Avaliação de diferentes métodos de ponderação na formulação de indicadores e índices para gerenciamento de águas pluviais urbanas

Evaluation of weighting methods to formulate indicators and indices for urban stormwater management

Data de entrada: 12/03/2024
Data de aprovação: 07/10/2025

Camila Angélica Baum[1]* **| Joel Avruch Goldenfum**[1]

DOI: https://doi.org/10.36659/dae.2026.121

Baum CA https://orcid.org/0000-0001-5045-2652
Goldenfum JA https://orcid.org/0000-0003-4959-9053

Resumo

A utilização de indicadores para gerenciamento e manejo das águas pluviais urbanas pelos gestores municipais brasileiros tem se difundido nos últimos anos, no entanto são observadas elevada subjetividade e incertezas associadas à elaboração dos indicadores e índices. Este trabalho busca avaliar os impactos de diferentes metodologias de ponderação nos resultados de indicadores compostos para gerenciamento de águas pluviais urbanas. Foram testadas três metodologias de ponderação: Média Aritmética (MA), Processo de Análise Hierárquica (PAH) e Análise dos Componentes Principais (ACP) em cinco conjuntos de indicadores compostos para gerenciamento de águas pluviais urbanas aplicados em oito municípios da região Sul do Brasil. Após análise de sensibilidade, observou-se que, embora todas as metodologias avaliadas apresentem vantagens e limitações, o método de PAH resultou como o mais adequado para ponderação de indicadores compostos utilizados no gerenciamento de águas pluviais urbanas.

Palavras-chave: Tomada de decisão. Análise dos componentes principais. Processo de análise hierárquica. Indicadores compostos. Drenagem urbana.

Abstract

The use of indicators to manage urban stormwater by Brazilian municipal managers has become widespread in recent years. However, high subjectivity and uncertainties associated with the development of indicators and indices persist. This study seeks to evaluate the impacts of weighting methodologies on the results of composite indicators for urban stormwater management. In total, three weighting methodologies were tested (arithmetic mean, analysis hierarchical process, and principal component analysis) on five sets of composite indicators for urban stormwater management in eight southern Brazilian municipalities. Sensitivity analysis showed that, although all methodologies contain advantages and limitations, analysis hierarchical process constituted the most appropriate to weight composite indicators in urban stormwater management.

Keywords: *Decision making. Principal component analysis. Analysis hierarchical process. Composite indicators. Urban drainage.*

[1] Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
* **Autor correspondente:** eng.camilabaum@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, os indicadores têm se consolidado como importantes instrumentos de informação em diversas áreas. É consenso entre especialistas, órgãos de governo e agências internacionais que estes são ferramentas essenciais para o planejamento e avaliação de políticas públicas (Jannuzzi, 2002). Por possibilitarem a quantificação, agregação e simplificação de fenômenos complexos (Van Bellen, 2004), os indicadores têm sido amplamente utilizados para orientar a tomada de decisão.

No campo das águas pluviais urbanas, diversos estudos têm explorado o uso de indicadores para subsidiar decisões de gestão. A principal função desses conjuntos é fornecer aos tomadores de decisão informações sobre o desempenho do serviço de drenagem e manejo de águas pluviais. No Brasil, onde tal serviço é público, sua adequada prestação ainda enfrenta dois desafios estruturais: a falta de organização institucional e a escassez de recursos financeiros contínuos (Colombelli, 2018). Nesse contexto, os indicadores se configuram como uma ferramenta de gestão capaz de mitigar parcialmente essas limitações. Além de orientar investimentos e diagnósticos do sistema, Baum e Goldenfum (2021) destacam que os indicadores devem ser mais explorados como instrumentos de validação de políticas públicas.

Apesar dos avanços recentes, persistem barreiras à aplicação prática dos indicadores e índices voltados às águas pluviais urbanas. Uma das principais é a inexistência de bancos de dados consolidados (Baum; Goldenfum, 2021), o que leva à necessidade de inferências e estimativas que comprometem a qualidade e a confiabilidade dos resultados (Moura; Baptista; Barraud, 2009). Verma e Raghubanshi (2018) também apontam que, entre os desafios internos à construção de indicadores, destacam-se as escolhas metodológicas – como o método de ponderação, o grau de simplificação adotado e a consistência teórica. Para uso em gestão pública, é essencial que os dados sejam acessíveis e que o conjunto de indicadores seja de fácil compreensão, sem perder a capacidade de representar adequadamente o fenômeno (Baum; Goldenfum, 2021).

A ponderação dos indicadores, por definir a importância relativa de cada variável, é uma etapa crítica na formulação de indicadores compostos ou índices, tornando transparente o cálculo e o significado dos resultados (Baum; Goldenfum, 2021). Segundo a Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD (2008), a ponderação consiste na atribuição de pesos que definem a importância relativa de cada variável simples no cálculo do indicador composto ou índice. Esses pesos refletem julgamentos de valor e podem ser determinados por diferentes abordagens – qualitativas, quantitativas ou híbridas. Em muitos casos, analistas optam por métodos estatísticos baseados em correlações entre variáveis; em outros, utilizam-se opiniões de especialistas ou modelos participativos para melhor refletir a importância percebida de cada componente (OECD, 2008). Devido à diversidade de princípios de cálculo, é comum que um mesmo conjunto de dados gere resultados distintos conforme o método de ponderação aplicado, influenciando diretamente a ênfase atribuída a cada dimensão de avaliação (Xueqi *et al.*, 2021).

A literatura apresenta diversas metodologias de ponderação, cada uma com vantagens e limitações (OECD, 2008), e compreender como essas metodologias influenciam o resultado final é fundamental. Em especial, para indicadores voltados a usos públicos, é importante explicitar o método de ponderação adotado e justificar seu desenvolvimento, de modo a garantir clareza e credibilidade nas decisões (Baum; Goldenfum, 2021).

As metodologias participativas são baseadas na opinião de especialistas ou atores envolvidos, sendo o método Delphi o mais difundido. Castro,

Baptista e Cordeiro Netto (2004) e Mendonça e Souza (2019) recorreram à consulta a especialistas para definir pesos, mas apontaram limitações quanto ao tempo demandado e à subjetividade inerente. Silva de Brito (2006) destaca que os resultados podem variar conforme o contexto geográfico e institucional, já que as percepções de importância diferem entre localidades. Mais recentemente, têm surgido abordagens híbridas, como a associação entre o método Delphi, o modelo de nuvem e o TOPSIS, proposta por Qiao e Pei (2022), que visa reduzir a subjetividade e aprimorar a consistência da avaliação.

Metodologias de análise multicritério, em sua diversidade, podem abordar vários aspectos da gestão do risco de inundação, como questões socioambientais, e apoiar os tomadores de decisão e as partes interessadas no processo de tomada de decisão (Jha; Bloch; Lamond, 2012). Entre essas, o Processo de Análise Hierárquica (PAH), desenvolvido por Saaty (1977), é amplamente utilizado para atribuição de pesos com base em comparações par-a-par entre critérios. O PAH tem sido aplicado com sucesso em estudos relacionados à drenagem urbana, inclusive associado a modelos hidrológicos como o SWMM, para avaliar práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Sam; Özger, 2025). No Brasil, Araújo *et al.* (2017), Miguez e Veról (2017), Pereira *et al.* (2020) e Zonensein (2007) demonstraram sua eficácia em diferentes contextos, ressaltando, porém, o caráter parcialmente subjetivo na definição das ponderações. Outra técnica multicritério relevante é o Electre III, proposto por Roy (1978), que considera explicitamente a incerteza e a imprecisão dos indicadores, permitindo a introdução de limites de indiferença e veto. Moura, Barraud e Baptista (2010) aplicaram essa metodologia na avaliação de sistemas de drenagem, validando sua consistência por meio de análises de sensibilidade e robustez.

As metodologias de análise multivariada, como a Análise dos Componentes Principais (ACP), atribuem pesos com base em relações estatísticas entre as variáveis, eliminando a influência direta de julgamentos subjetivos. Essas técnicas têm a vantagem de gerar ponderações neutras e dependentes dos dados (Verma; Raghubanshi, 2018), mas podem apresentar desvantagens quando as amostras são pequenas ou quando há indisponibilidade de dados, situação comum em contextos municipais brasileiros (Esty *et al.*, 2005). Além disso, sua sensibilidade a valores discrepantes e revisões de dados exige cautela na interpretação dos resultados.

Por fim, a ponderação igualitária, também chamada de método da média aritmética, atribui pesos idênticos a todas as variáveis que compõem o indicador composto ou índice (OECD, 2008; Scandar Neto, 2006). Essa abordagem, amplamente empregada em estudos de drenagem urbana (Silva de Brito, 2006; Bertilsson *et al.*, 2019; Veról *et al.*, 2019; Rezende *et al.*, 2020), é simples e de fácil aplicação, mas pode mascarar diferenças de relevância entre as variáveis e refletir a ausência de consenso ou de base empírica robusta.

A escolha do método de ponderação deve, portanto, equilibrar simplicidade, disponibilidade de dados e necessidade de representatividade. Rezende *et al.* (2020) ressaltam que a ponderação adequada é determinante para a validade prática dos indicadores compostos, enquanto Miguez e Veról (2017) defendem a necessidade de fundamentação teórica que garanta credibilidade e aceitação. Contudo, observa-se ainda uma lacuna de estudos comparativos que analisem, sob um mesmo conjunto de dados, diferentes metodologias de ponderação aplicadas ao gerenciamento de águas pluviais urbanas.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo avaliar os impactos de diferentes metodologias de ponderação nos resultados de indicadores compostos voltados ao gerenciamento de águas pluviais urbanas. Especificamente, busca-se:

investigar os efeitos de diferentes métodos de ponderação sobre os resultados dos indicadores compostos; verificar se metodologias mais complexas geram resultados mais sensíveis em comparação com as mais simples; e oferecer subsídios para a escolha de métodos de ponderação adequados à formulação de indicadores compostos e índices aplicáveis à gestão das águas pluviais urbanas.

2 METODOLOGIA

Para a análise do impacto de diferentes métodos de ponderação nos resultados dos indicadores compostos, foi utilizado como base o conjunto de indicadores proposto e normalizado por Baum e Goldenfum (2023).

2.1 Dados e indicadores

O conjunto de indicadores utilizado é composto por 42 indicadores, os quais seguem a organização por aspecto temático, conforme proposto por Baum e Goldenfum (2023), que resultaram na seguinte distribuição: quatro indicadores econômicos19 indicadores institucionais, dez indicadores sociais e nove indicadores ambientais. Estes autores utilizaram dados de oito municípios localizados na região Sul do Brasil, que têm Plano Municipal de Saneamento Básico, população inferior a 100.000 habitantes e que responderam ao questionário do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referente ao ano de 2018: Medianeira (PR), Sengés (PR), Fraiburgo (SC), São Bento do Sul (SC), Tubarão (SC), Capão da Canoa (RS), Esteio (RS) e Não-Me-Toque (RS). Os dados utilizados para cálculo dos indicadores foram extraídos das seguintes bases: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Águas Pluviais (SNIS-AP, 2019), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Resíduos Sólidos (SNIS-RS, 2019), Hidroweb (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2020), Perfil dos Municípios Brasileiros (MUNIC) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2017), Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID, 2018), ordenamento jurídico e Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)/Plano Diretor de Macrodrenagem (PDM) dos municípios. O ano base das informações foi 2018.

2.2 Agregação e Ponderação

Muitas são as metodologias de ponderação de indicadores para construção de um indicador composto. Para atingir os objetivos da pesquisa identificaram-se três métodos distintos de ponderação: um com ponderação homogênea (Média Aritmética – MA) e dois com ponderação sob variação, sendo um método de análise multicritério com ponderação não dependente dos dados (Processo de Análise Hierárquica – PAH) e outro um método de análise multivariada com ponderação dependente dos dados (Análise de Componentes Principais – ACP), que não necessitam obrigatoriamente da avaliação de um grupo de especialistas para serem testadas.

A agregação foi realizada por aspecto temático, de forma que foram desenvolvidos cinco indicadores compostos a partir dos indicadores simples. A disposição dos indicadores compostos se deu da seguinte forma: Indicador Composto Econômico (ICE), Indicador Composto Institucional I (ICI I), Indicador Composto Institucional II (ICI II), Indicador Composto Social (ICS) e Indicador Composto Ambiental (ICA).

Para a área institucional, foi necessário o desenvolvimento de dois indicadores compostos para que fosse possível a aplicação do método PAH, uma vez que esse tem como limitação o número máximo de dez indicadores simples em sua formulação e o conjunto de indicadores institucional simples possui 19 indicadores simples para o aspecto institucional. Dessa forma, o Indicador Composto Institucional I (ICI I) é composto por indicadores simples relacionados aos aspectos legais e recursos humanos (II01, II02, II03, II04, II05, II06, II07, II08, II18 e II19), enquanto o

Indicador Composto Institucional II (ICI II) é composto por indicadores institucionais relacionados à infraestrutura (II09, II10, II11, II12, II13, II14, II15, II16 e II17).

Na ponderação dos indicadores simples, os quais compõem os indicadores compostos, são atribuídos pesos a cada indicador simples, nesse caso, a importância de cada indicador simples no Indicador Composto temático. Foram aplicados os três métodos distintos de ponderação, que não necessitam obrigatoriamente da avaliação de um grupo de especialistas: Média Aritmética, Processo de Análise Hierárquica e Análise de Componentes Principais, detalhados a seguir.

2.2.1 Média Aritmética

O método de ponderação por média aritmética é um método de ponderação homogênea onde cada indicador simples tem o mesmo peso. O peso dos indicadores simples pode variar por indicador composto, uma vez que cada indicador composto pode possuir números de indicadores simples distintos em sua agregação. A soma dos pesos dos indicadores simples de cada indicador composto, no entanto, deve ser a mesma: 1 (Equação 1).

$$I_{composto} = \Sigma\left(IP_i * W\right) = IP_1 * W + IP_2 \cdots . + IP_n * W = 1 \quad (1)$$

em que: $I_{composto}$ é indicador composto, *IPi* é o indicador simples normalizado e *W* é o peso de cada indicador simples – idêntico para todos os indicadores simples que compõem um mesmo indicador composto.

2.2.2 Processo de Análise Hierárquica (PAH)

Este método de tomada de decisão, a partir de vários critérios, foi proposto por Saaty em 1977. Ele reduz o problema de tomada de decisão, utilizando comparações par-a-par dos indicadores simples. As comparações par-a-par, para esse método, são, em muitos trabalhos, realizadas por especialistas. Neste trabalho, foram realizadas pelos autores com base em revisão da literatura, sem auxílio de especialistas. Utilizou-se essa definição devido a esse trabalho ter adotado como pressuposto que métodos de ponderação de indicadores compostos baseados na opinião de especialistas ou da sociedade envolvem elevado grau de subjetividade, além da dificuldade em receber um número suficiente de respostas. Cabe destacar que a determinação dos pesos é extremamente complexa, pois é impossível dissociá-la da subjetividade, intrínseca na opinião pessoal. Dito isso, Zonenzein (2007), que também realizou as comparações par-a-par sem o auxílio de especialistas, assim como nas demais etapas de desenvolvimento de um indicador, afirma que é fundamental que o método de ponderação seja compreensível a quem interpreta os resultados dos indicadores, além da necessidade de possuir uma base teórica ou raciocínio lógico que garanta credibilidade e aceitação na atribuição de pesos. As comparações utilizam uma escala própria, definida por Saaty, constituída de nove divisões que indicam o grau de importância de um critério em relação a outro, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Escala de preferência relativa.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
Menos Importante					Mais Importante			

Fonte: Saaty (1977).

O método PAH foi desenvolvido em seis etapas principais, apresentadas a seguir.

1. Inicialmente foi estruturada a hierarquia de decisão, sendo criada uma matriz de avaliação de *n* x *n*, onde *n* é número de indicadores simples a serem avaliados;
2. Em seguida foi estabelecido o conjunto de todos os julgamentos na matriz de comparação na qual o conjunto de elementos é comparado a si mesmo usando a escala de preferência relativa apresentada na Tabela 1. Os julgamentos par-a-par, neste trabalho, foram realizados pelos autores com base em revisão da literatura, sem auxílio de especialistas;
3. Para fins de normalização dos resultados das comparações, os resultados foram divididos pela soma das colunas;
4. Para concluir a parte correspondente a ponderação, foi calculada a média dos valores de cada linha, sendo este resultado o valor do peso de cada indicador simples;
5. Após a ponderação de cada indicador, foi iniciada a avaliação de consistência. Para que o julgamento dos pesos seja consistente, foi preciso, primeiramente, determinar o parâmetro λ (autovalor principal) (Equação 2).

$$\lambda_{máx} = \Sigma_{i=1}^{j} M_i * S_i \quad (2)$$

Sendo que: λ*máx* é autovalor principal; *Mi* é a média da linha correspondente ao i-*ésimo* critério; *Si* é a soma da coluna correspondente ao i-*ésimo* critério e *j* é o número total de critérios;

6. Com o autovalor principal determinado, foi verificada a consistência dos julgamentos no Índice de Consistência (*IC*) (Equação 3) e no Grau de Consistência (*GC*) (Equação 4). Para o cálculo do GC são necessários os valores do Índice de Consistência Aleatório, que consiste em um valor que é função do número de indicadores (*n*) (Tabela 2). Para haver coerência nessa consistência, de acordo com Saaty (1980), o Grau de Consistência aceito deve ser de até 0,1, ou seja, 10%.

$$IC = \left(\lambda_{máx} - n\right) \Big/ \left(n-1\right) \quad (3)$$

Sendo que: $\lambda_{máx}$ é autovalor principal e n é o número total de critérios.

$$GC = IC \Big/ ICA \quad (4)$$

Sendo que: *GC* é o Grau de Consistência e *ICA* é o Índice de Consistência Aleatório.

Tabela 2 – Valoração do Índice de Consistência Aleatória conforme número de indicadores.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Fonte: Saaty (1980).

Com a ponderação dos indicadores simples obtida pelo método em questão, foram calculados os Indicadores Compostos (Equação 5).

$$I_{composto} = \Sigma\left(IP_i * W_i\right) = IP_1 * W_1 + IP_2 * W_2 + \cdots + IP_n * W_n \quad (5)$$

Sendo que: $I_{composto}$ é indicador composto, *IPi* é o indicador simples normalizado, a ser agrupado, e *Wi* é o peso de cada indicador simples.

2.2.3 Análise dos Componentes Principais (ACP)

O método de ponderação por ACP, assim como o PAH, é um método de ponderação sob variação onde os indicadores simples possuem pesos distintos. Para a aplicação desse método foram utilizados os dados referentes aos municípios. O software utilizado foi o *Statística 10*.

Inicialmente foi gerada uma matriz de correlação através de estatística básica, utilizando os dados dos municípios selecionados, o que possibilitou observar a importância das variáveis entre si e o grau em que estão correlacionadas. Em seguida, foi aplicada a ACP que gera, além de outros resultados, a matriz de autovetores e a variância expressa por cada componente principal. É esperado que o Componente 1 tenha maior variância, de forma que seus autovetores são as ponderações utilizadas para equação do indicador composto. A fim de evitar problemas com pesos negativos, comuns na ACP, foram calculadas as comunalidades (quantidades das variâncias (correlações) de cada variável explicada pelos fatores), de forma que todas as ponderações se tornassem positivas.

Com a ponderação dos indicadores simples obtida pelo método em questão, foram calculados os indicadores compostos. A descrição equacional do método é apresentada na Equação 6, em que $I_{composto}$ é o indicador simples, *IPi* é o indicador simples normalizado e *Wi* é o peso de cada indicador simples (autovalor).

$$I_{composto} = \Sigma\left(IP_i * W_i\right) = IP_1 * W_1 + IP_2 * W_2 + \cdots . + IP_n * W_n \quad (6)$$

2.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade nesse estudo explora o efeito de duas principais incertezas associadas à construção dos indicadores temáticos em estudo: (1) método de ponderação; e (2) variabilidade na quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto, uma vez que quando não houve o dado disponível para seu cálculo o indicador simples foi desconsiderado.

2.3.1 Método de ponderação

Para avaliar a sensibilidade decorrente do método de ponderação adotado, procedeu-se com a variação do peso de um indicador simples mantendo-se os demais iguais. Os diferentes pesos em função do número de indicadores são sintetizados e generalizados pela Equação 7. Essa equação determina o vetor de pesos, cujo somatório deve ser 1.

$$w + \Sigma_1^{ni-1}\left[\frac{(1-w)}{ni-1}\right] = 1 \quad (7)$$

em que: *w* é peso decimal atribuído ao indicador (*w* = 0,1 a 0,5, com intervalo de 0,1) e *ni* é o número total de indicadores simples.

Para a realização dessa análise, o cenário comparativo utilizado foi a ponderação original obtida para cada um dos três métodos de ponderação, o qual foi denominado de cenário homogêneo (CH). Os cenários sistematicamente ponderados foram obtidos pela distribuição da ponderação para o indicador simples sob variação e para os demais indicadores simples que compõem o indicador composto, de modo a somarem sempre 1. A variação dos pesos é arbitrária, de forma que se optou por variar os pesos dos indicadores simples sob variação num intervalo de unidade decimal.

Após os pesos serem atribuídos a todos os indicadores simples, obteve-se um conjunto ponderado de *n* indicadores vezes *p* pesos, utilizando os dados dos municípios. A partir desse conjunto, foi realizada a análise de sensibilidade, obtida pela correlação entre um cenário homogêneo e os demais cenários ponderados sistematicamente.

A sensibilidade foi testada nos indicadores simples, considerando as peculiaridades intrínsecas a cada um – conforme descrito na Tabela 3 –, totalizando cinco avaliações de sensibilidade relativas ao tipo de ponderação. Nessa análise de sensibilidade é desejável que o método de ponderação seja sensível a alterações nos pesos dos indicadores simples, permitindo assim, diferenciar situações. Por esse motivo, foram selecionados para essa análise, indicadores simples que representassem características distintas frente aos métodos de ponderação em avaliação, referentes aos ICI II e ICS. Os indicadores simples que compõem estes indicadores compostos foram escolhidos devido à ausência de dados para cálculo de alguns dos indicadores simples que compunham os demais indicadores compostos, o que poderia gerar interferências nos resultados.

Tabela 3 – Indicadores selecionados para análise de sensibilidade em relação ao método de ponderação.

Indicador simples	Peculiaridade (critério)
II09	Resultados variados e ponderação elevada por PAH e ACP
II11	Ponderação reduzida por PAH e ACP
II15	Ponderação elevada por PAH e reduzida por ACP
IS01	Resultados variados e ponderações similares
IS03	Resultados variados, ponderação elevada por PAH e reduzida por ACP

2.3.2 Variabilidade na quantidade de indicadores simples

Para avaliar a sensibilidade decorrente da variabilidade da quantidade de indicadores simples, procedeu-se com a variação do número de indicadores simples que compõem o indicador composto. Para essa análise, avaliou-se a correlação entre os resultados do mesmo indicador composto, considerando a redução do número de indicadores simples que compõem o mesmo.

O ICI II foi utilizado nesse teste por possuir todos os indicadores calculados para todos os municípios. Especificamente, foram realizadas simulações com indicadores simples específicos, conforme critérios apresentados na tabela a seguir. No total foram testados cinco arranjos. Diferentemente da análise de sensibilidade relacionada ao método de ponderação, nessa análise de sensibilidade é desejável reduzida sensibilidade em relação à variabilidade de indicadores simples, quando da ausência de dados.

Tabela 4 – Teste realizados para análise de sensibilidade em relação à variabilidade da quantidade de indicadores simples.

Teste	Característica	Critério
Teste 1 (T1)	Desconsiderado o indicador II09	Resultados variados e ponderação elevada por PAH e ACP
Teste 2 (T2)	Desconsiderado o indicador II11	Ponderação reduzida por PAH e ACP
Teste 3 (T3)	Desconsiderado o indicador II15	Ponderação elevada por PAH e reduzida por ACP
Teste 4 (T4)	Desconsiderado o indicador II09 e II11	Exclusão de dois indicadores simples
Teste 5 (T5)	Desconsiderado o indicador II09, II11 e II15	Exclusão dos três indicadores simples

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ponderação

Inicialmente são apresentados os resultados das ponderações pelos três métodos estudados para a etapa da formulação dos indicadores compostos: Média Aritmética, Processo de Análise Hierárquica (PAH) e Análise dos Componentes Principais (ACP). Na Tabela 5, são apresentados os pesos para cada indicador, conforme método de ponderação.

Tabela 5 – Ponderação dos indicadores por método testado.

Indicador simples	Média Aritmética	Processo de Analítica Hierárquica (PAH)	Análise dos Componentes Principais (ACP)
IE01	0,250	0,290	N.C.
IE02	0,250	0,090	N.C.
IE03	0,250	0,570	N.C.
IE04	0,250	0,040	N.C.
II01	0,100	0,045	N.C.
II02	0,100	0,071	N.C.
II03	0,100	0,018	N.C.
II04	0,100	0,040	0,158
II05	0,100	0,120	N.C.
II06	0,100	0,083	N.C.
II07	0,100	0,088	0,185
II08	0,100	0,181	0,285
II18	0,100	0,327	0,096
II19	0,100	0,027	0,275
II09	0,111	0,138	0,288
II10	0,111	0,138	0,288
II11	0,111	0,021	0,035
II12	0,111	0,092	0,176
II13	0,111	0,067	0,067
II14	0,111	0,032	0,056
II15	0,111	0,252	0,006
II16	0,111	0,232	0,055
II17	0,111	0,028	0,030
IS01	0,100	0,136	0,233
IS02	0,100	0,121	0,002

continua...

Tabela 5 – Continuação...

Indicador simples	Média Aritmética	Processo de Analítica Hierárquica (PAH)	Análise dos Componentes Principais (ACP)
IS03	0,100	0,153	0,174
IS04	0,100	0,043	0,129
IS05	0,100	0,016	0,057
IS06	0,100	0,034	N.C.
IS07	0,100	0,070	0,208
IS08	0,100	0,070	0,138
IS09	0,100	0,021	0,003
IS10	0,100	0,336	0,055
IA01	0,111	0,018	0,005
IA02	0,111	0,244	0,056
IA03	0,111	0,290	N.C.
IA04	0,111	0,062	0,294
IA05	0,111	0,055	0,302
IA06	0,111	0,122	0,276
IA07	0,111	0,031	0,066
IA08	0,111	0,139	0,000
IA09	0,111	0,040	N.C.

N.C.: Não utilizado para cálculo da ponderação.

A ponderação pelo método de ACP foi comprometida por: 1) ausência de algumas informações para cálculo dos indicadores simples; e 2) um mesmo indicador simples apresentar o mesmo resultado para todos os municípios (o que inviabiliza a ACP devido ao desvio padrão ser nulo). A ACP para o ICE foi totalmente comprometida, dessa forma, não foram obtidos resultados de ponderação por ACP para este indicador composto. Já os ICI I, ICS e ICA tiveram suas ponderações parcialmente comprometidas, conforme pode ser observado na Tabela 6. A OECD (2008), apresenta uma sequência de etapas para desenvolver e divulgar um indicador composto, entre as quais está a etapa "Estimação de dados ausentes" o que poderia eliminar uma das lacunas observadas para o método de ACP, no entanto Baum e Goldenfum (2021), indicam que a ausência de uma base de dados confiáveis relacionados às águas pluviais é um dos maiores gargalos na formulação de ferramentas baseadas em indicadores, o que impacta diretamente no preenchimento de dados ausentes.

Tabela 6 – Quantificação dos indicadores simples ponderados pela ACP.

	ICE	ICI I	ICI II	ICS	ICA
Número total de indicadores	4	10	9	10	9
Número de indicadores ponderados	*	5	9	9	7

Apesar das vantagens da ACP, como a não necessidade da opinião de especialistas, de acordo com a OECD (2008), este método apresenta como desvantagens a sensibilidade a modificações de dados básicos: revisões e atualizações de dados podem alterar o conjunto de pesos usados no indicador composto, sensibilidade à presença de valores discrepantes, problemas com amostras pequenas e com indisponibilidade de dados. Outra desvantagem desse método está associada a indicadores simples que compõem um mesmo indicador composto com valores muito próximos para todos os municípios: esses indicadores simples vão possuir um peso menor e isso não necessariamente quer dizer que o aspecto seja menos importante. Esses aspectos são ainda mais críticos considerado o contexto da realidade brasileira, onde as implicações da dependência estatística para aplicação da ACP se ampliam em decorrência das bases de dados limitadas. Os componentes principais são usados para descobrir e interpretar as dependências que existem entre as variáveis, e para examinar as relações que possam existir entre os indivíduos, de forma que um dado faltante pode afetar diretamente o peso de todos os demais e produzir um resultado que não necessariamente reflete a realidade.

A aplicação dos indicadores compostos nos municípios, para cada aspecto temático, considerou os valores ponderados apresentados na Tabela 5. Os resultados

da aplicação são apresentados na Figura 1. No caso do cálculo dos indicadores compostos pelo método ACP, foram utilizados apenas os indicadores utilizados para cálculo da ponderação, condição que evidenciou ainda mais as limitações inerentes à aplicação desse método para ponderação de indicadores.

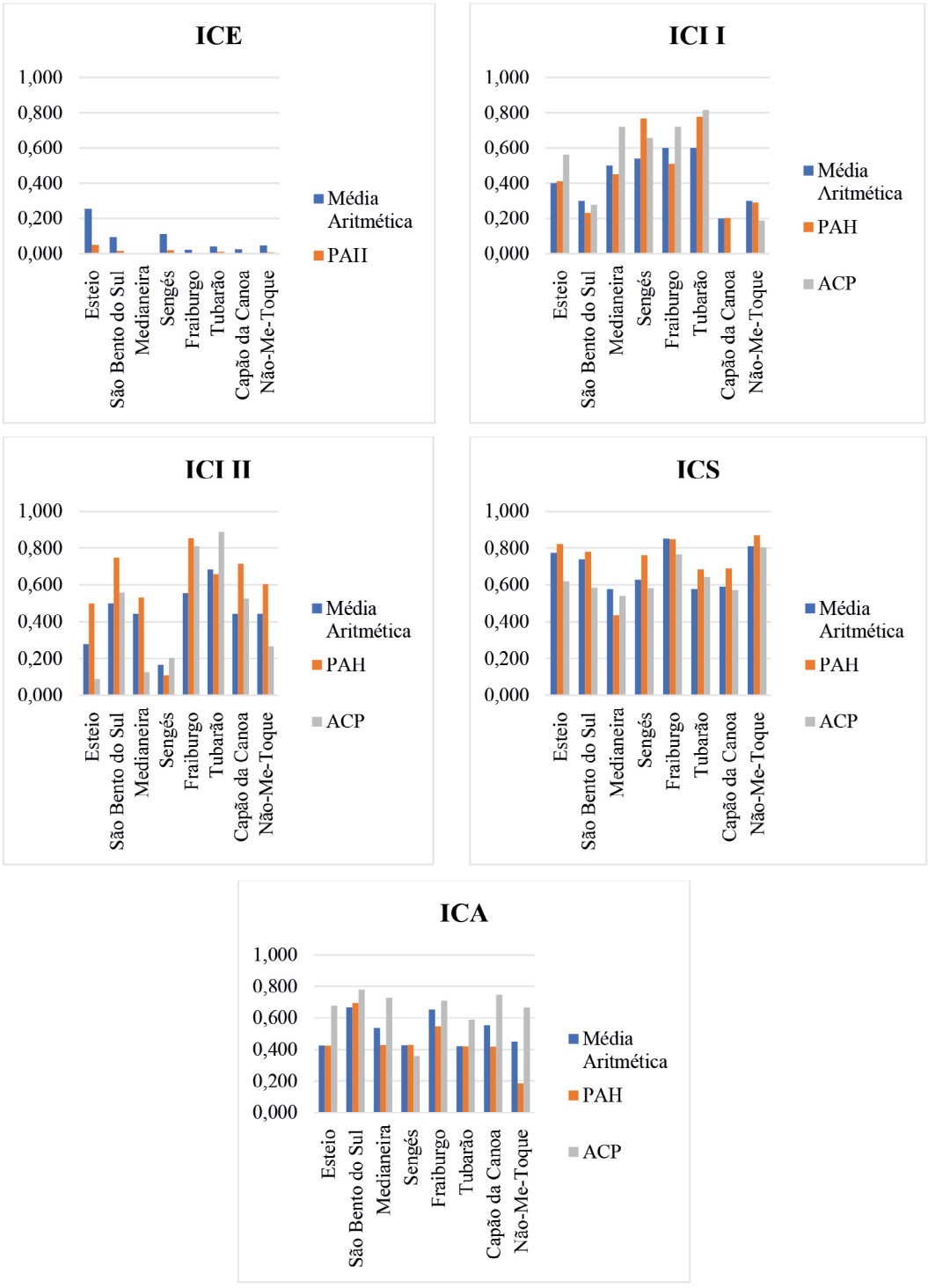

Figura 1 – Resultados dos indicadores compostos, por município, para cada método de ponderação testado.

Para o ICA os maiores resultados, na maioria dos municípios, foram obtidos pela ponderação pelo método da ACP. Esse resultado foi ocasionado pela combinação de ponderação elevada pelo método ACP para indicadores que possuíam resultados próximos a 1, elevando assim o resultado final por esse método para o ICA. Já no caso do ICI II, os maiores resultados foram obtidos pela ponderação PAH, por motivo semelhante ao observado no caso anterior.

A relação entre os resultados da aplicação dos indicadores compostos nos municípios a partir dos diferentes métodos de ponderações é apresentado na Tabela 7. Todos os resultados foram positivos, com exceção da correlação PAH x ACP para o ICA, e não foi registrada nenhuma correlação fraca. As correlações mais fortes foram obtidas para o ICI I.

Tabela 7 – Correlação linear entre os resultados da aplicação dos indicadores compostos desenvolvidos a partir de diferentes métodos de ponderação.

Indicador composto	Correlação		
	Média X PAH	Média x ACP	PAH X ACP
ICE	0,994	-	-
ICI I	0,876	0,965	0,833
ICI II	0,805	0,811	0,651
ICS	0,785	0,756	0,676
ICA	0,717	0,642	0,271

3.2 Análise de sensibilidade

Os resultados da análise de sensibilidade são apresentados de acordo com a incerteza em análise: (1) tipo de ponderação; e (2) variabilidade na quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto.

3.2.1 Análise de sensibilidade – Tipo de Ponderação

Para avaliar a sensibilidade atrelada aos diferentes métodos de ponderação, foram atribuídas as ponderações dos cenários (C1 a C5) para os indicadores simples: II09 (Cadastro do sistema de macrodrenagem), II11 (Cursos d'água com monitoramento fluviométrico), II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais) – referentes ao Indicador Composto Institucional II, IS01 (Áreas de risco) – e IS03 (População impactada por eventos) – referentes ao Indicador Composto Social – e, posteriormente, realizada a análise de correlação com o respectivo resultados do indicador composto, por município, para cada método de ponderação testado, tratado como cenário homogêneo (CH) nessa análise.

Os resultados das correlações são apresentados nas Tabela 8 e Tabela 9 e na forma gráfica na Figura 2 e na Figura 3. Nessas figuras cada curva representa a distribuição dos valores de correlação à medida que se alteram os pesos atribuídos aos indicadores para um método de ponderação.

Tabela 8 – Correlação do cenário homogêneo x cenários ponderados – II09, II11 e II15.

Cenário	Indicador Composto Institucional II – ICI II								
	Correlação II09			Correlação II11			Correlação II15		
	Média	PAH	ACP	Média	PAH	ACP	Média	PAH	ACP
C1	1,000	0,998	0,994	1,000	0,990	0,997	0,999	0,946	0,988
C2	0,989	0,997	0,999	0,974	0,945	0,976	0,953	0,983	0,942
C3	0,962	0,980	1,000	0,896	0,864	0,935	0,799	0,992	0,856
C4	0,931	0,957	0,999	0,796	0,757	0,876	0,610	0,991	0,739
C5	0,901	0,931	0,997	0,696	0,641	0,802	0,445	0,985	0,607

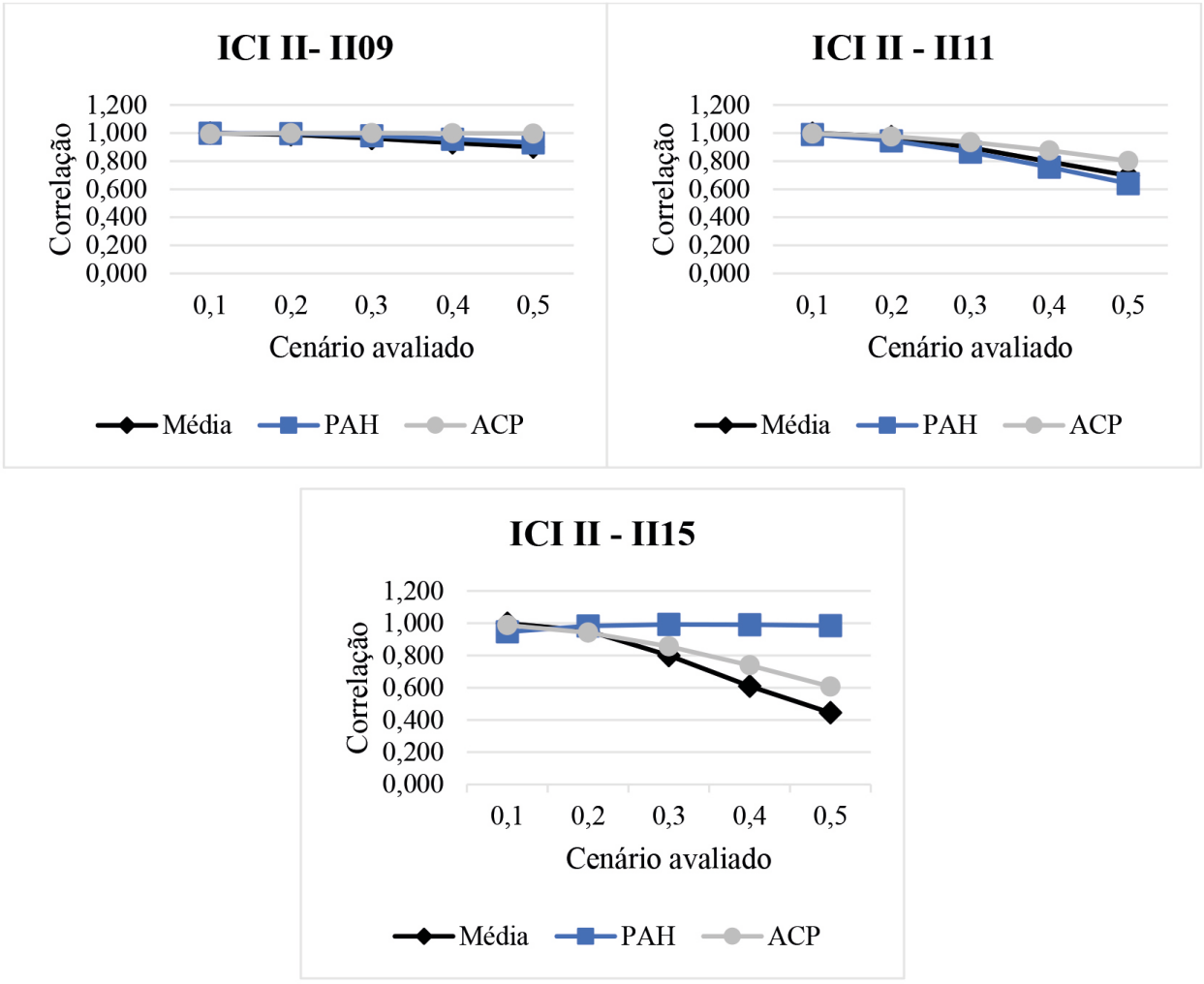

Figura 2 – Distribuição dos valores de correlação para os indicadores simples II09, II11 e II15 submetidos a variação conforme metodologia de ponderação.

Como é possível observar, para o ICI II, o método que apresentou maior sensibilidade a alterações nas ponderações foi a média aritmética. O método PAH apresentou sensibilidade elevada nas análises dos indicadores II09 (Cadastro do sistema de macrodrenagem) e II11 (Cursos d'água com monitoramento fluviométrico), nos quais os pesos eram mais semelhantes aos pesos para esse mesmo indicador ponderado pelo método de ACP. Contudo, o método PAH apresentou baixa sensibilidade na análise do indicador II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais), onde a ponderação por PAH é elevada e por ACP é reduzida. Nesse mesmo indicador é observada a maior sensibilidade pelo método ACP, porém, inferior à sensibilidade pelo método da média aritmética.

Para o Indicador Composto Social (ICS), o método que apresentou maior sensibilidade a alterações nas ponderações foi o método de PAH, enquanto o método que apresentou menor sensibilidade foi o da média aritmética (Tabela 9, Figura 3).

Tabela 9 – Correlação do cenário homogêneo x cenários ponderados – IS01 e IS03.

Cenário	Indicador Composto Social					
	Correlação IS01			Correlação IS03		
	Média	PAH	ACP	Média	PAH	ACP
C1	1,000	0,979	0,896	1,000	0,998	0,993
C2	0,971	0,944	0,991	0,999	0,998	0,999
C3	0,925	0,766	0,955	0,995	0,968	0,975
C4	0,883	0,617	0,746	0,991	0,861	0,916
C5	0,849	0,516	0,513	0,986	0,614	0,823

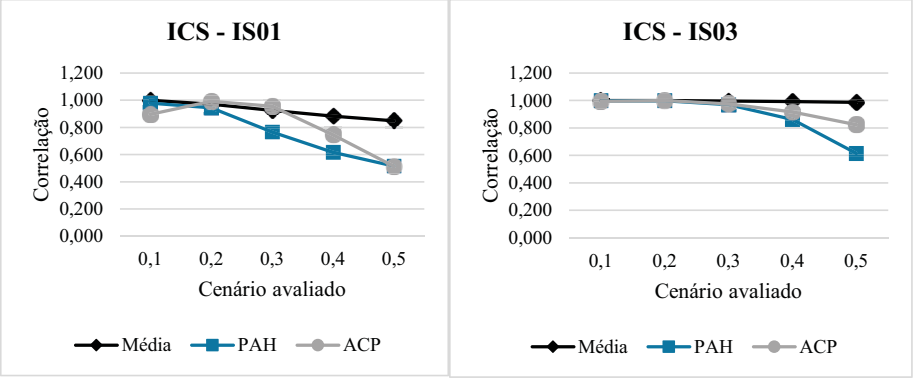

Figura 3 – Distribuição dos valores de correlação para os indicadores simples IS01 e IS03 submetidos a variação conforme metodologia de ponderação.

O método de ACP apresentou sensibilidade elevada na análise do indicador IS01 (Áreas de risco). A sensibilidade verificada para as ponderações pelos métodos da média aritmética e PAH para o indicador IS03 (População impactada por eventos) foi inversa à apresentada na análise do II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais) (o qual apresenta características de ponderação semelhante–- elevada por PAH e reduzida por ACP). Cabe atentar que os comportamentos para ambas as ponderações para os dois indicadores (IS01 e IS03) demostraram comportamentos relativamente similares, apesar das ponderações apresentarem características distintas (Figura 3).

Quando comparados os resultados dos indicadores IS03 (População impactada por eventos) e II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais) (ambos possuem ponderação elevada pelo PAH e reduzida pelo método da ACP), é possível observar que o comportamento da curva de ACP é similar, apesar das correlações do IS03 serem mais fortes. Já o comportamento das curvas de correlações de PAH e média aritmética apresentam comportamento inverso.

Outro aspecto a destacar é que, para todos os indicadores analisados, para o método da média aritmética, a maior correlação sempre está na ponderação 0,1. Isso se deve ao fato de que a ponderação pelo método da média aritmética é de 0,11 para o ICI II e de 0,10 para o ICS, representado assim o cenário muito próximo ou igual ao cenário homogêneo.

Por meio da análise de sensibilidade, pode-se observar distintos comportamentos dos métodos de ponderação. O método da ACP, apesar de apresentar alta sensibilidade no indicador IS01 (Áreas

de risco), para os demais indicadores, esse método apresentou sensibilidade mediana ou reduzida. O método de ponderação pela média aritmética apresentou maior sensibilidade para os indicadores institucionais, quando comparado aos demais métodos de ponderação, porém foi o método que apresentou menor sensibilidade para os indicadores sociais. O método de PAH apresentou elevada sensibilidade para todos os indicadores quando comparado aos demais métodos, com exceção do indicador II15 (Limpeza e desobstrução de galerias e canais). Considerando que é desejável que o método de ponderação seja sensível a alterações nos pesos dos indicadores simples, permitindo assim, diferenciar situações, o método de PAH foi o que apresentou melhores resultados quanto à sensibilidade.

3.2.2 Análise de sensibilidade – Quantidade de indicadores

A sensibilidade atrelada à quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto foi testada no ICI II. Foram testados cinco arranjos, conforme descritos na metodologia. Os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Correlação entre o resultado original e os arranjos testados.

Métodos de ponderação	Arranjos testados				
	T1	T2	T3	T4	T5
Média	0,971	0,428	0,950	0,941	0,916
PAH	0,971	0,999	0,857	0,970	0,904
ACP	0,992	0,999	1,000	0,987	0,987

Esta análise de sensibilidade indicou que a média aritmética é o método mais sensível à ponderação, enquanto o método menos sensível é a ACP. O método de PAH também apresentou baixa sensibilidade à redução no número de indicadores, porém, mais sensível que o método de ACP. A análise comprovou que, quando o indicador desconsiderado no arranjo possui ponderação reduzida – por ACP e PAH – na formulação do indicador composto, o resultado do indicador composto é pouco alterado – para ACP e PAH –, como observado no T2, em que só o método da média aritmética apresentou sensibilidade, sendo elevada. Já no T4, em que os indicadores desconsiderados no arranjo possuem ponderação reduzida – por ACP e PAH – na formulação do indicador composto II11 (Cursos d'água com monitoramento fluviométrico) e ponderação elevada – por PAH e ACP – na formulação do indicador composto II09 (Cadastro do sistema de macrodrenagem), a média não apresentou sensibilidade tão elevada, mesmo assim, superior aos dos demais métodos. Comportamento muito semelhante é observado quando da exclusão apenas do indicador II9 (T1).

3.3 Considerações gerais sobre indicadores compostos

A comparação entre métodos permitiu avaliar as diferenças entre os pesos calculados em cada método e verificar se métodos de ponderação mais complexos (PAH e ACP) apresentam diferenças significativas quando comparado ao método de ponderação menos complexo (Média Aritmética). Na Tabela 11 são apresentadas as vantagens e limitações identificadas para cada método de ponderação testado para o cálculo dos indicadores compostos propostos, identificadas ou confirmadas, com fins de suporte para gerenciamento de águas pluviais urbanas.

As análises de sensibilidade quanto ao método de ponderação sugerem que o método com maior sensibilidade é o PAH. Já em relação à sensibilidade quanto à variabilidade na quantidade de

indicadores simples para cálculo do indicador composto, verificou-se que, quando o indicador indisponível possui reduzido peso, o impacto provocado no resultado é reduzido e o método da ACP apresentou sensibilidade muito reduzida à indisponibilidade de indicadores, o que, nesse caso, é um aspecto negativo. Apesar da análise de sensibilidade ter fornecido resultados importantes, a limitação gerada pela ausência de resultados de alguns indicadores simples reduziu a ampliação dos testes para outros indicadores.

O método da média aritmética é mais adequado quando os indicadores simples que compõem o indicador composto ou índice têm importância similar na resposta desse indicador composto ou índice e quando há uma elevada garantia de que a quantidade de indicadores simples que formam o indicador composto ou índice não irá variar, uma vez que este método apresentou elevada sensibilidade à quantidade de indicadores simples para cálculo do indicador composto. No caso de indicadores compostos/índices para águas pluviais urbanas, em que não há uma base de dados consolidada, esse método, mesmo sendo o de mais fácil ponderação e desagregação, pode não resultar em resultados que reflitam a realidade.

A ponderação por ACP apresentou sensibilidade reduzida no caso de ausência de resultado de algum indicador simples, no entanto, devido a ser um método totalmente dependente dos dados, essa informação pode mascarar algum resultado. Ademais, esse método se mostrou inadequado nessa análise, também, quando o resultado de um mesmo indicador composto for o mesmo para todas as variáveis, o desvio padrão é zero e, por esse motivo, o indicador não é considerado na análise. Esse método é o mais complexo dentre os três analisados, e não é possível sua desagregação. É importante que o tomador de decisão compreenda como os indicadores compostos/índices foram formulados, para que sua decisão seja mais assertiva.

Tabela 11 – Vantagens e limitações dos métodos de ponderação testados.

Método de ponderação	Vantagens	Limitações
Média Aritmética	Elevada sensibilidade à variabilidade da quantidade de indicadores simples que compõe o indicador composto, fácil compreensão, ponderação independente de dados/amostras, fácil desagregação.	Não diferenciação da importância inerente a cada indicador.
Processo de Análise Hierárquica	Fácil compreensão, ponderação independente de dados/amostras, elevada sensibilidade à alterações na ponderação, fornece uma medida da inconsistência nas respostas do atribuidor de nota.	Limite de indicadores para construção do indicador composto, desagregação complexa, ponderação dependente do analista.
Análise de Componentes Principais	Não depende de opiniões de especialista para atribuição dos pesos.	Ponderação dependente dos dados[1] sensibilidade reduzida à ausência de indicadores, compreensão complexa, desagregação complexa, sensível a modificações de dados básicos.

[1] Nesse estudo em específico, essa característica é limitante, devido à indisponibilidade de alguns dados e a amostra ser reduzida.

Apesar da análise por PAH ter apresentado um bom desempenho quando realizada uma análise global dos resultados, deve-se destacar a limitação que esse mesmo método apresenta quanto a quantidade de indicadores simples que o compõe, para que seja validada a consistência dele. Nesse estudo foi possível a divisão dos indicadores simples institucionais em dois indicadores compostos, no entanto, esse pode ser um fator limitante em alguns casos.

4 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo explorar os impactos de diferentes métodos de ponderação na determinação de pesos e as incertezas associadas

para o cálculo de indicadores compostos e índices relacionados às águas pluviais urbanas.

Os resultados indicaram que o método que se apresentou mais adequado foi o de PAH, mesmo diante das limitações. A não dependência dos dados para atribuição dos pesos é um fator importante na adoção de um método de ponderação quando se trata de águas pluviais urbanas no Brasil, haja visto a confiabilidade reduzida dos dados disponíveis sobre essa temática a nível nacional. Outro fator que contribuiu para que o PAH se apresentasse como mais apropriado para ponderação de indicadores compostos de águas pluviais foi a ponderação sob variação, uma vez que, no caso dos indicadores simples agregados, alguns destes têm potencial de orientar um tomador de decisões muito mais que outros.

Apesar do PAH não ser o método de mais fácil compreensão, cálculo e desagregação dentre os métodos estudados, no caso dos indicadores compostos avaliados nesse estudo, a ponderação por média aritmética não se apresenta adequada devido aos níveis de importância dos indicadores simples que compõem o indicador composto possuírem muita variação, o que pode mascarar os resultados.

Quando da determinação de qual metodologia de ponderação será utilizada e indicador composto/índice relacionado a águas pluviais, é determinante a avaliação da disponibilidade e confiabilidade dos dados, a avaliação do nível de importância dos indicadores simples (se é semelhante ou se há elevada variabilidade) e a disponibilidade de profissional capacitado para aplicação do método de ponderação.

5 AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece a concessão da bolsa de estudos pela agência brasileira Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Baum CAB, Goldenfum, J; **Metodologia**: Baum CAB; **Investigação**: Baum CAB; **Redação – Revisão & Edição**: Baum CAB, Goldenfum, J; **Supervisão**: Goldenfum, J.

7 REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Hidroweb**, [*S. l.*], 2020. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 20 out. 2020.

ARAÚJO, D. C. *et al.* Multicriteria analysis applied to the management of urban pluvial waters. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 22, 2017. https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716006

BAUM, C. A.; GOLDENFUM, J. A. Indicadores e índices para o gerenciamento de águas pluviais urbanas no Brasil : situação atual e oportunidades de evolução. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [*s. l.*], v. 18, n. 21, 2021. https://dx.doi.org/10.21168/rega.v18e21

BAUM, C. A.; GOLDENFUM, J. A. Indicadores de suporte ao gerenciamento municipal das águas pluviais urbanas no Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, Coyoacán, v. 16, n. 3, p. 987-1012, 2023. https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2023.16.3.83749

BERTILSSON, L. *et al.* Urban Flood Resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 573, p. 970-82, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.052.

CASTRO, L. M. A.; BAPTISTA, M. B.; CORDEIRO NETTO, O. M. Análise Multicritério para a a evolução dos sistemas de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 5-19, 2004.

COLOMBELLI, K. **Serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas: avaliação do contexto brasileiro e da adaptabilidade de práticas norte-americanas para a proposição de melhorias institucionais e financeiras**. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ESTY, D. C. *et al.* **Environmental Sustainability Index. Benchmarking national environmental stewardship**. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. MUNIC - Suplemento de Saneamento Básico. **IBGE**, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasilia/pesquisa/10087/76819. Acesso em: 1º maio 2022.

JANNUZZI, P. de M. Considerações sobre o uso, mau uso e abuso dos indicadores sociais na formulação e avaliação de políticas públicas municipais. **RAP**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p. 51-72, 2002. Disponível em: https://saude.es.gov.br/Media/sesa/Descentralização/Jannuzzi_2012.pdf. Acesso em: 24 out. 2025.

JHA, A. K; BLOCH, R.; LAMOND. J. **Cidades e inundações**: um guia para a gestão integrada do risco de inundação urbana para o Século XXI. Um resumo para os formuladores de políticas. Washington: World Bank, 2012.

MENDONÇA, E. C.; SOUZA, M. A. A. Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. **Ingeniería del Agua**, Valencia, v. 23, n. 2, 2019. https://doi.org/10.4995/ia.2019.10214.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. A catchment scale integrated flood resilience index to support decision making in urban flood control design. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, [*s. l.*], v. 44, n. 5, p. 925-46, 2017. https://doi.org/10.1177/0265813516655799.

MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. Avaliação Multicritério de Sistemas de Drenagem Urbana. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [*s. l.*], v. 6, n. 1, p. 31-42, 2009. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=73&SUMARIO=866. Acesso em: 24 out. 2025.

MOURA, P. M.; BARRAUD, S.; BAPTISTA, M. B. Metodologia para avaliação de sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas – fase de concepção. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [*s. l.*], v. 7, n. 2, p. 5-16, 2010. https://doi.org/10.21168/rega.v7n2.p5-16

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Handbook on Constructing Composite Indicators**: Methodology and UserGuide. Geneva: OECD, 2008.

PEREIRA, C. *et al.* inundation risk index as an urban planning supportive tool. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, [*s. l.*], v. 8, n. 2, p. 235-51, 2020. https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0288.

QIAO, H.; PEI, J. Urban stormwater resilience assessment method based on cloud model and TOPSIS. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 1, 2022. https://doi.org/10.3390/ijerph19010038.

REZENDE, O. M. *et al.* Mapping the flood risk to socioeconomic recovery capacity through a multicriteria index. **Journal of Cleaner Production**, [*s. l.*], v. 255, e120251, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120251.

ROY, B. ELECTRE III: Un algorithme de rangement fondé sur une représentation floue de préférences en présence de critères multiples. **Cahiers du Centre d'Études de recherche opérationnelle**, [*s. l.*], v. 20, p. 3-24, 1978.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, [*s. l.*], v. 15, n. 3, p. 234-81, 1977. https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5.

SAM, S.; ÖZGER, M.. An integrated framework based on the analytical hierarchy process and auto-calibration of the storm water management model for implementing and assessing low impact development practices. **Natural Hazards**, [*s. l.*], v. 121, p. 12301-12326, 2025. https://doi.org/10.1007/s11069-025-07281-5

SCANDAR NETO, W. J. **Síntese que organiza o olhar**: uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses. 2006. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) – Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=234235&view=detalhes. Acesso em: 24 out. 2025.

SILVA DE BRITO, D. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

SNIS-AP – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO-ÁGUAS PLUVIAIS. **3° Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - 2018**. Brasília, DF: MCIDADES.SNSA, 2019.

SNIS-RS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO-RESÍDUOS SÓLIDOS. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2018**. Brasília, DF: MCIDADES.SNSA, 2019.

S2ID – SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES SOBRE DESASTRES. **Dados 2018**. [*S. l.: s. n.*], 2018. Disponível em: https://s2id.mi.gov.br/. Acesso em 20 out. 2020.

VERMA, P.; RAGHUBANSHI, A. S. Urban sustainability indicators: challenges and opportunities. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 93, p. 282-91, 2018. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.05.007.

VERÓL, A. P. *et al.*. The Urban River Restoration Index (URRIX) - A supportive tool to assess fluvial environment improvement in urban flood control projects. **Journal of Cleaner Production**, [*s. l.*], v. 239, e118058, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118058.

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2004. https://doi.org/10.1590/s1679-39512004000100002.

XUEQI, L.; LIU., Z. H.; JIAN Y.; SHI, L. Multi-dimension evaluation of rural development degree and its uncertainties: a comparison analysis based on three different weighting assignment methods. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 130, 2021. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108096.

ZONENSEIN, J. **Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.