final. O vetor Q e a pontuação final de h estão representados na Tabela 4. Além disso, outras classificações foram calculadas. Por exemplo, ao utilizar o método da entropia, obtiveram-se os seguintes pesos para os critérios: C1=0,179, C2=0,212, C3=0,206, C4=0,191 e C5=0,212. Por sua vez, por meio de um especialista com 12 anos em projetos sustentáveis, os critérios obtiveram os seguintes valores de peso: C1=0,25, C2=0,3, C3=0,2, C4=0,1 e C5=0,15.

4.1.3 Apresentação dos resultados

Ao realizar a soma dos ganhos e perdas, considerando os parâmetros estabelecidos, definiu-se uma hierarquia de prioridade na seleção dos projetos calculando o coeficiente de proximidade h_i usando a Equação 7. Essa ordem total reflete, assim, a importância de cada iniciativa para melhoria do ambiente urbano e a satisfação das necessidades da comunidade. Esse coeficiente de proximidade não apenas quantifica a contribuição de cada projeto, mas também serve como um guia decisivo na tomada de decisões sobre a alocação de recursos. Ao priorizar o bem-estar da população, a abordagem sistemática proposta visa assegurar uma gestão eficaz dos projetos, resultando em impactos positivos tangíveis para a comunidade em questão.

ESPECIALISTA EM PROJETOS PÚBLICOS								MÉTODO DA ENTROPIA								ADMINISTRADOR COM ESPECIALIZAÇÃO EM PROJETOS							
S11	C1	C2	C3	C4	C5	HI	RANKING	C1	C2	C3	C4	C5	HI	RANKING		C1	C2	C3	C4	C5	HI	RANKING	
P1	-0,123	-0,030	-0,088	0,003	0,036	-0,203	8	-0,083	-0,033	-0,099	0,003	0,024	-0,188	9		-0,112	-0,028	-0,097	0,000	-0,005	-0,242	8	
P2	0,063	0,262	-0,109	-0,020	0,107	0,303	3	0,037	0,189	-0,123	-0,021	0,176	0,258	4		0,055	0,284	-0,120	-0,012	0,104	0,310	3	
P3	-0,291	-0,088	0,054	0,135	-0,050	-0,240	10	-0,183	-0,074	0,065	0,144	-0,102	-0,151	8		-0,259	-0,091	0,062	0,071	-0,074	-0,291	10	
P4	-0,138	-0,298	-0,047	0,002	-0,125	-0,605	11	-0,091	-0,231	-0,051	0,002	-0,198	-0,569	11		-0,124	-0,318	-0,050	0,000	-0,125	-0,618	11	
P5	-0,156	0,190	0,073	0,226	-0,048	0,286	4	-0,104	0,137	0,086	0,240	-0,106	0,254	5		-0,141	0,207	0,083	0,122	-0,079	0,192	6	
P6	0,046	0,025	0,124	-0,013	0,063	0,244	5	0,025	0,007	0,143	-0,014	0,085	0,246	6		0,039	0,031	0,139	-0,009	0,038	0,239	4	
P7	0,226	0,143	0,019	-0,013	0,118	0,493	1	0,147	0,100	0,024	-0,013	0,179	0,437	1		0,202	0,157	0,023	-0,008	0,097	0,472	1	
P8	-0,006	-0,028	-0,153	-0,041	-0,009	-0,237	9	-0,008	-0,029	-0,174	-0,043	-0,042	-0,295	10		-0,007	-0,027	-0,169	-0,024	-0,040	-0,268	9	
P9	0,019	-0,034	0,034	0,078	0,136	0,232	6	0,007	-0,034	0,041	0,084	0,225	0,322	3		0,014	-0,033	0,039	0,042	0,134	0,196	5	
P10	-0,103	0,067	0,025	0,109	-0,007	0,091	7	-0,072	0,042	0,031	0,117	-0,031	0,087	7		-0,095	0,075	0,029	0,057	-0,032	0,035	7	
P11	-0,072	0,355	-0,029	0,130	0,024	0,409	2	-0,052	0,267	-0,031	0,139	0,037	0,360	2		-0,067	0,381	-0,031	0,068	0,015	0,368	2	

Tabela 4 - Pontuação Q e Ranking Final

Como observado na Tabela 4.a, é aconselhável, de acordo com os pesos dos critérios estabelecidos pela especialista em projetos públicos, que os projetos P7: Implantação da linha leste do metrô de Fortaleza, P11: Implementação da política de gestão integrada de resíduos sólidos no Estado do Ceará e programa Selo Município Verde, e P2: Implantar o centro de excelência em pesquisa e inovação para transição energética e hidrogênio verde sejam priorizados para trazer maior benefício para a população.

A análise de sensibilidade dos resultados obtidos pelo método da entropia, somado aos cálculos adquiridos com a participação de um administrador com especialização em projetos disposto na Tabela 4.b e Tabela 4.c, respectivamente, revela que as prioridades estabelecidas pela especialista em projetos públicos que guiou a pesquisa, estão alinhadas com os resultados da abordagem proposta na classificação das duas primeiras posições. Isto porque, os projetos priorizados não foram significativamente afetados pelas variações nos pesos dos critérios, destacando sua relevância na seleção e priorização dos projetos. Os valores dos coeficientes de proximidade oferecem uma visão detalhada da contribuição de cada projeto, permitindo identificar quais iniciativas têm maior potencial de impacto para a tomada de decisão.

Quanto à posição do projeto P2, apesar do método da entropia não concordar, é aconselhável levar em consideração a opinião dos especialistas na área neste artigo. Isto porque, nenhum dos dois especialistas sabia o peso adotado pelo outro, e cada um fez o julgamento dos critérios com base em sua experiência, ponderando a importância dos critérios de uma maneira que vai além do que pode ser derivado apenas dos dados disponíveis, que é o que o método da entropia faz. O método da entropia é objetivo e baseado na variabilidade dos dados, enquanto a avaliação dos especialistas incorpora conhecimento prático, experiência e aspectos qualitativos. Portanto, a combinação de ambos pode fornecer uma análise mais robusta e equilibrada, ajudando a justificar as decisões de priorização de projetos.

Ao implementar essa metodologia, a cidade pode experimentar melhorias em termos de qualidade de vida, redução de custos e aumento do bem-estar da população. Também é significativo considerar que a implementação desses projetos enfrenta desafios, como restrições orçamentárias e interesses conflitantes entre diferentes partes interessadas. Embora os projetos vencedores forneçam resultados relevantes sobre o potencial dos serviços ecossistêmicos, é importante avaliar a visão e impacto levando em conta os desafios práticos enfrentados durante a execução.

5. Conclusão

Neste presente estudo, foi proposto um Modelo de Suporte à Decisão fundamentado na Metodologia *Picture Fuzzy Sets* integrado ao MABAC para a seleção e priorização de projetos urbanos, enfrentando as complexidades e incertezas inerentes a esse processo decisório. A pesquisa, realizada na cidade de Fortaleza, teve como objetivo principal identificar e hierarquizar os projetos que melhor atendessem às demandas da população, com o intuito de aprimorar a qualidade de vida urbana.

Além disso, a abordagem traz consigo algumas vantagens, como a facilidade de elucidar valores sobre conceitos *fuzzy* consolidados. Os resultados obtidos demonstraram que o processo de

tomada de decisão e o gerenciamento de projetos governamentais consistem em um dos campos em que os métodos de tomada de decisão multicritério desempenham um papel importante.

Ao integrar a Metodologia PFS com o método MABAC, o sistema mostrou-se capaz de oferecer uma estrutura adaptável para a seleção e priorização de projetos urbanos. Esta abordagem não apenas favorece a eficiência na alocação de recursos públicos, mas também fortalece a conexão entre as ações governamentais e as necessidades reais da população, contribuindo assim para a promoção de uma melhoria tangível na qualidade de vida nas cidades, onde os projetos indicados pelo presente modelo com o auxílio de uma especialista em projetos sugere que os seguintes projetos sejam priorizados: Em primeiro lugar, P7- Implantação da linha leste do metrô de Fortaleza, seguido dos projetos P11- Implementação da política de gestão integrada de resíduos no Estado do Ceará e programa Selo Município Verde e P2- Implantar o centro de excelência em pesquisa e inovação para transição energética e hidrogênio verde.

A implementação deste Sistema de Apoio à Decisão representa uma contribuição significativa para a gestão urbana, fornecendo uma ferramenta que pode ser adotada por governos e gestores no processo de seleção e priorização de projetos, com o objetivo final de criar cidades mais sustentáveis, resilientes e orientadas para o bem-estar de seus habitantes. Essa abordagem pode contribuir para uma alocação mais eficiente de recursos governamentais, identificação de benefícios, e avaliação mais precisa do impacto social, econômico e ambiental dos projetos governamentais. Além de que, a presente metodologia pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento, como, educacional, saúde, engenharia, administração e entre outros.

A metodologia proposta, baseada em *Picture Fuzzy Sets* e na Metodologia MABAC, possui potencial para ser replicada em outras cidades, melhorando a alocação de recursos públicos e alinhando ações governamentais às necessidades locais. No entanto, a aplicação em diferentes contextos urbanos enfrenta desafios como variáveis socioeconômicas, ajustes nos critérios de decisão, e a necessidade de dados precisos.

REFERÊNCIAS

Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM) (Vol. 277, pp. 103-08). International Series in Operations Research & Management Science, Cham, Springer International Publishing, 2019.

Araújo, P. A. de., Junior, R. R. dos S., Oliveira, I. de P. (2020). Crescimento urbano desordenado no bairro de Messejana, Fortaleza/CE: A educação ambiental como mitigadora dos impactos ambientais. Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas. ISSN 2177-1642, Macapá, n. 12, p. 55-65, 2020.

Arruda, M., Pereira, L. de S., Silva Filho, J. L., Santana, J. A. M. de. (2023) Modelo de seleção de ideias baseado na lógica do Picture Fuzzy para empreendedores tecnológicos. Disponível em: <https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_ST_401_1971_46061.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2024.

Carvalho, J. C., Longaray, A. A. (2021). Priorização de projetos de recursos hídricos sob a perspectiva de modelos de apoio à decisão multicritério: uma revisão sistemática. Engenharia Sanitaria E Ambiental, 26(6), 1155–1171. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190259>

Chan, A. P. C., & Chan, A. P. L. (2004). Key performance indicators for measuring construction success. Benchmarking: An International Journal, 11(2), 203–221. <https://doi.org/10.1108/14635770410532624>.

Claudio, L. A. (2013). Projetos urbanos: Sobre a inclusão socioespacial. (Dissertação). Universidade Presbiteriana Mackenzie. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UPM_c47ee78d67ee671ce94bf1e1a518ad1c. Acessado em: 2024-02-02.

Costa, A. D. O.; Bastos, L. E. G. (2022). Influência das etapas iniciais de projeto arquitetônico no desempenho ambiental da edificação. XIX Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído. <https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2086>

Coyaso, F.; Vermonden, A. (2016). Lógica difusa para la toma de decisiones y la selección de personal. Revista Universidad Y Empresa, 17(29), 239-256. <https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.10>

Cuong, B.C. (2014). Picture fuzzy sets. Journal of Computer Science and Cybernetics, 30(4), p. 409. <https://doi.org/10.15625/1813-9663/30/4/5032>

Fontana, M.E., Levino, .N.A., Leão, J., Guarnieri, P, & Sinesio, E.P. (2023). Risk analysis of transport requalification projects in the urban mobility problem caused by a mining disaster. *Logistics*. 7(3):58. <https://doi.org/10.3390/logistics7030058>

Galvão, C. O. (1999). Aplicabilidade em recursos hídricos da previsão de precipitação de longo prazo no Nordeste do Brasil. (Tese). Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/206765/000196381.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 2024-01-22.

Ganelli, G., Tervala, J. (2016). *The Welfare Multiplier of Public Infrastructure Investment*. *IMF Working Papers*, 16(40), 1. <https://doi.org/10.5089/9781475516678.001>

Garcias, C. M.; Bollmann, H. A.; Bertolino, A.; Cidreira, L. E. (2020). Revitalização de rios urbanos: estudo de caso bacia do rio Belém, Curitiba-PR. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), p. 6088–6096. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-058>

Gong, J. W., Li, Q., Yin, L., & Liu, H. C. (2020). Undergraduate teaching audit and evaluation using an extended MABAC method under Q-rung Orthopair fuzzy environment. *International Journal of Intelligent Systems*, 35(12), 1912-1933. <https://doi.org/10.1002/int.22278>

Leão, J; Fontana, M. E. (2020). Fuzzy decision support system for risk analysis in urban requalification project, 2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA), Sakheer, Bahrain, pp. 279-283. 10. DOI: 1109/DASA51403.2020.9317136.

Melo, F. L. N. B. De et al. (2018). Apoio ao processo de avaliação do serviço de abastecimento de água no Rio Grande do Norte: uma abordagem multicritério. *Engenharia sanitaria e ambiental*, v. 23, n. 4, p. 675–686. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018158835>.

Pamučar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016–3028. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>

Santos, A. K. dos. (2013). Florianópolis: as consequências do crescimento desordenado. (Monografia de graduação, Universidade Federal de Santa Catarina). Repositório Digital UFSC <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103833/Monografia%20da%20Apoena%20Karolyn%20dos%20Santos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Nilson, T., Francielli Freitas Moro, & Eliane Pozzebon. (2023). Análise da inferência da Lógica Fuzzy no jogo The Sims. <https://doi.org/10.5753/educomp.2023.228353>

Thao, N. X. (2019). Similarity measures of picture fuzzy sets based on entropy and their application in MCDM. *Pattern Analysis and Applications*, 23(3), 1203–1213. <https://doi.org/10.1007/s10044-019-00861-9>

Vanin, F. S. (2020). A política pública de intervenção urbanística e o regime jurídico dos grandes projetos urbanos: os limites e as possibilidades de inovação no exercício da competência municipal. (Tese de mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul). Repositório UNISC. <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/2909/1/F%3a1bio%20Scopel%20Valim.pdf>.

Wang, L., Peng, J., & Wang, J. (2018). A multi-criteria decision-making framework for risk ranking of energy performance contracting project under picture fuzzy environment. *Journal of Cleaner Production*, 191, 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.169>

Zuo, C., Pal, A., & Dey, A. (2019). New Concepts of Picture Fuzzy Graphs with Application. *Mathematics*, 7(5), 470. <https://doi.org/10.3390/math7050470>.