

ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS MELHORES OPÇÕES DE IMÓVEIS PARA COMPRAR NA CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS, UTILIZANDO O MÉTODO HÍBRIDO PSI-SPOTIS

Renato Saraiva Lima da Silva
Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal Fluminense
Niterói, Brasil
renato.saraiva.lima@gmail.com

RESUMO: Este estudo aborda o problema do déficit habitacional na cidade de Porto Alegre/RS, agravado com as enchentes ocorridas no mês de maio de 2024, procurando auxiliar neste momento de reconstrução da cidade e das vidas das pessoas atingidas, aproveitando as ações e os projetos dos governos federal, estadual e municipal para disponibilidade de crédito para a compra de moradias para essa população. Utilizou-se uma abordagem híbrida multicritério com o “Preference Selection Index” (PSI) para pesos e o “Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution” (SPOTIS) para classificação. Os dados foram obtidos através de uma plataforma digital onde estão cadastrados todos os imóveis à venda de todas as imobiliárias da cidade de Porto Alegre. O método PSI mitiga a subjetividade na atribuição de peso e o SPOTIS garantindo pontuações estáveis, mesmo com alternativas variáveis. Ao combinar PSI e SPOTIS, um sistema de classificação confiável e objetivo é estabelecido, permitindo à população e às imobiliárias a definição da melhor opção de compra de imóvel segundo critérios estabelecidos.

Palavras-chave: Multicritério; Preference Selection Index (PSI); Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution (SPOTIS).

MULTICRITERIA APPROACH TO IDENTIFY THE BEST REAL ESTATE OPTIONS TO BUY IN THE CITY OF PORTO ALEGRE/RS, USING THE PSI-SPOTIS HYBRID METHOD

Renato Saraiva Lima da Silva
Production Engineering Department
Fluminense Federal University
Niteroi, Brazil
renato.saraiva.lima@gmail.com

ABSTRACT: This study addresses the problem of housing deficit in the city of Porto Alegre/RS, aggravated by the floods that occurred in May 2024, seeking to assist in this moment of reconstruction of the city and the lives of the affected people, taking advantage of the actions and the Federal, State and Municipal Government Projects for the Availability of Credit for the Purchase housing for this population. A hybrid multicriteria approach was used with the Preference Selection Index (PSI) for weights and the Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution" (SPOTIS) for classification. The data were obtained through a digital platform where all the properties for sale of all real estate agents in the city of Porto are registered Cheerful. The PSI method mitigates subjectivity in weight assignment and SPOTIS ensures stable scores, even with variable alternatives. By combining PSI and SPOTIS, a of reliable and objective classification is established, allowing the population and real estate agents to definition of the best option to purchase a property according to established criteria.

Keywords: Multicriteria; Preference Selection Index (PSI); Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution (SPOTIS).

1. INTRODUÇÃO

O estudo “Déficit habitacional e inadequação de moradias no Brasil” [FJP, 2024] levantou que a Região Metropolitana de Porto Alegre registrava um déficit de 90.585 unidades, sendo, 31.619 referentes a habitações em situação precária, outras 10.116 famílias vivendo em situação de coabitação e 48.849 pagando aluguel com valor excessivo para suas realidades financeiras.

Além disso, a cidade de Porto Alegre, durante o mês de maio de 2024, enfrentou a maior enchente da sua história, deixando uma grande quantidade de famílias desabrigadas e agravando mais a situação da necessidade de moradias.

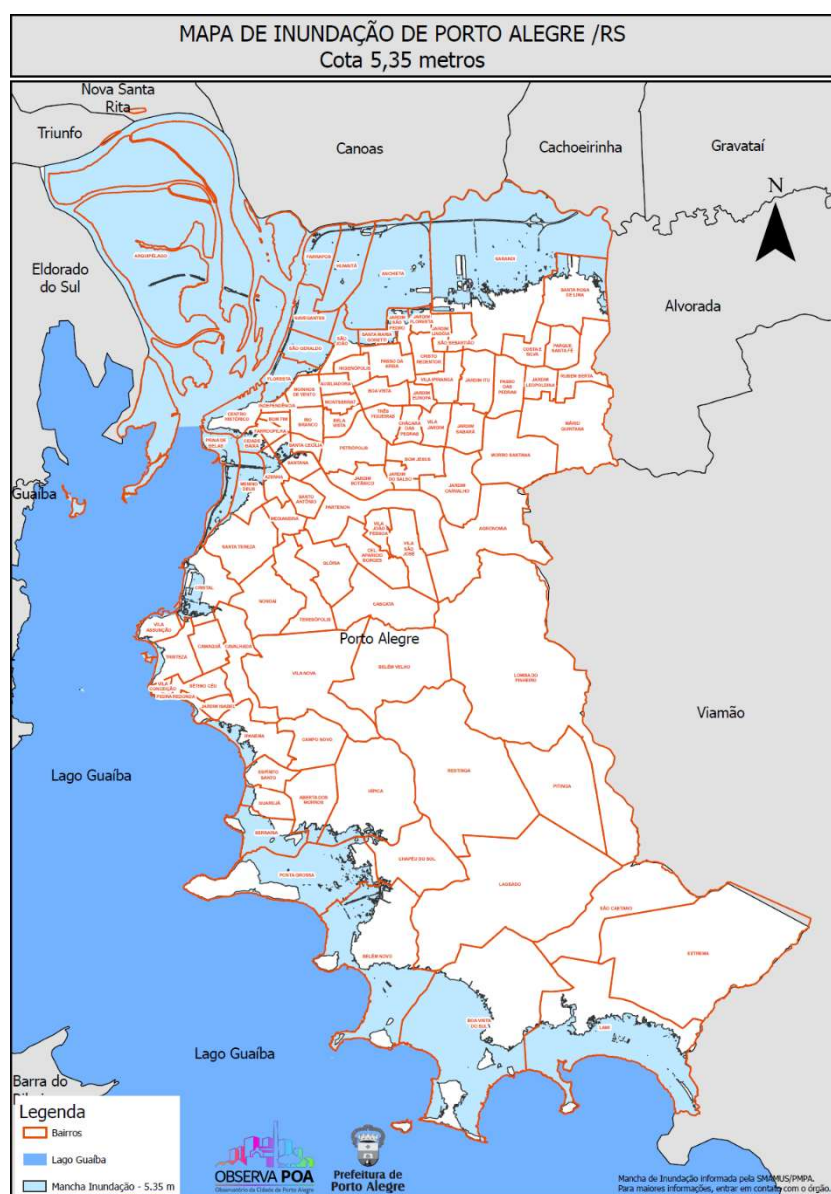


Figura 1. Mapa de inundação de Porto Alegre/RS - Cota 5,35 metros

O lago Guaíba, que margeia parte da cidade chegou ao nível de 5,35m no dia 05/05/2024, sendo que a cota de inundação dos sistemas de contenção de enchentes é de 3,00m [PPOA, 2024]. Segundo mapeamento do Observatório da Cidade de Porto Alegre (ObservaPOA), a enchente atingiu 46 dos 94 bairros da cidade (49%) conforme mostrado na Figura 1 [ObservaPOA, 2024].

O ObservaPOA realizou, ainda, uma ampla divulgação de dados e informações referentes a essa inundação, concentrando-se nas características dos bairros atingidos total ou parcialmente pela inundação, utilizando dados do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos, fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Tabela 1 a seguir mostra as características dos bairros atingidos com as informações sobre os tipos de domicílios existentes (Adaptada de [ObservaPOA, 2024]).

Tabela 1. Características dos bairros total ou parcialmente atingidos pela inundação por tipo de edificação em Porto Alegre (2024)

REGIÃO	BAIRROS	TIPO DA EDIFICAÇÃO				
		CASA	APTO.	OUTROS	TOTAL	% DO TOTAL
Região 1*	Azenha	4.210	48	8	4.266	1,24%
	Centro Histórico	261	30	1	292	0,09%
	Cidade Baixa	2.817	9	15	2.841	0,83%
	Floresta	1.033	7.077	23	8.133	2,37%
	Independência	4.290	17	25	4.332	1,26%
	Menino Deus	1.354	10	3	1.367	0,40%
	Moinhos de Vento	5.554	7.408	28	12.990	3,78%
	Petrópolis	563	24.949	179	25.691	7,49%
	Praia de Belas	1.414	1.082	2	2.498	0,73%
	Santa Cecília	426	9.793	42	10.261	2,99%
	Santana	6.081	6.157	199	12.437	3,62%
Região 2*	Anchieta	2.192	127	2	2.321	0,68%
	Arquipélago	6.532	1.502	28	8.062	2,35%
	Farrapos	921	4.669	82	5.672	1,65%
	Humaitá	2.643	30	18	2.691	0,78%
	Jardim Floresta	10.872	1.417	25	12.314	3,59%
	Jardim Isabel	1.612	4.768	6	6.386	1,86%
	Jardim São Pedro	135	4.813	16	4.964	1,45%
	Navegantes	5.037	1.239	37	6.313	1,84%
	Passo da Areia	882	223	3	1.108	0,32%
	Rubem Berta	1.013	98	4	1.115	0,32%
	Santa Maria Goretti	703	1.019	6	1.728	0,50%
	São Geraldo	2.698	6	12	2.716	0,79%
	São João	3.139	8	4	3.151	0,92%
Região 3*	Santa Rosa de Lima	1.273	16.157	52	17.482	5,09%

REGIÃO	BAIRROS	TIPO DA EDIFICAÇÃO				
		CASA	APTO.	OUTROS	TOTAL	% DO TOTAL
Região 5*	Sarandi	271	6.814	13	7.098	2,07%
	Cristal	673	1.285	10	1.968	0,57%
	Santa Tereza	11.592	11.220	134	22.946	6,69%
Região 6*	Aberta dos Morros	1.798	11.283	33	13.114	3,82%
	Cavallhada	248	2	1	251	0,07%
	Espírito Santo	1.514	21.099	28	22.641	6,60%
	Guarujá	4.141	34	8	4.183	1,22%
	Hípica	6	1.462	3	1.471	0,43%
	Ipanema	4.977	8.681	34	13.692	3,99%
	Pedra Redonda	124	2.898	7	3.029	0,88%
	Serraria	674	1.133		1.807	0,53%
	Tristeza	11.421	4.558	37	16.016	4,67%
	Vila Assunção	11.367	2.228	46	13.641	3,97%
	Vila Conceição	1.098	10.751	40	11.889	3,46%
Região 7*	Partenon	599	3.674	45	4.318	1,26%
Região 8*	Belém Novo	718	5.742	22	6.482	1,89%
	Boa Vista do Sul	16.092	8.045	106	24.243	7,06%
	Chapéu do Sol	1.810	19	3	1.832	0,53%
	Lageado	3.302	5.869	11	9.182	2,68%
	Lami	1.505	263	13	1.781	0,52%
	Ponta Grossa	492	10	1	503	0,15%
Total Geral		142.077	199.726	1.415	343.218	100,00%

* Região 1 (Centro); Região 2 (Humaitá/Navegantes/Ilhas e Noroeste); Região 3 (Norte e Eixo Baltazar); Região 5 (Glória, Cruzeiro e Cristal); Região 6 (Centro-Sul e Sul); Região 7 (Lomba do Pinheiro/Partenon); Região 8 (Restinga/Extremo-sul).

Com relação à população atingida, no que diz respeito à classe econômica, o ObservaPOA informa alguns indicadores que serão utilizados na definição do problema a ser analisado neste trabalho, conforme mostrado nas Figuras 2 a 8 a seguir [ObservaPOA, 2024].

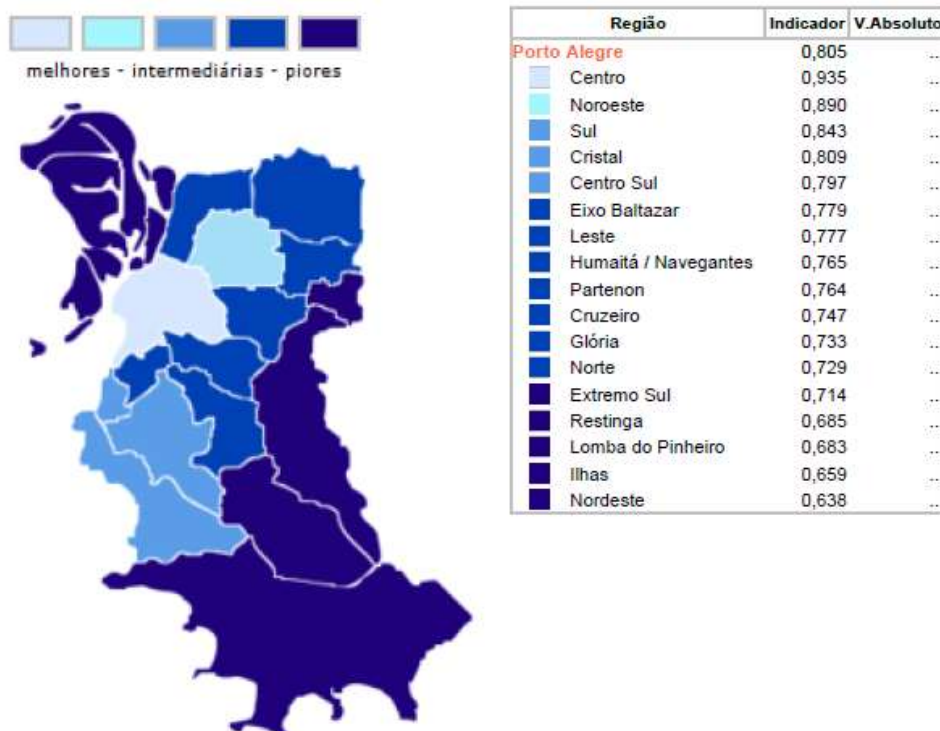


Figura 2. Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

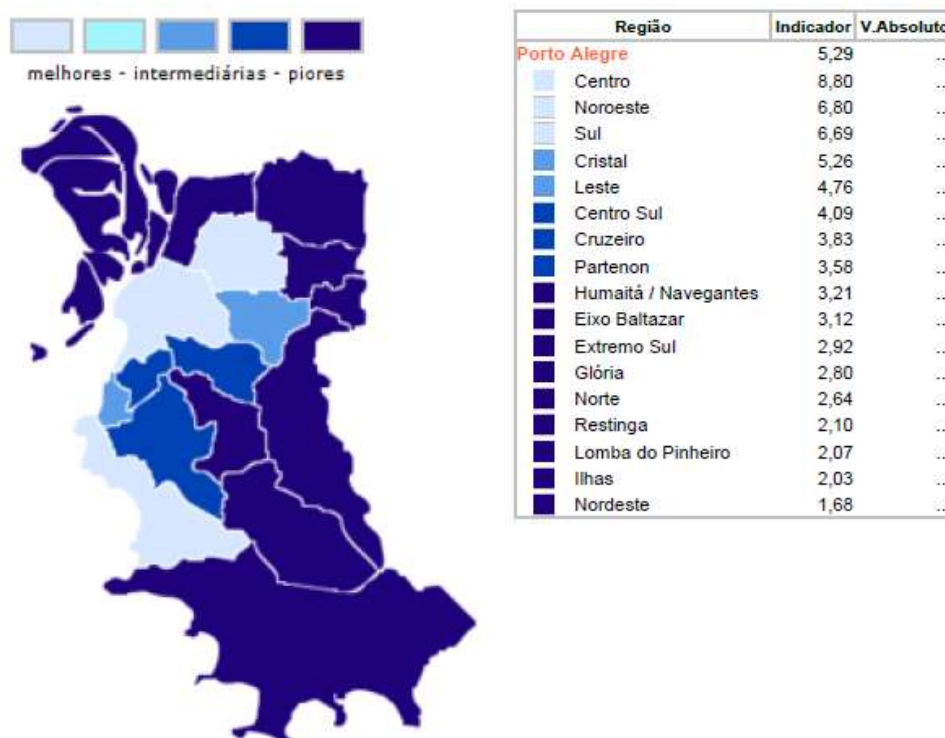


Figura 3. Rendimento médio dos responsáveis por domicílio em salários mínimos

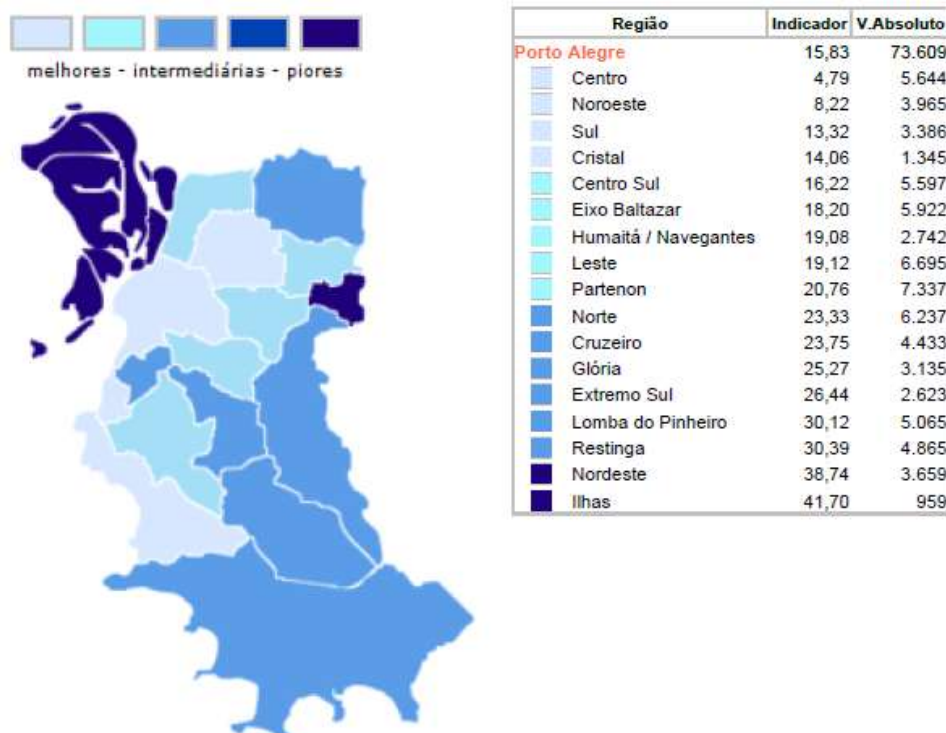


Figura 4. Percentual de responsáveis por domicílio com renda até 1 salário mínimo

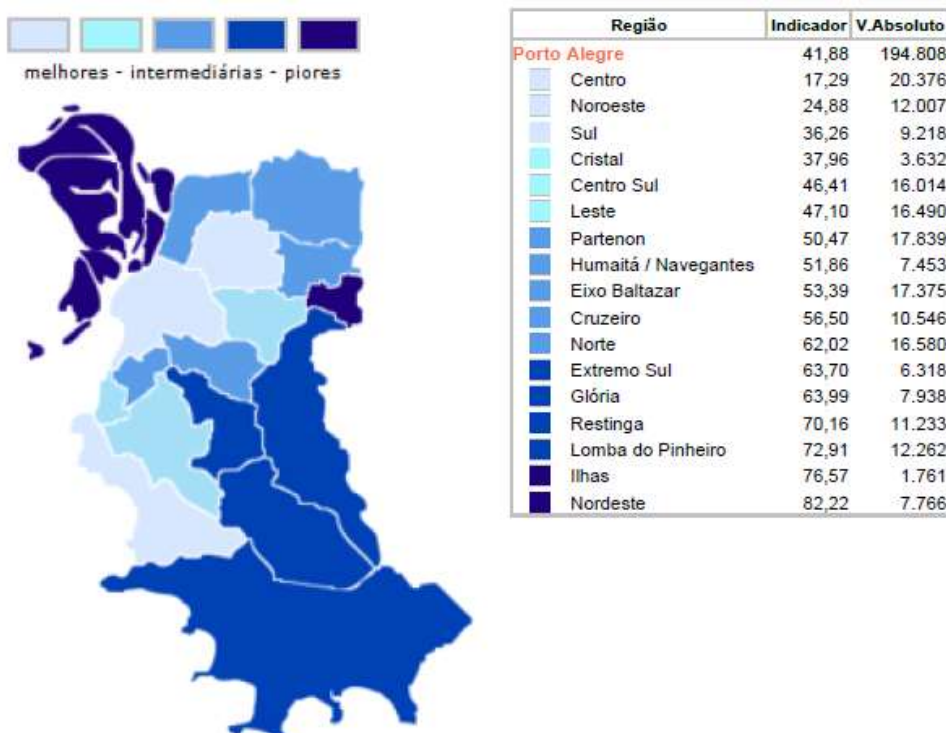


Figura 5. Percentual de responsáveis por domicílio com renda até 2 salários mínimos

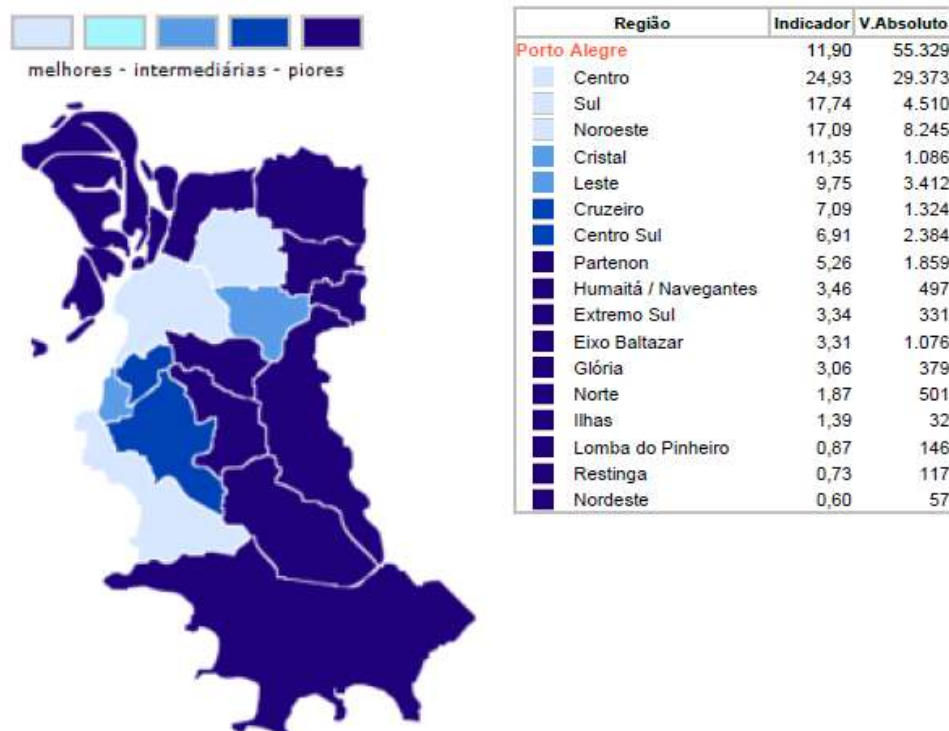


Figura 6. Percentual de responsáveis por domicílio com rendimento maior que 10 salários mínimos

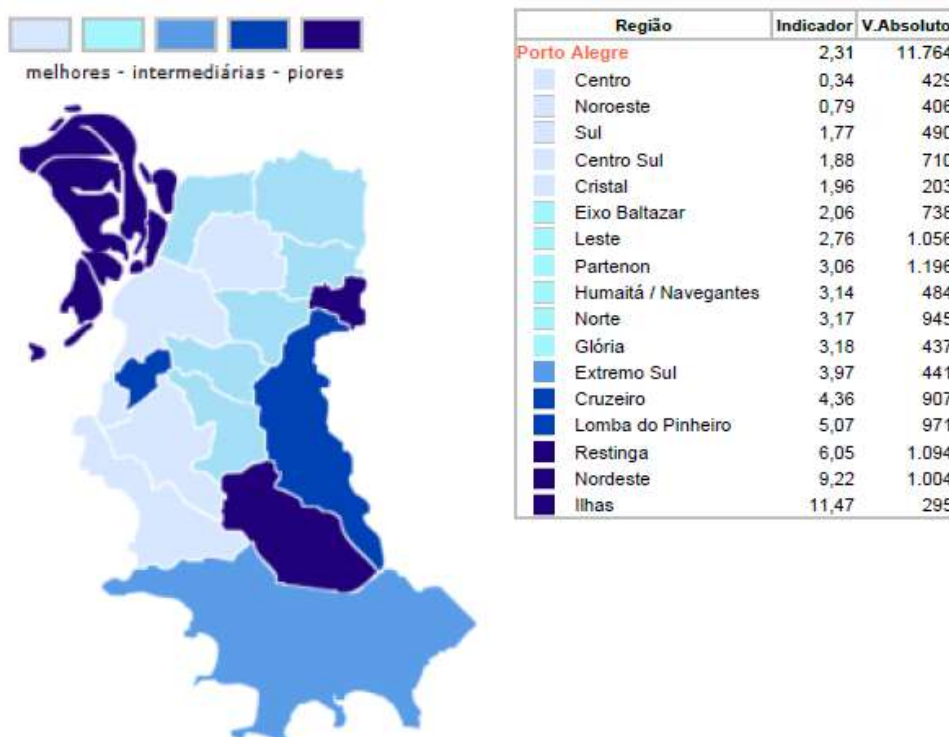


Figura 7. Percentual de domicílios com rendimento domiciliar per capita até ¼ salário mínimo

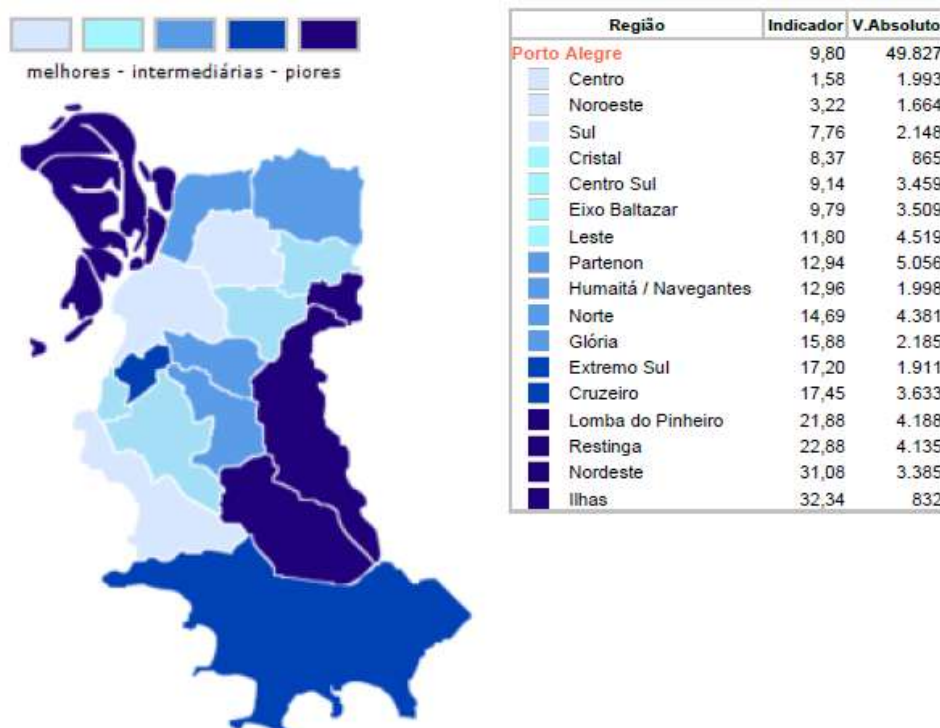


Figura 8. Percentual de domicílios com rendimento domiciliar per capita até 1/2 salário mínimo

Levando-se em conta o critério de classificação econômica da ABEP [ABEP, 2022] e analisando as informações mostradas, pode-se concluir, então, que em relação às regiões atingidas:

- 24,80% (85.118 domicílios) pertencem à classe A;
- 9,61% (32.983 domicílios) pertencem à classe B;
- 29,64% (101.730 domicílios) pertencem à classe C;
- 7,16% (24.574 domicílios) pertencem à classe D;
- 28,79% (98.812 domicílios) pertencem à classe E.

Não é possível determinar exatamente qual o percentual de atingidos a partir destas informações, porém, pode-se entender que as classes D e E (mais pobres), somadas, representam o maior percentual de atingidos e que necessitarão de uma nova moradia.

Desta constatação, considera-se a relevância deste tema para a sociedade, justificando a utilização de uma ferramenta multicritério que facilite a escolha de um imóvel para compra para essa população.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema objeto deste artigo é: “Como auxiliar os moradores e imobiliárias da cidade de Porto Alegre/RS a encontrar a melhor opção de imóvel para compra?”

2.1. Estruturação do Problema

Para estruturar o problema, foram utilizadas duas ferramentas: CATWOE e o Quadro de Tomada de Decisões Estratégicas.

CATWOE é um mnemônico para uma técnica que fornece uma estrutura para definir e analisar as perspectivas das partes interessadas de um problema [Checkland e Poulter, 2007].

- C: “Customers” (Clientes): Identificar os indivíduos ou grupos impactados pelo problema para entender suas necessidades e expectativas;
- A: “Actors” (Atores): Identificar os indivíduos ou grupos que implementarão as mudanças para resolver o problema;
- T: “Transformation” (Transformação): Identificar o objetivo principal do processo ou sistema impactado pelo problema e as principais atividades que ocorrem;
- W: “Weltanschauung” (Visão de mundo): Identificar os impactos amplos do problema ajuda a entender suposições ou vieses que podem influenciar as decisões;
- O: “Owners” (Donos): Identificar o indivíduo responsável pelo processo e como ele será envolvido na solução;
- E: “Environment Constraints” (Restrições ambientais): Identificar os fatores externos ou limitações do mundo real que podem afetar as soluções para o problema.

A análise CATWOE é uma ótima maneira de analisar e compreender um problema complexo para determinar as melhores soluções. Essa análise estruturada permite que as partes interessadas esclareçam sua compreensão do problema, identifiquem perspectivas relevantes e desenvolvam soluções mais eficazes. A estrutura CATWOE é particularmente útil em situações em que há múltiplos critérios e perspectivas que precisam ser considerados na solução de problemas. No Quadro 1 a seguir é apresentada a análise CATWOE do problema.

Quadro 1. Análise CATWOE

CLIENTES (CUSTOMERS)	ATORES (ACTORS)	TRANSFORMAÇÃO (TRANSFORMATION PROCESS)		VISÃO DE MUNDO (WELTANSCHAUUNG)	PROPRIETÁRIO (OWNER)	RESTRICÇÕES AMBIENTAIS (ENVIRONMENTAL CONSTRAINTS)
		ENTRADAS (INPUTS)	SAÍDAS (OUTPUTS)			
Residentes na cidade de Porto Alegre	Imobiliárias	Localização	Opções de imóveis disponíveis	Existe um cenário de necessidade imediata de realocação de pessoas em novos imóveis devido às enchentes Existe um mercado rotineiro de aquisição de imóveis por parte da população	Caixa Outras instituições financeiras com programas de financiamento imobiliário	Quantidade de imóveis disponíveis para venda
	Construtoras	Tipo do imóvel				
	Caixa (Programa Minha Casa, Minha Vida)	Quantidade de cômodos				
	Outras instituições financeiras com programas de financiamento imobiliário	Quantidade de vagas de garagem				
	Prefeitura de Porto Alegre	Proximidade a serviços				
	Cartórios	Local suscetível a inundações				
		Outros				

Já o Quadro de Tomada de Decisões Estratégicas é uma abordagem resultante da aplicação da Teoria dos Jogos em disciplinas de design integrado, através de uma abordagem interativa e colaborativa, com o objetivo de facilitar a tomada de decisão. O autor [Gomes, 2020] formalizou os conhecimentos acerca de métodos matemáticos, desempenho e desenvolvimento de competências, “design

thinking”, entrevistas e testes com usuários, em um quadro, cujo conceito será utilizado neste artigo e pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2. Quadro de Tomada de Decisões Estratégicas

REGRAS (RULES)	DESAFIOS (CHALLENGES)	RECOMPENSAS (REWARDS)	ALTERNATIVAS (ALTERNATIVES)	DECISÕES A FAZER (DECISIONS TO MAKE)
Imóveis urbanos Imóveis até R\$ 150.000,00 Imóveis com configuração mínima de 2 quartos, sala, banheiro, cozinha e área de serviço Imóveis com área mínima de 60m ²	Quantidade de imóveis disponíveis para venda	Tratamento desta etapa da gestão de crise do município após as enchentes Redução do número de pessoas vivendo fora de suas residências Diminuição do déficit habitacional Melhoria da dignidade das famílias Aumento das construções de imóveis por parte das empresas construtoras e consequente aumento da disponibilidade de empregos	Leilões de imóveis Imóveis à venda em imobiliárias Imóveis à venda por particulares Imóveis em construção	Melhorar o acesso a linhas de crédito para os moradores Melhorar o acesso a linhas de crédito para as empresas construtoras Criar ferramenta para apoio à tomada de decisão
JOGADORES (PLAYERS)	RECURSOS (RESOURCES)		INCIDADORES (KPI)	DECISÕES A NÃO FAZER (DECISIONS NOT TO MAKE)
Residentes na cidade de Porto Alegre Imobiliárias Construtoras Caixa (Programa Minha Casa, Minha Vida) Outras instituições financeiras com programas de financiamento imobiliário Prefeitura de Porto Alegre Cartórios	Facilitação do acesso aos moradores da cidade a imóveis em leilão pela Caixa Facilitação de linhas de crédito aos moradores para aquisição de imóveis Programa Minha Casa, Minha Vida Subsídio para os moradores comprarem seus imóveis com subsídios do governo		Localização Tipo do imóvel Quantidade de cômodos Quantidade de vagas de garagem Proximidade a serviços Local suscetível a inundações Outros	Não melhorar o acesso a linhas de crédito para os moradores Não melhorar o acesso a linhas de crédito para as empresas construtoras
CENÁRIOS (SCENARIOS)		ESTRATÉGIAS (STRATEGIES)		
Existe um cenário de necessidade imediata de realocação de pessoas em novos imóveis devido às enchentes Existe um mercado rotineiro de aquisição de imóveis por parte da população		Melhorar a assertividade das pessoas na compra de imóveis que atendam às suas necessidades e estejam dentro das suas condições financeiras		

O estudo se concentra em ajudar os moradores da cidade de Porto Alegre a encontrar oportunidades de imóveis para compra de acordo com os critérios de escolha estabelecidos, utilizando como ferramenta multicritério a abordagem híbrida PSI-SPOTIS para a tomada de decisão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Foi realizada uma busca preliminar na base Scopus com os termos: “‘Multicriteria’ or ‘MCDA’ or ‘MCDM’ or ‘Multi-criteria’ or ‘Multi-Criteria Decision Making’ or ‘Multi-Criteria Decision Method’ and ‘Estate agency’”, tendo sido encontrados vários artigos, dos quais pode-se destacar os considerados mais relevantes.

[Chen, 2011] introduz uma abordagem prática que liga otimismo e pessimismo à análise de decisão multicritério usando conjuntos intuicionistas difusos e o modelo bivariado unipolar. É ilustrado através de um exemplo numérico, especificamente um problema de seleção de fornecedores multicritério

[Chen, 2016] sugere o uso do método ELECTRE para desenvolver um método “fuzzy” intuicionista de valor de intervalo ELECTRE (IVIF-ELECTRE) para análise de decisão multicritério (MCDA) na avaliação/seleção de alternativas.

[Farkas e Porumb, 2020] trata da abordagem de comparação de vendas de imóveis através do desenvolvimento de método de avaliação como uma combinação de otimização multiobjetivo (MOO) e análise de decisão multicritério (MCDA).

[Aliyeva, 2017] considera a aplicação da abordagem fuzzy MCDM ao problema de tomada de decisão de compra de casas.

[Lin et al., 2020] estabelece um método dinâmico de recomendação de preços para compras de moradias e aplica a técnica de tomada de decisão de múltiplos critérios difusos (FMCDM), de modo a realizar a qualidade e avaliação da habitação.

[Nguyen et al., 2023] busca compreender as preferências dos consumidores e abordá-las eficazmente através de um quadro abrangente de tomada de decisão multicritério (MCDM) para os fornecedores imobiliários com um modelo MCDM de dois estágios que integra a técnica “Delphi” e a técnica de preferência de ordem por similaridade à solução ideal (SPOTIS) baseada em conjuntos “fuzzy” esféricos.

[Portella et al., 2024] emprega uma abordagem híbrida multicritério utilizando o índice de seleção de preferência (PSI) para pesos e ordenação de preferência estável em direção à solução ideal (SPOTIS) para classificação.

4. METODOLOGIA

Na tomada de decisão multicritério, o objetivo é identificar a opção ideal em meio a objetivos conflitantes. Para isso, é necessário iniciar com a definição do problema e os objetivos, identificação dos critérios por meio de métodos como revisão de literatura e opiniões de especialistas, listagem das alternativas viáveis e atribuição de pesos usando métodos multicritério, avaliação e classificação de alternativas com abordagens, análise dos resultados, consideração de fatores adicionais e tomada da decisão.

Uma abordagem sistemática para a tomada de decisão pode ajudar a garantir que a melhor alternativa seja selecionada com base em critérios e prioridades relevantes, seguindo um processo de tomada de decisões lógicas.

De acordo com [Michaelis, 2016], o conceito de metodologia vem do estudo do “método” que significa o “emprego de procedimentos ou meios para a realização de algo, seguindo um planejamento; rumo” e um “processo lógico e ordenado de pesquisa ou de aquisição de conhecimento”.

Portanto, as abordagens metodológicas neste estudo são mistas, e na abordagem quantitativa através da aplicação do método PSI-SPOTIS. Assim, a metodologia apontada neste estudo é apresentada na Figura 9 a seguir.

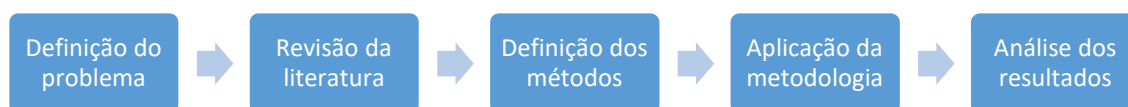


Figura 9. Fluxograma metodológico

- Definição do problema: o problema surgiu na cidade de Porto Alegre, principalmente, em função das enchentes ocorridas no mês de maio de 2024 que foram as maiores da história da cidade e do estado do Rio Grande do Sul, deixando grande parte da população desabrigada;
- Revisão da literatura: após a definição do problema, foram reunidos os conhecimentos necessários para servir de base para a realização da pesquisa, além de artigos e estudos realizados com empresas que tiveram problemas parecidos;

- c) Definição dos métodos: dentro da revisão bibliográfica, foram escolhidos os métodos que mais se adaptariam às necessidades da empresa, bem como, fossem simples e objetivos na sua utilização;
- d) Aplicação da metodologia: nesta etapa foi aplicada a abordagem híbrida utilizando o PSI-SPOTIS, possibilitando a análise e comparação dos resultados;
- e) Análise dos resultados: com os dados gerados através das ferramentas, uma interpretação menos subjetiva foi necessária, embasada na aferição das pontuações calculadas, formalizando conclusões sobre o problema apresentado.

4.1. Método PSI

[Maniya e Bhatt, 2010] introduziu uma nova ferramenta de tomada de decisão, o método “Preference Selection Index” (PSI). Esse método facilita a seleção da melhor opção entre determinadas alternativas sem exigir que o tomador de decisão determine a importância relativa entre os atributos.

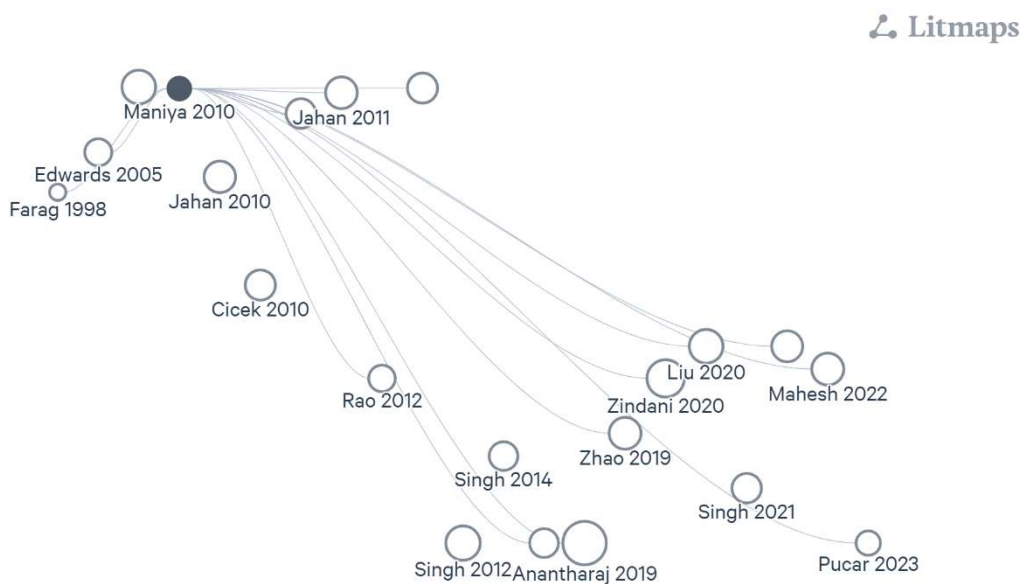


Figura 10. Citação visual do método PSI [Litmaps, 2024]

O método PSI preenche uma lacuna na tomada de decisão ao eliminar a necessidade de atribuição subjetiva de importância relativa entre atributos, utilizando conceitos estatísticos. Resolve conflitos na determinação da importância, empregando o valor de preferência global (PSI) para cada alternativa. A opção com o maior PSI é selecionada como a escolha ideal [Maniya e Bhatt, 2010].

Em primeiro lugar, identifica-se o problema, determina-se o objetivo e identificam-se os atributos e alternativas relevantes envolvidos para a aplicação considerada.

Após a construção da matriz de “payoff”, é necessário normalizar a matriz utilizando as seguintes fórmulas, que variam de acordo com o tipo de critério: (1) monotonicamente benéfico ou (2) monotonicamente baseado em custos.

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (1)$$

$$R_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}} \quad (2)$$

Em seguida, é necessário calcular o valor da variação de preferência para cada atributo, determinado por meio do conceito de analogia da variância amostral (variação quadrática das preferências), conforme a seguinte equação:

$$PV = \sum_{i=1}^N |R_{ij} - \bar{R}_j|^2 \quad (3)$$

Onde é a média do valor normalizado do atributo j e $\bar{R}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{ij}$

Nesta etapa, o desvio das preferências Φ é calculado.

$$\phi_j = 1 - PV_j \quad (4)$$

Na sexta etapa, calcula-se a preferência geral Ψ (Preferência Geral).

$$\psi_j = \frac{\phi_j}{\sum_{j=1}^M \phi_j} \quad (5)$$

O valor total da preferência global para todos os atributos deve ser um, onde:

$$\sum_j \psi_j = 1 \quad (6)$$

Na sétima etapa, é calculado o Índice de Seleção de Preferência - PSI (I_i) para cada alternativa.

$$I_i = \sum_{j=1}^M (R_{ij} \times \psi_j) \quad (7)$$

Após o cálculo do PSI, as alternativas são classificadas em ordem decrescente ou crescente para interpretação gerencial. Este artigo se concentra no desenvolvimento de um método híbrido usando PSI apenas para geração de peso, sendo utilizado somente até a etapa 3.

4.2. Método SPOTIS

[Dezert et al., 2020] propõe um método de tomada de decisão multicritério livre de reversão de classificação, “Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution” (SPOTIS), que é projetado para resolver questões de reversão de classificação. O SPOTIS é particularmente útil para problemas multicritério incompletos ou mal definidos, permitindo a definição de limites para cada critério, sendo livre de reversão de ordem.

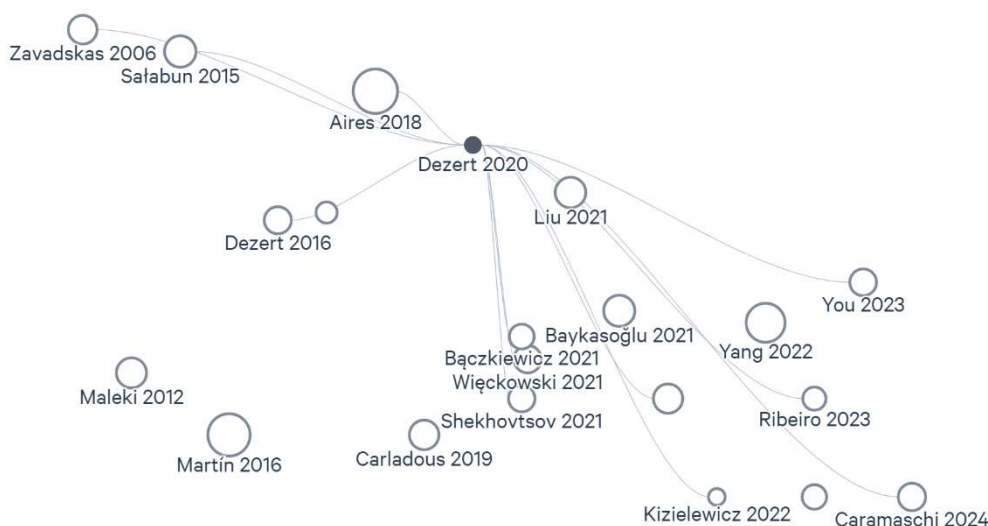


Figura 11. Citação visual do método SPOTIS [Litmaps, 2024]

O método SPOTIS é uma solução robusta que aborda a classificação reversa paradoxal em problemas multicritério incompletos ou mal definidos. Define limites para cada critério, garantindo a liberdade de reversão de ordem. Com base em avaliações relativas da distância normalizada, $d_{ij}(A_i; S^*_j)$, a partir do ponto de solução ideal, o SPOTIS efetivamente avalia e classifica alternativas de decisão.

As etapas para o cálculo do método SPOTIS são detalhadas a seguir.

Para cada critério, C_j ($j=1, 2, \dots, N$) onde os limites mínimo e máximo deste critério são descritos como $S^{\min}_j$ e $S^{\max}_j$. E que para um critério C_j qualquer preferência é um valor de escore “quanto maior melhor” (monotônico de valor), então a melhor solução ideal para o critério C_j é $S^*_j=S^{\max}_j$, no entanto, se para o critério C_j a preferência é um valor de escore “menor é melhor” (monotônica de custo), então o ponto de solução ideal para o critério C_j é $S^*_j=S^{\min}_j$.

Desta forma, a solução ideal é dada por:

$$S^* = (S^*_1, S^*_2, S^*_3) = (S^{\max}_1, S^{\min}_2, S^{\max}_3)$$

Outro ponto levantado pelo método é a necessidade de padronizar os dados para cada critério antes de calcular os valores ponderados utilizando o Procedimento de Normalização (8), a Distância Euclidiana Normalizada (9) e a Distância Média Ponderada Normalizada (11).

$$s_{ij} = \frac{s_{ij} - s_j^{\min}}{s_j^{\max} - s_j^{\min}} \quad (8)$$

$$d_{ij}(A_i, s_j^*) = |s_{ij} - s_j^*| \quad (9)$$

$$d_{ij}(A_i, s_j^*) = \left| \frac{s_{ij} - s_j^{\min}}{s_j^{\max} - s_j^{\min}} - \frac{s_j^* - s_j^{\min}}{s_j^{\max} - s_j^{\min}} \right| = \frac{|s_{ij} - s_j^*|}{|s_j^{\max} - s_j^{\min}|} \quad (10)$$

$$d(A_i, s^*) = \sum_{j=1}^N w_j d_{ij}(A_i, s_j^*) \quad (11)$$

O método realiza a fixação de limites mínimos e máximos para cada critério e a determinação do ponto de solução ideal com base na preferência para cada critério. Depois, calcula as distâncias normalizadas para cada alternativa em relação ao ponto de solução ideal, calcula a matriz de distância média normalizada para cada alternativa e as alternativas de ordenação crescente com base nas distâncias normalizadas.

No método SPOTIS, as alternativas são classificadas avaliando seu desempenho em relação a critérios. A cada critério é atribuído um peso baseado na importância, e as pontuações são normalizadas. As razões são calculadas para cada alternativa e as razões mais elevadas conduzem a classificações mais elevadas. O SPOTIS aborda questões de reversão de classificação, fornecendo pontuações estáveis mesmo com mudanças nas alternativas, garantindo uma tomada de decisão robusta e confiável.

O método acomoda um número flexível de soluções alternativas, permitindo a avaliação de várias opções no processo de tomada de decisão. As razões dos escores normalizados contribuem para a classificação final das alternativas.

Para análise e ordenação proposta, empregaremos ambos os métodos, PSI e SPOTIS, para resolver o problema de classificar as melhores opções de imóveis para comprar. O método PSI contribuirá para identificar os pesos para cada critério, enquanto o SPOTIS avaliará e classificará as alternativas com base nesses critérios.

4.3. Estudo de caso

A coleta inicial das alternativas foi feita através de uma plataforma digital onde estão cadastrados todos os imóveis à venda de todas as imobiliárias da cidade de Porto Alegre. Nesta primeira tomada de informações foram utilizados os seguintes filtros:

- Imóvel em área urbana;
- Tipo de imóvel: residencial (apartamento ou casa);
- Valor máximo do imóvel: R\$ 215.000,00 (valor teto do Programa Minha Casa, Minha Vida) – valor compatível com a renda mensal familiar mínima exigida para as classes D e E num tempo máximo de financiamento de 420 meses, segundo simulador de financiamento da Caixa;
- Quantidade mínima de cômodos: 2 quartos, sala, banheiro, cozinha e área de serviço;
- Ter, pelo menos, 1 vaga de garagem;
- Estar próximo ao ter fácil acesso a transporte público, comércio, farmácias, bancos, mercados, posto de combustíveis e escolas.

Após essa primeira busca, foram localizados 33 imóveis com essas características. Separando-se esses imóveis por bairros e excluindo-se os bairros onde houve alagamento devido às enchentes, restaram 10 imóveis dentro destas características iniciais:

- Imóvel 1 - Endereço: Estrada João de Oliveira Remião, 6700 - Lomba do Pinheiro;
- Imóvel 2 - Endereço: Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira, 440 - Jardim Leopoldina;
- Imóvel 3 - Endereço: Rua Ney da Gama Ahrends, 565 - Morro Santana;
- Imóvel 4 - Endereço: Rua Ada Vaz Cabeda, 340 - Jardim Leopoldina;
- Imóvel 5 - Endereço: Rua Ney da Gama Ahrends, 565 - Morro Santana;
- Imóvel 6 - Endereço: Travessa Esporte Clube Cruzeiro, 200 - Morro Santana;
- Imóvel 7 - Endereço: Rua Hermeto Bermudez, 450 - Jardim Leopoldina;
- Imóvel 8 - Endereço: Avenida Martim Félix Berta, 3300 - Mário Quintana;
- Imóvel 9 - Endereço: Estrada João de Oliveira Remião, 2194;
- Imóvel 10 - Endereço: Rua Engenheiro Fernando Mendes Ribeiro, 30 - Santo Antônio.

Conforme descrito anteriormente, o método PSI foi utilizado para gerar pesos para os critérios. Para essa etapa foi determinada a matriz de decisão utilizando os critérios C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 e C_6 . É importante ressaltar que todos os critérios foram considerados monotonicamente benéficos. São eles:

- C_1 = Área do imóvel;
- C_2 = Número de quartos;
- C_3 = Ser novo ou ter sido reformado recentemente (foi considerado “1” para “sim” e “0” para “não”);
- C_4 = Estar mobiliado ou semi-mobiliado (foi considerado “1” para “sim” e “0” para “não”);
- C_5 = Valor do imóvel;
- C_6 = Distância ao trabalho (aqui foi considerado o centro de Porto Alegre como referência).

Tabela 2. Matriz de decisão

	Critérios					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
Monotonicidade	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
Alternativas	Área do imóvel (m ²)	Número de quartos	Ser novo ou ter sido reformado recentemente	Estar mobiliado ou semi-mobiliado	Valor do imóvel (R\$)	Distância ao trabalho (km)
Imóvel 1	39,0	2	1	1	140.000,00	18,5
Imóvel 2	38,0	2	0	0	152.000,00	14,0
Imóvel 3	43,0	2	0	0	159.000,00	12,7
Imóvel 4	44,0	2	0	1	170.000,00	14,3
Imóvel 5	43,0	2	0	1	180.500,00	12,7
Imóvel 6	44,0	2	0	0	185.000,00	13,1
Imóvel 7	58,0	2	1	0	187.000,00	14,6
Imóvel 8	43,0	2	1	1	190.000,00	12,5
Imóvel 9	47,0	2	0	0	202.500,00	13,8
Imóvel 10	60,0	3	1	1	210.000,00	3,9

Tabela 3. Padronização no método PSI

	Critérios					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Monotonicidade	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
Alternativas	Área do imóvel (m²)	Número de quartos	Ser novo ou ter sido reformado recentemente	Estar mobiliado ou semi-mobiliado	Valor do imóvel (R\$)	Distância ao trabalho (km)
Imóvel 1	0,65000	0,66667	1,00000	1,00000	1,00000	0,21081
Imóvel 2	0,63333	0,66667	0,00000	0,00000	0,92105	0,27857
Imóvel 3	0,71667	0,66667	0,00000	0,00000	0,88050	0,30709
Imóvel 4	0,73333	0,66667	0,00000	1,00000	0,82353	0,27273
Imóvel 5	0,71667	0,66667	0,00000	1,00000	0,77562	0,30709
Imóvel 6	0,73333	0,66667	0,00000	0,00000	0,75676	0,29771
Imóvel 7	0,96667	0,66667	1,00000	0,00000	0,74866	0,26712
Imóvel 8	0,71667	0,66667	1,00000	1,00000	0,73684	0,31200
Imóvel 9	0,78333	0,66667	0,00000	0,00000	0,69136	0,28261
Imóvel 10	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,66667	1,00000

Tabela 4. Valor de preferência e variação de peso

	Critérios					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Área do imóvel (m²)	Número de quartos	Ser novo ou ter sido reformado recentemente	Estar mobiliado ou semi-mobiliado	Valor do imóvel (R\$)	Distância ao trabalho (km)
Média	0,76500	0,70000	0,40000	0,50000	0,80010	0,35357
PV	0,13581	0,10000	2,40000	2,50000	0,10036	0,47209
W	0,02379	0,01752	0,42044	0,43796	0,01758	0,08270
W%	2%	2%	42%	44%	2%	8%

Após a obtenção dos pesos, procedeu-se à análise do problema pelo método SPOTIS. Inicialmente, definimos os limites para os critérios.

Tabela 5. Limites mínimos e máximos para cada critério

Limites dos critérios				
CRITÉRIOS	MIN	MAX	MIN	MAX
C1	S1	S1	38,0	60,0
C2	S2	S2	2	3
C3	S3	S3	0	1
C4	S4	S4	0	1
C5	S5	S5	140.000,00	215.000,00
C6	S6	S6	0,0	20,0

Em seguida, o Ponto de Solução Ideal (ISP).

Tabela 6. Ponto ideal de solução

Ponto de solução ideal	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S* = S1*, S2*, S3*, S4*, S5*, S6*	60,0	3	1	1	140.000,00	0,0

Posteriormente, a matriz normalizada é calculada de acordo com o método SPOTIS, utilizando os pesos obtidos pelo método PSI.

Tabela 7. Ponto ideal de solução

	Critérios					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Monotonicidade	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
Alternativas	Área do imóvel (m²)	Número de quartos	Ser novo ou ter sido reformado recentemente	Estar mobiliado ou semi-mobiliado	Valor do imóvel (R\$)	Distância ao trabalho (km)
W (PSI)	0,023791	0,017518	0,420444	0,437962	0,017581	0,082703
Imóvel 1	0,9545	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9250
Imóvel 2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,1600	0,7000
Imóvel 3	0,7727	1,0000	1,0000	1,0000	0,2533	0,6350
Imóvel 4	0,7273	1,0000	1,0000	0,0000	0,4000	0,7150
Imóvel 5	0,7727	1,0000	1,0000	0,0000	0,5400	0,6350
Imóvel 6	0,7273	1,0000	1,0000	1,0000	0,6000	0,6550
Imóvel 7	0,0909	1,0000	0,0000	1,0000	0,6267	0,7300
Imóvel 8	0,7727	1,0000	0,0000	0,0000	0,6667	0,6250
Imóvel 9	0,5909	1,0000	1,0000	1,0000	0,8333	0,6900
Imóvel 10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9333	0,1950

Em seguida, calcula-se a distância média normalizada.

Tabela 8. Distância média normalizada

	Critérios					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Monotonicidade	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
Alternativas	Área do imóvel (m²)	Número de quartos	Ser novo ou ter sido reformado recentemente	Estar mobiliado ou semi-mobiliado	Valor do imóvel (R\$)	Distância ao trabalho (km)
Imóvel 1	0,02271	0,01752	0,00000	0,00000	0,00000	0,07650
Imóvel 2	0,02379	0,01752	0,42044	0,43796	0,00281	0,05789
Imóvel 3	0,01838	0,01752	0,42044	0,43796	0,00445	0,05252
Imóvel 4	0,01730	0,01752	0,42044	0,00000	0,00703	0,05913
Imóvel 5	0,01838	0,01752	0,42044	0,00000	0,00949	0,05252
Imóvel 6	0,01730	0,01752	0,42044	0,43796	0,01055	0,05417
Imóvel 7	0,00216	0,01752	0,00000	0,43796	0,01102	0,06037
Imóvel 8	0,01838	0,01752	0,00000	0,00000	0,01172	0,05169
Imóvel 9	0,01406	0,01752	0,42044	0,43796	0,01465	0,05707
Imóvel 10	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01641	0,01613

4.4. Discussão dos resultados

Utilizando os dados das Tabelas 2 a 8, foi calculada a soma dos resultados dos critérios por empresa para ranquear as melhores empresas.

Através da aplicação da abordagem híbrida PSI-SPOTIS, identificou-se que o “Imóvel 10” alcançou o melhor resultado entre as empresas selecionadas.

Tabela 9. Classificação dos imóveis

Alternativas	Σ	Ranking
Imóvel 10	0,032536161	1
Imóvel 8	0,099312736	2
Imóvel 1	0,116728591	3
Imóvel 5	0,51835665	4
Imóvel 4	0,521430133	5
Imóvel 7	0,529034445	6
Imóvel 3	0,951279045	7
Imóvel 6	0,957946484	8
Imóvel 2	0,960420912	9
Imóvel 9	0,961699116	10

5. CONCLUSÃO

A utilização do método híbrido PSI-SPOTIS permitiu formular o ranking das melhores opções de imóveis para comprar dentro das alternativas selecionadas. Isso foi alcançado por meio de critérios

definidos pelo decisor, definindo que o Imóvel 10, localizado na Rua Engenheiro Fernando Mendes Ribeiro, nº 30, no bairro Santo Antônio, mesmo sendo o mais caro, apresentou o melhor resultado.

O estudo indicou que o método híbrido PSI-SPOTIS é eficaz para classificar imóveis para compra, sugerindo que o método pode auxiliar as pessoas que estão com essa necessidade na cidade de Porto Alegre no momento.

Como estudo futuro a respeito do método híbrido PSI-SPOTIS, poderia se considerar a incorporação de critérios adicionais, diversificar as fontes de dados, refinar os processos de ponderação e validar por meio de opiniões de especialistas, além de implementar atualizações periódicas com resultados reais. Este processo interativo garantiria a melhoria contínua e o refinamento do método PSI-SPOTIS para avaliações mais abrangentes e robustas.

Recomenda-se testar outros métodos para corroborar ou refutar os resultados obtidos no estudo.

VIII. REFERÊNCIAS

Aliyeva, K. (2017). Multi-criteria house buying decision making based on type-2 fuzzy sets. *Procedia Computer Science*, v. 120, p.p. 515-520.

Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP). Critério de Classificação Econômica Brasil. São Paulo: ABEP, 2022.

Checkland, P.; Poulter, J. (2007). *Learning for action: a short definitive account of soft systems methodology, and its use for practitioners, teachers and students*. New Jersey: Wiley.

Chen, T. (2011). Bivariate models of optimism and pessimism in multicriteria decision-making based on intuitionistic fuzzy sets. *Information Sciences*, v. 181, n. 11, p.p. 2139-2165.

Chen, T. (2016). An IVIF-ELECTRE outranking method for multiple criteria decision-making with interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Technological and Economic Development of Economy*, v. 22, n. 3, p.p. 416-452.

Dezert, J.; Tchamova, A.; Han, D.; Tacnet, J. (2020). The SPOTIS rank reversal free method for multi-criteria decision-making support. In: *23rd International Conference on Information Fusion*. IEEE, p. 1-8.

Farkas, A.; Porumb, B. (2020). A multi-attribute sales comparison method for real estate valuation. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, v. 28, n. 1, p.p. 1-11.

Fundação João Pinheiro (FJP). Déficit habitacional e inadequação de moradias no Brasil. <https://fjp.mg.gov.br/deficit-habitacional-no-brasil/>. Acesso em: 15/06/2024.

Gomes, A.E.S. (2020). Teoria dos jogos aplicada na educação profissional para desenvolvimento de competência em tomada de decisões estratégicas. Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado

Profissional em Gestão da Economia Criativa da Escola Superior de Propaganda e Marketing. Rio de Janeiro.

Lin, J.; Lin, H.; Wang, W.Y.C.; Chang, C.; Lin, C. (2020). An evaluation model for property-purchasing plans based on a hybrid multi-criteria decision-making model. *Mathematics*, v.8, n. 6 (860).

Litmaps. <https://www.litmaps.com/>. Acesso em: 15/06/2024.

Maniya, K.; Bhatt, M. G. (2010). A selection of material using a novel type decision-making method: Preference selection index method. *Materials & Design*, v. 31, n. 4, p. 1785-1789.

Michaelis. (2016). *Dicionário da língua portuguesa*. São Paulo: Melhoramentos.

Nguyen, P.; Tran, T.; Nguyen, L.T.; Pham, H.; Pham, M.T. (2023). Streamlining apartment provider evaluation: A spherical fuzzy multi-criteria decision-making model. *Heliyon*, v.9, n. 12.

Observatório da Cidade de Porto Alegre (ObservaPoa). <https://prefeitura.poa.br/smpae/observapoa/>. Última atualização 31/05/2024 às 11h30min. Acesso em: 08/06/2024.

Portella, A.; Dos Santos, M.; Silva, M.P.R.L.; Gomes, C.F.S. (2024). A new multi-criteria approach to the identification of the best companies to work for, using the PSI-SPOTIS hybrid method. 5th International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics.

Prefeitura de Porto Alegre (PPOA). <https://prefeitura.poa.br/defesa-civil/>. Acesso em: 08/06/2024.