



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA – PPGEM

ERMES FERREIRA COSTA NETO

**SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA
PRIORIZAÇÃO DA TROCA DE HIDRÔMETROS**

Recife, PE

2025

ERMES FERREIRA COSTA NETO

**SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA
PRIORIZAÇÃO DA TROCA DE HIDRÔMETROS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Engenharia de Materiais e Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves

Coorientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Moraes

Recife, PE

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Costa Neto, Ermes Ferreira.

Sistema de apoio a decisão para priorização da troca de hidrômetros / Ermes Ferreira Costa Neto. - Recife, 2025.
130f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, 2025.

Orientação: Kleber Gonçalves Bezerra Alves.

Coorientação: Danielle Costa Moraes.

Inclui referências e apêndices.

1. Perdas de água; 2. Submedição de hidrômetros; 3. Decisão multicritério. I. Alves, Kleber Gonçalves Bezerra. II. Moraes, Danielle Costa. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

ERMES FERREIRA COSTA NETO

SISTEMA DE APOIO A DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO DA TROCA DE
HIDRÔMETROS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de doutor em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 28/01/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Kleber Goncalves Bezerra Alves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a Dr^a Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Nathan Bezerra de Lima (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Rogério Pontes de Araújo (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Dedico esta tese às pessoas que foram a base e a força dessa caminhada.

À minha família, pelo amor incondicional e pelo apoio constante em cada etapa dessa jornada. Aos meus pais, Edleuza e Francisco Costa, por me ensinarem o valor do esforço, da resiliência e do conhecimento. Sem vocês, este sonho não teria se tornado realidade. Aos meus filhos, Letícia, Filipe e Miguel Costa, por compreenderem minhas ausências, por celebrarem comigo cada conquista e por serem minha maior motivação. Que este trabalho seja um exemplo de que, com perseverança e dedicação, qualquer sonho pode se tornar realidade. Cada página desta tese carrega um pouco do nosso caminho juntos, entre desafios, aprendizados e momentos de superação.

Ao meu orientador, Prof. Kleber, pela paciência, pelos ensinamentos e pelo apoio incondicional. Sua orientação foi essencial para que este trabalho ganhasse forma, e sou profundamente grato pela confiança e pelo incentivo ao longo do caminho. Obrigado por acreditar em mim e por compartilhar seu conhecimento com tanta generosidade.

À minha coorientadora, Profa. Danielle, pela sensibilidade, pelas contribuições valiosas e por sempre me guiar com sabedoria e carinho. Seu olhar atento e suas palavras de incentivo tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora. Agradeço o conhecimento repassado ao longo dos anos de acompanhamento do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, por estarem ao meu lado nos desafios, pelas palavras de incentivo e pelas pausas necessárias que tornaram essa jornada mais leve.

E, por fim, a todos aqueles que sonham e lutam pelo conhecimento, pois é na busca incessante pelo saber que transformamos o mundo.

A vocês, minha eterna gratidão.

“Eis porque a humanidade não se propõe nunca senão os problemas que ela pode resolver, pois, aprofundando a análise, ver-se-á sempre que o próprio problema só se apresenta quando as condições materiais para o resolver existem ou estão em vias de existir.” (MARX, K., 2008)

RESUMO

A alta taxa de crescimento urbano, a escassez de recursos hídricos e a poluição das águas superficiais e subterrâneas torna indispensável o controle e a redução de perdas de água e a melhoria da eficiência nos sistemas de abastecimento. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS de 2022 apontam que o índice de perdas na distribuição de água é de 60,1% no Recife/PE. Sendo que, mais da metade destas perdas, denominada de perdas aparentes de água, são ocasionadas por fraudes, falhas de cadastro e erros de medição de volume consumido devido a ineficiência ou submedição nos hidrômetros. Esses erros de medição, caso não sejam corrigidos no tempo adequado, podem comprometer o balanço hídrico e o faturamento de uma Companhia. Normalmente, as correções são realizadas com a troca dos hidrômetros antigos por novos, porém os custos são elevados e as Companhias não possuem recursos financeiros suficientes para trocar a totalidade de hidrômetros instalados nos seus sistemas de abastecimento de água. Neste cenário, os gestores precisam decidir quais os hidrômetros devem ser priorizados para a realização da troca. Entretanto, algumas dificuldades são encontradas nesse processo decisório, que levam em consideração diferentes critérios, os quais entram constantemente em conflitos entre si, e preferências, quanto a destinação de recursos e objetivos estratégicos da Companhia. No intuito de contribuir para o enfrentamento dessas dificuldades, esta tese tem por objetivo o desenvolvimento de sistema de apoio a decisão para priorização da troca de hidrômetros, que proporcione uma efetiva redução de perdas de água e, destarte, o aumento de faturamento, numa companhia estadual de saneamento. Para tal, o sistema deverá ser capaz de utilizar o método de tomada de decisão multicritério; analisar a confiabilidade metrológica (existência de erros de medição) de hidrômetros, por meio da calibração conforme determina a Portaria nº 246 do INMETRO; analisar um conjunto de dados do cadastro comercial dos clientes e do cadastro técnico de hidrômetros e de suas redes de distribuição de água, todos obtidos nos sistemas de informação da companhia; e analisar os resultados obtidos. De uma maneira geral, esse sistema surge para apoiar e facilitar o dia a dia do gestor.

Palavras-chave: Perdas de água; submedição de hidrômetros; e, decisão multicritério.

ABSTRACT

The high rate of urban growth, the scarcity of water resources and the pollution of surface and groundwater make it essential to control and reduce water losses and improve the efficiency of supply systems. Data from the National Sanitation Information System - SNIS 2022 indicate that the rate of losses in water distribution (code equal to IN049 in the SNIS) is 60.1% in Recife/PE. More than half of distribution losses, known as apparent water losses, are caused by fraud, registration failures and errors in measuring the volume consumed due to inefficiency or water meter under-registration. These measurement errors, if not corrected in a timely manner, can compromise a company's water balance and revenue. Normally, corrections are carried out by exchanging old water meters for new ones, however the costs are high and sanitation companies do not have sufficient financial resources to exchange all the water meters installed in their water supply systems. In this scenario, company managers need to decide which water meters should be prioritized for the exchange. However, some difficulties are difficulties in this decision-making process, which take into account different criteria, which constantly conflict with each other, and preferences regarding the allocation of resources and the company's strategic objectives. Without the intention of contributing to facing these difficulties, this thesis aims to develop a decision support system for prioritizing the exchange of water meters, which provides an effective reduction in water losses and, thus, an increase in revenue, the company state sanitation. To achieve this, the system must be capable of using the multi-criteria decision-making method; analyze the metrological reliability (existence of measurement errors) of water meters, through the occurrence as determined by INMETRO Ordinance No. 246; analyze a set of data from customers' commercial records and technical records of water meters and their water distribution networks, all obtained from the company's information systems; and analyze the results obtained. Such prioritization is based on a global assessment, in a balanced way, through criteria defined by the individual decision maker, capable of supporting the process of allocating investment of time and resources for changing water meters. In general, this system appears to support and facilitate the manager's day-to-day life.

Keywords: *Water loss; water meter under-registration; and, multicriteria.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de balanço hídrico IWA.	23
Figura 2. Sistema de abastecimento de água e volumes de água.	24
Figura 3. Quatro componentes de perdas aparentes de água.	26
Figura 4. Tarefas do ProKnow-C.	38
Figura 5. Fases da seleção portfólio bibliográfico (PB).	39
Figura 6. Fluxo de processo da fase 1: Seleção do banco de artigos brutos.	40
Figura 7. Fluxo de processo da fase 2: Filtragem do banco de artigos brutos.	42
Figura 8. Fluxo de processo da fase 3: Teste de representatividade do Portfólio Bibliográfico.	44
Figura 9. Fluxo de processo da tarefa 2: Análise bibliométrica.	45
Figura 10. Bancada de calibração de hidrômetros da COMPESA.	57
Figura 11. Sequências de tarefas para modelagem do MCDA.	59
Figura 12. Fluxograma de processo do programa computacional.	69
Figura 13. Fluxo de dados do programa de computador para apoio a decisão na priorização da troca de hidrômetros.	69
Figura 14. Fluxograma do algoritmo de funcionamento do programa SAPHO.	72
Figura 15. Método para calibração de hidrômetros.	73
Figura 16. Valores da vazão nominal por classe metrológica.	74
Figura 17. Fontes de erros do sistema de medição.	78
Figura 18. Interface do decisor da 1º etapa.	91
Figura 19. Interface do decisor da 2º etapa.	91
Figura 20. Interface do decisor da 3º etapa.	92
Figura 21. Interface do decisor da 4º etapa.	92
Figura 22. Interface do decisor da 5º etapa.	93
Figura 23. Interface do decisor da 6º etapa.	93
Figura 24. Interface do decisor da 7º etapa.	94
Figura 25. Interface do decisor da 7º etapa após execução.	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Periódicos e conferências em destaque no PB e das suas respectivas referências.	46
Gráfico 2. Fator de impacto dos periódicos do PB no SJR versus JCR.....	47
Gráfico 3. Publicações de destaque no PB e nas suas respectivas referências.	48
Gráfico 4. Autores de destaque nas publicações do PB e suas respectivas referências.	50
Gráfico 5. Palavras-chave em destaque das publicações do PB.	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Combinações de palavras-chave e o número de publicações encontradas.	42
Quadro 2. Periódicos e conferências em destaque no PB e das suas respectivas referências.	46
Quadro 3. Fator de impacto dos periódicos do PB no SJR e JCR.	48
Quadro 4. Títulos das publicações em destaque na quantidade de citações do PB e nas referências do PB.....	49
Quadro 5. Lista dos autores de destaque do PB e nas referências.....	50
Quadro 6. Relação dos múltiplos objetivos.	60
Quadro 7. Relação dos critérios relevantes.	61
Quadro 8. Matriz consequência.....	61
Quadro 9. Funções de intensidade de preferência.	63
Quadro 10. Matriz ($n \times n$) de graus de preferência para critério f_k	63
Quadro 11. Expressões da incerteza padrão do tipo B.....	80
Quadro 12. Relação dos múltiplos objetivos do modelo de decisão.	84
Quadro 13. Relação dos critérios relevantes do modelo de decisão.	84
Quadro 14. Resumo das delimitações para a estrutura de alternativas e construção da matriz consequência.	86
Quadro 15. Dados para cálculo dos graus de preferência de cada critério.....	87
Quadro 16. Dados para cálculo dos graus de preferência de cada critério.....	88
Quadro 17. Valores dos pesos substitutos para cada método automático.	88
Quadro 18. Matriz de sobreclassificação (relação dos hidrômetros prioritários para troca).....	89
Quadro 19. Resumo dos custos e estimativa de aumento de faturamento no ano. .	90
Quadro 20. Valores da medição realizada no hidrômetro A15S-014454, na temperatura ambiente durante a medição de 27 °C	95
Quadro 21. Valores da medição realizada no hidrômetro A16B-004671, na temperatura ambiente durante a medição de 27 °C.	96
Quadro 22. Valores da medição realizada no hidrômetro A17S-593203, na temperatura ambiente durante a medição de 27 °C.	96
Quadro 23. Valores da incerteza do tipo A para os três hidrômetros.	97
Quadro 24. Valores da incerteza padrão do tipo B para o hidrômetro A15S-014454.	97
Quadro 25. Valores da incerteza padrão do tipo B para o hidrômetro A16B-004671.	98
Quadro 26. Valores da incerteza padrão do tipo B para o hidrômetro A17S-593203.	98
Quadro 27. Valores da incerteza padrão combinada e da incerteza expandida.	99
Quadro 28. Resultados das calibrações.	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ARPE	Agência Reguladora de Pernambuco
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
DN	Diâmetro Nominal
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix Traduisant la RÉalité</i>
GSAN	Gestão de Operações Comerciais e de Controle
IWA	<i>International Water Association</i>
INMETRO	<i>Instituto Nacional de Metrologia, Qualidades e Tecnologia</i>
MAUT	Teoria da Utilidade Multiatributo
MCDA	<i>Multiple Criteria Decision Aiding</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PESTLE	<i>Political, Economic, Social, Technological, Legal and Environmental</i>
PLMO	métodos de Programação Linear Multiobjetivo
ProKnow-C	<i>Knowledge Development Process-Constructivist</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
RLS	Regressão linear simples
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VM	Volume Micromedido
VMM	valor medido médio
VVM	Valor verdadeiro médio
WHO	<i>World Health Organization. Operation and Maintenance of Urban Water Supply and Sanitation Systems</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Caracterização do problema de pesquisa	14
1.2. Objetivos	20
1.2.1. Objetivo geral	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
1.3. Organização do documento	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1. Perdas de água	22
2.1.1. Redução das perdas aparentes de água	25
2.1.2. Hidrômetro.....	27
2.2. Decisão multicritério	28
2.2.1. Problemáticas de decisão.....	29
2.2.2. Estruturas de preferência.....	30
2.2.3. Objetivos e critérios de avaliação	31
2.2.4. Abordagens dos métodos MCDA	33
2.3. Comentários finais sobre este capítulo	36
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
3.1. Seleção e análise da revisão bibliográfica.....	38
3.1.1. Tarefa 1. Seleção de portfólio bibliográfico (PB).....	39
3.1.2. Tarefa 2. Análise bibliométrica	45
3.2. Comentários finais sobre este capítulo	51
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
4.1. Enquadramento metodológico	54
4.1.1. Natureza da pesquisa	54
4.1.2. Abordagem do problema	54
4.1.3. Pesquisa baseada no objetivo geral.....	55
4.1.4. Procedimento técnico	55
4.2. Materiais	56
4.2.1. Hidrômetro.....	56
4.2.2. Bancada de calibração	56
4.3. Métodos	57
4.3.1. Método 1: Modelo de apoio a decisão.....	58
4.3.2. Método 2: Calibração de hidrômetros	73
4.4. Considerações finais sobre este capítulo	82
5. ESTUDO DE CASO.....	83
5.1. Aplicação do método 1: Modelo de apoio a decisão	83
5.1.1. Programa computacional SAPHO.....	90
5.2. Aplicação do método 2: Calibração de hidrômetros	95

5.3. Comentários finais sobre este capítulo	100
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
6.1. Conclusões	101
6.2. Propostas de Trabalhos Futuros	104
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
Apêndice A – Portfólio Bibliográfico	115
Apêndice B – O programa de computador implementado no Python®	118

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a justificativa, o objetivo geral e os específicos, além da organização deste documento.

1.1. Caracterização do problema de pesquisa

A Organização das Nações Unidas – ONU estima que metade da população da Terra vive em cidades e que, dentro de uma década, há contar de 2018, quase 70% das pessoas do mundo serão moradores de centros urbanos (ONU, 2023). Essa alta taxa de crescimento urbano, agravado com a escassez de recursos hídricos e a poluição das águas superficiais e subterrâneas tornam necessários o controle e a redução de perdas de água pelas companhias responsáveis pelo sistema de abastecimento das cidades (THORNTON et al., 2008, p. 7-8).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS, para uma concessionária de água ser considerada eficiente e eficaz, ela deve ser capaz de atender as condições de quantidade, qualidade, continuidade, confiabilidade e custo. Para atingir todas essas condições, é fundamental uma boa gestão pela concessionária dos sistemas de abastecimento de água que proporcione controle e redução de perdas de água (WHO, 1994, p. 71). Mas isso ainda não é uma realidade no Brasil, especialmente quando são observados os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, gerenciados pelo Ministério do Desenvolvimento Regional.

Em 2022, o Índice de perdas na distribuição (IN049) no Brasil era de 37,8%. Esse é o percentual do volume de água disponibilizado que não foi contabilizado como volume utilizado pelos consumidores, seja por vazamentos, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas (BRASIL, 2023, p. 40).

Quando se trata das questões de aumento da capacidade de produção de água ou diminuição das perdas de água, a segunda alternativa será, em muitos casos, a mais adequada do ponto de vista técnico e financeiro. Já que a diminuição das perdas na distribuição de água, proporcionará que o mesmo volume de água produzido atenda uma quantidade maior de pessoas. Assim, a concessionária de água poderá postergar grandes

investimentos para a execução de obras de ampliação da captação e adução para atender ao aumento da demanda decorrente do crescimento populacional.

Quanto ao conceito de perdas de água, teoricamente, são divididas em perdas reais e perdas aparentes, conforme terminologia adotada pela *International Water Association – IWA* (LAMBERT; HIRNER, 2000, p. 6). Essa distinção é importante, pois as ferramentas para a gestão, controle e redução, de cada uma das tipologias, diferem substancialmente (BRASIL, 2020, p. 81). As perdas reais correspondem ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final devido à ocorrência de vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, bem como de extravasamentos em reservatórios. Já as perdas aparentes, mais da metade das perdas de água, correspondem ao volume de água consumido, mas que, por algum motivo, não foi medido ou contabilizado, gerando perda de faturamento ao prestador de serviços, decorrente de fraudes, ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial e erros de medição do volume de água. Sendo que, esta última causa, na maioria dos casos, provocada pela ineficiência da medição ou perdas por submedição nos equipamentos (LAMBERT; HIRNER, 2000, p. 6).

Os prestadores de serviços responsáveis pelo sistema de abastecimento de água possuem um percentual médio de 90,7% do índice de hidrometração (IN009), que corresponde ao quociente da divisão entre a quantidade de ligações ativas de água micromedidas (AG0045) e a quantidade de ligações ativas de água (AG0025). Nos quais, as ligações ativas são aquelas que se encontravam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência da coleta de dados, enquanto ligações micromedidas são aquelas providas de equipamento (do tipo mecânico, eletrônico, volumétrico, entre outros), denominado de hidrômetro (BRASIL, 2023, p. 31).

O hidrômetro possui partes mecânicas, estas diversas peças, com o uso ao longo do tempo, sofrem desgastes de forma progressiva. Associado a isto, acrescente-se que a matéria em suspensão trazida pela água vai aderindo às partes e, pouco a pouco, esses dois fatores provocam a redução da exatidão do medidor. Esses erros de medição (também conhecidos como submedição), caso não sejam corrigidos no devido tempo, podem comprometer o balanço hídrico e o faturamento de uma companhia (COELHO, 2009, p. 41).

RIZZO et. al. (2007, p. 2) destacam que o controle e redução de perdas de água, no caso particular das perdas aparentes, pode ser realizada por meio de quatro atividades

complementares: (1) acompanhamentos dos erros de medição de água; (2) correções de erros ao longo do processo de aquisição de dados (cadastro comercial); (3) redução de erros na estimativa do consumo não medido; e (4) diminuição da quantidade de consumos não autorizados (fraudes e ligações clandestinas).

A primeira atividade sugerida por RIZZO et. al. (2007, p. 2), para redução das perdas aparentes de água, está diretamente relacionada com a confiabilidade metrológica dos hidrômetros, que sugere a análise contínua dos dados de leitura da medição, a execução de manutenções periódicas e calibrações, por fim, as trocas de hidrômetros, porventura, não tenham viabilidade financeira para se manterem instalados, devido ao alto erro de medição. Além da variante metrológica, existem inúmeros outros fatores não relacionados ao equipamento, que podem provocar submedição, os quais se destacam: uso de métodos inapropriados para seleção e instalação de hidrômetros; erros na identificação do perfil de consumo e tipo de cliente; a baixa qualidade da água, que provoca mudanças nos valores de parâmetros estabelecidos para classificação de água potável; e os regimes intermitentes de funcionamento do sistema de abastecimento, que geram variações de pressões e falta de água.

Em relação a confiabilidade metrológica dos hidrômetros, é possível analisar as questões físicas e operacionais que asseguram a exatidão exigida nos medidores por meio da calibração. A identificação, dos parâmetros que provocam os erros de medição, pode ser utilizada para a diminuição da submedição, que terá impacto direto na redução das perdas aparentes de água numa determinada região. Isto posto, a metrologia terá fundamental importância no avanço da pesquisa, pois ela é a ciência da medição que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia (INMETRO, 2012, p. 16).

É evidente a necessidade de gestão do conjunto de hidrômetros (ou parque de hidrômetros) utilizados pela concessionária, assim, proporcionando a melhoria da medição dos volumes consumidos de água. Normalmente, as correções são realizadas com a troca dos hidrômetros antigos por novos, porém os custos são elevados e as companhias de saneamento não possuem recursos financeiros suficientes para trocar a totalidade de hidrômetros instalados nos seus sistemas de abastecimento de água, exigindo que seja feita a priorização.

Neste cenário, os gestores das companhias precisam decidir quais os hidrômetros devem ser priorizados para a garantia da confiabilidade metrológica das

medições. Para o sucesso dessa priorização, é fundamental que os responsáveis pela tomada de decisão conheçam o tempo de uso, a quantidade e o decaimento do volume consumido, perfil e categoria do imóvel que se encontra instalado o hidrômetro, a quantidade de contas não pagas, também avaliem outras possibilidades que permitam a redução da submedição dos hidrômetros, diminuindo as perdas de água com aumento de faturamento.

Porém, algumas dificuldades são encontradas nesse processo decisório, que levam em consideração múltiplos objetivos, os quais entram constantemente em conflitos entre si, e preferências do decisor, quanto a relevância dos objetivos para a redução de perdas com aumento de faturamento nas companhias. Assim, torna-se indispensável a utilização de modelos específicos de apoio a decisão, por meio de um programa de computador capaz de analisar o conjunto de dados do parque de hidrômetros de uma determinada região territorial, e, como resultado, gerar uma lista ordenada de hidrômetros prioritários para a realização das trocas. Eis que surge o problema de pesquisa relatado como objetivo geral de acordo com o item 1.2.1 deste documento.

A priorização deve ser baseada numa avaliação global de aspectos financeiros, comerciais, técnicos, ambientais e sociais, extraídos do cadastro comercial e técnico de cada hidrômetro e da região o qual ele se encontra instalado, além do seu estudo de confiabilidade metrológica, por meio da calibração. A partir de dados dos sistemas de informação da companhia e de resultados de análise de medições e ensaios metrológicos para comprovação dos valores encontrados. Para, em seguida, de forma balanceada, por meio de critérios relevantes e preferências estabelecidas pelo decisor ou grupo de decisores, ser capaz de suportar o processo de alocação de investimento de tempo e de recursos, que proporcione uma efetiva redução de perdas aparentes de água e, consequentemente, o aumento de faturamento da companhia.

Tal modelo a ser desenvolvido, poderá utilizar um Método de Tomada de Decisão Multicritério, em inglês, tem-se *Multiple Criteria Decision Aiding* – MCDA, capaz de apoiar no processo decisório. Esses métodos fundamentados na análise de decisão onde existem vários objetivos, muitas vezes conflitantes, para os diferentes atores envolvidos (ALMEIDA, 2011, p. 11). O MCDA serve para apoiar e conduzir o(s) decisor(es), em grupo ou individual, na avaliação e escolha das alternativas para a solução, em diferentes espaços. O espaço das variáveis de decisão, em particular, consiste no conjunto de decisões factíveis e não factíveis para dado problema (GOMES; GOMES, 2014, p. 69).

Dessa forma, o problema de pesquisa em questão, como já mencionado anteriormente, por meio de uma proposta de modelo de apoio a decisão, visa uma priorização de alternativas, ou seja, um arranjo de ordenação das possíveis alternativas, sofrendo a influência de um decisor capaz de definir a estrutura de preferências sobre um conjunto de critérios relevantes, estabelecidos a partir dos múltiplos objetivos.

Segundo ALMEIDA (2011, p. 117-118) e GOMES; GOMES (2014, p. 93-94) os métodos baseados na problemática de ordenação, não realizam uma agregação analítica para estabelecer um peso para cada alternativa, também assumem a possibilidade de incomparabilidade na elaboração da estrutura de preferências entre decisores, pois as preferências entre um par de alternativas dependem apenas dos subconjuntos de critérios que favorecem o par analisado, ou seja, pequenas diferenças entre as avaliações das alternativas nem sempre são significantes, não existe transitividade de preferências e/ou indiferenças, além da impossibilidade ou dificuldade de estabelecimento de uma função de valor ou utilidade.

Para esses casos, é possível o uso dos métodos da Escola Francesa denominados de métodos de sobreclassificação, cuja tradução para o português ainda não tem uma visão uniforme, podendo, assim, ser chamados também de métodos de superação, prevalência, subordinação ou síntese, já no inglês, é utilizado o termo *outranking* ou *surclassement*, da terminologia original do francês (ALMEIDA, 2011, p. 117).

Dentre os vários métodos de sobreclassificação, o PROMETHEE II (BRANS; VINCKE, 1985, BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986) tem a vantagem de requerer a informação sobre como cada critério será avaliado, que é a noção de critério generalizado, introduzida com a finalidade de captar a amplitude das diferenças entre as avaliações de cada alternativa para cada um dos critérios, enriquecendo a estrutura de preferência (MORAIS et al. 2009, p. 20). Além do mais, é um método flexível, oferecendo dois graus de liberdade ao decisor: o primeiro é relativo à seleção do tipo de função de preferência e o segundo os limiares a definir (MORAIS et. al., 2009, p. 21).

De forma geral o método PROMETHEE II é de fácil entendimento, de modo que os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm um significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. Assim, o método propicia a modelagem de preferência de forma simples e de fácil compreensão, usando um paradigma diferente de outras abordagens que agregavam critérios por meio de uma função aditiva. Além disso, os métodos de sobreclassificação não admitem a compensação ilimitada de largas

desvantagens e levam em conta o fato que pequenas diferenças entre as avaliações das alternativas nem sempre são significantes.

No estado de Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, sociedade de economia mista, da administração indireta do governo estadual, é a única responsável pela prestação de serviços de abastecimento de água no Recife/PE. Este município faz parte de uma região metropolitana que compreende 14 municípios, sendo o maior aglomerado urbano do norte e nordeste do Brasil, a sexta maior de todo o Brasil e uma das 120 maiores do mundo, além de ser a terceira área metropolitana mais densamente habitada do país, superada apenas por São Paulo e Rio de Janeiro (IBGE, 2024). Recife/PE possui uma população estimada em 2024 de 1.587.707 pessoas e uma área territorial de 218,843 km² (IBGE, 2024).

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS de 2022 apontam que o índice de perdas na distribuição (código igual a IN049 no SNIS) de água é de 60,1% no Recife/PE (BRASIL, 2023, p. 50). Também, após análise do conjunto de dados do SNIS, é observado que o Recife/PE é uma das capitais com o maior desafio entre todas no Brasil para o controle e redução de perdas de água. Sendo assim, essa região possui um grande potencial para melhoria da eficiência na distribuição de água, possibilitando a análise e geração de resultados que podem atestar um possível programa de computador para priorização da troca de hidrômetros.

A Companhia responsável pelo abastecimento de água no Recife-PE possui um sistema de informação com uma diversidade de dados e grande volume histórico, que facilita a integração e construção do programa de computador para apoio a decisão para priorização da troca de hidrômetros. Esse sistema de informação é o Gestão de Operações Comerciais e de Controle – GSAN, desenvolvido com ferramentas de *software* livre na linguagem Java®, para controle dos processos de cadastro, medição, faturamento, arrecadação, cobrança, execução de serviços, atendimento aos clientes e informações gerencias, disponibilizado gratuitamente pelo governo federal.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver um modelo para apoio a decisão multicritério na priorização da troca de hidrômetros de uma determinada região territorial de atuação de uma companhia estadual de saneamento, que proporcione o aumento (maximização) do faturamento, por meio da efetiva redução (minimização) de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água, ocasionadas pela submedição desses medidores.

1.2.2. Objetivos específicos

Para a consecução do objetivo geral são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os conjuntos de alternativas e critérios, para a formulação do modelo, por meio da análise e uso das informações registradas no cadastro comercial, no cadastro técnico e no histórico de medições mensais dos hidrômetros registrados no GSAN;
- Elaborar o modelo de apoio a decisão multicritério para a melhor troca de conjunto de hidrômetros, no ponto de vista do decisor individual;
- Implementar o programa de computador, por meio de linguagem de programação Python® e criação de *site* na internet como interface para o decisor individual, a partir do modelo de apoio a decisão multicritério; e,
- Elaborar o procedimento de calibração dos hidrômetros, assim, permitindo a análise da submedição do conjunto de hidrômetros priorizados para a troca, permitindo a quantificação das perdas aparentes e a análise da confiabilidade metrológica.

1.3. Organização do documento

Este documento está estruturado em 5 capítulos, incluindo esta introdução, seguidos pelas referências e apêndices. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica.

O capítulo 3 apresenta os conceitos da fundamentação teórica. O terceiro capítulo é realizada a revisão bibliográfica. No capítulo 4 é evidenciado os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa. O quinto capítulo é o estudo de caso com a demonstração dos resultados. Finalmente, o capítulo 6 traz conclusões e considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são discorridos, de forma sucinta, os conceitos da fundamentação teórica utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Uma vez que existe literatura disponível, na qual podem ser obtidos mais detalhes e um maior aprofundamento sobre os temas abordados.

Procurou-se enfatizar os principais conceitos diretamente relacionados ao foco da pesquisa, de modo a permitir um melhor entendimento quanto da aplicação destes fundamentos ao problema de interesse sob a abordagem.

2.1. Perdas de água

Até o final do século passado, não havia um entendimento comum sobre o que eram as “perdas” nos sistemas de abastecimento de água. Diversos países adotavam conceitos e indicadores diferentes, a consequência mais direta dessa falta de uniformização era a impossibilidade de avaliar ou comparar os indicadores de perdas entre sistemas de abastecimento de países, cidades e companhias (TARDELLI FILHO et. al, 2015, p. 16).

A implementação de uma política de controle e redução de perdas de água se faz com o uso de uma linguagem comum entre todos os agentes do processo. A *International Water Association – IWA* propôs um glossário para uniformizar os conceitos e os cálculos dos indicadores (LAMBERT; HIRNER, 2000, p. 1). Surgiu a matriz de balanço hídrico – BH, que é o instrumento de estruturação do problema de perdas nos sistemas de abastecimento de água. A matriz BH é objetiva, clara e fácil de ser compreendida, conforme a Figura 1 (LAMBERT; HIRNER, 2000, p. 5). Seus termos estão expressos de forma anual, por ser a base aconselhável para a realização de auditorias de perdas e pela facilidade de exposição, mas podem naturalmente ser adaptadas para outros períodos.

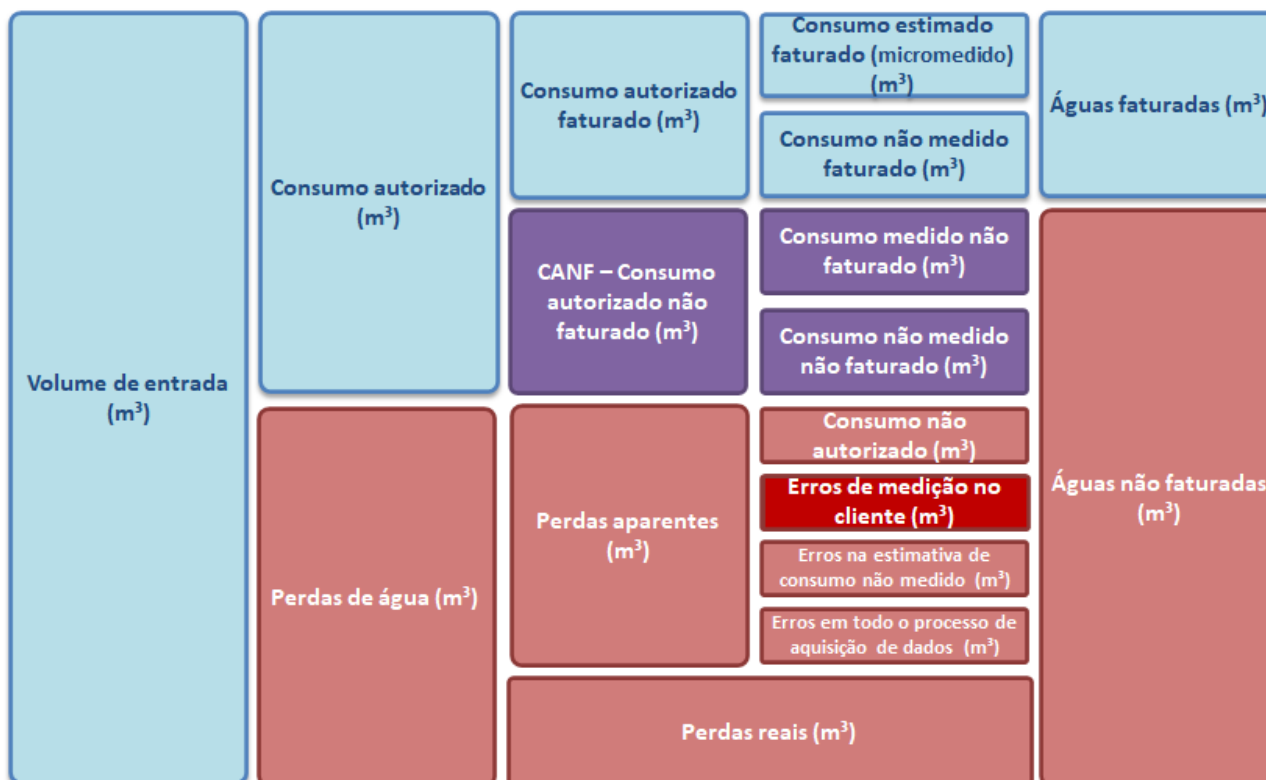


Figura 1. Matriz de balanço hídrico IWA.

Fonte: Adaptada de Lambert; Hirner (2000, p. 5).

A Figura 2 ilustra as principais entradas e saídas de água no sistema de abastecimento típico, por ordem sequencial, desde a captação da água bruta até o consumo de água pelos clientes. Alguns sistemas serão certamente mais simples, não tendo todas as componentes representadas.

A estimativa das perdas de água no sistema de abastecimento é calculada pela diferença entre o volume de água na entrada e na saída. Em termos simples, os problemas de perdas de água são (THORNTON et. al, 2008):

- Técnico: Nem toda a água fornecida por uma concessionária de água chega ao cliente;
- Financeiro: Nem toda a água que chega ao usuário final é medida adequadamente ou é paga; e,
- Terminologia: Definições padronizadas de perdas de água e receita são essenciais para quantificar e controlar as perdas.

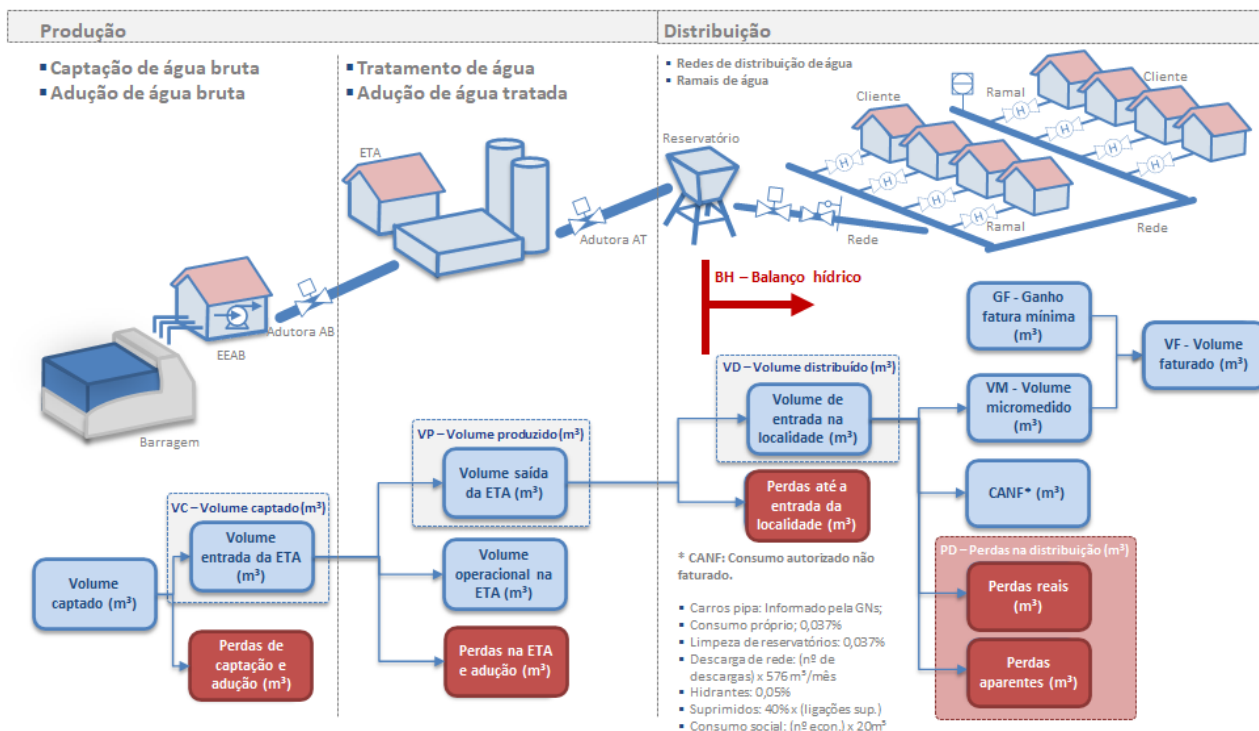


Figura 2. Sistema de abastecimento de água e volumes de água.

Fonte: Próprio autor.

A IWA define dois tipos de perdas como sendo os principais, as perdas reais e as perdas aparentes. As perdas reais estão relacionadas com o volume de água desperdiçado durante as diversas etapas do sistema de abastecimento, que incluem vazamentos nas tubulações, juntas e conexões, vazamentos nos reservatórios e por transbordamentos do reservatório. As perdas aparentes correspondem ao volume de água consumido, porém não faturado, devido as fraudes, ligações clandestinas, falhas de cadastro e erros de submedição nos hidrômetros, este último relacionado tanto com os erros e incertezas da medição, como com problemas técnicos na medição dos medidores (LAMBERT; HIRNER, 2000).

Vale destacar, que as perdas de água geram sérias dificuldades para a operação do sistema de abastecimento de água. Quando se tornam críticas em um determinado trecho da tubulação, a pressão da água cai para níveis abaixo do mínimo estabelecido pelas normas e legislações, sujeitando as concessionárias a multas e penalidades (MORAIS et al. 2009, p. 16). Por exemplo, o governo do estado de Pernambuco estabelece que a companhia de saneamento deve garantir uma pressão mínima de 1 mca no ponto de

entrega (ARPE, 2013) e esse valor deve ser monitorado diariamente nos pontos críticos pela companhia responsável pela distribuição de água.

Ademais, tais perdas de água não se apresentam apenas como um problema técnico, financeiro e operacional, restrito à esfera de ação de uma operadora local ou regional. A questão tem implicações mais amplas, com repercussões significativas nas perspectivas do PESTLE (em inglês, *Political, Economic, Social, Technological, Legal and Environmental*), conforme publicação da ABES (2015, p. 7). Sendo políticos: envolvem questões relativas às entidades responsáveis pelos serviços, agências de governo, linhas de financiamento para o setor e a mídia; Econômicos: envolvem os custos dos volumes perdidos e não faturados, os custos operacionais (energia elétrica, produtos químicos no processo de potabilidade da água etc.) e os investimentos para as ações de redução ou manutenção das perdas, importantes para a sustentabilidade das empresas; Sociais: envolvem o uso racional da água, o pagamento ou não pelos serviços, as questões de saúde pública e a imagem das operadoras perante a população; Tecnológicos: envolvem as interações entre o conhecimento técnico e as tecnologias, ferramentas e metodologias disponíveis para as atividades típicas do combate às perdas (a "arte do possível"); Legais: envolvem a legislação para o setor, licenças e a respectiva regulação; e Ambientais: envolvem a utilização e gestão de recursos hídricos e energéticos e impactos das obras de saneamento.

2.1.1. Redução das perdas aparentes de água

As perdas aparentes são constituídas por quatro componentes conforme Figura 3, e que esses podem atuar e interagir de forma intercambiável. Essas perdas impactam diretamente no faturamento da companhia, pois quanto melhor a eficiência da micromedição e mais exato o cadastro comercial, maior tenderá a ser o faturamento (RIZZO et. al, 2007, p. 2).

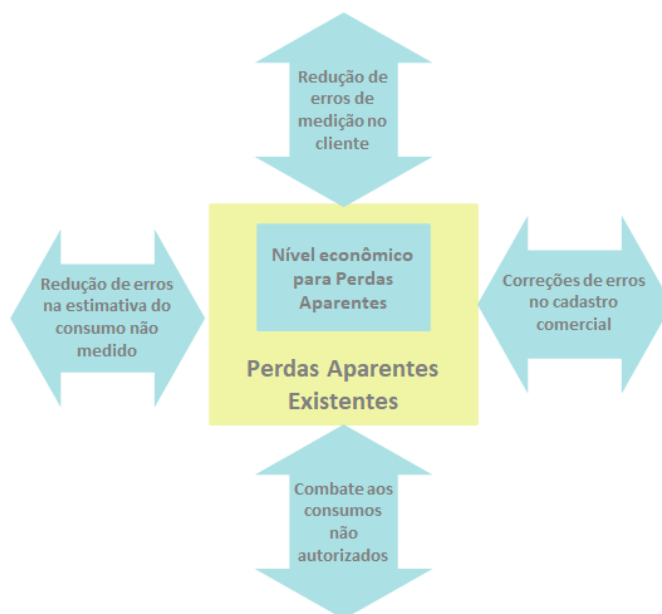


Figura 3. Quatro componentes de perdas aparentes de água.

Fonte: Adaptada de Rizzo et. al. (2007, p. 2).

De uma forma geral, as ações deste segmento custam relativamente menos, pois não demandam obras de grande porte e os benefícios são valorados por tarifas médias. Isso equivale a dizer que as ações de controle das perdas aparentes frequentemente têm retorno do investimento mais rápido que os das perdas reais.

Contudo, pode-se considerar a perda zero como uma pretensão inatingível. Há perdas aparentes inevitáveis na contabilização do volume entregue ao consumidor final, o que ocorre por erros ou incertezas do cadastro comercial, pelo grau de exatidão dos medidores e por fraudes nos hidrômetros e nas ligações.

Isto implica em se trabalhar com um nível de perdas aparentes inevitáveis que venha a ser considerado aceitável. Além disso, o caminho de eficiência nesse segmento tem forte vínculo com as ferramentas de gestão e a sua boa aplicação pelo prestador de serviço. Com estas ressalvas, as perdas aparentes podem e devem ser reduzidas a níveis compatíveis com as condições ambientais e econômicas específicas da região e da realidade em que se inserem os prestadores.

A primeira atividade sugerida por RIZZO et. al. (2007, p. 2), para redução das perdas aparentes de água, está diretamente relacionada com a confiabilidade metrológica dos hidrômetros, que sugere a análise contínua dos dados de leitura da medição, a execução de manutenções periódicas e calibrações, por fim, as trocas de hidrômetros,

porventura, não tenham viabilidade financeira para se manterem instalados, devido ao alto erro de medição.

2.1.2. Hidrômetro

O medidor de água, doravante denominado “hidrômetro” é o instrumento destinado a medir e indicar continuamente o volume de água que o atravessa (INMETRO, 2000). Os hidrômetros são utilizados com o objetivo de realizar a medição da água e posteriormente a cobrança do volume medido, por isso são amplamente utilizados na medição do volume consumido pelos clientes de companhias de saneamento. Os hidrômetros são classificados de acordo com sua capacidade de medição, seu princípio de funcionamento e sua classe metrológica (SILVA, 2008).

O hidrômetro realiza a medição através de um mecanismo interno que é acionado pela passagem da água que gera um movimento de rotação acionando um totalizador que faz registros proporcionais à rotação, indicando o volume em metros cúbicos ou em litros.

Esse medidor possui partes mecânicas, estas diversas peças, com o uso ao longo do tempo, sofrem desgastes de forma progressiva. Associado a isto, acrescente-se que a matéria em suspensão trazida pela água vai aderindo às partes e, pouco a pouco, esses dois fatores provocam a redução da exatidão do medidor. Esses erros de medição (também conhecidos como submedição), caso não sejam corrigidos no devido tempo, podem comprometer o balanço hídrico e o faturamento de uma companhia (COELHO, 2009, p. 41).

A exatidão da medição de um hidrômetro é impactada diretamente pelo tipo de tecnologia e fatores diversos, desde ambiente e qualidade da água ao tempo de uso e quantidade de consumo registrado. Ou seja, um medidor é incapaz de registrar exatamente o volume de água que o atravessa. Assim, as perdas por erro de medição dos hidrômetros são reconhecidas como um componente significativo das perdas aparentes, sendo muito importante para a empresa concessionária de água quantificá-las e identificar as suas causas, de forma que estas sejam reduzidas. Este fator de ineficiência da medição ou perdas por submedição é exacerbado pelo alto custo da manutenção preventiva sistemática, assim, inviabilizando a sua realização (COELHO, 2009, p. 41).

2.1.2.1. Calibração de hidrômetros

A calibração é o ato de comparar os valores fornecidos por padrões ou por normas regulamentadoras, sob condições especificadas, conhecidos como valores verdadeiros (VV), aos valores medidos (VM) obtidos por meio de medições realizadas conforme as condições especificadas (IPQ, 2017). A calibração permite verificar, por meio da comparação das medições com seus respectivos valores de referências, com o uso de padrões rastreados, o erro que o instrumento possui e a incerteza associada à medição (OLIVEIRA, 2010). Na análise das perdas aparentes, a calibração de hidrômetros se torna um procedimento fundamental para a identificação da submedição e o quanto impactam no indicador de perdas. Porém, é necessário calcular a incerteza da medição.

A incerteza da medição é um parâmetro associado ao resultado que indica a qualidade de uma medida de uma forma quantitativa, ela relata a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurando. É possível levantar a contribuição das incertezas na calibração pelo cálculo proposto no Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM (ISO, 2008).

2.2. Decisão multicritério

Para o ser humano, a tomada de decisão para solucionar problemas parece ser uma atividade simples e natural, porém pode ser bastante complexa, quando envolve grande quantidade de alternativas, diferentes pontos de vista e múltiplos objetivos e critérios, trazidos como multicritérios que geralmente são conflitantes entre si, e, que geralmente não existe alternativa que seja a melhor, simultaneamente, para todos os critérios (TROJAN, 2012, p. 16).

Assim, torna-se indispensável o uso de métodos de apoio a decisão multicritério, em inglês, chamados de *Multiple Criteria Decision Aiding* – MCDA. Eles surgiram na segunda metade do século XX como um conjunto de métodos para auxiliar as pessoas e as organizações na solução de problemas de decisão em que são considerados diversos pontos de vista (VINCKE, 1992).

Um problema de decisão multicritério consiste numa situação, onde há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher e esta escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si, para os diferentes

atores envolvidos (ALMEIDA, 2011, p. 11). Para cada objetivo é associado uma variável, também chamada de critério, que permite a avaliação de cada possível alternativa. O MCDA serve para apoiar e conduzir o(s) decisor(es), em grupo ou individual, na avaliação e escolha das alternativas que representem a solução, em diferentes espaços. O espaço das alternativas de decisão, em particular, consiste no conjunto de decisões factíveis e não factíveis para dado problema (GOMES; GOMES, 2014, p. 69).

O MCDA envolve uma vasta gama de métodos que tem como princípio buscar o estabelecimento da estrutura de preferência de uma decisão individual ou em grupo, relacionada às consequências no problema de decisão e, proporcionar a avaliação das alternativas, obtendo a solução de melhor compromisso diante da avaliação dos critérios (ALMEIDA, 2011, p. 11; ZELENY, 1982)

2.2.1. Problemáticas de decisão

O resultado pretendido em determinado problema de decisão, pode ser identificado pelo tipo de problemática. Assim, a problemática é uma forma de classificação do tipo de problema, a partir do desejo do decisor individual ou em grupo quanto a definição do conjunto de possíveis alternativas (ALMEIDA, 2011, p. 33). De acordo com ALMEIDA (2011, p. 33) existem quatro tipos de problemáticas:

- Problemática $P.\alpha$ – a problemática de escolha: Tem como objetivo a escolha de um subconjunto do espaço de ações (comumente, escolher apenas uma alternativa);
- Problemática $P.\beta$ – a problemática de classificação: Tem como objetivo a alocação das alternativas em classes ou categorias definidas a priori;
- Problemática $P.\gamma$ – a problemática de ordenação: Tem como objetivo ordenar as ações; e,
- Problemática $P.\delta$ – a problemática de descrição: Tem como a descrição das ações e o seu conjunto de consequências.

ALMEIDA (2011, p. 34) acrescenta a esta lista a problemática de portfólio, que tem como objetivo escolher, dentro de um conjunto de ações, um subconjunto que atenda aos objetivos e restrições. Este tipo de problemática é muito usada para a escolha de projetos na composição do portfólio organizacional.

Neste trabalho, foi considerada a problemática de ordenação para atendimento do objetivo geral apresentado no item 1.2.1. Segundo ALMEIDA (2011, p. 117-118) e GOMES; GOMES (2014, p. 93-94) os métodos baseados na problemática de ordenação, não realizam uma agregação analítica para estabelecer um peso para cada alternativa. Além disso, assumem a possibilidade de incomparabilidade na elaboração da estrutura de preferências entre decisores, pois as preferências entre um par de alternativas dependem apenas dos subconjuntos de critérios que favorecem o par analisado, ou seja, pequenas diferenças entre as avaliações das alternativas nem sempre são significantes, não existe transitividade de preferências e/ou indiferenças, além da impossibilidade ou dificuldade de estabelecimento de uma função de valor ou utilidade.

2.2.2. Estruturas de preferência

Para que as alternativas sejam avaliadas pelos critérios, é necessário estabelecer as relações de comparação entre estas, assim, determinando os resultados significativos para os tipos de problemáticas. VINCKE (1992) apresenta a classificação das estruturas de preferência considerando as relações binárias entre as alternativas:

- **Ordem Completa:** Neste tipo de relação, as alternativas são comparadas par-a-par, de modo a estabelecer apenas as relações de preferência entre elas, ou seja, pretende-se definir a relação em que uma alternativa é melhor do que outra, não permitindo a igualdade entre elas. Este tipo de estrutura apresenta perda de informação significativa, uma vez que exige do decisor uma definição de superação entre as alternativas, que pode estar distante da realidade.
- **Pré-ordem Completa:** Neste tipo de relação, as alternativas são comparadas par-a-par com o objetivo de estabelecer a preferência de uma em relação à outra. No entanto, nesta relação, é possível definir a igualdade entre as alternativas, quando existirem. Esta característica agrega mais informação a este tipo de relação.
- **Semi-ordem Completa:** Este tipo de relação mantém as características da pré-ordem completa e acrescenta um limiar de indiferença no processo de comparação entre as alternativas. Desta forma, se a diferença entre duas

alternativas em um critério for menor que este limiar, as alternativas são consideradas iguais.

- Pseudo-ordem Completa: Este tipo de relação apresenta a preferência fraca entre as alternativas, que ocorre quando o decisor não tem certeza de que uma alternativa é melhor que a outra, mas ele sabe que a segunda não pode ser melhor que a primeira. Ainda, é inserido o limiar de preferência, que define a preferência fraca quando a diferença entre duas alternativas é maior que o limiar de indiferença e menor que o limiar de preferência.
- Ordem intervalar Completa: Este tipo de relação é baseado na Semi-ordem e na Pseudo-ordem Completas e tem como principal característica a implementação de valores variáveis para os limiares de preferência e indiferença.

As estruturas de preferências completas exigem que o decisor defina a superação entre as alternativas, no entanto, é possível que o decisor não se sinta capaz ou confortável de definir esta relação. Para isto, é possível recorrer às estruturas parciais, considerando a relação de incomparabilidade entre as alternativas.

2.2.3. Objetivos e critérios de avaliação

Os conjuntos de objetivos ($G = \{G_1, G_2, G_3, \dots, G_i\}$, sendo $i > 1$), e de critérios ($F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_i\}$, sendo $i > 1$) são componentes importantes na decisão multicritério. Os elementos destes conjuntos são capazes de mensurar a importância de aspectos relevantes para o decisor, quando considerada a avaliação das alternativas, e promover a compreensão das interações entre as alternativas (CLEMENTE, 2020). Em geral, os critérios são representações de objetivos, e são formalizados por uma função $g_i(a)$, que representa as preferências de avaliação do decisor sobre os elementos do conjunto de alternativas (a). Por este aspecto, quando tratados os problemas multicritério, assume-se uma família de critérios, representada pelas funções de cada um.

A definição dos critérios deve representar todos os interesses do problema de decisão sem que haja redundância de parâmetros (ALMEIDA, 2011, p. 45). Ou seja, os critérios devem ser definidos levando-se em consideração as propriedades de exaustividade, coesão e não redundância (ROY, 1996). Por esta perspectiva, é preciso

estabelecer objetivos relevantes, completos, mensuráveis, concisos e compreensíveis (KEENEY, 1992).

Os critérios de avaliação, definidos pelos objetivos de interesse do decisor, representam as medidas utilizadas para avaliar diferentes alternativas. Em primeira instância, no processo de resolução de um problema multicritério é preciso considerar a avaliação intracritério e a avaliação intercritério (ALMEIDA, 2011).

A avaliação intracritério corresponde à avaliação do desempenho de cada alternativa para cada critério, resultando numa função valor que representa o indicador de desempenho desta relação. Esta análise oferece a estrutura da matriz de consequências utilizada na modelagem multicritério como recurso capaz de descrever formalmente os dados de entrada para a maioria dos métodos de apoio à decisão multicritério. As funções de desempenho podem assumir diferentes distribuições, no entanto, é comum considerar a linearidade dos valores representativos.

Na avaliação intercritério, são assumidos os valores que representam o efetivo grau de importância de cada um dos critérios para o problema de decisão. Nesta avaliação, a combinação dos critérios é considerada para construir um método que agregue as informações e conduz a definição de funções valores que melhor representem as preferências do decisor. Em geral, esta avaliação é identificada pela formalização de “pesos” ou grau de importância dos critérios no problema de decisão, e é fundamental para indicar a linearidade dos critérios. Com isso, é possível utilizar recursos de tabelas, capaz de descrever estas avaliações, considerando as possíveis escalas de níveis qualitativos e quantitativos para cada critério (KEENEY & RAIFFA, 1976; ALMEIDA, 2011).

Na modelagem de preferências, são considerados os tipos de escala que representam a contribuição dos critérios em um problema de decisão. Cada escala permite que as alternativas sejam avaliadas conforme o interesse do critério definido, desta forma, os critérios podem assumir escalas numérica (de razão, intervalar ou ordinal) ou verbal. Cada uma destas escalas admite um conjunto de operações viáveis para a comparação entre as alternativas e, ainda, é possível realizar transformações para que os valores definidos pela avaliação das alternativas sejam coerentes.

Em destaque, a escala ordinal é a que apresenta menor quantidade de informações, pois os valores assumidos por esta escala representam apenas a ordem de prioridade entre os critérios, não informando distância, cardinalidade e não permite operações básicas entre os elementos. Apesar de oferecer poucas informações, este tipo

de escala pode ser considerado quando o decisor não apresenta capacidade ou segurança para determinar maiores detalhes sobre suas preferências e opta por fornecer informações parciais ou incompletas. Desta forma, a escala ordinal pode auxiliar no tratamento de informações parciais e fornecer uma estrutura para a representação das preferências do decisor, como será discutido adiante.

A abordagem de agregação das informações sobre a avaliação das alternativas pode utilizar diferentes escalas para definir os valores de avaliação. No entanto, é importante que todos os valores sejam representados numa mesma escala quando o real estudo de agregação de desempenho seja aplicado. Desta forma, são necessários a realização de normalização, que executam a transformação de escalas e são capazes de apresentar os valores das avaliações sobre o intervalo (0,1), para quando os critérios forem lineares.

2.2.4. Abordagens dos métodos MCDA

Os métodos MCDA são capazes de estruturar os problemas de decisão e ajudar o decisor a identificar, comparar e avaliar o conjunto de alternativas disponíveis para encontrar uma solução ótima, ou uma solução satisfatória, considerando diversos critérios. De acordo com VINCKE (1992) pode-se classificar os métodos MCDA em três abordagens, sendo: os métodos iterativos; os métodos de critério único de síntese; e, os métodos de sobreclassificação, cuja tradução para o português ainda não tem uma visão uniforme, podendo, assim, ser chamados também de métodos de superação, prevalência, subordinação ou síntese, já no inglês, é utilizado o termo *outranking* ou *surclassement*, da terminologia original do francês (ALMEIDA, 2011, p. 117). Os métodos iterativos podem estar associados a problemas discretos ou contínuos. Em sua maioria os métodos de Programação Linear Multiobjetivo – PLMO utilizam procedimentos iterativos.

Já, essas duas últimas abordagens são reconhecidas, respectivamente, como Escola Americana e Escola Europeia, ou ainda, pela racionalidade compensatória ou não compensatória empregada sobre os seus critérios (VINCKE, 1992).

Os métodos da Escola Americana consistem na agregação de diferentes critérios em um critério único de síntese, por meio de uma função de síntese que atribui um valor a cada alternativa, dando uma característica compensatória ao método, utilizando procedimento de trade-off. Seus principais representantes são o *Analytic Hierarchy Process*

– AHP (SAATY, 1996) e a Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Os métodos da Escola Europeia consistem na racionalidade não compensatória, realizando a comparação par a par entre as alternativas. Assim, assume que as preferências entre duas alternativas dependem apenas dos subconjuntos de critérios que as favorecem, ou seja, a preferência é assumida pela contribuição do critério e não pela diferença de avaliação em cada um (ALMEIDA, 2011). São destaques dessa Escola, a família ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la RÉalité*) (ROY, 1996; VINCKE, 1992; BELTON & STEWART, 2002) e a família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) (BRANS & VINCKE, 1985; BRANS & MARESCHAL, 2002).

As apresentações das alternativas, problemáticas e estruturas de preferências são fundamentais para a construção do modelo e escolha do método MCDA. Em destaque, no presente trabalho, será abordada a problemática de ordenação, em conjunto com uma estrutura de preferências oferecem uma pré-ordem completa sobre as alternativas.

2.2.4.1. PROMETHEE

A família PROMETHEE são métodos MCDA, que em geral têm duas etapas: a construção das relações de sobreclassificação e a exploração das relações construídas (BRANS; MARESCHAL, 2005). Essa família propõe ajudar o decisor em problemáticas de ordenação ou em situações que envolvem particularidades inseridas em tais problemáticas. Possui as seguintes variações, de acordo com a problemática e os objetivos que se deseja atingir (MORAIS; ALMEIDA, 2006):

- PROMETHEE I: estabelece uma pré-ordem parcial;
- PROMETHEE II: estabelece uma pré-ordem completa, em ordem decrescente dos fluxos líquidos;
- PROMETHEE III: introduz a noção de indiferença, tendo a característica de incluir tratamento estocástico;
- PROMETHEE IV: estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, e se destina à problemática de escolha e conjunto contínuo de soluções viáveis;
- PROMETHEE V: estabelece a aplicação do PROMETHEE II, as restrições do problema são adicionadas, e, para resolver o problema, incorpora-se programação inteira;

- PROMETHEE VI: estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, para problemática de escolha e ordenação, quando o decisor não está apto ou não deseja estabelecer os pesos para os critérios – neste caso são definidos intervalos de possíveis valores;
- PROMETHEE – GAIA: Utilização dos resultados do PROMETHEE, por meio do uso de gráficos.

Neste trabalho, o processo de escolha do método MCDA foi realizado e escolhido o método PROMETHEE II (BRANS; VINCKE, 1985, BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986). Esse método apresenta vantagem de requerer a informação sobre como cada critério será avaliado, que é a noção de critério generalizado, introduzida com a finalidade de captar a amplitude das diferenças entre as avaliações de cada alternativa para cada um dos critérios, enriquecendo a estrutura de preferência (MORAIS et al. 2009, p. 20). Além do mais, é um método flexível, oferecendo dois graus de liberdade ao decisor: o primeiro é relativo à seleção do tipo de função de preferência e o segundo os limiares a definir (MORAIS et. al., 2009, p. 21).

O método PROMETHEE II é de fácil entendimento, de modo que os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm um significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. Assim, esse método propicia a modelagem de preferência de forma simples e de fácil compreensão, usando um paradigma diferente de outras abordagens que agregavam critérios por meio de uma função aditiva (ALMEIDA, 2010, p. 136).

2.2.4.1.1. Pesos substitutos

Uma das principais tarefas num processo de tomada de decisão multicritério é definir pesos para os critérios de avaliação. Contudo, em muitas situações, o decisor pode não estar confiante na definição de valores específicos para estes pesos e pode preferir utilizar informação parcial para representar os valores de tais pesos com pesos substitutos (DE ALMEIDA FILHO et al., 2018).

Assim, o decisor poderá definir a ordem de prioridade, ou nível de influência, que cada critério apresenta no problema de decisão, e permitir que esta ordem reflita suas preferências. Ou, poderá calcular os pesos substitutos, que permita a transformação da informação ordinal (ordem de prioridade) em valores cardinais para serem utilizados na estrutura de decisão. Serão adotados 6 (seis) métodos para cálculo dos pesos substitutos:

- Método dos pesos iguais (*Equal Weights* – EW) (DAWES; CORRIGAN, 1974);
- Método da soma das posições (*Rank Sum* – RS) (STILLWELL; SEEVER; EDWARDS, 1981);
- Método dos pesos recíprocos (*Reciprocal of the Ranks* – RR) (STILLWELL; SEEVER; EDWARDS, 1981);
- Método de ordem de classificação pelo centroide (*Rank Order Centroid* – ROC) (BARRON, 1992) (MORAIS et al., 2015);
- Método dos pesos empíricos (*Empiric Weights* – EW) (ALFARES; DUFFUAA, 2009); e,
- Método combinado da soma das posições e pesos recíprocos (*weight method is an additive combination of Sum and Reciprocal weight* – SR) (DANIELSON; EKENBERG, 2014).

Gerando como resultado, os valores de forma automática dos pesos substitutos.

2.3. Comentários finais sobre este capítulo

Este capítulo apresentou os conceitos mais recorrentes na literatura atual sobre perdas em sistemas de abastecimento de água, destacando o balanço hídrico, tipos de perdas, perdas aparentes e a submedição de hidrômetros. Foi demonstrado o tipo de medidor de água, chamado de hidrômetro, seus parâmetros de especificação técnica e suas características, especialmente mecânica. Além do procedimento de calibração destes medidores. Também, foi apresentado, essencialmente, que a tomada de decisão sobre onde agir para maximizar um resultado é uma tarefa bastante complexa, que envolve múltiplos atores com diferentes perspectivas e várias ações potenciais para a solução, as quais devem ser analisadas em relação a critérios pré-estabelecidos.

Para o tratamento dessa dificuldade, foi apresentado o problema de decisão multicritério, que consiste numa situação, onde há pelo menos duas alternativas de ação

para se escolher e esta escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si, para os diferentes atores envolvidos. Tal abordagem mostra-se adequada quando se está lidando com problemas de priorização.

Posteriormente, foram apresentados os conceitos relativos ao apoio a decisão multicritério, destacando-se a relevância da sua utilização, a modelagem de preferências e os métodos da família PROMETHEE e uso de pesos substitutos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a seleção e análise da revisão bibliográfica. Em seguida, apresenta a relação de publicações utilizadas para construção do referencial teórico utilizado neste documento.

Utiliza-se o *Knowledge Development Process-Constructivist* - ProKnow-C, proposto por Ensslin et al. (2010), que estabelece os procedimentos, em forma estruturada, para seleção do portfólio bibliográfico e a sua respectiva análise, permitindo desenvolver o conhecimento necessário para cumprimento do objetivo geral deste trabalho.

3.1. Seleção e análise da revisão bibliográfica

O *ProKnow-C* é utilizado para seleção e análise da revisão bibliográfica. É composto por quatro tarefas: (i) seleção de portfólio bibliográfico; (ii) análise bibliométrica do portfólio; (iii) análise sistêmica; e (iv) definição da pergunta e objetivo de pesquisa (KUSTERKO, 2015, p. 36). A Figura 4 apresenta as quatro tarefas do *ProKnow-C*. Para fins deste trabalho, foram desenvolvidas as primeiras duas tarefas do *ProKnow-C*. Sendo assim, construiu-se parte do conhecimento necessário acerca do tema pesquisado.

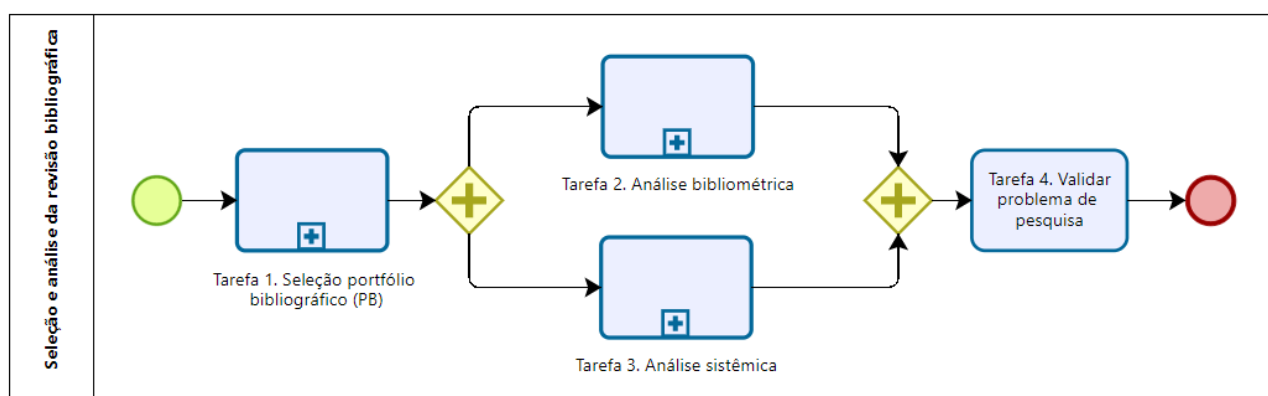


Figura 4. Tarefas do ProKnow-C.

Fonte: Adaptado de Kusterko (2015, p. 35).

3.1.1. Tarefa 1. Seleção de portfólio bibliográfico (PB)

Consiste na obtenção de um portfólio de publicações alinhados ao tema de pesquisa e com reconhecimento científico. A Figura 5 descreve esta tarefa, que são executadas em três fases (KUSTERKO, 2015): (i) a seleção dos artigos nas bases de dados que compõem o Banco de Artigos Bruto; (ii) a filtragem dos artigos selecionados com base no alinhamento da pesquisa; e, (iii) o teste de representatividade do PB.

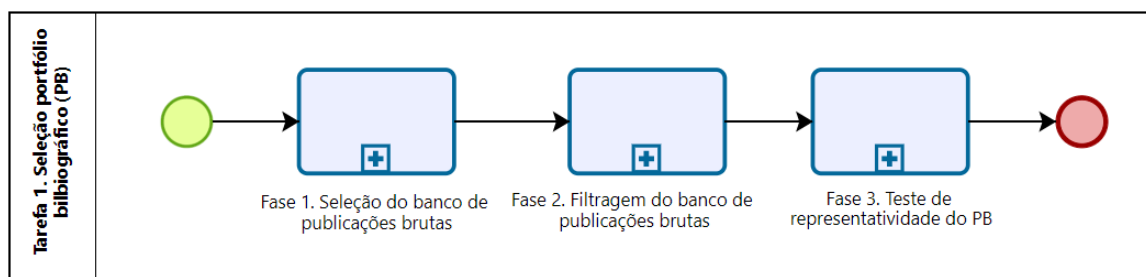


Figura 5. Fases da seleção portfólio bibliográfico (PB).

Fonte: Adaptado de Kusterko (2015, p. 35).

Para esta pesquisa foram utilizadas as seguintes delimitações:

- Campo de busca: título (*article title*), resumo (*abstract*) e/ou palavras-chave (*keywords*);
- Temporal: publicações a partir de janeiro de 2005 até novembro de 2024;
- Fontes: bases de dados alinhadas ao tema de pesquisa descrito no objetivo geral;
- Tipos de publicações: artigos de periódicos e conferências, dissertações e teses;
- Disponibilidade: apenas as publicações disponíveis na íntegra; e,
- Alinhamento ao tema de acordo com as percepções do pesquisador durante a: definição das palavras-chave, leitura dos títulos, leitura dos resumos e leitura integral do artigo.

3.1.1.1. Fase 1: Seleção do banco de artigos brutos

A Figura 6 apresenta o fluxo de processos para essa fase. Nesta fase, devem ser definidas as palavras-chave dos eixos do tema da pesquisa. Em seguida, estabelecer o banco de dados que será consultado e realizar a busca de publicações nesse banco pelo

uso das palavras-chave. Finalizar com o teste de aderência das palavras-chave. Sugere-se que as informações de cada publicação sejam exportadas para o gerenciador bibliográfico *Endnote*® 20, no formato RIS.

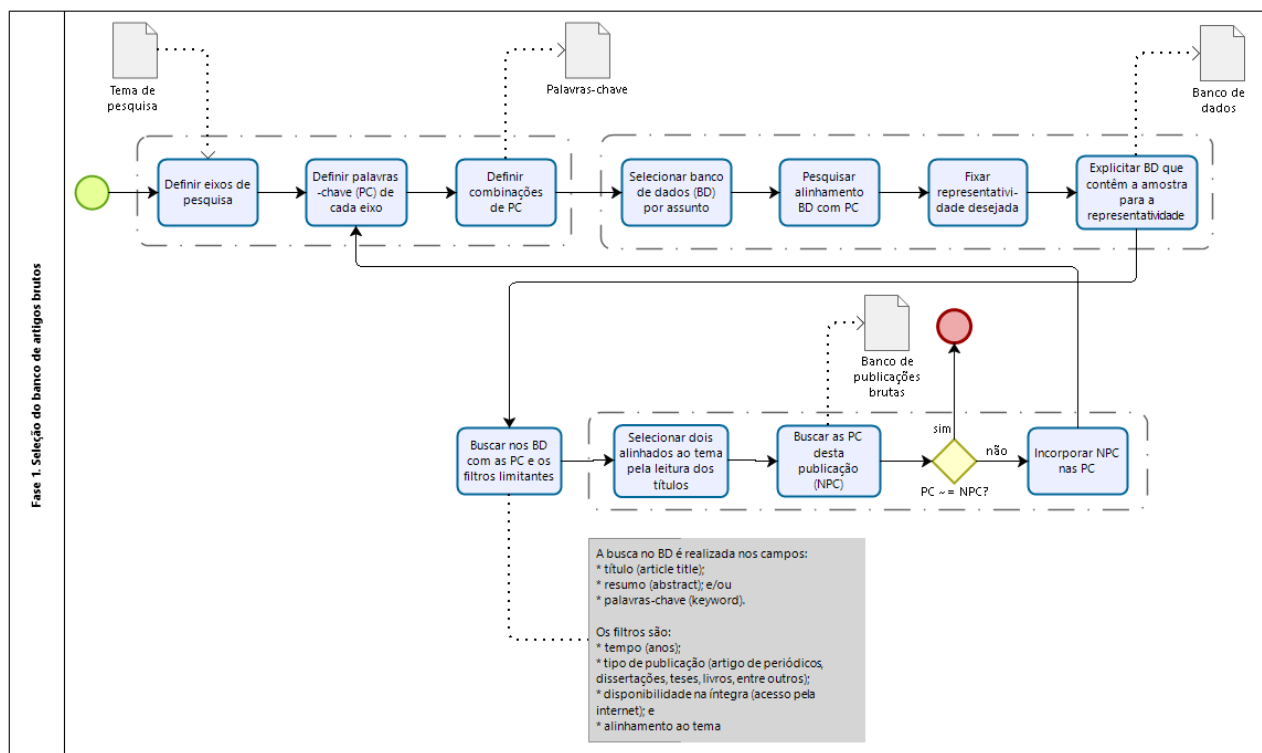


Figura 6. Fluxo de processo da fase 1: Seleção do banco de artigos brutos.

Fonte: Adaptado de Kusterko (2015, p. 38).

O teste de aderência serve para verificar a necessidade ou não de inclusão de nova(s) palavra(s)-chave aos eixos. Tal necessidade se verifica por meio da seleção de duas publicações, a priori, considerados aderentes ao tema, dentre os quais se devem avaliar o alinhamento das palavras-chave ao tema da pesquisa. Caso não seja satisfatória a aderência, deve-se incorporar novas palavras-chaves as iniciais e recommençar a pesquisa.

A execução da fase 1 é descrita a seguir:

- Definir eixos de pesquisa: Inicialmente, realizou-se a escolha dos eixos, a partir do objetivo geral descrito no item 1.2.1 deste documento, sendo esses: perdas aparentes de água, submedição de hidrômetros e método de apoio a decisão multicritério.
- Definir palavras-chaves (PC) para cada eixo e as combinações: A partir da definição dos eixos de pesquisa, foram selecionadas as palavras-chaves. Para o eixo “perdas aparentes de água”, as palavras-chaves são: perda, água

water e loss. Já, o eixo “submedição de hidrômetros”, tem-se as seguintes palavras-chaves: hidrômetro, “medidor de água”, submedição, “erro de medição”, *hydrometer*, “*water meter*”, *under-registration*, *sub-measurement* e *sub-metering*. Por último, o eixo “método de apoio a decisão multicritério”, foram escolhidas as palavras-chaves, sendo: “método multicritério”, “método de apoio a decisão multicritério”, “método de tomada a decisão multicritério”, “*multiple criteria*”, *multicriteria*, *multi-criteria*, “*several criteria*” e *multicriterial*.

- Selecionar a base de dados: Optou-se pela utilização do Portal de Periódicos, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Esse Portal é uma biblioteca virtual que reúne e disponibiliza um acervo de mais de 45 mil títulos com texto completo, 130 bases referenciais, 12 bases dedicadas exclusivamente a patentes, além de livros, enciclopédias e obras de referência, normas técnicas, estatísticas e conteúdo audiovisual (BRASIL, 2021). Como também, selecionou-se a base de dados Google Acadêmico (*Google Scholar*). Esta base coleta informações de repositórios de instituições de ensino, bibliotecas de órgãos governamentais e dezenas de períodos nacionais e internacionais.
- Buscar publicações para formação do banco de dados de artigos brutos: A busca ocorreu no mês de dezembro de 2024. A realização da busca ocorreu conforme descrito nesta fase. Sendo que, foram apenas analisadas as publicações a partir de 2005, nas bases de dados selecionadas, com o uso das palavras-chave em diferentes combinações nos campos de título, resumo e nas palavras-chave das publicações, e, quanto ao tipo de publicação, foram utilizados apenas os artigos de periódicos, dissertações e teses. O Quadro 1 apresenta as combinações de palavras-chave utilizadas e o número de publicações encontradas na base de dados selecionadas.
- Verificar aderência a pesquisa: Após a busca, escolheu-se dois artigos (SZILVESZTER; BELTRAN; FUENTES, 2017 e FONTANAZZA et al, 2015) que possuíam os títulos aderentes ao tema de pesquisa, em seguida, verificou-se o alinhamento das suas respectivas palavras-chave, assim, concluindo positivamente o teste de aderência, finalizando essa fase sem a

necessidade de incorporação de novas palavras-chave as iniciais, sendo desnecessária nova busca de publicações.

Quadro 1. Combinações de palavras-chave e o número de publicações encontradas.

Busca com as palavras-chave	Google Acadêmico
perda água multicritério (hidrômetro OR "medidor de água") (substituição OR troca) (submedição OR sub-medição OR "erro de medição")	9
<i>water loss "water meter" (substitution OR replacement) ("multiple criteria" OR multicriteria OR multi-criteria OR "several criteria" OR multicriterial)</i>	273

Fonte: Próprio autor.

3.1.1.2. Fase 2: Filtragem do banco de artigos brutos

A Figura 7 apresenta o fluxo de processos para essa fase. É proposto a filtragem do banco de artigos bruto quanto aos seguintes aspectos (ENSSLIN; ENSSLIN; PINTO, 2013, p. 336): (i) redundância (exclusão das publicações repetidas); (ii) alinhamento dos títulos das publicações com o tema (exclusão de títulos não alinhados); (iii) reconhecimento científico das publicações; (iv) alinhamento dos resumos das publicações ao tema de pesquisa; e, (v) disponibilidade das publicações na íntegra nas bases de dados.

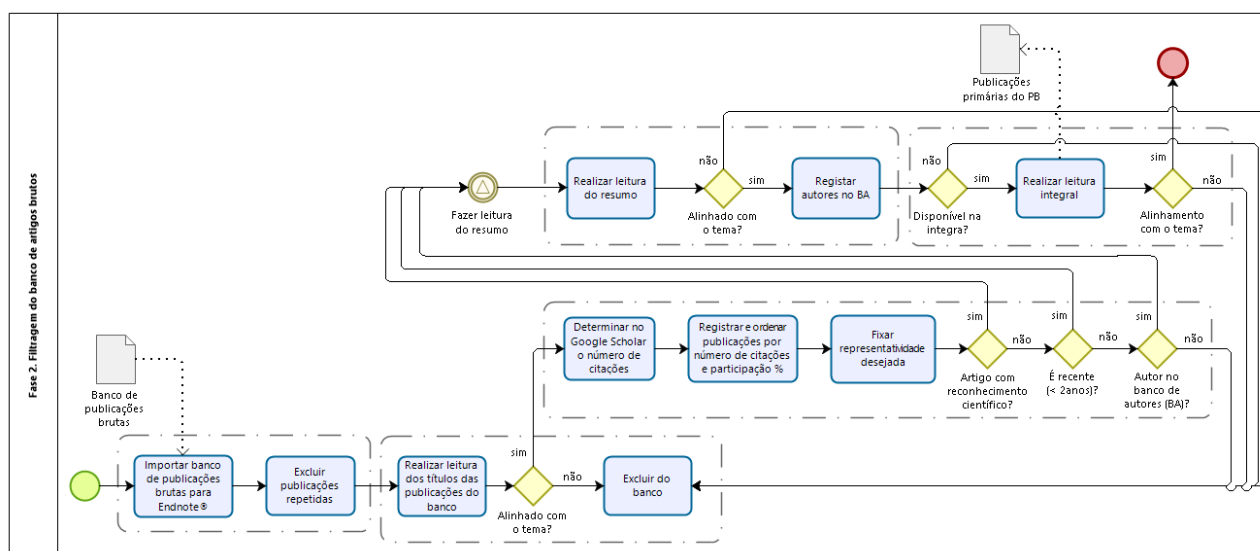


Figura 7. Fluxo de processo da fase 2: Filtragem do banco de artigos brutos.

Fonte: Adaptado de Kusterko (2015, p. 39).

Para realização da filtragem quanto à redundância, alinhamento dos títulos e alinhamento dos resumos, sugere-se o uso do gerenciador bibliográfico *Endnote*® 20. Para a verificação do reconhecimento científico, sugere-se a realização de consulta no *Google Scholar*, nesta realizando o levantamento do número de citações de cada publicação.

É sugerida a criação de uma planilha, na qual as publicações, selecionadas quanto ao atendimento do alinhamento do título, devem ser ordenadas de forma decrescente quanto ao número de citações. Em seguida, deve ser realizada a seleção das publicações que possuam o valor do somatório de suas citações dentro de um percentual de 80% da participação acumulada total de citações. Ou seja, elaborar um gráfico de Pareto com eixo y representando o somatório de citações de cada publicação e selecionar apenas as publicações que ocupem os 80% mais significativos. Para essas publicações, extraíram-se os autores para o Banco de Autores (BA).

Para as publicações com reconhecimento científico a confirmar, é necessário realizar uma reanálise, aceitando-se a inclusão de publicações recentes (menos de dois anos) cujo título e resumo estavam alinhados ao tema e/ou com autores presentes no BA.

Para finalizar, deve ser verificado o alinhamento das publicações na íntegra com o tema da pesquisa, sugere-se a leitura integral de todas essas publicações. Após essa leitura, devem ser excluídas as que não estão alinhadas ao tema.

A execução da fase 2 é descrita a seguir:

- Realizar a filtragem de artigos brutos: Nessa fase, que ocorre após o teste de aderência, foi iniciada com a análise de 282 (duzentos e oitenta e duas) publicações, excluindo as repetidas. Em seguida, foi feita as leituras dos títulos e encontradas 100 (cem) publicações alinhadas ao tema, depois verificou-se o reconhecimento científico das publicações, por meio do número de citações de cada publicação no *Google Scholar*, sendo selecionadas 29 (vinte e nove) publicações que se encontram entre as 80% mais significativas. Depois, foi identificado 19 (dezenove) publicações com alinhamento dos resumos ao tema, apenas uma única publicação não estava disponível na íntegra na base de dados, assim, foi realizada a leitura na íntegra das 18 (dezoito) publicações restantes e identificadas que todas estão alinhadas com o tema descrito como objetivo geral no item 1.2.1.

3.1.1.3. Fase 3: Teste de representatividade do Portfólio Bibliográfico (PB)

A Figura 8 apresenta o fluxo de processos para essa fase. Esta fase consiste em analisar todas as referências das publicações do PB na busca de publicação relevante à pesquisa que pudesse ser incorporado a ele. Deve ser realizada restrição temporal e tipo de publicação. Sugere-se o uso do gerenciador bibliográfico *Endnote*® 20 para listar as referências.

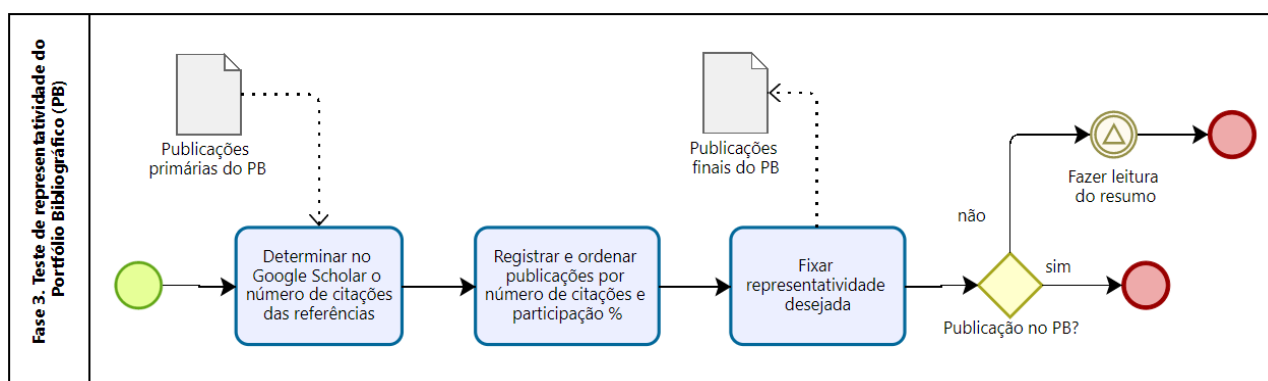


Figura 8. Fluxo de processo da fase 3: Teste de representatividade do Portfólio Bibliográfico.

Fonte: Adaptado de Kusterko (2015, p. 40).

Segundo Kusterko (2015), o Portfólio Bibliográfico é o conjunto restrito de publicações com reconhecimento e destaque científico, com título, resumo e conteúdo completo, alinhados com um determinado tema segundo a percepção e delimitações de um pesquisador.

A execução da fase 3 é descrita a seguir:

- Testar a representatividade do Portfólio Bibliográfico: Nessa fase, foi identificado 26 (vinte e seis) publicações, a partir da análise das referências das publicações identificadas na fase anterior, alinhadas ao tema, segundo a percepção e as delimitações do autor desta pesquisa, assim, foram somados as 18 (dezoito) publicações da fase anterior, totalizando 44 (quarenta e quatro) publicações do PB, apresentado no Apêndice A, com 44 (quarenta e quatro) publicações. Sendo assim, finalizado a construção do referencial teórico e permitindo a análise bibliométrica.

3.1.2. Tarefa 2. Análise bibliométrica

Consiste na contagem de ocorrência de determinadas variáveis (características) nas publicações finais do Portfólio Bibliográfico, para quantificar as informações existentes e mapear a estrutura do conhecimento de um campo científico, servindo, também, para construir o conhecimento inicial nos pesquisadores, de tal forma que saibam onde buscar informações sobre o tema (ENSSLIN; ENSSLIN; PACHECO, 2012, p. 83).

A Figura 9 apresenta o fluxo de processos para essa tarefa. As variáveis adotadas foram os periódicos, artigos, autores e palavras-chave relacionados ao tema de pesquisa. As fontes de dados para essas variáveis são o PB, apresentado no Apêndice A, com 44 (quarenta e quatro) publicações, as referências do PB e, por fim, o PB em conjunto com suas referências.

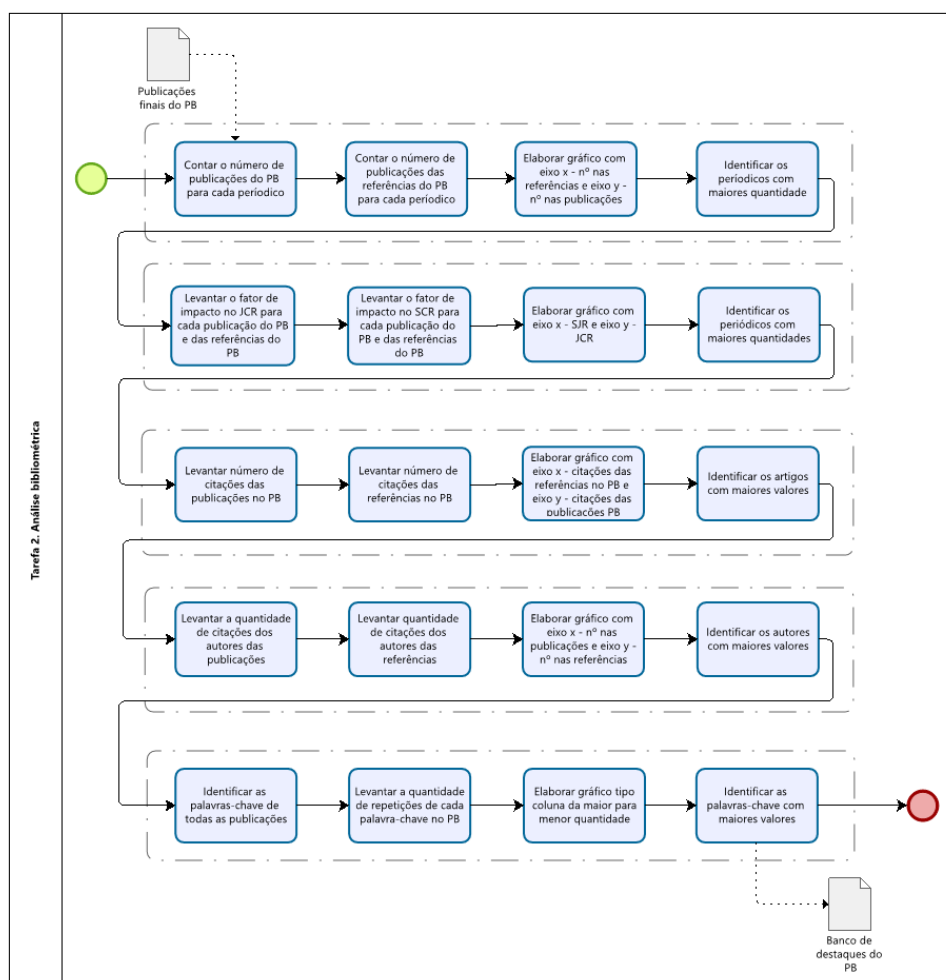


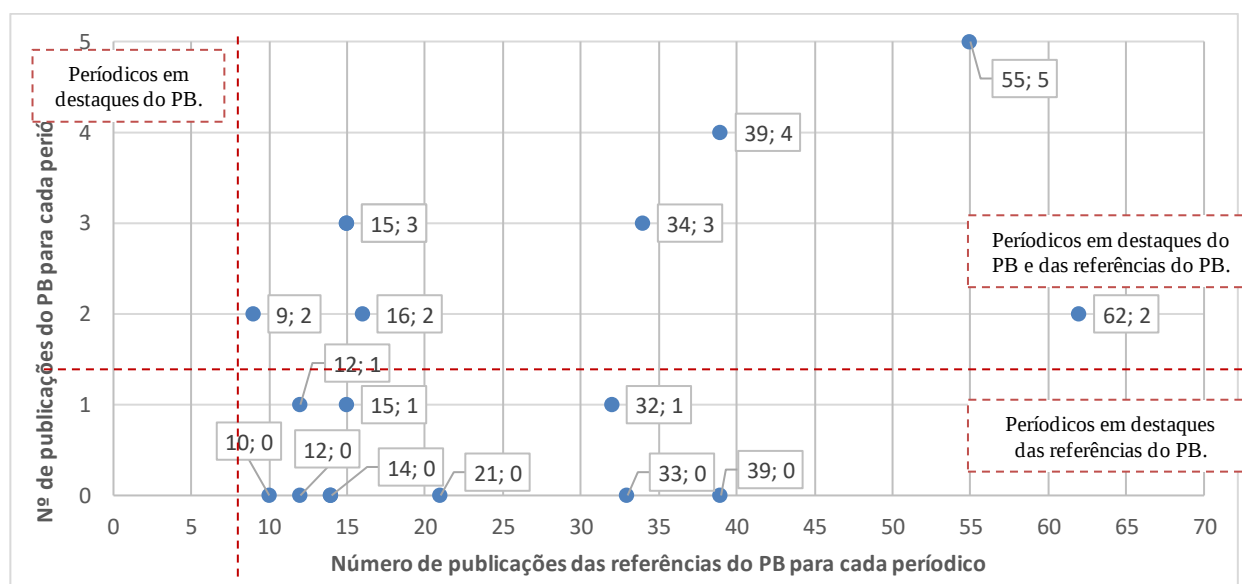
Figura 9. Fluxo de processo da tarefa 2: Análise bibliométrica.

Fonte: Adaptado de Kusterko (2015, p. 64-69).

A execução da tarefa 2 é iniciada conforme a seguir:

- Foram realizadas a contagem do número de publicações do PB e de suas respectivas referências para cada periódico;
- Foi elaborado o Gráfico 1 e identificado os periódicos em destaque, sendo apresentado no Quadro 2. Para evidenciar os critérios do PB em relação as suas referências, foram traçadas uma linha vertical e uma linha horizontal na cor vermelha, dividindo o gráfico cartesiano em quadrantes, permitindo a identificação dos destaques.

Gráfico 1. Periódicos e conferências em destaque no PB e das suas respectivas referências.



Fonte: Próprio autor.

Quadro 2. Periódicos e conferências em destaque no PB e das suas respectivas referências.

Periódico / Conferência	PB	Referências
<i>Journal AWWA</i>	2	62
<i>Journal of Water Resources Planning and Management</i>	5	55
<i>IWA 'Leakage 2005' Conference</i>	4	39
<i>Water Supply</i>	0	39
<i>Urban Water Journal</i>	3	34
<i>IWA Publishing</i>	0	33
<i>Water Resources Management</i>	1	32
<i>ISO</i>	0	21
<i>Water Practice and Technology</i>	2	16
<i>5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference</i>	3	15
<i>Water S.A.</i>	3	15

<i>4th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference</i>	1	15
<i>Elsevier Science & Technology Books</i>	0	14
<i>Water and Environment Journal</i>	0	14

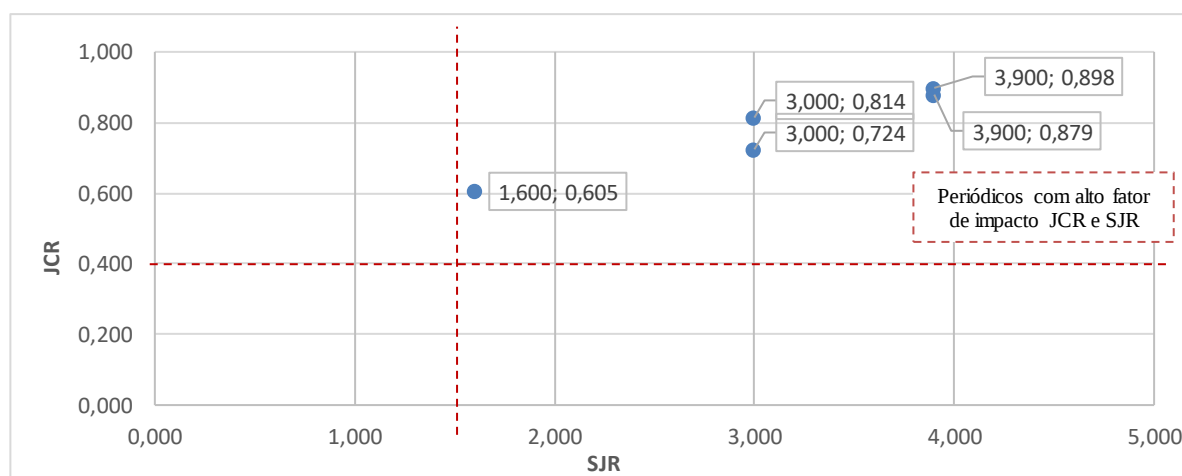
Fonte: Próprio autor.

É possível observar que a maioria dos periódicos e das conferências de destaque apresentados no Quadro 2 estão relacionados aos assuntos “água” ou “perdas de água”, ambos palavras-chave do tema de pesquisa. Os periódicos em destaque são “*Journal AWWA*” e “*Journal of Water Resources Planning and Management*” em relação ao PB e suas respectivas referências.

Em seguida, a execução da tarefa 2 é continuada:

- Foi realizado o levantamento do fator de impacto para cada periódico e conferência do PB nas bases do *Journal Citation Reports* (JCR) e *Scimago Journal & Country Rank* (SJR). O fator de impacto do JCR utiliza o *Journal Impact Factor* (JIF), que é uma métrica de nível de periódico calculada a partir de dados indexados na *Web of Science Core Collection*. O fator de impacto do SJR é uma medida de influência científica de periódicos que contabiliza tanto o número de citações recebidas por um periódico quanto a importância ou prestígio dos periódicos de onde vêm tais citações.
- Foi elaborado o Gráfico 2 e foi identificado os periódicos e conferências de destaques, sendo esses apresentados no Quadro 3.

Gráfico 2. Fator de impacto dos periódicos do PB no SJR versus JCR.



Fonte: Próprio autor.

Quadro 3. Fator de impacto dos periódicos do PB no SJR e JCR.

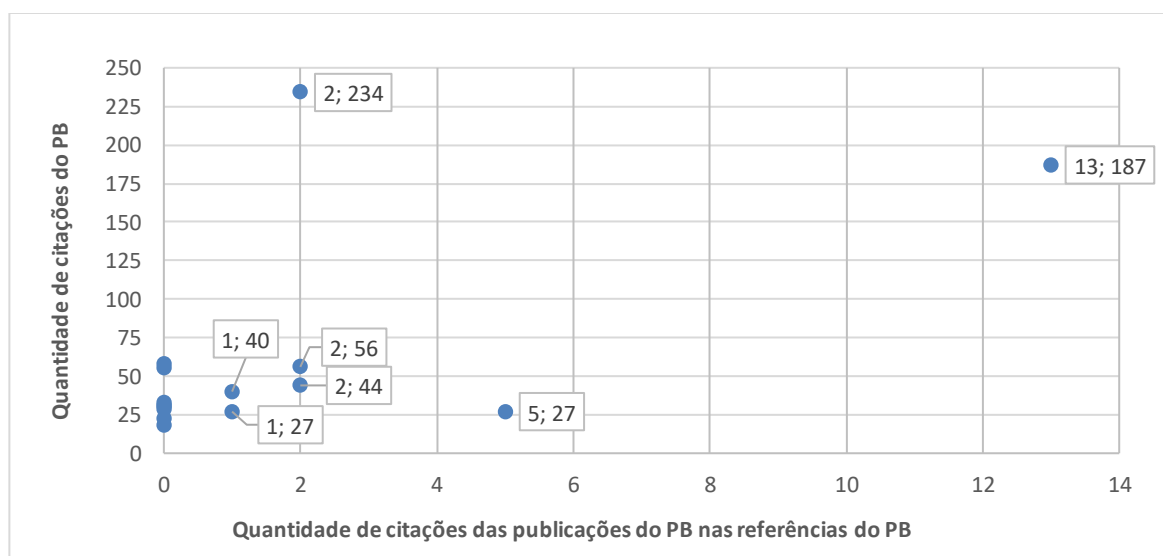
Periódico	ISSN	SJR	JCR
<i>Water Resources Management</i>	0920-4741	0,898	3,900
<i>Stochastic Environmental Research and Risk Assessment</i>	1436-3240	0,879	3,900
<i>Journal of Water Resources Planning and Management</i>	0733-9496	0,814	3,000
<i>Water</i>	2073-4441	0,724	3,000
<i>Urban Water Journal</i>	1573-062X	0,605	1,600
<i>Water Resources Management</i>	0920-4741	0,898	3,900

Fonte: Próprio autor.

É possível observar que os periódicos com maiores fatores de impacto são “*Water Resources Management*” e “*Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*”.

A tarefa 2 é continuada:

- Foi realizado o levantamento da quantidade de citações das publicações do PB na base do *Google Scholar*, logo em seguida, foi contado o número de vezes que cada publicação do PB foi referenciada no PB, sendo os resultados apresentados no Quadro 4.
- Foi elaborado o Gráfico 3, que apresenta as publicações com maiores quantidades de citações das publicações do PB (eixo y) e do quantitativo de citações de cada publicação do PB nas referências do PB (eixo x).

Gráfico 3. Publicações de destaque no PB e nas suas respectivas referências.

Fonte: Próprio autor.

Quadro 4. Títulos das publicações em destaque na quantidade de citações do PB e nas referências do PB.

Títulos das publicações	Periódico	Autor	PB	Referências
<i>Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems</i>	<i>Journal of Water Resources Planning and Management</i>	MUTIKANGA, H. E.	234	2
<i>Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply</i>	<i>Water Practice and Technology</i>	CRIMINISI, A.	187	13
<i>Quantifying meter under-registration caused by the ball valves of roof tanks</i>	<i>IWA 'Leakage 2005' Conference</i>	RIZZO, A.	58	0
<i>Apparent Losses Analysis in District Metered Areas of Water Distribution Systems</i>	<i>Water Resources Management</i>	XIN, K.	56	2
<i>Optimal Meter Placement for Water Distribution System State Estimation</i>	<i>Journal of Water Resources Planning and Management</i>	KANG, D.	55	0
<i>The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance</i>	<i>Urban Water Journal</i>	FONTANAZZA, C. M.	44	2
<i>Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa</i>	<i>Water S.A.</i>	COUVELIS, F.	40	1
<i>Residential Water Meter Replacement Economics</i>	<i>IWA 'Leakage 2005' Conference</i>	DAVIS, S.	33	0
<i>Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss</i>	<i>Water S.A.</i>	MOAHLOLI, A.	31	0
<i>Understanding non-registration in domestic water meters: Implications for meter replacement strategies</i>	<i>Water</i>	MUKHEIBIR, P.	30	0
<i>How to measure and reduce water meter park efficiency?</i>	<i>IWA 'Leakage 2005' Conference</i>	FERREOL, E.	28	0
<i>A mathematical model to evaluate apparent losses due to meter under-registration in intermittent water distribution networks</i>	<i>Water Science and Technology: Water Supply</i>	DE MARCHIS, M.	27	1

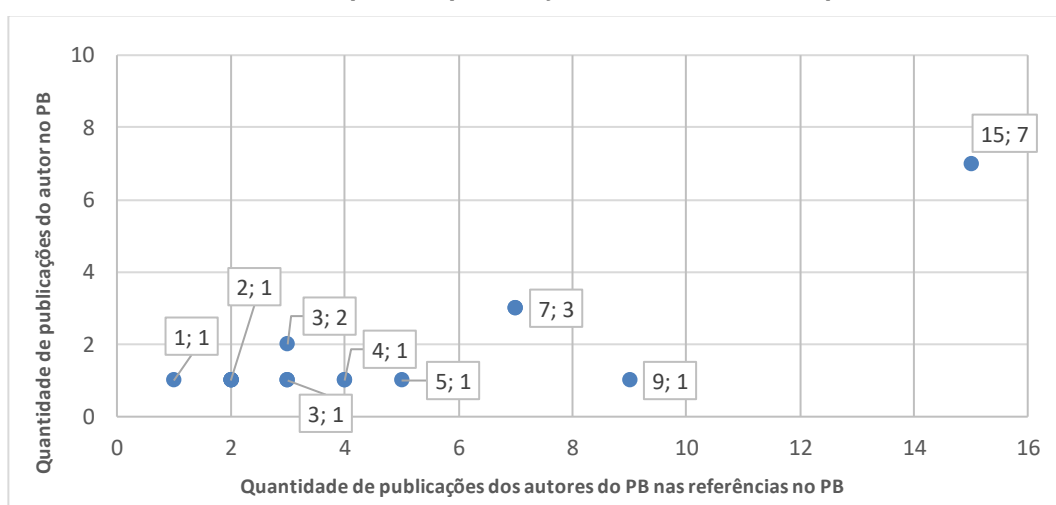
Fonte: Próprio autor.

O resultado obtido, permite afirmar que as publicações em destaque no PB são: “*Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems*” e “*Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply*”.

Seguiu-se a execução da tarefa 2:

- A contagem de publicações dos autores no PB foi realizada, em seguida, foi contado o número de vezes de publicações dos autores do PB nas referências no PB, sendo os resultados apresentados no Quadro 5.
- Foi elaborado o Gráfico 4, que apresenta o quantitativo para os autores das publicações no PB (eixo y) e para os autores do PB nas referências no PB (eixo x).

Gráfico 4. Autores de destaque nas publicações do PB e suas respectivas referências.



Fonte: Próprio autor.

Quadro 5. Lista dos autores de destaque do PB e nas referências.

Autores	PB	Referência
ARREGUI, F. J.	7	15
FONTANAZZA, C. M.	3	7
MUTIKANGA, H. E.	3	7
FANTOZZI, M.	2	3
FERREOL, E.	1	9
KANG, D.	1	5
DE MARCHIS, M.	1	4
TABESH, M.	1	4
MUKHEIBIR, P.	1	3
RIZZO, A.	1	3
COUVELIS, F.	1	2
CRIMINISI, A.	1	2

Fonte: Próprio autor.

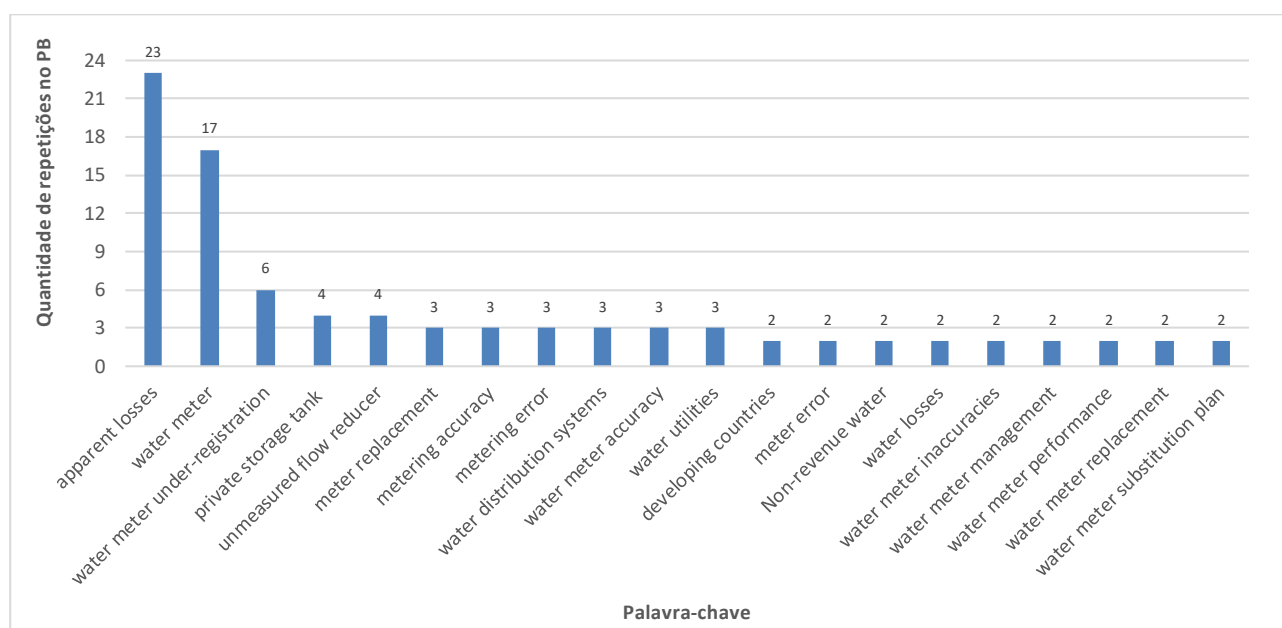
Os autores em destaque são ARREGUI, F. J. e FONTANAZZA, C. M. com 7 e 3 publicações no PB, respectivamente.

A tarefa 2 foi concluída com:

- A identificação, ajustes de sinônimos e contagem das palavras-chave de cada publicação do PB.
- Foi elaborado o Gráfico 5, que apresenta as palavras-chave em destaque.

As palavras-chave em destaque são “*apparent losses*” e “*water meter*”, sendo, respectivamente a quantidade de 23 e 17 repetições entre as publicações no PB.

Gráfico 5. Palavras-chave em destaque das publicações do PB.



Fonte: Próprio autor.

3.2. Comentários finais sobre este capítulo

É evidente a necessidade de gestão do conjunto de hidrômetros (ou parque de hidrômetros) utilizados pela concessionária, assim, proporcionando a melhoria da medição dos volumes consumidos de água. Normalmente, as correções são realizadas com a troca dos hidrômetros antigos por novos, porém os custos são elevados e as companhias de saneamento não possuem recursos financeiros suficientes para trocar a totalidade de hidrômetros instalados nos seus sistemas de abastecimento de água, exigindo que seja feita a priorização.

Neste cenário, os gestores das companhias precisam decidir quais os hidrômetros devem ser priorizados para a garantia da confiabilidade metrológica das medições. Para o sucesso dessa priorização, é fundamental que os responsáveis pela

tomada de decisão conheçam o tempo de uso, a quantidade e o decaimento do volume consumido, perfil e categoria do imóvel que se encontra instalado o hidrômetro, a quantidade de contas não pagas, também avaliem outras possibilidades que permitam a redução da submedição dos hidrômetros, diminuindo as perdas de água com aumento de faturamento.

Para a assertividade na escolha do conjunto de medidores, é aceitável o uso de soluções como sistema de apoio a decisão multicritério na priorização da troca de hidrômetros. Desta feita, este trabalho centrou na seleção das referências bibliográficas para compor um referencial teórico sobre o contexto estudado, que possibilitou analisar um conjunto de 282 publicações, divulgados entre os anos de 2005 e 2024, e finalizando com a geração do PB contendo 44 documentos conforme apresentados no Apêndice A.

A seleção do PB nos permite afirmar que existe uma quantidade pequena de publicações que abordam o objetivo geral deste trabalho. Sendo assim, o desenvolvimento de um sistema de apoio a decisão multicritério para troca de hidrômetros é algo que poderá oferecer uma contribuição científica. Além do mais, terá aplicativa prática com possibilidade de aumento de faturamento e redução de perdas aparentas de uma Companhia de abastecimento de água, podendo contribuir para a sustentabilidade hídrica e financeira do setor de saneamento do Brasil.

Além desta seleção, foi realizado uma análise bibliométrica, que consiste na contagem de ocorrência de determinadas variáveis (características) nas publicações do PB e suas respectivas referências. Com os resultados, é possível quantificar as informações existentes e mapear a estrutura do conhecimento de um campo científico sobre o objetivo geral deste trabalho, assim, é possível saber quais são os principais periódicos, publicações, autores e palavras-chave, sendo:

- Períodos com maior número de publicações (períodos em destaque): *“Journal AWWA”* e *“Journal of Water Resources Planning and Management”*;
- Periódicos com maior fator de impacto do JCR e SJR: *“Water Resources Management”* e *“Stochastic Environmental Research and Risk Assessment”*;
- Publicação com maior número de citações (publicações em destaque): *“Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems”*;

- Autor com maior número de citações (autores em destaque): ARREGUI, F.J.; e, FONTANAZZA, C. M.
- Palavras-chaves com maior número de repetições (palavras-chave em destaque): “*apparent losses*” e “*water meter*”.

A análise bibliográfica não tenta construir um referencial teórico em si, mas contribui para que estudos sobre o tema de pesquisa sejam baseados em um processo estruturado para a seleção e evidenciação das publicações, autores e periódicos mais relevantes e que suportarão o arcabouço teórico dos trabalhos acadêmicos e científicos futuros.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

São apresentados o enquadramento metodológico, os materiais e os métodos empregados para o desenvolvimento desta pesquisa.

4.1. Enquadramento metodológico

Tem como objetivo apresentar e esclarecer os procedimentos metodológicos utilizados durante a pesquisa, nas dimensões: natureza da pesquisa (pesquisa quanto aos resultados), abordagem do problema, pesquisa baseada no objetivo geral (natureza do objetivo) e procedimentos técnicos.

4.1.1. Natureza da pesquisa

Pesquisa aplicada. É gerar conhecimento para aplicação prática, com o uso do método de MCDA, dirigido à solução de problema de pesquisa descrito como objetivo geral descrito no item 1.2.1 deste documento. Além disso, a aplicação prática do método de calibração, dirigido para a correção da medição de hidrômetros. Inicialmente, o pesquisador busca formar o conhecimento pelos estudos de artigos, autores e periódicos considerados relevantes na análise bibliométrica (MARCONI; LAKATOS, 2006, p. 186), e, em seguida, o pesquisador busca construir um modelo capaz de ser usado na prática (RICHARDSON, 2017), personalizado aos aspectos julgados como importantes pelo decisor.

4.1.2. Abordagem do problema

Qualitativa e quantitativa. É pesquisa quali-quantitativa, pois considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo (modelos matemáticos determinísticos e probabilísticos) e a subjetividade do sujeito (decisor) que não pode ser traduzido em números. Além disso, o uso de MCDA no desenvolvimento da pesquisa, exige que se utilize abordagens puramente qualitativas e pouco estruturadas – como *brainstorm* e grupos de discussão – e os modelos quantitativos rigidamente estruturados para análise das funções-objetivo, sujeitas a um conjunto de restrições (GOMES; GOMES, 2014, p. 86). Também, permite a relação entre os valores

medidos do hidrômetro e os valores de referência do padrão, admitindo objetivamente, por meio de modelos matemáticos, traduzidos em números, o cálculo do resultado, a correção da medição e sua respectiva incerteza expandida.

4.1.3. Pesquisa baseada no objetivo geral

Exploratória e descritiva. É pesquisa exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema de pesquisa, descrito no objetivo geral descrito no item 1.2.1 deste documento, com vistas a torná-lo explícito, possibilitar o levantamento de hipóteses (possíveis motivos para a existência de perdas aparentes devido a submedição dos hidrômetros) e permitir a construção de solução, baseado no MCDA. É pesquisa descritiva, pois visa descrever e identificar as características do problema de pesquisa, por meio do levantamento de portfólio bibliográfico (RICHARDSON, 2017). Como também, tem a finalidade de criar um método de calibração para hidrômetros, além de permitir o cálculo da incerteza expandida.

4.1.4. Procedimento técnico

Pesquisa bibliográfica e estudo de caso. É utilizada a pesquisa bibliográfica com base na busca de publicações acadêmicas (artigos, monografias, dissertações, teses, livros e outros) disponíveis na internet. Também é realizado estudo de caso, visto que é proposto o desenvolvimento do programa de computador para apoio na priorização da troca de hidrômetros, que proporcione uma efetiva redução de perdas de água e, destarte, o aumento de faturamento, por meio da escolha de região geográfica no município do Recife/PE para seleção de medidores do parque de hidrômetros de uma companhia estadual de saneamento.

Ademais, é utilizado o estudo de caso, visto que é proposto um procedimento de calibração de hidrômetros. Inicialmente foi realizado o estudo da Portaria nº 246 (INMETRO, 2000) para conhecer o procedimento da calibração, bem como os seus valores de referência, que serão utilizados para a avaliação dos hidrômetros calibrados. Também foi realizado um estudo no Guia para a expressão da incerteza da medição ISO GUM (2008), para obter conhecimento sobre como expressar os valores para cada incerteza de medição encontrada no processo. Na sequência, foi realizado um estudo na bancada de

medição da COMPESA para entendimento sobre seu funcionamento e levantamento sobre os erros associados ao processo que geram incertezas de medição. Após o levantamento dos dados, foi criado um método de calibração com base no funcionamento da bancada de medição da COMPESA e da Portaria nº 246 (INMETRO, 2000), e foram realizados os cálculos das contribuições das incertezas de medição seguindo as recomendações do ISO GUM (2008).

4.2. Materiais

É descrito os hidrômetros e a bancada de calibração utilizados nesta pesquisa.

4.2.1. Hidrômetro

O hidrômetro escolhido nesta pesquisa foi do tipo velocímetro, diâmetro nominal (DN) 20 mm (3/4 in), monojato, vazão nominal de 1,5 m³/h, vazão máxima de 3,0 m³/h, instalação na horizontal, classe metrológica B, de acordo com a especificação da COMPESA de nº NTC-103 (COMPESA, 2014) e Portaria nº 246 (INMETRO, 2000).

Esses medidores representam algo próximo de 95% (noventa e cinco por cento) do parque de hidrômetros do município do Recife-PE, região territorial utilizada no modelo proposto. A base de dados com as informações históricas do cadastro comercial, técnico e medições mensais dos hidrômetros foi extraída do sistema GSAN da COMPESA.

4.2.2. Bancada de calibração

A bancada de calibração é o meio utilizado para serem feitas as comparações entre o valor fornecido pelo hidrômetro (indicação) e o valor de referência do padrão (valor verdadeiro), permitindo o cálculo do erro de indicação, as incertezas associadas e, por consequente, o resultado da calibração. A bancada de calibração realiza a medição em litros de acordo com o mostrador do tanque escolhido, e o volume em litros é dividido pelo tempo que é cronometrado em segundos para obter a vazão em litros por segundo. A comparação com o hidrômetro é realizada entre o valor de referência (valor verdadeiro) que é obtido no mostrador do tanque em litros, com a subtração entre as leituras final e inicial realizadas no hidrômetro, que também é dada em litros.

O laboratório de hidrometria da COMPESA possui a bancada de calibração de hidrômetro do tipo volumétrico apresentada na Figura 10, que foi utilizada na obtenção dos resultados desta pesquisa. Essa bancada possui: (a) sistema de circulação de água, contendo conjunto motor e bomba, tubulação e conexões e acessórios para colocação dos hidrômetros; (b) sistema de medição padrão de vazão de água, em litros por segundo, contendo dois tanques de 100 e 10 litros, válvulas globo para ajuste da vazão, painel elétrico para seleção dos tanques e ajuste do sistema de bombeamento, leitura dos valores de referência, rotâmetros, manômetros e painel digital com o valor da temperatura da água de circulação nos hidrômetros em calibração. O padrão utilizado para na bancada é acreditado, permitindo que sejam emitidos certificados de calibração.



Figura 10. Bancada de calibração de hidrômetros da COMPESA.

Fonte: Próprio autor.

4.3. Métodos

Gil (2008, p. 8) define “[...] método como caminho para se chegar a um determinado fim. E método científico como o conjunto de procedimentos intelectuais e

técnicos adotados para se atingir o conhecimento”. A partir destas definições, pretende-se apresentar os métodos para solucionar o problema de pesquisa descrito no objetivo geral descrito no item 1.2.1 deste documento, por meio do método 1: modelo de apoio a decisão e o método 2: calibração de hidrômetros.

4.3.1. Método 1: Modelo de apoio a decisão

Inicialmente, faz-se a escolha do método MCDA a ser adotado, que dependerá do problema de decisão multicritério¹, dos múltiplos objetivos e critérios, dos atores envolvidos, da estrutura das alternativas e preferências e do tipo de resposta que se deseja alcançar, ou seja, qual a problemática (GOMES; GOMES, 2014, p. 78). Para tal, as seguintes hipóteses foram adotadas:

- O problema de pesquisa é identificado no objetivo geral descrito no item 1.2.1 como um problema de decisão multicritério (ou seja, possui múltiplos objetivos), do tipo problemática de ordenação;
- A combinação dos múltiplos objetivos se fará por meio da avaliação subjetiva do decisor individual (ou seja, um único indivíduo efetua julgamento de valor);
- O método é não compensatório²;
- O método de sobreclassificação³, PROMETHEE II;
- O conjunto de alternativas deverá ser estável⁴, globalizado⁵ e não sequencial⁶; e,

² Método não compensatório: Não há compensação (*trade-offs*) dos desempenhos de uma alternativa entre os diversos critérios avaliados (ALMEIDA, 2011, p. 46).

³ Método de sobreclassificação: (*outranking*, superação, prevalência ou subordinação) É o método baseado na comparação par a par entre as alternativas, explorando as relações de preferências de superação. Que confere duas propriedades: (i) a possibilidade de existir incomparabilidades entre alternativas; e (ii) a relação entre alternativas pode não ser transitiva (GOMES; GOMES, 2014, p. 133)

⁴ Estável: O conjunto de alternativas (ou ações) é definido desde o início e não se altera no decorrer do processo decisório (ALMEIDA, 2011, p. 31).

⁵ Globalizado: Cada elemento do conjunto de alternativas exclui o outro elemento (ALMEIDA, 2011, p. 31).

⁶ Não sequencial: O conjunto de alternativas não se altera ao longo do tempo durante o processo decisório (ALMEIDA, 2011, p. 32).

- A família de critérios deverá ser do tipo, quando a estrutura de preferências, como pré-ordem completa.

Para o método MCDA, é escolhido o PROMETHEE II para a problemática de ordenação, a partir de uma avaliação global, de forma balanceada, por meio de critérios e preferências estabelecidos pelo decisor individual, e capaz de suportar o processo de alocação de investimento de tempo e de recursos para a troca de hidrômetros numa determinada região de uma companhia estadual de saneamento. Sendo assim, configura-se como um modelo singular, que possui validade e legitimidade para o contexto em que e para que foi construído; portanto, não se trata de um modelo generalista.

4.3.1.1. Organização do modelo proposto

Almeida (2011, p. 182) sugere uma sequência de tarefas para a modelagem do método MCDA, adaptada e apresentada na Figura 11. Ademais, deve-se lembrar da visão de refinamentos sucessivos para o processo de modelagem (ALMEIDA, 2011, p. 184).

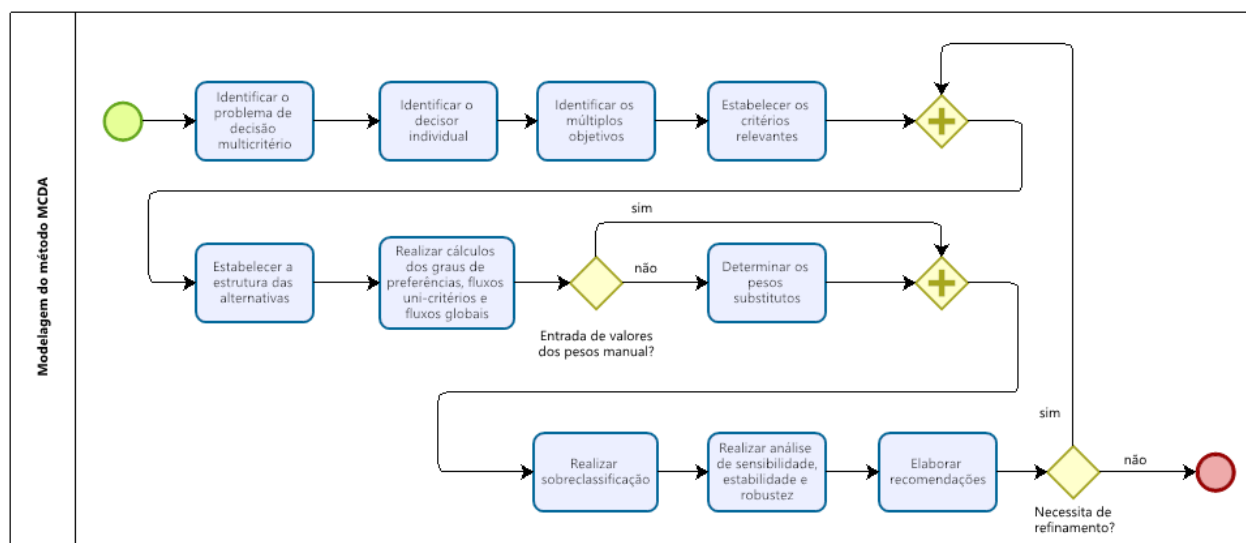


Figura 11. Sequências de tarefas para modelagem do MCDA.

Fonte: Adaptada de Almeida (2011, p. 182).

4.3.1.1.1. Identificar o problema de decisão multicritério

Deve ser estabelecido o problema de decisão multicritério.

4.3.1.1.2. Identificar o decisor individual

É o indivíduo responsável em avaliar, de forma integrada, os múltiplos objetivos que são representados por variáveis, muitas vezes em unidades de medida diferentes (ALMEIDA, 2011, p.14), e estabelecer a estrutura de preferências sobre as consequências envolvidas no problema de decisão multicritério (ALMEIDA, 2011, p. 12).

4.3.1.1.3. Identificar os múltiplos objetivos

A aplicação de qualquer método MCDA pressupõe a necessidade de se estabelecer quais objetivos o decisor pretende alcançar, quantificados por meio dos critérios (ALMEIDA, 2011, p. 12).

Sendo assim, é imprescindível a obtenção, numa visão estruturada, dos n objetivos do problema de decisão multicritério ($G = \{G_1, G_2, G_3, \dots, G_i\}$, sendo $i > 1$), conforme a sugestiva da Quadro 6, com o emprego de código, descrição, unidade de medida, critério e resultado esperado.

Quadro 6. Relação dos múltiplos objetivos.

Código	Descrição	Unidade⁷	Classe⁸	Resultado esperado⁹
G_1				
G_2				
...				
G_i				

Fonte: Próprio autor.

⁷ Unidade: É a unidade de medida de cada objetivo.

⁸ Classe: É o grau em que cada objetivo é atingido, podendo representar algumas propriedades, como mensurabilidade, operacionalidade ou compreensibilidade (ALMEIDA, 2011, p. 186). Ex. custo, desempenho, conforto, segurança, tempo, entre outros.

⁹ Resultado esperado: É o resultado esperado de cada objetivo. Ex. maximização ou minimização.

4.3.1.1.4. Estabelecer os critérios relevantes

A família de critérios ($F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$, sendo $k > 1$) deve atender a várias propriedades, dentre as quais: ser capaz de representar todos os múltiplos objetivos (exaustividade) sem que haja redundância. Então, considera-se que o problema de decisão multicritério envolve certo número de k critérios relevantes (ALMEIDA, 2011, p.19).

A Quadro 7 apresenta uma sugestão para estruturação dos critérios relevantes definidos pelo decisor individual, com o emprego de código, critério, unidade de medida, descrição curta (relacionada com o objetivo), resultado esperado. Os critérios podem ser classificados, associando-os quanto a estrutura de preferências, conforme Almeida (2011, p. 46). Nesta pesquisa, deve ser adotado o critério de pré-ordem completa de acordo com a hipótese do item 4.3.1.

Quadro 7. Relação dos critérios relevantes.

Código	Critério (unidade)	Valor / escala	Resultado esperado
f_1			
f_2			
...			
f_k			

Fonte: Próprio autor.

4.3.1.1.5. Estabelecer a estrutura das alternativas

O conjunto de n alternativas ($A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$) é o espaço de ações possíveis para a geração das soluções de um determinado processo decisório (ALMEIDA, 2011, p. 31). Nesta pesquisa, deve ser adotado o conjunto de hidrômetros, que são alternativas de acordo com o item 4.2.1. O Quadro 8 apresenta a matriz consequência, que é a relação de alternativas e seus respectivos valores para cada critério.

Quadro 8. Matriz consequência.

Alternativa	f_1	f_2	...	f_k
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_k(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_k(a_2)$
...	...	...	...	...
a_n	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	...	$f_k(a_n)$

Fonte: Próprio autor.

O decisor individual deverá excluir as alternativas que poderiam causar interferência (*outlier*) do Quadro 8. Os *outliers* são dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros, são pontos fora da curva. Em outras palavras, um outlier é um valor que foge da normalidade e que pode (e provavelmente irá) causar anomalias nos resultados obtidos por meio de algoritmos e sistemas de análise.

4.3.1.1.6. Realizar cálculos dos graus de preferência, fluxos uni-critérios e fluxos globais

O decisor atribui a cada critério sua importância relativa, assim, definindo as suas preferências de forma subjetiva e em função das suas percepções individuais (GOMES; GOMES, 2014, p. 78-79). O modelo de preferências é uma representação formal de comparações de elementos, por meio dessa modelagem, pode-se representar a estrutura de preferências do decisor em relação às consequências¹⁰, a partir da análise de um problema de decisão multicritério (ALMEIDA, 2011, p. 34).

A hipótese da pesquisa descrita no item 4.3.1.1 define o uso do método PROMETHEE II. Sendo assim, o decisor deverá:

- identificar, para cada critério relevante, uma função de intensidade de preferência $P_k(a, b)$ mais adequada, das opções existentes no Quadro 9. O resultado dessa função representa a comparação entre os valores das alternativas a e b , para o critério (f_k) (ALMEIDA, 2011, p. 137-138). A geração de cada $P_k(a, b)$ é caracterizada como avaliação intra-critério¹¹. No Quadro 9 os parâmetros q_k , p_k e s_k indicam os pontos, respectivamente, de preferência, indiferença e inflexão da curva gaussiana.

¹⁰ Consequências: (*payoffs*) É a combinação entre as alternativas e os critérios, formando uma matriz com cada elemento p_{ij} representando a consequência da escolha da alternativa i em relação ao critério j (ALMEIDA, 2011, p. 19-20)

¹¹ Intra-critério: Consiste na avaliação de um par de alternativas (a, b) para cada critério $f_k(a)$ e $f_k(b)$, o que leva a função $P_k(a, b) = [f_k(a) - f_k(b)]$ (ALMEIDA, 2011, p. 137).

Quadro 9. Funções de intensidade de preferência.

Tipo	Descrição	Função	Gráfico
I	Critério usual (Usual)	$P_k(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) > 0 \\ 0, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) \leq 0 \end{cases}$	
II	Quase critério (U-shape)	$P_k(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) > q_k \\ 0, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) \leq q_k \end{cases}$	
III	Critério de preferência linear (V-shape)	$P_k(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) > p_k \\ \frac{[f_k(a) - f_k(b)]}{p_k}, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) \leq p_k \\ 0, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) \leq 0 \end{cases}$	
IV	Critério de nível (Level)	$P_k(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) > p_k \\ \frac{1}{2}, & \text{se } q < f_k(a) - f_k(b) \leq p_k \\ 0, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) \leq q_k \end{cases}$	
V	Critério de área de indiferença (Linear)	$P_k(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) > p_k \\ \frac{[f_k(a) - f_k(b) - q_k]}{(p_k - q_k)}, & \text{se } q < f_k(a) - f_k(b) \leq p_k \\ 0, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) \leq 0 \end{cases}$	
VI	Critério Gaussiano (Gaussian)	$P_k(a, b) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{[f_k(a) - f_k(b)]^2}{2s_k^2}}, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) > 0 \\ 0, & \text{se } f_k(a) - f_k(b) \leq 0 \end{cases}$	

Fonte: Adaptada de BRANS; VINCKE (1985, p. 650-652).

- realizar os cálculos de graus de preferência, por meio das funções de intensidade de preferência para cada critério (f_k), assim, obtendo as k matrizes ($n \times n$) de graus de preferência, conforme Quadro 10;

Quadro 10. Matriz ($n \times n$) de graus de preferência para critério f_k .

Alternativ a	a_1	a_2	...	a_n
a_1	$P_k(a_1, a_1)$	$P_k(a_1, a_2)$	...	$P_k(a_1, a_n)$
a_2	$P_k(a_2, a_1)$	$P_k(a_2, a_2)$	...	$P_k(a_2, a_n)$
...	...	...	...	...
a_n	$P_k(a_n, a_1)$	$P_k(a_n, a_2)$	...	$P_k(a_n, a_n)$

Fonte: Adaptado de Almeida (2011).

- estabelecer que a matriz de uni-critério para cada critério f_k será igual a matriz $(n \times n)$ de graus de preferência para critério f_k quando o critério f_k for de maximização ou será igual a matriz transposta de matriz $(n \times n)$ de graus de preferência para critério f_k quando o critério f_k for de minimização;
- determinar o fluxo de saída uni-critério $\Phi_k^+(a_i)$ pelo cálculo da Equação (1), sendo k e i , respectivamente, o identificador do critério e da alternativa. O fluxo de saída uni-critério representa a “intensidade de preferência” de ‘ a_i ’, sobre todas as alternativas ‘ a_j ’, na matriz $(n \times n)$ de graus de preferência (Quadro 10) respectivamente, as duas variáveis representam as linhas e as colunas dessa matriz. Sendo j as alternativas e n o total de alternativas. Quanto maior $\Phi_k^+(a_i)$, melhor a alternativa;

$$\Phi_k^+(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n P_k(a_i, a_j) \quad (1)$$

- determinar o fluxo de entrada uni-critério $\Phi_k^-(a_i)$ pelo cálculo da Equação (2), sendo k e i , respectivamente, o identificador do critério e da alternativa. O fluxo de saída uni-critério representa a “intensidade de preferência” de ‘ a_j ’, sobre todas as alternativas ‘ a_i ’, na matriz $(n \times n)$ de graus de preferência (Quadro 10), respectivamente, as duas variáveis representam as colunas e as linhas dessa matriz. Sendo j e n , respectivamente, o identificador da alternativa e o valor total de alternativas. Quanto menor $\Phi_k^-(a_i)$, melhor a alternativa;

$$\Phi_k^-(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n P_k(a_j, a_i) \quad (2)$$

- calcular o fluxo líquido uni-critério [$\Phi_k(a_i)$] pelo cálculo da Equação (3), sendo k e i , respectivamente, os identificadores do critério e alternativa, caracterizada como avaliação inter-critério¹² (ALMEIDA, 2011, p. 137);

$$\Phi_k(a_i) = \Phi_k^+(a_i) + \Phi_k^-(a_i) \quad (3)$$

- determinar o tipo de entrada e os valores do peso p_i para cada critério, podendo ser do tipo automático, tendo seus valores calculados de acordo com o item 4.3.1.1.7, ou do tipo manual, tendo seus valores definidos pelo decisor. Independentemente do tipo de entrada, o somatório de cada peso p_i deverá obedecer a Equação (4), sendo k e i , respectivamente, os identificadores do critério e alternativa; e

$$\sum_{i=1}^k p_i = 1 \quad (4)$$

- calcular o fluxo global $\Phi(a_i)$ utilizando a Equação (5), sendo i o identificador da alternativa.

$$\Phi(a_i) = \sum_{i=1}^k p_i \Phi_i(a_i) \quad (5)$$

4.3.1.1.7. Determinar os pesos substitutos

A determinação do peso p_i para cada critério é essencial para a tomada de decisão. Desta forma, o decisor deverá:

- definir a ordem de prioridade, ou nível de influência, que cada critério apresenta no problema de decisão, e permitir que esta ordem reflita suas preferências;

¹² Inter-critério: Consiste na avaliação que considera a combinação dos diferentes critérios (ALMEIDA, 2011, p. 21).

- definir o peso de cada critério de forma manual, como o esforço cognitivo é alto, pode-se optar pelos pesos substitutos, que é uma forma automática de calcular os pesos. Os pesos substitutos são calculados pela transformação da informação ordinal (ordem de prioridade) em valores cardinais para serem utilizados na estrutura de decisão. Após o cálculo dos pesos substitutos, será escolhido o que apresentar o maior valor de retorno mensal do investimento, por meio da comparação desse retorno, após a troca dos hidrômetros, realizando a simulação do cálculo do valor de retorno para cada método de cálculo dos pesos substitutivos.
- Serão adotados 6 (seis) métodos para cálculo dos pesos substitutos:
 - Método dos pesos iguais (*Equal Weights* – EW) (DAWES; CORRIGAN, 1974);
 - Método da soma das posições (*Rank Sum* – RS) (STILLWELL; SEAVER; EDWARDS, 1981);
 - Método dos pesos recíprocos (*Reciprocal of the Ranks* – RR) (STILLWELL; SEAVER; EDWARDS, 1981);
 - Método de ordem de classificação pelo centroide (*Rank Order Centroid* – ROC) (BARRON, 1992) (MORAIS et al., 2015);
 - Método dos pesos empíricos (*Empiric Weights* – EW) (ALFARES; DUFFUAA, 2009); e,
 - Método combinado da soma das posições e pesos recíprocos (*weight method is an additive combination of Sum and Reciprocal weight* – SR) (DANIELSON; EKENBERG, 2014).

4.3.1.1.8. Realizar sobreclassificação

Consiste na aplicação do método MCDA, de acordo com o item 4.3.1.1, que estabelece como hipótese o uso do método PROMETHEE II. Nesta tarefa, é necessário:

- Realizar organização em ordem decrescente das alternativas baseada nos valores calculadas a partir da Equação (5), estabelecendo uma pré-ordem completa entre as alternativas, a partir das relações de Preferência e Indiferença, respectivamente, Equações (6) e (7), sendo a e b alternativas.

Desta forma, a matriz de sobreclassificação será a relação dos hidrômetros prioritários por ordem decrescente.

$$aPb \text{ se } \Phi(a) > \Phi(b) \quad (6)$$

$$aIb \text{ se } \Phi(a) = \Phi(b) \quad (7)$$

- Realizar o cálculo do retorno mensal do investimento após a troca do hidrômetro para cada alternativa da matriz de sobreclassificação.

4.3.1.1.9. Realizar análise de sensibilidade, estabilidade e robustez

Após a aplicação do método MCDA, torna-se importante a realização de uma análise de sensibilidade, estabilidade e robustez.

De acordo com GOMES; GOMES (2014, p. 137),

A análise de sensibilidade tem por objetivo verificar de que forma as variações introduzidas nos parâmetros característicos do método influenciam nos resultados obtidos.

A análise de estabilidade visa verificar a velocidade com que uma solução se degrada a um nível predeterminado. Isto é, num problema multicritério, a solução encontrada apresenta: (i) estabilidade fraca se, após análise de sensibilidade, a melhor solução permanece dentro do conjunto de soluções não dominadas; e (ii) estabilidade forte se, após análise de sensibilidade, o conjunto de soluções não dominadas não se altera.

A análise de robustez tem por objetivo verificar até que ponto, após análise de sensibilidade, a pré-ordem encontrada no conjunto de solução não dominadas não se altera.

4.3.1.1.10. Elaborar recomendações

Nesta tarefa, segundo Kusterko (2015, p. 54) o decisor tem a chance de identificar as oportunidades que melhorem o desempenho no apoio a decisão, além de entender os efeitos da implementação destas ações nos múltiplos objetivos.

De maneira geral, as recomendações permitem ao decisor: (i) identificar os aspectos em que se deva intervir; (ii) identificar ações que promovam o aperfeiçoamento;

e (iii) visualizar os efeitos da implementação do resultado do MCDA. Além disso, é possível testar novos cenários, fazer simulações a fim de melhor entender as consequências e apoiar as decisões (VALMORBIDA et al., 2014, p. 21; MARAFON et al., 2015).

Cabe ressaltar que essa fase não possui um caráter prescritivo para informar o que fazer, mas, sim, caráter de orientativo, para ajudar a construir oportunidades e compreender seus efeitos (MACHADO; ENSSLIN; ENSSLIN, 2015, p. 556).

4.3.1.2. Programa computacional

Utilizando a linguagem Python® 3.9, foi desenvolvido um programa computacional denominado Sistema de Apoio para Priorização da Troca de Hidrômetros – SAPHO, para auxiliar o decisor, baseado no método multicritério PROMETHEE II. O programa computacional surgiu com a proposta de se tornar uma ferramenta essencial para o gestor do parque de hidrômetros de uma campanha de abastecimento de água, facilitando a entrada de dados, automatizando algumas etapas de seleção e contribuindo para o aumento de faturamento com a geração de lista de hidrômetros com maior velocidade e assertividade.

O programa computacional foi estruturado em 7 etapas, sendo:

- 1º etapa – Filtro inicial
- 2º etapa – Filtro complementar
- 3º etapa – Seleção do método
- 4º etapa – Seleção dos critérios e *outlier*
- 5º etapa – Cálculo dos fluxos uni-critério
- 6º etapa – Cálculo dos pesos
- 7º etapa – Sobreclassificação

A Figura 12 ilustra o fluxograma de processo do programa computacional.

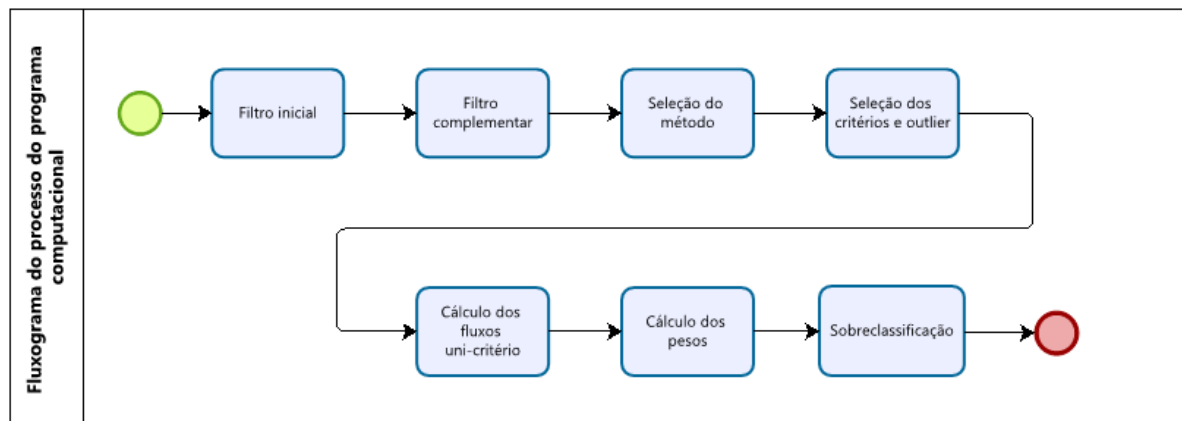


Figura 12. Fluxograma de processo do programa computacional.

Fonte: Próprio autor.

A Figura 13 apresenta a sequência de informações para elaboração da lista priorizada de hidrômetro realizada pelo programa de computador implementado.

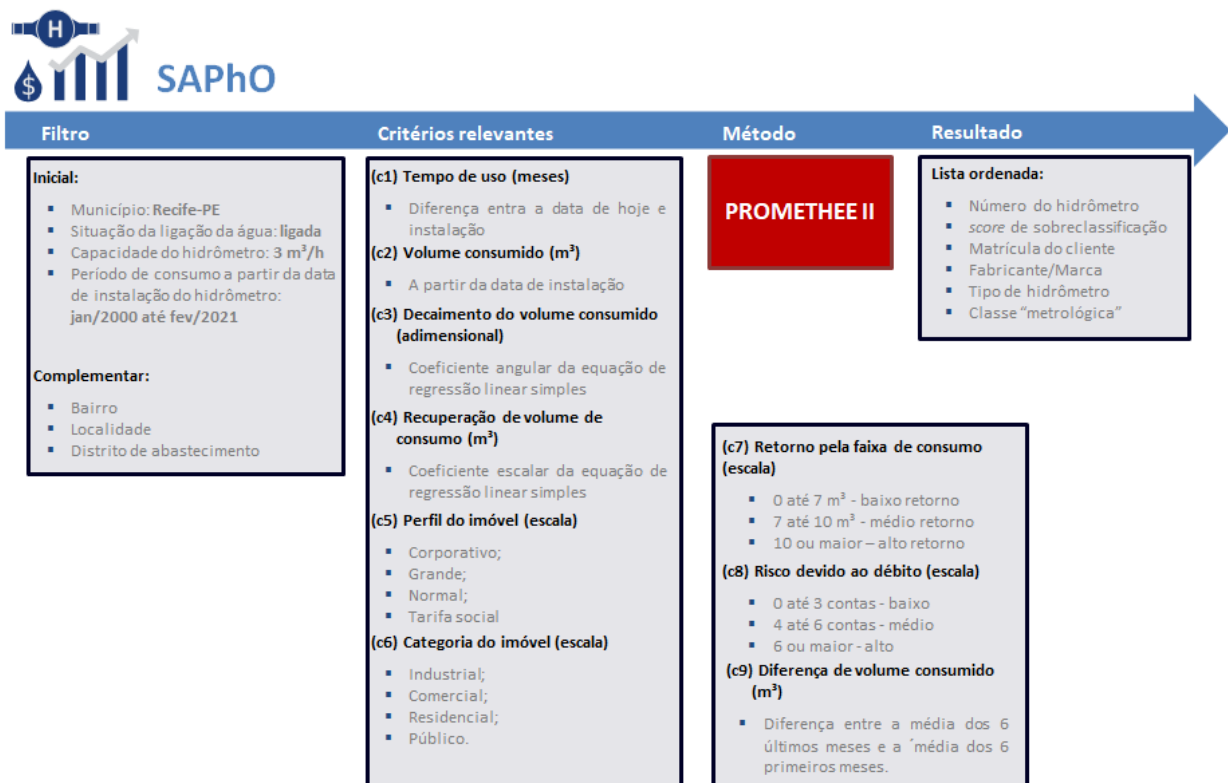
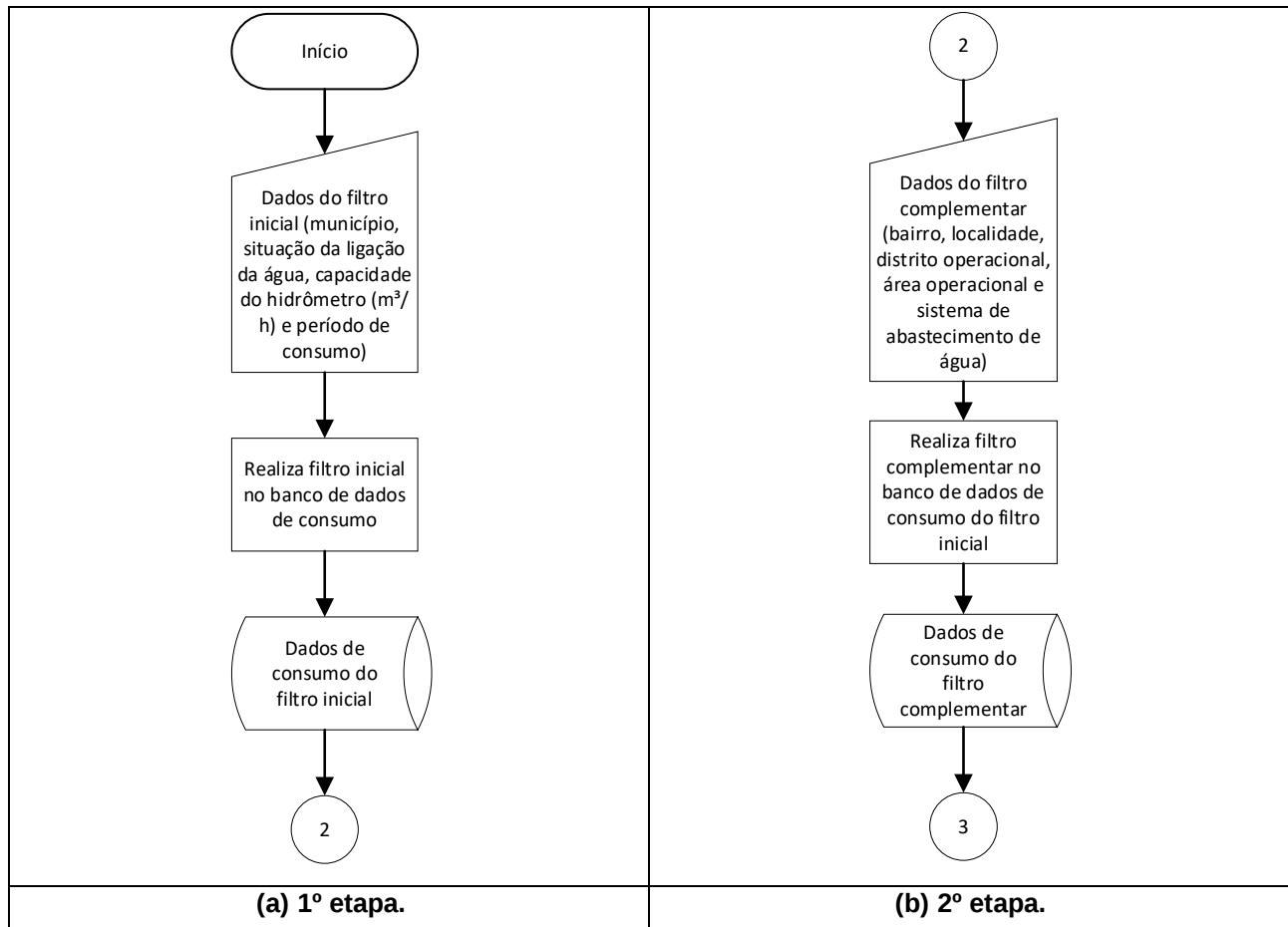
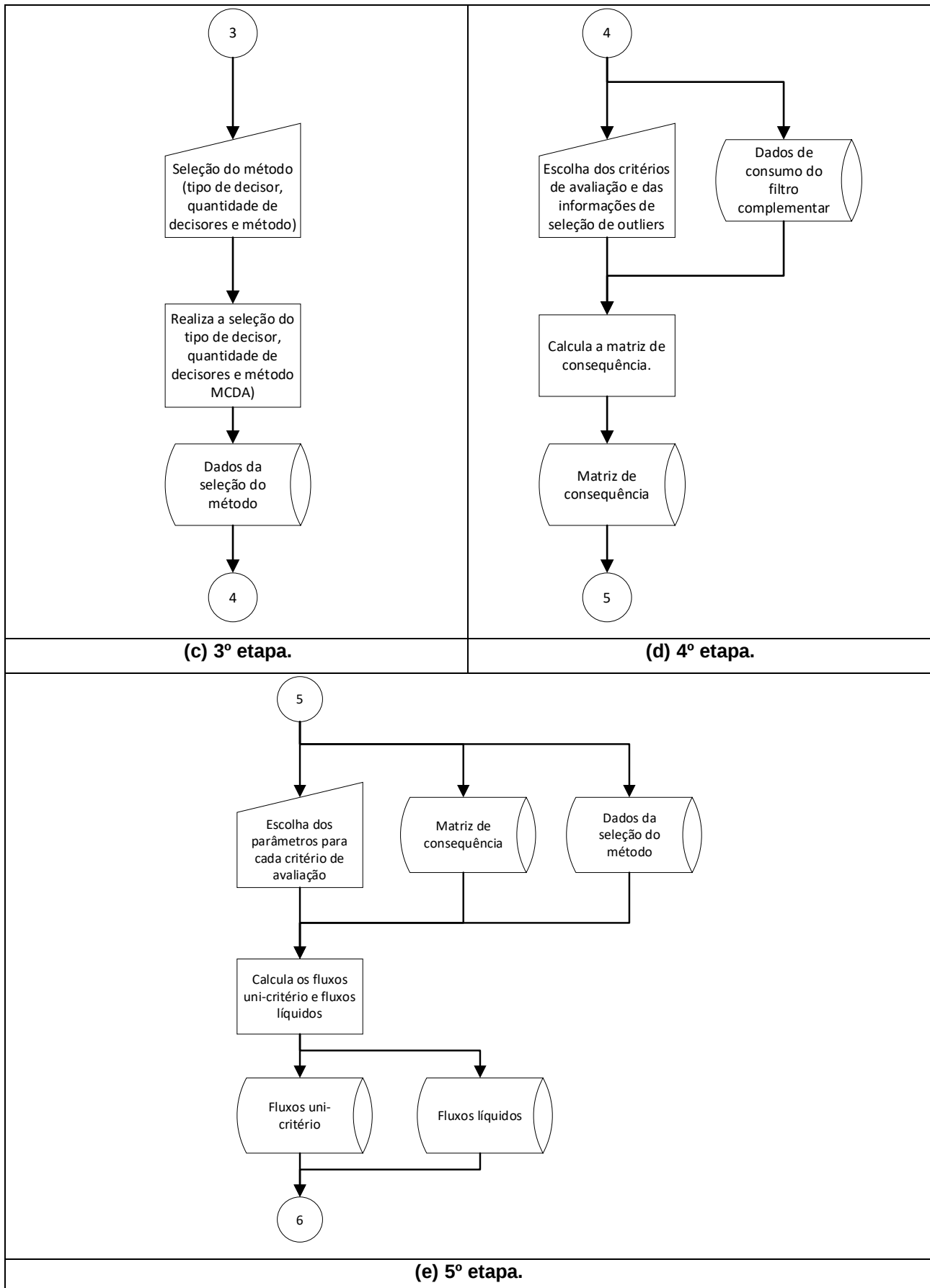


Figura 13. Fluxo de dados do programa de computador para apoio a decisão na priorização da troca de hidrômetros.

Fonte: Próprio autor.

Um fluxograma contendo o algoritmo de funcionamento é apresentado na Figura 14. Na etapa de compilação do programa computacional, serão realizados cálculos matemáticos para o uso do método MCDA PROMETHEE II.





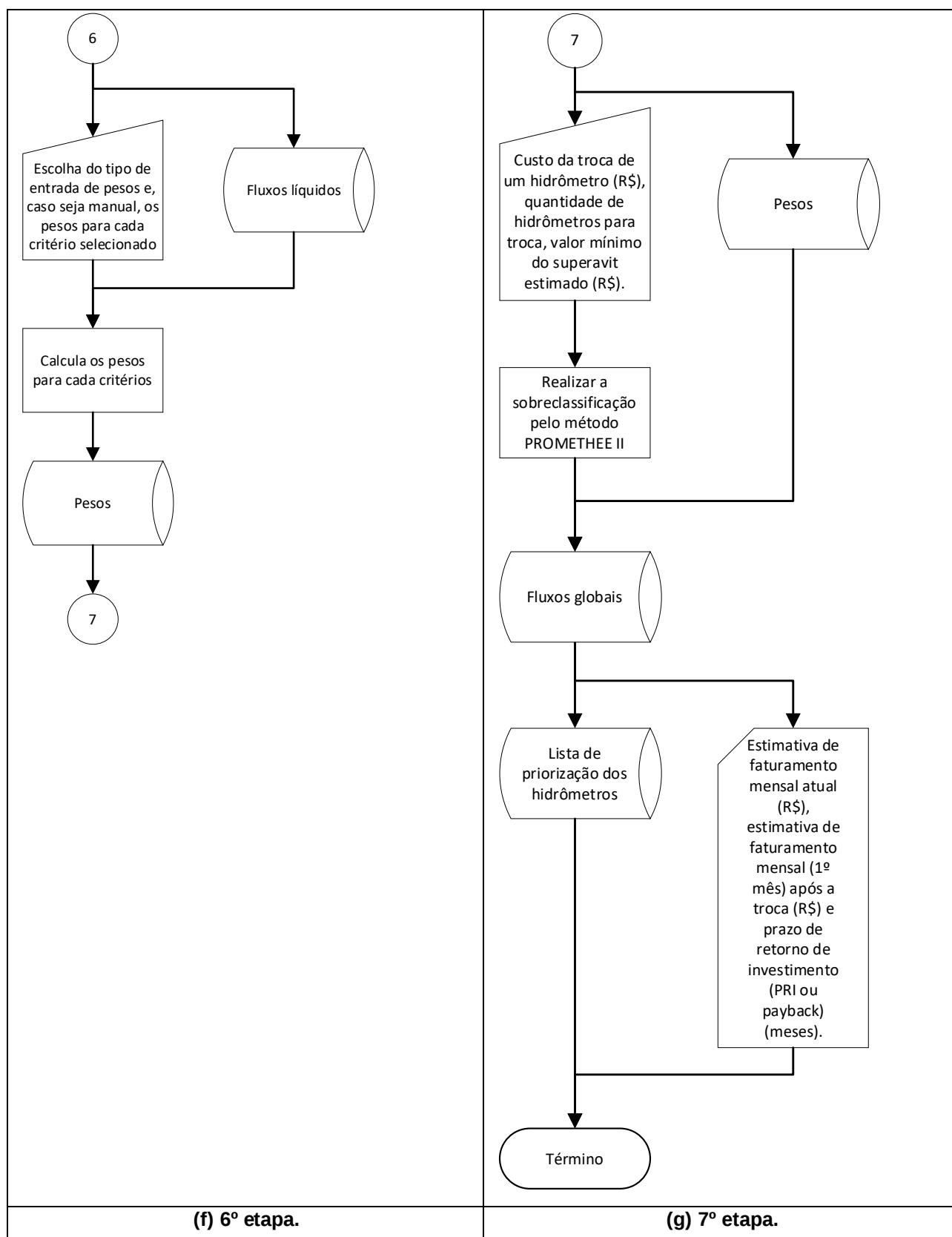


Figura 14. Fluxograma do algoritmo de funcionamento do programa SAPhO.

Fonte: Próprio autor.

4.3.2. Método 2: Calibração de hidrômetros

O método apresenta o procedimento de calibração dos hidrômetros, assim, permitindo a análise da submedição do conjunto de hidrômetros priorizados para a troca, a quantificação das perdas aparentes e a análise da confiabilidade metrológica.

4.3.2.1. Organização do método de calibração

Para a descrição do método de calibração foi adotada a Portaria nº 246 (INMETRO, 2000). A bancada descrita no item 4.2.1 é utilizada para a aplicação do método conforme os passos descritos neste item e apresentado na Figura 15.

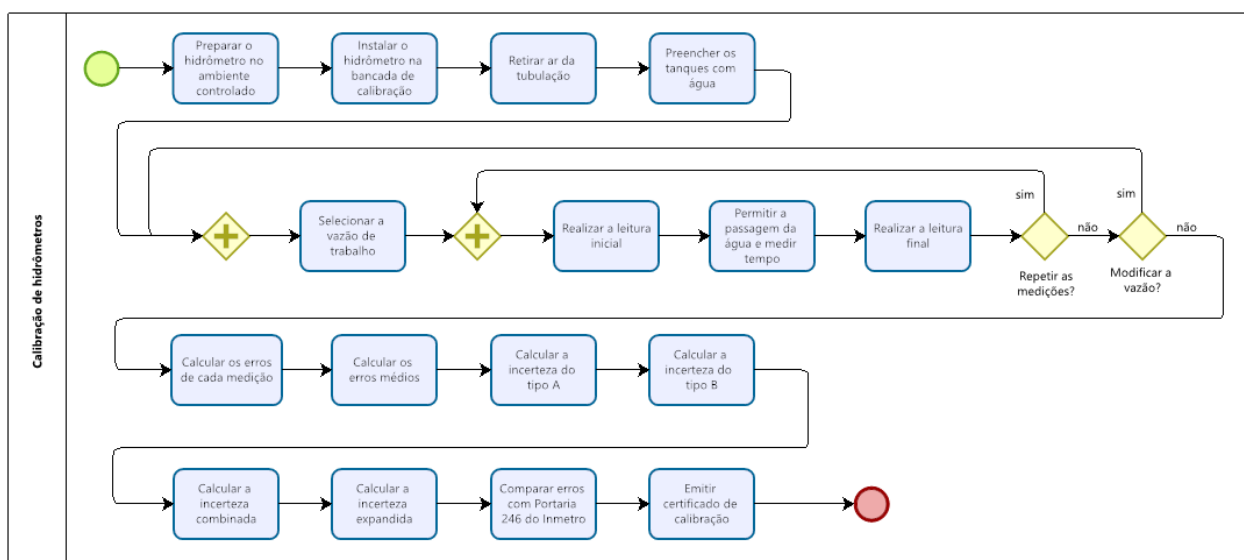


Figura 15. Método para calibração de hidrômetros.

Fonte: Próprio Autor.

4.3.2.1.1. Preparação da amostra e bancada

Foram adotados os seguintes passos:

- Passo 1: Preparar a amostra mantendo o hidrômetro em um ambiente climatizado com temperatura entre 22 e 28 °C por pelo menos 5 (cinco) horas;
- Passo 2: Instalar o hidrômetro na bancada de calibração;
- Passo 3: Retirar o ar da tubulação, permitindo a passagem de água por todo o sistema; e,

- Passo 4: Preencher os tanques com água para retirar o condensado no interior do tanque.

4.3.2.1.2. Medição

A medição foi realizada nos hidrômetros especificados no item 4.2.1. Conforme determina o ensaio de verificação dos erros de indicação, descrito no item 8.4, da Portaria nº 246 (INMETRO, 2000), devem ser realizadas as medições nos três seguintes intervalos das vazões máxima ($Q_{m\acute{a}x}$), de transição (Q_t) e mínima ($Q_{m\grave{i}n}$). Sendo esses intervalos entre:

- $0,45Q_{m\acute{a}x}$ e $0,5Q_{m\acute{a}x}$
- Q_t e $1,1Q_t$
- $Q_{m\grave{i}n}$ e $1,1Q_{m\grave{i}n}$

Para o tipo de hidrômetro adotado, sabendo que $0,5 Q_{m\acute{a}x}$ é igual à vazão nominal, esses valores são conhecidos conforme a Figura 16, em que os valores estão em m^3/h .

Classes Metrológicas		VAZÃO NOMINAL (m^3/h)									
		0,6	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0
A	$Q_{m\grave{i}n} (m^3/h)$	0,024	0,030	0,040	0,040	0,100	0,140	0,200	0,240	0,400	0,600
	$Q_t (m^3/h)$	0,060	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,500	0,600	1,000	1,500
B	$Q_{m\grave{i}n} (m^3/h)$	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,100	0,120	0,200	0,300
	$Q_t (m^3/h)$	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,400	0,480	0,800	1,200
C	$Q_{m\grave{i}n} (m^3/h)$	0,006	0,0075	0,010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,060	0,100	0,150
	$Q_t (m^3/h)$	0,009	0,0110	0,015	0,0225	0,0375	0,0525	0,075	0,090	0,150	0,225

Figura 16. Valores da vazão nominal por classe metrológica.

Fonte: Portaria nº 246 (INMETRO, 2000).

Após a realização dos passos descritos no item 0, são sugeridos os próximos passos.

- Passo 5: Selecionar a vazão de trabalho. Na bancada de calibração a escolha da vazão é feita selecionando no painel de controle o tanque que será utilizado e o volume que será medido, 100 litros para a vazão nominal e 10 litros para

a vazão mínima e de transição, e ajustando o rotâmetro para a vazão escolhida.

- Passo 6: Realizar a leitura inicial. Registrar o valor indicado no mostrador do hidrômetro.
- Passo 7: Permitir a passagem da água pela bancada com o volume e a vazão pré-estabelecidos, acionando o tempo, por meio de um cronômetro, no início do funcionamento para determinar a vazão real, e registrar a temperatura da água durante a calibração, que pode ser visualizada no painel de controle da bancada de calibração.
- Passo 8: Realizar a leitura final, registrando o valor indicado no mostrador do hidrômetro após a passagem da água, e registrar o volume escoado indicado no mostrador do tanque.
- Passo 9: Repetir os passos de 6 até 8 para n medições realizadas com a mesma vazão; e,
- Passo 10: Repetir os passos de 5 até 9 para vazões nos intervalos entre $0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$, entre Q_t e $1,1Q_t$ e entre Q_{min} e $1,1Q_{min}$, que são determinadas pela Portaria nº 246 (INMETRO, 2000).

4.3.2.1.3. Modelo matemático da medição

Sabendo-se que o valor medido médio (VMM) e o valor verdadeiro médio (VVM), respectivamente são calculados pelas Equações (8) e (9) com resultados em litros.

$$VMM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Lf - Li)_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n VM_i \quad (8)$$

$$VVM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ve_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n VV_i \quad (9)$$

Em que,

Lf é a leitura final registrado no hidrômetro (litros).

Li é a leitura inicial registrado no hidrômetro (litros).

VM é o valor medido (litros).

Ve é o valor do volume escoado (litros) indicado no mostrador do tanque.

VV é o valor verdadeiro da medição (litros).

Pode-se sugerir que a Equação (8) é o modelo matemático da medição, com uma única variável e de medição direta.

4.3.2.1.4. Cálculo do erro de medição

Para o cálculo dos erros são sugeridos os seguintes passos.

- Passo 11: Calcular os erros de cada medição conforme a Equação (10) de acordo com a recomendação da Portaria nº 246 (INMETRO, 2000).

$$E = \left[\frac{(Lf - Li) - Ve}{Ve} \right] \times 100 = \left(\frac{VM - VV}{VV} \right) \times 100 \quad (10)$$

- Passo 12: Calcular o erro médio (E_m) para n medições conforme a Equação (11).

$$E_m = \frac{(VMM - VVM)}{VVM} \times 100 \quad (11)$$

4.3.2.1.5. Cálculo da incerteza de medição

O ISO (2008) reconhece dois tipos de incerteza de medição, a incerteza do tipo A é associada aos efeitos aleatórios que contribuem para o erro, é relacionada ao conceito de desvio padrão, e a incerteza do tipo B é associada aos efeitos sistêmicos que contribuem para o erro. Sendo assim, a incerteza de medição é uma expressão do fato de que, para um dado mensurando e um dado resultado de medição, não há um único valor, mas sim infinitos valores numa determinada faixa.

4.3.2.1.6. Cálculo da incerteza do tipo A

Segundo o ISO (2008), o valor da incerteza do tipo A $u_A(VMM)$, devido às medidas realizadas, pode ser considerado o valor do desvio padrão da média dos valores medidos de acordo com a Equação (12).

$$s_{(VMM)} = \frac{s_{(VM)}}{\sqrt{n}} = u_A(VM) \quad (12)$$

Em que,

$s_{(VMM)}$ é o desvio padrão da média (litros)

$s_{(VM)}$ é o desvio padrão dos valores medidos (VM) (litros)

n é o número de medições (adimensional)

Para o cálculo da incerteza do tipo A é sugerido o seguinte passo.

- Passo 13: Realizar o cálculo da incerteza do tipo A conforme a Equação (12).

4.3.2.1.7. Cálculo da incerteza do tipo B

A avaliação da incerteza do tipo B é realizada por meio de julgamento científico baseado em todas as informações disponíveis, na experiência e no conhecimento geral da medição. Com base nas informações fornecidas pelo ISO (2008), foram realizadas o levantamento das principais fontes de erros do resultado de medição, de acordo com a Figura 17.

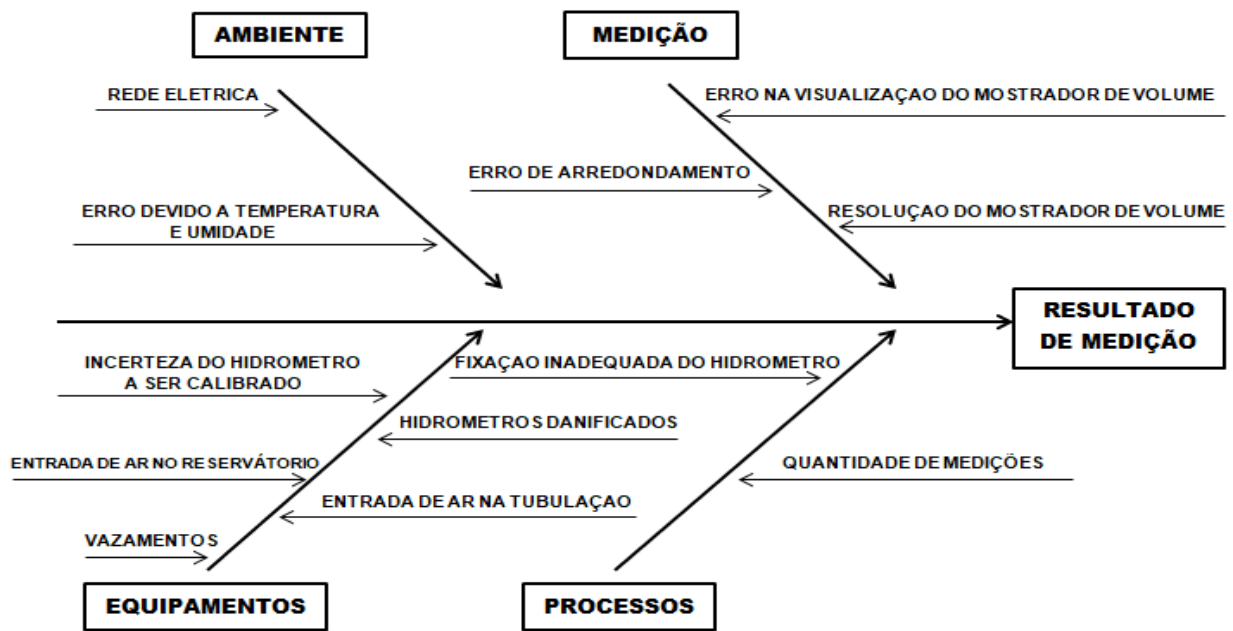


Figura 17. Fontes de erros do sistema de medição.

Fonte: Próprio autor.

Sendo assim, o somatório das incertezas associadas, obtém-se a incerteza do tipo B $u_B(VM)$ pode ser calculada pela Equação (13), que representa a variância combinada associada com as incertezas do tipo B.

$$u_B^2(VM) = \left[\begin{array}{l} u^2(VM_{IH}) + u^2(VM_{TU}) + u^2(VM_{AR}) + u^2(VM_{AT}) + u^2(VM_V) + \dots \\ u^2(VM_{RE}) + u^2(VM_{EV}) + u^2(VM_{EA}) + u^2(VM_{RM}) + \dots \\ u^2(VM_{HD}) + u^2(VM_{FI}) + u^2(VM_{QM}) \end{array} \right] \quad (13)$$

Em que,

$u(VM_{IH})$ é incerteza do hidrômetro que será calibrado.

$u(VM_{TU})$ é incerteza devido à variação da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar durante a calibração.

$u(VM_{AR})$ é incerteza devido ao erro da bancada pela entrada de ar no reservatório.

$u(VM_{AT})$ é incerteza devido ao erro da bancada pela entrada de ar na tubulação.

$u(VM_V)$ é incerteza devido ao erro da bancada por vazamentos na tubulação.

$u(VM_{RE})$ é incerteza devido à variação da rede elétrica que altera o funcionamento da bomba influenciando na vazão de trabalho da bancada.

$u(VM_{EV})$ é incerteza devido ao erro na visualização do mostrado de volume escoado.

$u(VM_{EA})$ é incerteza devido ao erro de arredondamento.

$u(VM_{RM})$ é incerteza devido à resolução do mostrador de volume.

$u(VM_{HD})$ é incerteza devido ao erro mecânico dos hidrômetros que permitem o escoamento do volume sem realizar o registro.

$u(VM_{FI})$ é incerteza devido à fixação inadequada dos hidrômetros.

$u(VM_{QM})$ é incerteza devido à quantidade de medições.

Em seguida, foi relacionada cada fonte de erro sua respectiva incerteza associada, determinando as distribuições de probabilidade e obtendo suas expressões conforme representação na coluna “Incerteza padrão” no

Quadro 11, sabendo que na tabela o valor a é a resolução do mostrador do tanque da bancada de calibração, o valor b é a resolução do hidrômetro, o valor n é o número de medições realizadas e o valor $s_{(VMM)}$ é o desvio padrão descrito na Equação (12).

Para o cálculo da incerteza do tipo B é sugerido o seguinte passo.

- Passo 14: Calcular a incerteza do tipo B para cada fonte de erro, de acordo com o
- Quadro 11.

4.3.2.1.8. Cálculo da incerteza combinada

Para o cálculo da incerteza padrão combinada $u_c(VMM)$, utiliza-se a raiz quadrada positiva da variância combinada $u_c^2(VMM)$ (ISO, 2008), conforme Equação (14).

$$u_c(VMM) = \sqrt{u_c^2(VMM)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial VMM}{\partial VM_j} \right)^2 u^2(VM_j)} \quad (14)$$

Quadro 11. Expressões da incerteza padrão do tipo B.

Item (i)	Variável $u(x_i)$	Descrição	Distribuição de probabilidade	Incerteza padrão (I)
1	$u(VM_{IH})$	Incerteza do próprio hidrômetro.	Retangular	$\frac{b}{\sqrt{3}}$
2	$u(VM_{TU})$	Incerteza devido à temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.	Retangular	$\frac{a}{2}$
3	$u(VM_{AR})$	Incerteza devido à entrada de ar no reservatório.	Normal	$1,033s_{(VMM)}$
4	$u(VM_{AT})$	Incerteza devido à entrada de ar na tubulação.	Normal	$1,033s_{(VMM)}$
5	$u(VM_V)$	Incerteza devido aos vazamentos na tubulação.	Normal	$1,033s_{(VMM)}$
6	$u(VM_{RE})$	Incerteza devido à variação da rede elétrica.	Normal	$\frac{S_{(VMM)}}{1,96}$
7	$u(VM_{EV})$	Incerteza devido ao erro na visualização do mostrado de volume escoado.	Retangular	$\frac{2a}{\sqrt{3}}$
8	$u(VM_{EA})$	Incerteza devido ao erro de arredondamento.	Retangular	$\frac{b}{2}$
9	$u(VM_{RM})$	Incerteza devido à resolução do mostrador de volume.	Retangular	$\frac{a}{\sqrt{3}}$
10	$u(VM_{HD})$	Incerteza devido ao erro mecânico dos hidrômetros.	Normal	$1,48s_{(VMM)}$
11	$u(VM_{FI})$	Incerteza devido à fixação inadequada dos hidrômetros.	Normal	$\frac{S_{(VMM)}}{1,96}$
12	$u(VM_{QM})$	Incerteza devido à quantidade de medições.	Normal	$\frac{S_{(VMM)}}{n}$

Fonte: Próprio autor.

As incertezas do tipo A e B relacionadas a única variável do modelo matemático descrito na Equação (8), devem ser propagadas para gerar a incerteza padrão combinada $u_c(VMM)$. Além disso, os coeficientes de sensibilidade serão todos igual a 1, pelo fato do modelo matemático da medição ser de uma única variável (ou seja independente) e de medição direta. Desta forma, $u_c(VMM)$ é descrita pela Equação (8).

$$u_c(VMM) = \sqrt{u_A^2(VMM) + u_B^2(VMM)} \quad (15)$$

Para o cálculo da incerteza combinada é sugerido o seguinte passo.

- Passo 15: Calcular a incerteza combinada conforme a Equação (8).

4.3.2.1.9. Cálculo da incerteza expandida e do erro máximo

A incerteza expandida U é obtida multiplicando a incerteza padrão combinada $u_c(VMM)$ por um fator de abrangência k . Neste artigo, para o fator de abrangência, foi adotado $k = 2$, que produz um intervalo tendo no nível da confiança de aproximadamente 95,45%, segundo o ISO (2008), tendo-se obtido a Equação (16).

$$U = 2 \times u_c(VMM) \quad (16)$$

Para o cálculo da incerteza expandida é sugerido o seguinte passo.

- Passo 16: Calcular a incerteza expandida conforme a equação (16).

Após o cálculo da incerteza expandida, em litros, é preciso calcular o erro máximo levando em consideração essa dispersão dos valores, pois, conforme a Portaria nº 246 (INMETRO, 2000), os erros são os valores que são comparados nas calibrações de hidrômetros. Para o cálculo do erro máximo é considerado o menor valor dentro do intervalo expresso pelo resultado associado à incerteza expandida, que é o volume medido médio menos o valor da incerteza expandida. O erro máximo é calculado conforme a equação (17).

$$E_{m\acute{a}ximo} = \frac{((VMM - U) - VVM)}{VVM} \times 100 \quad (17)$$

Para o cálculo do erro máximo é sugerido o seguinte passo.

- Passo 17: Calcular o erro máximo conforme a equação (17).
- Após a realização dos passos descritos no item 4.3.2.1.9, são sugeridos os próximos passos para a análise de resultados e emissão de certificados.
- Passo 18: Comparar os valores dos erros médios (passo 12) e máximos (passo 17) aos erros máximos admissíveis apresentados no item 8.5 da Portaria nº 246 (INMETRO, 2000), para posterior aprovação ou reprovação do hidrômetro. Assim, os erros máximos não podem ultrapassar $\pm 10\%$ para as vazões entre Q_{min} inclusive e Q_t exclusive, e, para vazões entre Q_t inclusive e $Q_{m\acute{a}x}$ inclusive, os erros máximos não podem ultrapassar $\pm 5\%$.

Quando é realizada mais de uma medição por intervalo de vazão, o erro comparado com os valores de referência é o erro médio.

- Passo 19: Emitir o certificado da calibração apresentando os resultados, os valores de referência fornecidos pela Portaria nº 246 (INMETRO, 2000) encontrados no item 4.3.2.1.4, e o procedimento de calibração.

4.4. Considerações finais sobre este capítulo

Este capítulo apresentou o enquadramento metodológico, os materiais e os métodos empregado para o desenvolvimento desta pesquisa. Quanto ao enquadramento metodológico, foi descrito o procedimento metodológico, nas dimensões da natureza da pesquisa, abordagem do problema, pesquisa baseada no objetivo geral e procedimentos técnicos.

Quando aos materiais, foi descrito o tipo de medidor de água e suas principais características, além da bancada de calibração utilizada para a análise de confiabilidade metrológica. Em relação aos métodos propostos, são dois: método de apoio a decisão. Este trabalho adotou o método de sobreclassificação PROMETHEE II, que permitirá resolver a problemática de ordenação, a partir de uma avaliação global, de forma balanceada, por meio de critérios e preferências estabelecidos pelo decisor individual, capaz de suportar o processo de alocação de investimento de tempo e de recursos para a troca de hidrômetros numa determinada região de uma companhia estadual de saneamento. Para complementar, foi apresentado uma possibilidade de uso de pesos substitutos.

Como forma de utilizar o apoio a decisão, foi proposto o desenvolvimento de um programa computacional com a apresentação de um fluxograma contendo o algoritmo de funcionamento.

Para finalizar, o método de calibração de hidrômetros é apresentado, como procedimento, assim, permitindo a análise de submedição do conjunto de hidrômetros, a quantificação das perdas aparentes e a análise de confiabilidade metrológica.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso da aplicação do método 1 conforme item 4.3.1, que descreve um modelo de apoio a decisão como uso do PROMETHEE II permitindo criar uma lista de prioridades de troca de hidrômetros de uma determinada região territorial no município do Recife-PE, que proporcione o aumento do faturamento. Também, é apresentado o estudo de caso da aplicação do método 2 conforme item 4.3.2, que demonstra uma proposta para calibração de hidrômetros, atividade fundamental para a validação dos critérios de priorização e verificação da submedição dos medidores. O uso dos dois métodos de forma conjunta permitirá ao decisor a escolha, priorização e validação da troca dos hidrômetros, assim, aumentando a assertividade.

5.1. Aplicação do método 1: Modelo de apoio a decisão

Para aplicação do método proposto no item 4.3.1, deve-se atender a sequência de tarefas descritas no item 4.3.1.1, sendo:

- Identificar o problema de decisão multicritério: É identificado no objetivo geral descrito no item, do tipo problemática de ordenação.
- Identificar o decisor individual: É um único indivíduo, um responsável da Companhia de abastecimento de água pela gestão do parque de hidrômetros.
- Identificar os múltiplos objetivos: O Quadro 12 apresenta a relação dos múltiplos objetivos do modelo de decisão. Os objetivos foram levantados a partir da análise das informações cadastradas e disponíveis no GSAN, um programa de computador com banco de dados do cadastro comercial e técnico de hidrômetros da COMPESA.

Quadro 12. Relação dos múltiplos objetivos do modelo de decisão.

Código	Descrição curta	Unidade	Classe	Resultado esperado
G_1	Identificar os hidrômetros com maior tempo de uso.	mês	Idade	Maximização
G_2	Identificar os hidrômetros com maior consumo registrado desde a data de instalação.	m ³	Consumo	Maximização
G_3	Identificar os hidrômetros com maior decaimento de consumo desde a data de instalação.	m ³	Decaimento do consumo	Maximização
G_4	Identificar os hidrômetros fora da faixa de consumo.	m ³	Mudança de faixa	Maximização
G_5	Identificar o perfil do imóvel que o hidrômetro está instalado.	adimensional	Perfil do imóvel.	Maximização
G_6	Identificar o enquadramento da categoria do imóvel que o hidrômetro está instalado.	adimensional	Categoria do imóvel.	Maximização
G_7	Identificar os hidrômetros com maior retorno pela faixa de consumo.	adimensional	Faixa de consumo	Maximização
G_8	Identificar os hidrômetros com contas não pagas.	adimensional	Débito	Minimização
G_9	Identificar os hidrômetros com maiores diferenças de volume consumido.	adimensional	Decaimento do consumo	Maximização

Fonte: Próprio autor.

- Estabelecer os critérios relevantes: O Quadro 13 descreve os critérios relevantes do modelo de decisão, a partir dos múltiplos objetivos levantados anteriormente.

Quadro 13. Relação dos critérios relevantes do modelo de decisão.

Código	Critério (unidade)	Valor / escala	Resultado esperado
f_1	Tempo de uso (mês)	Diferença entre a data de hoje e a instalação.	Maximização
f_2	Volume consumido (m ³)	Somatório do volume consumido desde a data de instalação.	Maximização
f_3	Decaimento do volume consumido (adm.)	Coeficiente angular da equação de Regressão Linear Simples (RLS) dos volumes consumidos desde a data da instalação.	Minimização
f_4	Mudança de faixa de consumo (m ³)	Coeficiente escalar da equação de RLS dos volumes consumidos desde a data da instalação.	Maximização
f_5	Perfil do imóvel (escala)	Corporativo (1,0); grande (0,66); normal (0,33) e tarifa social (0,0)	Maximização
f_6	Categoria do imóvel (escala)	Industrial (1,0); comercial (0,66); residencial (0,33) e público (0,0).	Maximização

f_7	Retorno pela faixa de consumo (escala)	Identificação da faixa de consumo pelo uso da média de volumes consumidos desde a data da instalação > = 10 m ³ – retorno (1,0); >= 7 até < 10 m ³ – possível retorno (0,5); < 7 m ³ – nenhum retorno (0,0).	Maximização
f_8	Risco devido as contas não pagas (escala)	7 ou maior – alto (1,0); 4 até 6 contas – médio (0,5); e 0 até 3 contas – baixo (0,0).	Minimização
f_9	Diferença de volume consumido (m ³)	Diferença entre a média dos 6 últimos meses da data de hoje e a média dos 6 primeiros meses da data da instalação.	Maximização

Fonte: Próprio autor.

- Estabelecer a estrutura das alternativas: O decisor deverá escolher um conjunto de hidrômetros, que são as alternativas de acordo com as hipóteses do item 4.3.1. Nesta tarefa, o decisor deverá filtrar pelo território, a situação da ligação da água e a capacidade do hidrômetro (m³/h), que serão, respectivamente, bairro do Recife-PE, ligado e 1,5 m³/h. Também, o decisor poderá escolher entre os filtros de bairro, localidade, distrito operacional, área operacional e sistema de abastecimento de água, para aplicação neste trabalho, foi apenas escolhido o filtro de bairro, que foi “Encruzilhada”. Por ser um bairro com um número elevados de casas, assim, tendo uma quantidade de hidrômetros instalados na calçada, já que os apartamentos, os hidrômetros são instalados em quadros dentro dos edifícios, dificultando o acesso, e por ser um bairro localizado na área central do município do Recife-PE e numa planície com ruas largas e fácil acesso. Após a seleção do tipo de filtro, o decisor deverá realizar a opção no filtro escolhido, assim, selecionando o conjunto de hidrômetros que irão passar pelo modelo de apoio a decisão. Esses hidrômetros formaram o conjunto de alternativas para o modelo. Em seguida, é determinado o novo conjunto de alternativas (hidrômetros selecionados), excluindo as que poderiam causar interferência, na percepção do decisor, por meio da seleção dos *outlier*¹³, definidos pelos

¹³ Os *outliers* são dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros, são pontos fora da curva. Em outras palavras, um *outlier* é um valor que foge da normalidade e que pode (e provavelmente irá) causar anomalias nos resultados obtidos por meio de algoritmos e sistemas de análise.

valores de idade mínima do hidrômetro em meses, volume mínimo consumido em m³, faixa mínima de consumo em m³/h, faixa máxima de consumo m³/h, fatura mínima aceitável em R\$ e fatura máxima aceitável em R\$. A partir disso, é realizada a relação das alternativas com seus respectivos valores para cada critério, definindo a matriz de consequência. Os dados de cada hidrômetro são apresentados numa tabela em formato .csv, sendo a primeira coluna a identificação dos hidrômetros e as colunas seguintes os dados de cada critério estabelecido. O Quadro 14 apresenta um resumo das delimitações para a estrutura de alternativas e construção da matriz consequência. No final, restou apenas 1.701 hidrômetros representado na matriz consequência.

Quadro 14. Resumo das delimitações para a estrutura de alternativas e construção da matriz consequência.

Delimitação do problema para definição do conjunto de alternativas (filtro inicial)	Seleção dos <i>Outliers</i>	Definição do novo conjunto de alternativas (filtro complementar)
• Município: Recife • Situação da ligação da água: Ligada • Capacidade do hidrômetro: 3 m³/h (vazão máxima)	• Idade mínima do hidrômetro em meses • Volume mínimo consumido em m³ • Faixa mínima de consumo em m³/h • Faixa máxima de consumo em m³/h • Fatura mínima aceitável em R\$ • Fatura máxima aceitável em R\$.	• Bairro: Encruzilhada • Localidade; • Distrito operacional; • Área operacional; • Sistema de abastecimento de água.

Fonte: Próprio autor.

- Realizar cálculos dos graus de preferências, fluxos uni-critérios e fluxos globais: O gestor da Companhia responsável pela decisão deverá escolher a importância de cada critério a partir da escolha da função de intensidade de preferência e seus respectivos parâmetros (graus de preferência) conforme Quadro 13, para aplicação do método deste trabalho foi adotado os dados de acordo com o Quadro 15. Em seguida, é determinada a matriz de uni-critério para cada critério f_k conforme item 4.3.1.1.6, tendo como resultado, 9 matrizes. Segue com o cálculo da matriz do fluxo líquido e finalizando com a matriz de fluxo global.

Quadro 15. Dados para cálculo dos graus de preferência de cada critério.

f_k	Critério (unidade)	Valor / escala	Resultado esperado	Função de intensidade de preferência	Valor dos Parâmetros
f_1	Tempo de uso (mês)	Diferença entre a data de hoje e a instalação.	Maximização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_2	Volume consumido (m ³)	Somatório do volume consumido desde a data de instalação.	Maximização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_3	Decaimento do volume consumido (adm.)	Coeficiente angular da equação de Regressão Linear Simples (RLS) dos volumes consumidos desde a data da instalação.	Minimização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_4	Mudança de faixa de consumo (m ³)	Coeficiente escalar da equação de RLS dos volumes consumidos desde a data da instalação.	Maximização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_5	Perfil do imóvel (escala)	Corporativo (1,0); grande (0,66); normal (0,33) e tarifa social (0,0)	Maximização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_6	Categoria do imóvel (escala)	Industrial (1,0); comercial (0,66); residencial (0,33) e público (0,0).	Maximização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_7	Retorno pela faixa de consumo (escala)	Identificação da faixa de consumo pelo uso da média de volumes consumidos desde a data da instalação > = 10 m ³ – retorno (1,0); >= 7 até < 10 m ³ – possível retorno (0,5); < 7 m ³ – nenhum retorno (0,0).	Maximização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_8	Risco devido as contas não pagas (escala)	7 ou maior – alto (1,0); 4 até 6 contas – médio (0,5); e 0 até 3 contas – baixo (0,0).	Minimização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$
f_9	Diferença de volume consumido (m ³)	Diferença entre a média dos 6 últimos meses da data de hoje e a média dos 6 primeiros meses da data da instalação.	Maximização	Critério usual (Usual)	$q_k = 0$ $p_k = 0$ $s_k = 0$

Fonte: Próprio autor.

- Determinar os pesos substitutos: Para este trabalho, foi adotado a ordem de prioridade de cada critério conforme Quadro 16. Em seguida, foi adotado o cálculo dos pesos substitutos de forma automática, conforme item 4.3.1.1.7, tendo como resultado o Quadro 17 com os valores dos pesos para cada método.

Quadro 16. Dados para cálculo dos graus de preferência de cada critério.

f_k	Critério (unidade)	Valor dos Parâmetros
f_1	Tempo de uso (mês)	1
f_2	Volume consumido (m ³)	2
f_3	Decaimento do volume consumido (adm.)	3
f_4	Mudança de faixa de consumo (m ³)	4
f_5	Perfil do imóvel (escala)	5
f_6	Categoria do imóvel (escala)	6
f_7	Retorno pela faixa de consumo (escala)	7
f_8	Risco devido as contas não pagas (escala)	8
f_9	Diferença de volume consumido (m ³)	9

Fonte: Próprio autor.

Quadro 17. Valores dos pesos substitutos para cada método automático.

f_k	peso_EW	peso_RS	peso_RR	peso_ROC	peso_MEW	peso_SR
f_1	0.1111	0.2	0.3535	0.3143	0.1577	0.2555
f_2	0.1111	0.1778	0.1767	0.2032	0.1461	0.1774
f_3	0.1111	0.1556	0.1178	0.1477	0.1344	0.1419
f_4	0.1111	0.1333	0.0884	0.1106	0.1228	0.1171
f_5	0.1111	0.1111	0.0707	0.0828	0.1111	0.0965
f_6	0.1111	0.0889	0.0589	0.0606	0.0995	0.0781
f_7	0.1111	0.0667	0.0505	0.0421	0.0878	0.0608
f_8	0.1111	0.0444	0.0442	0.0262	0.0761	0.0444
f_9	0.1111	0.0222	0.0393	0.0123	0.0645	0.0284

Fonte: Próprio autor.

- **Realizar sobreclassificação:** Para este trabalho, foi adotado o valor de R\$ 250,00 como custo para troca de um hidrômetro e a prioridade de 40 hidrômetros para o bairro da Encruzilhada. Desta feita, o Quadro 18 descreve a matriz de sobreclassificação, no qual apresenta em ordem decrescente da relação dos hidrômetros prioritários para a realização da troca e que proporcione o maior aumento de faturamento dentro do parque de hidrômetros do território selecionado. O Quadro 19 apresenta o resumo dos custos e o retorno anual estimado do aumento de faturamento com a troca dos 40 hidrômetros priorizados.

Quadro 18. Matriz de sobreclassificação (relação dos hidrômetros prioritários para troca).

Item	Hidrômetro	Estimativa de aumento de faturamento mensal (R\$)
1	A10B063699	99,79
2	A10B223795	1.171,87
3	SCH0277557	313,47
4	A11U113669	1.140,47
5	A15U028032	1.060,80
6	A12B292496	304,09
7	A08B866411	33,61
8	A16N168014	972,47
9	A12B359638	608,33
10	A08B740132	97,31
11	A12B352745	473,54
12	A13U079151	2.847,08
13	SAP0332987	66,03
14	A17N027035	1.286,99
15	A12F206086	499,46
16	A12B364801	267,10
17	A13U092342	1.039,46
18	A15U040646	581,80
19	A16N005742	290,89
20	A06P339030	126,62
21	A08B740412	496,64
22	A12B313809	302,71
23	A12U061533	334,53
24	A09S124958	1.011,56
25	A14S507557	431,73
26	A12F012953	533,50
27	A08B865363	89,65
28	A07P391073	26,73
29	A08B740010	1.914,44
30	A15S005131	420,88
31	A10B063694	76,30
32	A15S095413	414,34
33	A08B865471	87,55
34	A15U028314	332,86
35	A16N253817	456,36
36	A12B284009	29.931,56
37	A15S001221	431,03
38	A13U036599	93,97
39	A13U044031	297,18
40	A09S276815	99,96

Fonte: Próprio autor.

Quadro 19. Resumo dos custos e estimativa de aumento de faturamento no ano.

Custo unitário da troca	R\$ 250,00
Quantidade de hidrômetros trocados	40
Custo total da troca	R\$ 10.000,00
Estimativa de aumento anual de faturamento	R\$ 612.775,92

Fonte: Próprio autor.

- Realizar análise de sensibilidade, estabilidade e robustez: Foi introduzidas alterações nas variações dos parâmetros dos graus de preferência de cada critérios, de forma aleatória, para verificar a possível alteração na relação dos hidrômetros, foi constatado que a estabilidade é forte, pouco se altera e o resultado da análise de robutez constatou que houve pouca alteração na ordem da relação de hidrômetros.

5.1.1. Programa computacional SAPHO

O Apêndice B apresenta a implementação das etapas da modelagem do sistema de apoio a decisão no Python® 3.9 conforme algoritmo apresentado no item 4.3.1.2. Destacando que a 1º etapa e a 3º etapa são apenas para entrada de dados, logo não foram implementadas linhas de instrução. As interfaces visuais do usuário para cada etapa são apresentadas da Figura 18 até Figura 25.

SAPHO

Ermes Costa Sair

1ª etapa 2ª etapa 3ª etapa 4ª etapa 5ª etapa 6ª etapa 7ª etapa

Filtro inicial

EXECUTAR

AVANÇAR

Dados de consumo - Filtro inicial Download

Município

Situação da ligação da água

Capacidade do hidrômetro (m³/h)

Período de consumo (mês/ano)
(para base de dados)

Início /

Término /

Figura 18. Interface do decisor da 1ª etapa.

Fonte: Próprio autor.

SAPHO

Ermes Costa Sair

1ª etapa 2ª etapa 3ª etapa 4ª etapa 5ª etapa 6ª etapa 7ª etapa

Filtro complementar

EXECUTAR

VOLTAR

AVANÇAR

Dados de consumo - Filtro complementar Download

Bairro

Localidade

Distrito operacional

Área operacional

Sistema de abastecimento de água

Figura 19. Interface do decisor da 2ª etapa.

Fonte: Próprio autor.

SAPhO

Ermes Costa Sair

1ª etapa 2ª etapa 3ª etapa 4ª etapa 5ª etapa 6ª etapa 7ª etapa

Seleção do método

EXECUTAR

VOLTAR AVANÇAR

Tipo de decisor

Quantidade de decisores

Método

Figura 20. Interface do decisor da 3ª etapa.

Fonte: Próprio autor.

SAPhO

Ermes Costa Sair

1ª etapa 2ª etapa 3ª etapa 4ª etapa 5ª etapa 6ª etapa 7ª etapa

Seleção dos critérios e outlier

EXECUTAR

VOLTAR AVANÇAR

Matriz de consequências Download

Dados de consumo - Fora da faixa Download

Critério de avaliação			
☐	g1	Tempo de uso	mês
☐	g2	Volume consumido	m³
☐	g3	Dcaimento do volume consumido	adim.
☐	g4	Mudança de faixa de consumo	m³
☐	g5	Perfil do imóvel	escala
☐	g6	Categoria do imóvel	escala
☐	g7	Retorno pela faixa de consumo	escala
☐	g8	Risco devido ao contas não pagas	escala
☐	g9	Diferença de volume consumido	m³

Seleção dos outlier	
Idade de hidrômetro (mínimo) (meses)	
Volume consumido (mínimo) (m³)	
Faixa de consumo (mínimo) (m³/h)	
Faixa de consumo (máximo) (m³/h)	
Superávit mensal no faturamento após troca (mínimo aceitável) (R\$)	
Superávit mensal no faturamento após troca (máximo possível) (R\$)	

Figura 21. Interface do decisor da 4ª etapa.

Fonte: Próprio autor.

Ermes Costa
Sair

1ª etapa
2ª etapa
3ª etapa
4ª etapa
5ª etapa
6ª etapa
7ª etapa

Cálculo dos fluxos uni-critério

EXECUTAR

Critério de avaliação	A	Função	Intensidade da preferência		
			P_x	q_x	s_x
☒ g1 Tempo de uso	mês	Diferença entre o dia do início e finalização	Maximização		
☐ g2 Volume consumido	m³	Somatório dos volumes consumidos desde o dia da finalização	Maximização		
☐ g3 Decaimento do volume consumido	adim.	Coefficiente angular da equação de regressão linear obtida	Maximização		
☐ g4 Mudança de faixa de consumo	m³	Coefficiente angular da equação de regressão linear obtida	Maximização		
☐ g5 Perfil do imóvel	escala	Corporativo (L1), grande (L2), médio (L3), e pequeno (L4)	Maximização		
☐ g6 Categoria do imóvel	escala	Industrial (L1), comercial (L2), residencial (L3), e outros (L4)	Maximização		
☐ g7 Retorno pela faixa de consumo	escala	Selecção de uma faixa de consumo a partir de uma lista de opções	Maximização		
☐ g8 Risco devido ao contas não pagas	escala	7 ou maior - alta (L1), 4 ou 5 - média (L2), 0 ou 3 - baixa (L3)	Maximização		
☐ g9 Diferença de volume consumido	m³	Diferença entre o dia do início e finalização	Maximização		

VOLTAR
AVANÇAR

Fluxos uni-critério
Download

Fluxos líquidos
Download

Figura 22. Interface do decisor da 5ª etapa.

Fonte: Próprio autor.

Ermes Costa
Sair

1ª etapa
2ª etapa
3ª etapa
4ª etapa
5ª etapa
6ª etapa
7ª etapa

Cálculo dos pesos

EXECUTAR

Tipo de entrada de pesos

Critério	A	Peso		
			A	Peso
☐ g1 Tempo de uso	mês	Diferença entre o dia do início e finalização	Maximização	
☐ g2 Volume consumido	m³	Somatório dos volumes consumidos desde o dia da finalização	Maximização	
☐ g3 Decaimento do volume consumido	adim.	Coefficiente angular da equação de regressão linear obtida	Maximização	
☐ g4 Mudança de faixa de consumo	m³	Coefficiente angular da equação de regressão linear obtida	Maximização	
☐ g5 Perfil do imóvel	escala	Corporativo, grande, médio, e pequeno	Maximização	
☐ g6 Categoria do imóvel	escala	Industrial, Comercial, Residencial, e Outros	Maximização	
☐ g7 Retorno pela faixa de consumo	escala	Selecção de uma faixa de consumo a partir de uma lista de opções	Maximização	
☐ g8 Risco devido ao débito	escala	7 ou maior - alta (L1), 4 ou 5 - média (L2), 0 ou 3 - baixa (L3)	Maximização	
☐ g9 Perfil de consumo	m³/mês	Média do consumo dos últimos 7 dias (semana corrente)	Maximização	

VOLTAR
AVANÇAR

Pesos
Download

Figura 23. Interface do decisor da 6ª etapa.

Fonte: Próprio autor.

SAPhO

Ermes Costa Sair

1ª etapa 2ª etapa 3ª etapa 4ª etapa 5ª etapa 6ª etapa 7ª etapa

EXECUTAR VOLTAR

Custo da troca de um hidrômetro (R\$)

Quantidade de hidrômetros para troca

Valor mínimo do superavit estimado (R\$)

v4 - última atualização: 21/12/2024

Sistema de apoio a decisão para priorização da troca de hidrômetros - SAPhO

Fluxos globais Download

Lista de priorização dos hidrômetros Download

Estimativa de faturamento mensal atual (R\$)

Estimativa de faturamento mensal (1º mês) após troca (R\$)

Prazo de Retorno de Investimento (PRI ou payback) (meses)

Apoio:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO compesa

Desenvolvedores:
 Prof. Me. Ermes Ferreira Costa Neto, UPE
 Profa. Dra. Danielle Costa Morais, UFPE
 Prof. Dr. Tiago Leite Rolim, UFPE

Figura 24. Interface do decisor da 7ª etapa.

Fonte: Próprio autor.

SAPhO

Ermes Costa Sair

1ª etapa 2ª etapa 3ª etapa 4ª etapa 5ª etapa 6ª etapa 7ª etapa

EXECUTAR VOLTAR

Custo da troca de um hidrômetro (R\$)

Quantidade de hidrômetros para troca

Valor mínimo do superavit estimado (R\$)

v4 - última atualização: 21/12/2024

Sistema de apoio a decisão para priorização da troca de hidrômetros - SAPhO

Fluxos globais Download

Lista de priorização dos hidrômetros Download

Estimativa de faturamento mensal atual (R\$)

Estimativa de faturamento mensal (1º mês) após troca (R\$)

Prazo de Retorno de Investimento (PRI ou payback) (meses)

Apoio:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO compesa

Desenvolvedores:
 Prof. Me. Ermes Ferreira Costa Neto, UPE
 Profa. Dra. Danielle Costa Morais, UFPE
 Prof. Dr. Tiago Leite Rolim, UFPE

Figura 25. Interface do decisor da 7ª etapa após execução.

Fonte: Próprio autor.

5.2. Aplicação do método 2: Calibração de hidrômetros

Utilizando o método de calibração demonstrado no item 4.3.2 foi realizada a calibração de três hidrômetros conforme item 4.2.1, com fabricação nos anos de 2015, 2016 e 2017, identificados respectivamente como A15S-014454, A16B-004671 e A17S-593203. Esses foram escolhidos com idade inferior a 5 anos, de forma aleatória no parque de hidrômetros do município de Recife, pela COMPESA, concessionária do sistema de abastecimento de água. Para a calibração, foi utilizada a bancada de medição descrita no item 4.2.2, e foram realizadas três medições para cada intervalo de vazão estabelecido pela Portaria nº 246 (INMETRO, 2000). O resultado dessas medições, os erros e os valores médios foram registrados conforme os Quadro 20, Quadro 21 e Quadro 22.

Quadro 20. Valores da medição realizada no hidrômetro A15S-014454, na temperatura ambiente durante a medição de 27 °C

Vazão (l/h) Entre:	Medição	L_i (l)	L_f (l)	VM (l)	Ve (l)	Tempo (s)	Vazão leitura (l/h)	E (%)
$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$ (1350 até 1500)	1	513,80	610,22	96,42	100,02	241	1.494,07	- 3,599
	2	610,22	707,28	97,06	100,00	240	1.500,00	- 2,940
	3	707,28	804,16	96,88	100,02	241	1.494,07	- 3,139
Q_t e $1,1Q_t$ (120 até 132)	1	806,72	815,98	9,26	10,01	290	124,20	- 7,446
	2	815,98	825,32	9,34	10,01	291	123,77	- 6,647
	3	825,32	834,62	9,30	10,01	291	123,77	- 7,046
Q_{min} e $1,1Q_{min}$ (30 até 33)	1	835,36	841,12	5,76	10,00	1105	32,58	- 42,400
	2	841,12	846,96	5,84	10,01	1106	32,57	- 41,629
	3	846,96	852,88	5,92	10,01	1105	32,60	- 40,830

Fonte: Próprio autor.

Quadro 21. Valores da medição realizada no hidrômetro A16B-004671, na temperatura ambiente durante a medição de 27 °C.

Vazão (l/h) Entre:	Medição	L_i (l)	L_f (l)	VM (l)	Ve (l)	Tempo (s)	Vazão leitura (l/h)	E (%)
$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$ (1350 até 1500)	1	481,12	578,72	97,60	100,02	241	1.494,0 ₇	- 2,420
	2	578,72	676,14	97,42	100,00	240	1.500,0 ₀	- 2,580
	3	676,14	773,92	97,78	100,02	241	1.494,0 ₇	- 2,240
Q_t e $1,1Q_t$ (120 até 132)	1	776,60	786,48	9,88	10,01	290	124,20	- 1,249
	2	786,48	796,30	9,82	10,01	291	123,77	- 1,849
	3	796,30	806,18	9,88	10,01	291	123,77	- 1,249
Q_{min} e $1,1Q_{min}$ (30 até 33)	1	806,92	816,74	9,82	10,00	1105	32,58	- 1,800
	2	816,74	826,52	9,78	10,01	1106	32,57	- 2,249
	3	826,52	836,32	9,80	10,01	1105	32,60	- 2,049

Fonte: Próprio autor.

Quadro 22. Valores da medição realizada no hidrômetro A17S-593203, na temperatura ambiente durante a medição de 27 °C.

Vazão (l/h) Entre:	Medição	L_i (l)	L_f (l)	VM (l)	Ve (l)	Tempo (s)	Vazão leitura (l/h)	E (%)
$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$ (1350 até 1500)	1	341,10	439,12	98,02	100,02	241	1.494,0 ₇	- 2,000
	2	439,12	537,24	98,12	100,00	240	1.500,0 ₀	- 1,880
	3	537,24	635,30	98,06	100,02	241	1.494,0 ₇	- 1,960
Q_t e $1,1Q_t$ (120 até 132)	1	637,96	647,56	9,60	10,01	290	124,20	- 4,048
	2	647,56	657,18	9,62	10,01	291	123,77	- 3,848
	3	657,18	666,82	9,64	10,01	291	123,77	- 3,648
Q_{min} e $1,1Q_{min}$ (30 até 33)	1	667,72	676,20	8,48	10,00	1105	32,58	- 15,200
	2	676,20	684,80	8,60	10,01	1106	32,57	- 14,043
	3	684,80	693,32	8,52	10,01	1105	32,60	- 14,843

Fonte: Próprio autor.

Após serem feitas as medições, foram realizados os cálculos do desvio padrão e encontrados os valores das incertezas do tipo A conforme o Quadro 23, e do tipo B conforme os Quadros 24, 25 e 26.

Quadro 23. Valores da incerteza do tipo A para os três hidrômetros.

Hidrômetro	Vazão (l/h) Entre:	VVM (l)	VMM (l)	E_m (%)	$S_{(VM)}$ (l)	n	$S_{(VMM)}$ (l)
A15S-014454	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$ (1350 até 1500)	100,01	96,79	- 3,226	0,330	3	0,191
	Q_t e $1,1Q_t$ (120 até 132)	10,01	9,30	- 7,046	0,040	3	0,023
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$ (30 até 33)	10,00	5,84	- 41,619	0,080	3	0,046
A16B-004671	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$ (1350 até 1500)	100,01	97,60	- 2,413	0,180	3	0,104
	Q_t e $1,1Q_t$ (120 até 132)	10,01	9,86	- 1,449	0,035	3	0,020
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$ (30 até 33)	10,00	9,80	- 2,033	0,020	3	0,012
A17S-593203	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$ (1350 até 1500)	100,01	98,07	- 1,946	0,050	3	0,029
	Q_t e $1,1Q_t$ (120 até 132)	10,01	9,62	- 3,848	0,020	3	0,012
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$ (30 até 33)	10,00	8,53	- 14,695	0,061	3	0,035

Fonte: Próprio autor.

Quadro 24. Valores da incerteza padrão do tipo B para o hidrômetro A15S-014454.

Variável	Descrição	Contribuição das incertezas		
		$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	Q_t e $1,1Q_t$	Q_{min} e $1,1Q_{min}$
$u(VM_{IH})$	Incerteza do próprio hidrômetro.	0,0115	0,0115	0,0115
$u(VM_{TU})$	Incerteza devido à temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.	0,0100	0,0025	0,0025
$u(VM_{AR})$	Incerteza devido à entrada de ar no reservatório.	0,3409	0,0413	0,0826
$u(VM_{AT})$	Incerteza devido à entrada de ar na tubulação.	0,3409	0,0413	0,0826
$u(VM_V)$	Incerteza devido aos vazamentos na tubulação.	0,3409	0,0413	0,0826
$u(VM_{RE})$	Incerteza devido à variação da rede elétrica.	0,1684	0,0204	0,0408
$u(VM_{EV})$	Incerteza devido ao erro na visualização do mostrador de volume escoado.	0,0231	0,0058	0,0058
$u(VM_{EA})$	Incerteza devido ao erro de arredondamento.	0,0100	0,0100	0,0100
$u(VM_{RM})$	Incerteza devido à resolução do mostrador de volume.	0,0115	0,0029	0,0029
$u(VM_{HD})$	Incerteza devido ao erro mecânico dos hidrômetros.	0,1684	0,0204	0,0408
$u(VM_{FI})$	Incerteza devido à fixação inadequada dos hidrômetros.	0,4885	0,0592	0,1184
$u(VM_{QM})$	Incerteza devido à quantidade de medições.	0,0635	0,0077	0,0154

Fonte: Próprio autor.

Quadro 25. Valores da incerteza padrão do tipo B para o hidrômetro A16B-004671.

Variável	Descrição	Contribuição das incertezas		
		$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	Q_t e $1,1Q_t$	Q_{min} e $1,1Q_{min}$
$u(VM_{IH})$	Incerteza do próprio hidrômetro.	0,0115	0,0115	0,0115
$u(VM_{TU})$	Incerteza devido à temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.	0,0100	0,0025	0,0025
$u(VM_{AR})$	Incerteza devido à entrada de ar no reservatório.	0,1859	0,0358	0,0207
$u(VM_{AT})$	Incerteza devido à entrada de ar na tubulação.	0,1859	0,0358	0,0207
$u(VM_V)$	Incerteza devido aos vazamentos na tubulação.	0,1859	0,0358	0,0207
$u(VM_{RE})$	Incerteza devido à variação da rede elétrica.	0,0918	0,0177	0,0102
$u(VM_{EV})$	Incerteza devido ao erro na visualização do mostrado de volume escoado.	0,0231	0,0058	0,0058
$u(VM_{EA})$	Incerteza devido ao erro de arredondamento.	0,0100	0,0100	0,0100
$u(VM_{RM})$	Incerteza devido à resolução do mostrador de volume.	0,0115	0,0029	0,0029
$u(VM_{HD})$	Incerteza devido ao erro mecânico dos hidrômetros.	0,2664	0,0513	0,0296
$u(VM_{FI})$	Incerteza devido à fixação inadequada dos hidrômetros.	0,0918	0,0177	0,0102
$u(VM_{QM})$	Incerteza devido à quantidade de medições.	0,0346	0,0067	0,0038

Fonte: Próprio autor.**Quadro 26. Valores da incerteza padrão do tipo B para o hidrômetro A17S-593203.**

Variável	Descrição	Contribuição das incertezas		
		$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	Q_t e $1,1Q_t$	Q_{min} e $1,1Q_{min}$
$u(VM_{IH})$	Incerteza do próprio hidrômetro.	0,0115	0,0115	0,0115
$u(VM_{TU})$	Incerteza devido à temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.	0,0100	0,0025	0,0025
$u(VM_{AR})$	Incerteza devido à entrada de ar no reservatório.	0,0520	0,0207	0,0631
$u(VM_{AT})$	Incerteza devido à entrada de ar na tubulação.	0,0520	0,0207	0,0631
$u(VM_V)$	Incerteza devido aos vazamentos na tubulação.	0,0520	0,0207	0,0631
$u(VM_{RE})$	Incerteza devido à variação da rede elétrica.	0,0257	0,0102	0,0312
$u(VM_{EV})$	Incerteza devido ao erro na visualização do mostrado de volume escoado.	0,0231	0,0058	0,0058
$u(VM_{EA})$	Incerteza devido ao erro de arredondamento.	0,0100	0,0100	0,0100
$u(VM_{RM})$	Incerteza devido à resolução do mostrador de volume.	0,0115	0,0029	0,0029
$u(VM_{HD})$	Incerteza devido ao erro mecânico dos hidrômetros.	0,0745	0,0296	0,0904
$u(VM_{FI})$	Incerteza devido à fixação inadequada dos hidrômetros.	0,0257	0,0102	0,0312
$u(VM_{QM})$	Incerteza devido à quantidade de medições.	0,0097	0,0038	0,0118

Fonte: Próprio autor.

Com os valores das incertezas do tipo A e do tipo B já definidos, foram calculados os valores da incerteza padrão combinada e da incerteza expandida conforme Quadro 27.

Quadro 27. Valores da incerteza padrão combinada e da incerteza expandida.

Hidrômetro	Vazão (l/h) Entre:	Incerteza padrão combinada $u_c^2(VMM)$ (l)	Incerteza expandida U (l)
A15S-014454	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	$\pm 0,8327$	$\pm 1,6655$
	Q_t e $1,1Q_t$	$\pm 0,1022$	$\pm 0,2044$
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$	$\pm 0,2024$	$\pm 0,4048$
A16B-004671	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	$\pm 0,4549$	$\pm 0,9098$
	Q_t e $1,1Q_t$	$\pm 0,0889$	$\pm 0,1779$
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$	$\pm 0,0531$	$\pm 0,1063$
A17S-593203	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	$\pm 0,1308$	$\pm 0,2616$
	Q_t e $1,1Q_t$	$\pm 0,0531$	$\pm 0,1063$
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$	$\pm 0,1550$	$\pm 0,3099$

Fonte: Próprio autor.

Com os valores das incertezas definidos, foi possível obter os resultados apresentados na Quadro 28 que são comparados aos valores de referência determinados pela Portaria nº 246 (INMETRO, 2000).

Quadro 28. Resultados das calibrações.

Hidrômetro	Vazão (l/h) Entre:	VMM (l)	VMM (l)	U (l)	E_m (%)	Erro Máximo (%)	Valor de referência (%)
A15S-014454	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	100,01	96,79	$\pm 1,665$	- 3,23	- 4,89	$\pm 5\%$
	Q_t e $1,1Q_t$	10,01	9,30	$\pm 0,204$	- 7,05	- 9,09	$\pm 5\%$
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$	10,00	5,84	$\pm 0,405$	- 41,62	- 45,67	$\pm 10\%$
A16B-004671	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	100,01	97,60	$\pm 0,910$	- 2,41	- 3,32	$\pm 5\%$
	Q_t e $1,1Q_t$	10,01	9,86	$\pm 0,178$	- 1,45	- 3,23	$\pm 5\%$
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$	10,00	9,80	$\pm 0,106$	- 2,03	- 3,09	$\pm 10\%$
A17S-593203	$0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$	100,01	98,07	$\pm 0,262$	- 1,95	- 2,21	$\pm 5\%$
	Q_t e $1,1Q_t$	10,01	9,62	$\pm 0,106$	- 3,85	- 4,91	$\pm 5\%$
	Q_{min} e $1,1Q_{min}$	10,00	8,53	$\pm 0,310$	- 14,70	-17,79	$\pm 10\%$

Fonte: Próprio autor.

Comparando os valores da coluna “Valor de referência (%)” com os valores das colunas “ E_m (%)” e “Erro Máximo (%)” conforme preconiza o passo 18 do método proposto, obtém-se que os três hidrômetros apresentaram valores dentro do determinado para as vazões entre $0,45Q_{máx}$ e $0,5Q_{máx}$, o hidrômetro A15S-014454 não atende entre Q_t e $1,1Q_t$, e, somente o hidrômetro A16B-004671 atende entre Q_{min} e $1,1Q_{min}$. Ao término da calibração foi emitido o certificado de calibração.

Após a realização da calibração de três hidrômetros usados, fabricados nos anos de 2015, 2016 e 2017, por meio do método de calibração proposto e bancada de calibração da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade do método no apoio na troca dos hidrômetros na análise comparativa entre os valores de referência do INMETRO e o valor medido corrigido com as incertezas.

5.3. Comentários finais sobre este capítulo

Este capítulo apresenta o estudo de caso da aplicação do método 1 conforme item 4.3.1, que descreve um modelo de apoio a decisão como uso do PROMETHEE II, no qual adotou 9 múltiplos objetivos e os respectivos critérios, para a priorização de um conjunto de hidrômetros do tipo volumétrico de capacidade nominal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, que estejam em situação de ligação de água – ligado - no município do Recife, no bairro da Encruzilhada. Assim, permitiu a criação de uma lista de 40 prioridades para troca de hidrômetros, que proporcionou uma estimativa de aumento anual de faturamento de quase 615 mil reais. Também foi realizada a implementação do programa computacional na linguagem Python® 3.9 e elaboradas as interfaces do usuário.

Em seguida, o método 2: calibração de hidrômetros foi aplicado com o uso de três hidrômetros, adotando o procedimento descrito na Portaria nº 246 (INMETRO, 2000). Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade do método no apoio na troca dos hidrômetros na análise comparativa entre os valores de referência do INMETRO e o valor medido corrigido com as incertezas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são detalhadas as principais conclusões obtidas e apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

É evidente a necessidade da gestão do conjunto de hidrômetros (ou parque de hidrômetros) utilizados pela concessionária, assim, permitindo a confiabilidade metrológica na medição dos volumes consumidos de água. Normalmente, as correções dos erros de medição são realizadas com a troca dos hidrômetros antigos por novos, porém os custos são elevados e as companhias de saneamento não possuem recursos financeiros suficientes para trocar a totalidade de hidrômetros instalados nos seus sistemas de abastecimento de água, exigindo que seja feita a priorização.

Neste cenário, os gestores das companhias precisam decidir quais os hidrômetros devem ser priorizados para a garantia da confiabilidade metrológica das medições. Para o sucesso dessa priorização, é fundamental que os responsáveis pela tomada de decisão conheçam o tempo de uso, a quantidade e o decaimento do volume consumido, o perfil e a categoria do imóvel que se encontra instalado o hidrômetro, a quantidade de contas não pagas e também avaliem outras possibilidades que permitam a redução da submedição dos hidrômetros, diminuindo as perdas de água com aumento de faturamento.

Durante a escolha do conjunto de medidores, é aceitável o uso de métodos como apoio a decisão multicritério para a priorização da troca de hidrômetros. Desta feita, este trabalho centrou na apresentação de um modelo de apoio a decisão multicritério para priorização da troca de hidrômetros, que proporcione aumento de faturamento.

Para tanto, foi inicialmente realizada a seleção das referências bibliográficas para compor um referencial teórico sobre o contexto estudado, que possibilitou analisar um conjunto de 282 publicações, divulgados entre os anos de 2005 e 2024, e finalizando com a geração do Portifólio Bibliográfico (PB) contendo 44 documentos conforme apresentados no Apêndice A. A seleção do PB nos permite afirmar que existe uma quantidade pequena de publicações que abordam o tema desta pesquisa. Sendo assim, o desenvolvimento de

um sistema de apoio a decisão multicritério para troca de hidrômetros é algo que poderá oferecer uma contribuição científica e ajudar no aumento de faturamento e redução de perdas aparentas da Companhia, podendo contribuir para a sustentabilidade hídrica e financeira do setor de saneamento do Brasil.

Além desta seleção, o presente trabalho realizou uma análise bibliométrica, que consiste na contagem de ocorrência de determinadas variáveis (características) nas publicações do PB e suas respectivas referências. Com os resultados, é possível quantificar as informações existentes e mapear a estrutura do conhecimento de um campo científico sobre o tema desta pesquisa, assim, é possível saber quais são os principais periódicos, publicações, autores e palavras-chave, sendo:

- Períodos com maior número de publicações (períodos em destaque): *“Journal AWWA”* e *“Journal of Water Resources Planning and Management”*;
- Periódicos com maior fator de impacto do JCR e SJR: *“Water Resources Management”* e *“Stochastic Environmental Research and Risk Assessment”*;
- Publicação com maior número de citações (publicações em destaque): *“Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems”*;
- Autor com maior número de citações (autores em destaque): ARREGUI, F.J.; e, FONTANAZZA, C. M.
- Palavras-chaves com maior número de repetições (palavras-chave em destaque): *“apparent losses”* e *“water meter”*.

O autor deste trabalho reitera que a análise bibliográfica não tenta construir um referencial teórico em si, mas contribui para que estudos sobre o tema de pesquisa sejam baseados em um processo estruturado para a seleção e evidenciação das publicações, autores e periódicos mais relevantes e que suportarão o arcabouço teórico dos trabalhos acadêmicos e científicos futuros.

Após a análise bibliográfica, foi proposto um modelo de apoio a decisão com o uso do método multicritério PROMETHEE II, que tem a vantagem de requerer a informação sobre como cada critério será avaliado, permitindo maior flexibilidade do decisor. Sendo de fácil compreensão e implementação.

Então, houve a implementação do programa computacional capaz de analisar o conjunto de dados do parque de hidrômetros de uma determinada região territorial, e, como resultado, gerar uma lista ordenada de hidrômetros prioritários para a realização das trocas. No desenvolvimento, foi possível utilizar os dados extraídos do sistema de informação da Companhia responsável pelo abastecimento de água do Recife-PE, que possui uma diversidade de dados e grande quantidades de informações histórica, chamado de GSAN, ferramenta desenvolvida em ambiente de *software livre* e disponibilizado pelo governo federal. Na análise dos resultados, é possível afirmar que o modelo de apoio desenvolvido possui viabilidade para uso e pode auxiliar o decisor na escolha acertiva dos hidrômetros para a realização da troca e, desta feita, cumprindo o objetivo geral deste trabalho.

A relação de hidrômetros priorizados foi baseada numa avaliação global de aspectos financeiros, comerciais, técnicos, ambientais e sociais, extraídos do cadastro comercial e técnico de cada hidrômetro e da região o qual ele se encontra instalado, objetivando o aumento do faturamento.

Também, este trabalho focou na elaboração de um método de calibração de hidrômetros que permitisse a verificação dos erros de medição do hidrômetro, pois observou-se indispensável o estudo de confiabilidade metrológica deste conjunto de medidores que serão substituídos, tanto para validação do modelo de apoio a decisão, como a análise de cada medidor objetivando a recuperação para novo uso. O método de calibração de hidrômetros possibilita a análise comparativa, com confiabilidade metrológica, entre os valores de referência da Portaria nº 246 (INMETRO, 2000), identificados no medidor padrão e os valores encontrados no hidrômetro a ser calibrado, permitindo, assim, aprovar ou não.

As etapas do método de calibração foram elaboradas de acordo com as recomendações descritas na Portaria nº 246 (INMETRO, 2000); as incertezas associadas, os erros de medição e o cálculo de incerteza foram construídas conforme orientações do Guia para Expressão de Incerteza de Medição – GUM (ISO, 2008). É importante destacar que o método de calibração proposto foi desenvolvido para o hidrômetro de água fria, classe B, de vazão nominal de 1,5 m³/h, com o uso da bancada de medição da COMPESA. Caso seja necessário aplicar o método proposto para outros tipos de hidrômetros, ou diferentes bancadas de calibração, será necessário adaptar o método, com adequações de intervalos de vazões e instrumentos desses disponíveis.

O método de calibração proposto neste trabalho foi fundamental para a análise de confiabilidade metrológica dos hidrômetros. Neste método, é possível ser utilizado em larga escala, tanto em laboratórios de calibração de companhias de saneamento, como pelos fabricantes e laboratórios de inspeção e validação de medidores. Além de ser um método inovador e fácil uso.

6.2. Propostas de Trabalhos Futuros

Sugere-se para futuras pesquisas:

- (a) a continuação desta pesquisa com o desenvolvimento das duas etapas faltantes do *Proknow-C*: análise sistêmica (análise de conteúdo do PB) e identificação de oportunidades científicas de pesquisa com a sugestão de perguntas de pesquisa e objetivos; e, a replicação do processo para outros contextos a partir de busca em bases diversas disponibilizadas no portal da CAPES;
- (b) a análise de confiabilidade, por meio da execução de testes práticos do sistema de apoio para priorização da troca de hidrômetro, por meio da retirada no território do parque de hidrômetros dos que foram priorizados e análise de confiabilidade de cada um, para confirmação dos erros de medição identificados pelo sistema. Sobretudo, a instalação de novos hidrômetros para comparação da fatura antes e após a troca; e,
- (c) a validação do sistema computacional numa determinada região com a troca de um número acima de 100 medidores para que possa ser feito a calibração dos antigos para análise da confiabilidade metrológica e verificação do aumento de faturamento provocado pela troca dos hidrômetros, com a instalação dos novos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA REGULADORA DE PERNAMBUCO – ARPE. **Resolução comercial de n. 085 de 08 de outubro de 2013**. 2013

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, P. *Performance Indicators in Water Supply Services*. 2º ed. IWA Publishing, 2006. 160 p.

ALMEIDA, A. T. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão**, 2 ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011

ARREGUI, F. J.; COBACHO, R.; CABRERA, E.; ESPERT, V. *Graphical Method to Calculate the Optimum Replacement Period for Water Meters*. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 137, n. 1, 2011. p. 143-146

ARREGUI, F. J.; MARTINEZ, B.; SORIANO, J.; PARRA, J. C. *Tools for improving decision making in water meter management*. **Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference**, 2009. p. 225–232

ARREGUI, F. J.; PARDO, M. A.; PARRA, J. C.; SORIANO, J. *Quantification of meter errors of domestic users: a case study*. **Proceedings of the Water Loss 2007 Conference**, 2007. p. 23-26

ARREGUI, F.; CABRERA, E.; COBACHO, R.; GARCÍA-SERRA, J. *Key factors affecting water meter accuracy*. **Proceedings of IWA Leakage 2005**, 2005. p. 1-10

ARREGUI, F.; CABRERA, E.; COBACHO, R.; GARCÍA-SERRA, J. *Reducing Apparent Losses Caused by Meters Inaccuracies*. **Water Practice & Technology**, v. 1, n. 4, 2006. p. 1-8

ARREGUI, F.; COBACHO, R.; SORIANO, J.; García-Serra, J. *Calculating the optimum level of apparent losses due to water meter inaccuracies*. **Proceedings of the IWA Water Loss Conference: Water Loss**, 2010. p. 6-9

ARREGUI, F.; GAVARA, F.; SORIANO, J.; PASTOR-JABALOYES, L. *Performance Analysis of Ageing Single-Jet Water Meters for Measuring Residential Water Consumption*. **Water**, v. 10, n. 5, 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água**.

Posicionamento e contribuições técnicas da ABES, 1º ed. São Paulo: Editora ABES, 2015. 99 p.

BARRON, F. H. *Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attributeweights*. **Acta Psychologica**, v. 80, 1992. p. 91–103

BEZERRA, F. C. F. **Redução de Perdas Através do Gerenciamento da Hidrometria na Unidade Oeste de Fortaleza pelo Sistema de Controle de Perdas**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2019

BORGES, E. J. B. **Análise da micromedição do volume de água potável domiciliar e sua influência no cálculo das perdas no sistema de distribuição**. 2007. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2007

BORTOLUZZI, S. C.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; VALMORBIDA, S. M. I. Avaliação de Desempenho em Redes de Pequenas e Médias Empresas: Estado da arte para as delimitações postas pelo pesquisador. **Revista Eletrônica Estratégia & Negócios**, v. 4, n. 2, 2011

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H. *A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM*. **Management Science**, v. 31, 1985. p. 647-656

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H.; MARESCHAL, B. *How to select and how to rank project: The PROMETHEE method*. **European Journal of Operational Research**, v. 24, 1986. p. 228-238

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. **PROMETHEE Methods. In: Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**, Springer, USA, 2005, p. 163-189

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Comunicação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. **Missão e objetivos**. Disponível em: <<http://www-periodicos-capes-gov-br.ez16.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – Visão Geral – ano de referência 2022**. Brasília: SNS/MDR, 2023. 108 p.

BUFREM, L.; PRATES, Y. O saber científico registrado e as práticas de mensuração da informação. **Ciência da Informação**, Brasília, DF, n. 34, 2005

CLEMENTE, T. R. N. **Estudo de pesos substitutos para metodo Promethee II e aplicação em modelo para avaliação de tecnologias críticas**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Engenharia de Produção, Recife, PE, 2015.

COELHO, A. C. **Micromedicação em sistemas de abastecimento de água**. 1 ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009

COUVELIS, F.; VAN ZYL, J. *Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa*. **Water SA**, v. 41, n. 5, 2015. p. 698–704

CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. *Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply*. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 9, p. 2373-2382

DANIELSON M; EKENBERG, L. *Rank ordering methods for multi-criteria decisions*. **In: Proceedings of the 14th group decision and negotiation (GDN)**. 2014. p. 128-135

DAVIS, S. *Residential Water Meter Replacement Economics*. **In Proceedings of the IWA Leakage Conference 'Leakage 2005'**, 2005. p. 1–10

DAWES, R.M.; CORRIGAN, B. *Linear Models in Decision Making*. **Psychological Bulletin**, v. 81 n. 2, 1974. p. 91-106

DE ALMEIDA FILHO, A.T.; CLEMENTE, T.R.N.; Morais, D.C.; DE ALMEIDA, A.T. *Preference modeling experiments with surrogate weighting procedures for the PROMETHEE method*. **European Journal of Operational Research**, v. 264, p. 453-461, 2018.

DE MARCHIS, M.; FONTANAZZA, C.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. et al. *A mathematical model to evaluate apparent losses due to meter under-registration in intermittent water distribution networks*. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 13, n. 4, 2013. p. 914-923

DEPEXE, M. D.; GASPARINI, R. R. **Determinação de taxas anuais de redução da eficiência da medição de hidrômetros**. Saneas, 45, n. XII, 2012.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCA, J. E. *ProKnow-C, Knowledge Development Process-Constructivist*. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**. Brasil. 2010.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; PACHECO, G. C. Um estudo sobre segurança em estádios de futebol baseado na análise da literatura internacional. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 17, n.2, 2012. p. 71-91.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; PINTO, H. de M.; Processo de investigação e Análise bibliométrica: Avaliação da Qualidade dos Serviços Bancários. **RAC – Revista de Administração Contemporânea**, v.17, n. 3, 2013. p. 325-349.

ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; IMLAU, J. M.; CHAVES, L. C. Processo de mapeamento das publicações científicas de um tema: portfólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho de cooperativas de produção agropecuária. **Revista de Economia e Sociologia Rural** (Impresso), v. 52, 2014. p. 587-608.

EUROPEAN COMMISSION. **EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM**, 2015. 117 p.

FANTOZZI, M. *Reduction of customer meters under-registration by optimal economic replacement based on meter accuracy testing programme and unmeasured flow reducers. **Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference***, 2009a. p. 233–239

FANTOZZI, M.; CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C.; FRENI, G. et al. *Investigations into under-registration of customer meters in Palermo (Italy) and the effect of introducing Unmeasured Flow Reducers. **Proceedings of Water Loss***, 2009b, p. 589–595

FERREOL, E. *How to measure and reduce water meter park efficiency? **Proceedings of Leakage 2005 Conference***, 2005

FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G.; NOTARO, V. et al. *A composite indicator for water meter replacement in an urban distribution network. **Urban Water Journal***, v. 9, n. 6, 2012. p. 419-428

FONTANAZZA, C. M.; NOTARO, V.; PULEO, V.; FRENI, G. *The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance. **Urban Water Journal***, v. 12, n. 3, 2015. p. 229-239

FONTANAZZA, C.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G.; NOTARO, V., 2010, *Effect of network pressure on apparent losses due to meters under-registration. **Water Loss 2010***, 2010

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2014. p. 370

HERNÁNDEZ-GARCÍA, A.; BAZÁN, L. A.; VALERA-TALAVERA, O.; ARREGUI-DE LA CRUZ, F. *Desarrollo de un modelo económico para la gestión de contadores de agua instalados en batería en redes de abastecimiento*. **Ingeniería del agua**, v. 24, n. 1, 2020. p. 1

HOVANY, L. *Error in Water Meter Measuring Due to Shorter Flow and Consumption Shorter Than the Time the Meter was Calibrated*. **InTech**, 2012

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema agregador de informações do IBGE sobre os municípios e estados do Brasil**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama> > Acesso em novembro de 2024.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, et. al. **Portaria nº 246 de 17/10/200** – aprova o Regulamento Técnico Metrológico para hidrômetros de água fria, de vazão nominal até 15 m³/h. Brasília, DF, 2000.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM) 2012**. 1 ed. Duque de Caixas, RJ. 2012

IPQ – INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **Vocabulário internacional termos de metrologia legal – VIML**, Caparica, Portugal, 2017.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM**, 2008.

MARX, K. **Contribuição à Crítica da Economia Política**. Tradução de Florestan Fernandes. São Paulo: Expressão Popular, 2008.

KANG, D.; LANSEY, K. *Optimal Meter Placement for Water Distribution System State Estimation*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 136, n. 3, 2010. p. 337-347

KEENEY, R. L. *Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives*. **European Journal of Operational Research**, v. 92, n. 3, 1996, p. 537-549

KEENEY, R.; RAIFFA, H.; RAJALA, D. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. **Systems, Man and Cybernetics**, *IEEE Transactions on*, v. 9, 1979, p. 403-403

KUSTERKO, S. K. **Avaliação de desempenho para apoiar a gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água fundamentada na metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista**. 2015. 360 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015

LAMBERT, A. HIRNER, W. **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures**. IWA – International Water Association. U.K, 2000

MACHADO, T. P. S. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Desenvolvimento de produtos usando a abordagem MCDA-C. **Produção**, São Paulo, 2015

MARAFON, A. D.; ENSSLIN, L.; OLIVEIRA, R. T. De.; ENSSLIN, S.R. *The effectiveness of multi-criteria decision aid methodology: A case study of R&D management*. **European Journal of Innovation Management**, v. 18, n. 1, 2015. p. 86-109

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2006

MBABAZI, D.; BANADDA, N.; KIGGUNDU, N.; MUTIKANGA, H. et al. *Determination of domestic water meter accuracy degradation rates in Uganda*. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 64, n. 4, 2015. p. 486-492

MOAHLOLI, A.; MARNEWICK, A.; PRETORIUS, J. *Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss*. **Water SA**, 45, n. 2, 2019

MONEDERO, I.; BISCARRI, F.; GUERRERO, J. I.; PEÑA, M. et al. *Detection of Water Meter Under-Registration Using Statistical Algorithms*. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 1, 2016

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional** (online), v. 26, n. 3, 2006. p. 567-584, ISSN 0101-7438. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382006000300007>.

MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. **Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água**. PE. 2009

MORAIS, D.C.; DE ALMEIDA, A.T.; ALENCAR, L.H.; CLEMENTE, T.R.N.; CAVALCANTI, C.Z.B. *PROMETHEE-ROC Model for Assessing the Readness of Technology for Generating Energy. **Mathematical Problems in Engineering (Online)***, v. 2015, p. 1-11, 2015

MUKHEIBIR, P.; STEWART, R. A.; GIURCO, D.; O'HALLORAN, K. *Understanding non-registration in domestic water meters: Implications for meter replacement strategies. **Water***, 2012.

MUTIKANGA, H. E. *Decision Support Tool for Optimal Water Meter Replacement. **UNESCO-IHE Institute for Water Education***, 2011

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. *Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda. **Water SA***, v. 37, n. 4, 2011

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. *Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. **Journal of Water Resources Planning & Management***, v. 139, n. 2, 2013. p. 166-174

OLIVEIRA, M. **Desenvolvimento de um medidor de vazão termal inteligente**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

OLIVEIRA, M. **Desenvolvimento de um medidor de vazão termal inteligente**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

ONU – Organização das Nações Unidas. **É o momento das cidades: Não há saída sem investimento em desenvolvimento sustentável**. Disponível em < <https://brasil.un.org/pt-br/252625-%C3%A9-o-momento-das-cidades-n%C3%A3o-h%C3%A1-sa%C3%ADda-sem-investimento-em-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel> > Acesso em dezembro de 2023

PARRA, J.; ARREGUI, F.; MARTINEZ, B.; SORIANO, J. *Tools for improving decision making in water meter Management. **Conference: Water Loss 2009***, 2009

PARRA, J.; ARREGUI, F.; PARDO, M.; SORIANO, J. *Quantification of meter errors of domestic users. A case study. **Water Loss 2007***, v. 2, 2007

PEREIRA, L. G.; ILHA, M. **Avaliação da submedição de água em edificações residenciais de interesse social localizadas em Campinas**. Ambiente Construído, v. 8, n. 2, 2006. p. 7-21

PEREIRA, R. A.; DA SILVA, M. d. L.; BRITO, V. F.; DA SILVEIRA, V. B. et al. **Aplicação de análise multicritério para priorização de troca de hidrômetros no município de São Caetano do Sul-SP, com ênfase na redução de perdas e nas recuperação de receita**. Encontro Técnico, 2016

PULEO, V.; FONTANAZZA, C. M.; NOTARO, V.; DE MARCHIS, M. et al. *Definition of Water Meter Substitution Plans based on a Composite Indicator*. **Procedia Engineering**, v. 70, 2014. p. 1369-1377

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2017

RIZZO, A.; CILIA, J. *Quantifying meter under-registration caused by the ball valves of roof tanks*. **Proceedings of the Leakage 2005**, 2005

RIZZO, A.; VERMERSCH, M.; St. JOHN, S. G.; MICALLEF, G.; RIOLO, S.; PACE, R. **Apparent water loss control: The way forward**. 2007

ROY, B. **Multicriteria Methodology Goes Decision Aiding**. Berlin: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill. 1980

SCALIZE, P. S.; LEITE, W. C. D. A.; CAMPOS, M. A. S. **Substituição racional de hidrômetros em sistemas de abastecimento de água**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 3, 2014

SHIELDS, D. J.; BARFUSS, S. L.; JOHNSON, M. C. *Revenue recovery through meter replacement*. **Journal - American Water Works Association**, v. 104, n. 4, 2012. p. E252-E259

SILVA, C. M.; PÁDUA, V. L. D.; BORGES, J. M. *Contribution to the Study of Measures for the Reduction of Apparent Water Loss in Urban Areas*. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 3, 2016. p. 249-268

SILVA, N. R. **Estudo de Metodologias Para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares Em Sistemas de Água**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e

Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 2008.

STILLWELL, W. G.; SEAVER, D.A.; EDWARDS, W. A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. *Organizational Behavior and Human Performance*, v. 28, 1981. p. 62-77

STOKER, D. M.; BARFUSS, S. L.; JOHNSON, M. C. *Flow measurement accuracies of in-service residential water meters*. ***Journal-American Water Works Association***, v. 104, n. 12, 2012. p. E637-E642

SZILVESZTER, S.; BELTRAN, R.; FUENTES, A. *Performance analysis of the domestic water meter park in water supply network of Ibarra, Ecuador*. ***Urban Water Journal***, v. 14, n. 1, 2017. p. 85-96

TARDELLIFILHO, J. et. al. **Controle e redução e perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água – Posicionamento e contribuições técnicas da ABES**. 1º ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2016. 108 p.

TEODORO, M. F.; ANDRADE, M. A. P.; FERNANDES, S.; CARRIÇO, N. *Water Meters Inaccuracies Registrations: A First Approach of a Portuguese Case Study*. ***Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020***, 2020. p. 429–445

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. ***Water loss control manual***. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2008

THORTON J.; STURM R.; KUNKEL G.; *Water loss control*, 2º ed., ***IWA Publishing***, 2008.

TROJAN, F. **Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Engenharia de Produção, Recife, PE, 2012.

VALMORBIDA, S. M. I.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; RIPOLL-FELIU, V. M. Avaliação de Desempenho para Auxílio na Gestão de Universidades Públicas: Análise da Literatura para Identificação de Oportunidades de Pesquisas. ***Contabilidade, Gestão e Governança***, v. 17, n. 3, 2014. p. 4-28

VINCKE, P. ***Multicriteria decision-aid***. Bruxelles: Wiley& Sons, 1992.

WHO - World Health Organization. *Operation and Maintenance of Urban Water Supply and Sanitation Systems. **A Guide for Managers***. O&M Working Group of the Water Supply and Sanitation Collaborative Council. 1994

XIN, K.; TAO, T.; LU, Y.; XIONG, X. et al. *Apparent Losses Analysis in District Metered Areas of Water Distribution Systems. **Water Resources Management***, v. 28, n. 3, 2014. p. 683-696

ZELENY, M. ***Multiple Criteria Decision Making***. New York: MacGraw-Hill, 1982.

Apêndice A – Portfólio Bibliográfico

Nº	Descrição das publicações
1	ARREGUI, F. J.; CABRERA, E.; COBACHO, R.; GARCÍA-SERRA, J. <i>Key factors affecting water meter accuracy. In: Proceedings of the IWA Leakage 2005 Conference</i> , 2005.
2	ARREGUI, F. J.; CABRERA, E.; COBACHO, R.; GARCÍA-SERRA, J. <i>Reducing Apparent Losses Caused by Meters Inaccuracies. Water Practice & Technology</i> , v. 1, n. 4, 2006. p. 1-8
3	ARREGUI, F. J.; COBACHO, R.; CABRERA, E.; ESPERT, V. <i>Graphical Method to Calculate the Optimum Replacement Period for Water Meters. Journal of Water Resources Planning and Management</i> , v. 137, n. 1, 2011. p. 143-146
4	ARREGUI, F. J.; COBACHO, R.; SORIANO, J.; GARCÍA-SERRA, J. <i>Calculating the optimum level of apparent losses due to water meter inaccuracies. In: Proceedings of the IWA Water Loss 2010 Conference</i> , 2010. p. 6-9
5	ARREGUI, F. J.; GAVARA, F.; SORIANO, J.; PASTOR-JABALOYES, L. <i>Performance Analysis of Ageing Single-Jet Water Meters for Measuring Residential Water Consumption. Water</i> , v. 10, n. 5, 2018.
6	ARREGUI, F. J.; MARTINEZ, B.; SORIANO, J.; PARRA, J. <i>Tools for improving decision making in water meter management. In: Proceedings of the IWA Water Loss 2009 Conference</i> , 2009. p. 225–232
7	ARREGUI, F. J.; PARDO, M.; SORIANO, J.; PARRA, J. <i>Quantification of meter errors of domestic users: a case study. In: Proceedings of the IWA Water Loss 2007 Conference</i> , v. 2, 2007. p. 23-26
8	BEZERRA, F. C. F. Redução de Perdas Através do Gerenciamento da Hidrometria na Unidade Oeste de Fortaleza pelo Sistema de Controle de Perdas . 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2019.
9	BORGES, E. J. B. Análise da micromedicação do volume de água potável domiciliar e sua influência no cálculo das perdas no sistema de distribuição . 2007. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2007.
10	CORDEIRO, C.; BORGES, A.; RAMOS, M. R. <i>A strategy to assess water meter performance. Journal of Water Resources Planning and Management</i> , v. 148, n. 2, 2022. p. 05021027
11	COUVELIS, F.; VAN ZYL, J. <i>Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa. Water SA</i> , v. 41, n. 5, 2015. p. 698–704
12	CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. <i>Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. Water Science & Technology</i> , v. 60, n. 9, 2009. p. 2373-2382
13	DAVIS, S. <i>Residential Water Meter Replacement Economics. In: Proceedings of the IWA Leakage 2005 Conference</i> , 2005.
14	DE MARCHIS, M.; FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. et al. <i>A mathematical model to evaluate apparent losses due to meter under-registration in intermittent water distribution networks. Water Science & Technology: Water Supply</i> , v. 13, n. 4, 2013. p. 914-923

15	DEPEXE, M. D.; GASPARINI, R. R. Determinação de taxas anuais de redução da eficiência da medição de hidrômetros . 23º Encontro Técnico AESABESP, 2012.
16	FANTOZZI, M. <i>Reduction of customer meters under-registration by optimal economic replacement based on meter accuracy testing programme and unmeasured flow reducers</i> . In: Proceedings of the IWA Water Loss 2009 Conference , 2009a. p. 233–239.
17	FANTOZZI, M.; CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G. et al. <i>Investigations into under-registration of customer meters in Palermo (Italy) and the effect of introducing Unmeasured Flow Reducers</i> . In: Proceedings of the IWA Water Loss 2009 Conference , 2009b, p. 589–595.
18	FERREOL, E. <i>How to measure and reduce water meter park efficiency?</i> In: Proceedings of the IWA Leakage 2005 Conference , 2005.
19	FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G.; NOTARO, V. et al. <i>A composite indicator for water meter replacement in an urban distribution network</i> . Urban Water Journal , v. 9, n. 6, 2012. p. 419-428
20	FONTANAZZA, C. M.; NOTARO, V. P.; PULEO, V.; FRENI, G. <i>Effects of network pressure on water meter under-registration: An experimental analysis</i> . Drinking Water Engineering and Science Discussions , v.6, 2013. p. 119-149
21	FONTANAZZA, C. M.; NOTARO, V.; PULEO, V.; FRENI, G. <i>The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance</i> . Urban Water Journal , v. 12, n. 3, 2015. p. 229-239
22	HERNÁNDEZ-GARCÍA, A.; BAZÁN, L. A.; VALERA-TALAVERA, O.; ARREGUI, F. J. <i>Desarrollo de un modelo económico para la gestión de contadores de agua instalados en batería en redes de abastecimiento</i> . Ingeniería del agua , v. 24, n. 1, 2020. p. 1
23	HOVANY, L. <i>Error in Water Meter Measuring Due to Shorter Flow and Consumption Shorter Than the Time the Meter was Calibrated</i> . InTech , 2012.
24	KANG, D.; LANSEY, K. <i>Optimal Meter Placement for Water Distribution System State Estimation</i> . Journal of Water Resources Planning and Management , v. 136, n. 3, 2010. p. 337-347
25	MBABAZI, D.; BANADDA, N.; KIGGUNDU, N.; MUTIKANGA, H. et al. <i>Determination of domestic water meter accuracy degradation rates in Uganda</i> . Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA , v. 64, n. 4, 2015. p. 486-492
26	MOAHLOLI, A.; MARNEWICK, A.; PRETORIUS, J. <i>Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss</i> . Water SA , 45, n. 2, 2019.
27	MONEDERO, I.; BISCARRI, F.; GUERRERO, J. I.; PEÑA, M. et al. <i>Detection of Water Meter Under-Registration Using Statistical Algorithms</i> . Journal of Water Resources Planning and Management , v. 142, n. 1, 2016.
28	MUKHEIBIR, P.; STEWART, R. A.; GIURCO, D.; O'HALLORAN, K. <i>Understanding non-registration in domestic water meters: Implications for meter replacement strategies</i> . Water , 2012.
29	MUTIKANGA, H. E. <i>Decision Support Tool for Optimal Water Meter Replacement</i> . UNESCO-IHE Institute for Water Education , 2011.
30	MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. <i>Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda</i> . Water SA , v. 37, n. 4, 2011.
31	MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. <i>Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems</i> . Journal of Water Resources Planning and Management , v. 139, n. 2, 2013. p. 166-174
32	PEREIRA, L. G.; ILHA, M. Avaliação da submedição de água em edificações residenciais de interesse social localizadas em Campinas . <i>Ambiente Construído</i> , v. 8, n. 2, 2006. p. 7-21
33	PEREIRA, R. A.; DA SILVA, M. D. L.; BRITO, V. F.; DA SILVEIRA, V. B. et al. Aplicação de análise multicritério para priorização de troca de hidrômetros no município de

	São Caetano do Sul-SP, com ênfase na redução de perdas e nas recuperação de receita. 28º Encontro Técnico AESABESP, 2016.
34	PULEO, V.; FONTANAZZA, C. M.; NOTARO, V.; DE MARCHIS, M. et al. <i>Definition of Water Meter Substitution Plans based on a Composite Indicator.</i> Procedia Engineering , v. 70, 2014. p. 1369-1377
35	RIZZO, A.; CILIA, J. <i>Quantifying meter under-registration caused by the ball valves of roof tanks.</i> In: Proceedings of the IWA Leakage 2005 Conference , 2005.
36	SCALIZE, P. S.; LEITE, W. C. D. A.; CAMPOS, M. A. S. Substituição racional de hidrômetros em sistemas de abastecimento de água. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 3, 2014.
37	SHIELDS, D. J.; BARFUSS, S. L.; JOHNSON, M. C. <i>Revenue recovery through meter replacement.</i> Journal AWWA - American Water Works Association , v. 104, n. 4, 2012. p. E252-E259
38	SILVA, C. M.; PÁDUA, V. L. D.; BORGES, J. M. <i>Contribution to the Study of Measures for the Reduction of Apparent Water Loss in Urban Areas.</i> Ambiente & Sociedade , v. 19, n. 3, 2016. p. 249-268
39	STOKER, D. M.; BARFUSS, S. L.; JOHNSON, M. C. <i>Flow measurement accuracies of in-service residential water meters.</i> Journal AWWA - American Water Works Association , v. 104, n. 12, 2012. p. E637-E642.
40	SZILVESZTER, S.; BELTRAN, R.; FUENTES, A. <i>Performance analysis of the domestic water meter park in water supply network of Ibarra, Ecuador.</i> Urban Water Journal , v. 14, n. 1, 2017. p. 85-96
41	TABESH, M. et al. <i>Prioritization of non-revenue water reduction scenarios using a risk-based group decision-making approach.</i> Stochastic Environmental Research and Risk Assessment , v. 34, 2020. p. 1713-1724
42	TEODORO, M. F.; ANDRADE, M. A. P.; FERNANDES, S.; CARRIÇO, N. <i>Water Meters Inaccuracies Registrations: A First Approach of a Portuguese Case Study.</i> Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020 , 2020. p. 429-445
43	XIN, K.; TAO, T.; LU, Y.; XIONG, X. et al. <i>Apparent Losses Analysis in District Metered Areas of Water Distribution Systems.</i> Water Resources Management , v. 28, n. 3, 2014. p. 683-696
44	YILMAZ, S. et al. <i>Identification of the priority regions in the customer water meters replacement using the AHP and ELECTRE methods.</i> Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences , v. 39, n. 4, 2021. p. 331-342

Fonte: Próprio autor.

Apêndice B – O programa de computador implementado no Python®

#SAPhO v4 – 2ª etapa - Filtro complementar

```
import pandas as pd
```

```
#ENTRADAS
```

```
#Carrega a planilha com todos os dados de consumo
```

```
df_ENT_filtro_inicial = pd.read_csv('Dados_de_consumo-filtro_inicial.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```

```
#coloca o valor zero nas células vazias
```

```
df_ENT_filtro_inicial = df_ENT_filtro_inicial.fillna(0)
```

```
#carrega a planilha com os dados de entrada do filtro complementar
```

```
df_ENT_dados_filtro_compl = pd.read_csv('DADOS_ENT - filtro complementar.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```

```
#filtra os dados de consumo pelo bairro.
```

```
df_ENT_filtro_inicial = df_ENT_filtro_inicial[(df_ENT_filtro_inicial.BAIRRO == df_ENT_dados_filtro_compl['Bairro'])[0]]
```

```
#SAIDAS
```

```
df_ENT_filtro_inicial.to_csv('Dados de consumo - filtro complementar.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")#SAPhO v.2.4 - 4ª etapa - Cálculo da matriz consequência de graus de preferência
```

#SAPhO v4 - 4ª etapa - Cálculo da matriz consequência de graus de preferência

```
import pandas as pd
```

```
from sklearn import linear_model
```

```
from datetime import date
```

```
#ENTRADAS
```

```
#Carrega a planilha com dados de consumo do filtro complementar
```

```
df = pd.read_csv('Dados de consumo - filtro complementar.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```

```
df = df.drop("Unnamed: 0", axis=1) #Apaga a coluna Unnamed:0
```

```
# carrega planilha em .csv de nome DADOS_ENT-uni.csv, em que as colunas
```

```
df1 = pd.read_csv('DADOS_ENT-uni.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```

```
df2 = pd.read_csv('DADOS_ENT-filtro complementar.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```

```
# a = critérios - 1 = selecionado; 0 = não selecionado;
```

```
# q = limiar de indiferença;
```

```
# p = limiar de preferência;
```

```
# s = parâmetro que controla o achatamento da função de preferência gaussiana;
```

```
# c = 1 = maximização e 0 = minimização
```

```
# f = uconfo = critério usual, us = quase-critério, vs = limiar de preferência,
```

```
# le = pseudo-critério, li - área de indiferença e g = função de preferência Gaussiano
```

```
 #(c1) Tempo de uso (meses): calcula o tempo de uso em meses de cada hidrômetro analisado
```

```
df['tempo_de_uso'] = 0
```

```
df2.loc[0,'Data_Banco_de_dados'] = pd.to_datetime(df2.loc[0,'Data_Banco_de_dados'])
```

```

if (df1.loc[0,'a'] == 1): #verifica se c1 foi selecionado pelo decisor.

    data_atual = date.today()

    for i in range(0, len(df.index)):

        if df.loc[i,'DT_INSTAL_HIDRO'] == '-':
            df.loc[i,'DT_INSTAL_HIDRO'] = 0
        else:
            df.loc[i,'DT_INSTAL_HIDRO'] = pd.to_datetime(df.loc[i,'DT_INSTAL_HIDRO'])
            df.loc[i,'tempo_de_uso'] = (df2.loc[0,'Data_Banco_de_dados'].year -
df.loc[i,'DT_INSTAL_HIDRO'].year)*12+(df2.loc[0,'Data_Banco_de_dados'].month -
df.loc[i,'DT_INSTAL_HIDRO'].month)+1

#(c2) Volume consumido (m³): calcula o volume consumido em m3 e identifica a coluna que inicia o uso
do hidrômetro

df['col_inicio_reg_med']=0
df['vol_consum']=0

if (df1.loc[1,'a'] == 1): #verifica se c2 foi selecionado pelo decisor.

    for i in range(0, len(df.index)):
        df.loc[i,'col_inicio_reg_med'] = ((len(df.columns) - 3) - df.loc[i,'tempo_de_uso']) #define a posição na
coluna.
        df.loc[i,'vol_consum'] = round(df.iloc[i,(df.loc[i,'col_inicio_reg_med']):df.loc[i,'col_inicio_reg_med'] +
df.loc[i,'tempo_de_uso']]).sum(),2)

#Calcula o consumo médio total, consumo médio (inicial) de 6 meses seguidos, logo após a instalação do
hidrômetro e o
#consumo médio (final) de 6 meses na data da análise.
df['consumo_medio_total'] = 0
df['consumo_medio_inicial_6meses'] = 0
df['consumo_medio_final_6meses'] = 0

for i in range(0, len(df.index)):

    if df.loc[i,'tempo_de_uso'] > 0:
        df.loc[i,'consumo_medio_total'] = round(df.loc[i,'vol_consum'] / df.loc[i,'tempo_de_uso'],2)
    else:
        df.loc[i,'consumo_medio_total'] = 0

    df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] =
round(df.iloc[i,(df.loc[i,'col_inicio_reg_med']+1):(df.loc[i,'col_inicio_reg_med']+6+1)].sum() / 6,2)

    df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] = round(df.iloc[i,((df.loc[i,'col_inicio_reg_med'] +
df.loc[i,'tempo_de_uso'])-6):(df.loc[i,'col_inicio_reg_med'] + df.loc[i,'tempo_de_uso'])).sum() / 6,2)

#Parte 1 - Realiza exclusões de alternativas que poderiam causar interferência (outlier)

# Os outliers são dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros, são pontos fora da curva.
Em outras palavras,
# um outlier é um valor que foge da normalidade e que pode (e provavelmente irá) causar anomalias nos
resultados
# obtidos por meio de algoritmos e sistemas de análise.

df_exclusao = pd.read_csv('DADOS_ENT-outlier.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

```

```

#Retirada das linhas de análise devido as exclusões sobre tempo de uso e consumo total
df = df[(df.tempo_de_uso > df_exclusao['tempo_minimo'][0]) & (df.tempo_de_uso <
df_exclusao['tempo_maximo'][0]) & (df.vol_consum > df_exclusao['consumo_minimo'][0])]

#Retirada dos valores fora da faixa de consumo conforme entrada do decisor
df = df[(df.consumo_medio_total >= df_exclusao['cons_medio_min'][0]) & (df.consumo_medio_total <=
df_exclusao['cons_medio_max'][0])]

#Cria novo DataFrame para identificar os hidrômetros fora da faixa de consumo mínimo e máximo
df_fora_faixa_consumo = pd.DataFrame()
df_fora_faixa_consumo = df[(df.consumo_medio_total < df_exclusao['cons_medio_min'][0]) |
(df.consumo_medio_total > df_exclusao['cons_medio_max'][0])]
df_fora_faixa_consumo.to_csv('DADOS_CONSUMO-Hidrometros_Fora_da_faixa_de_consumo.csv', sep
= ';', encoding="ISO-8859-1")

#Geração de arquivo .csv de dados de consumo com filtro complementar e alternativas excluídas
df.to_csv('DADOS_CONSUMO-filtro_complementar_exclusao.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

#Retira a coluna Unnamed: 0
df = pd.read_csv('DADOS_CONSUMO-filtro_complementar_exclusao.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-
1")
df = df.drop("Unnamed: 0", axis=1)
df.to_csv('DADOS_CONSUMO-filtro_complementar_exclusao.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

#calcula o coef_a e coef_b da regressão linear simples do consumo do hidrômetro
df['rl_coef_a'] = 0
df['rl_coef_b'] = 0
df['rl_r2'] = 0

for j in range(0, len(df.index)):

    rl = pd.DataFrame()
    rl['x'] = [0]
    rl['y'] = [0]

    for i in range(0, (len(df.columns)-df.loc[j,'col_inicio_reg_med'] - 9)):
        if i == 0:
            rl.loc[i,'x'] = 1
        else:
            rl.loc[i,'x'] = rl.loc[(i-1),'x'] + 1

        rl.loc[i,'y'] = df.iloc[j,(df.loc[j,'col_inicio_reg_med'] + i)]

    x_values = rl[['x']]
    y_values = rl[['y']]

    #treinando o modelo
    reg = linear_model.LinearRegression()
    reg.fit(x_values, y_values)

#(c3) Decaimento do volume consumido (adimensional)
if (df1.loc[2,'a'] == 1): #verifica se c3 foi selecionado pelo decisor.

    df.loc[j,'rl_coef_a'] = round(reg.coef_[0][0],2)

#(c4) Recuperação de volume de consumo (m³)
if (df1.loc[3,'a'] == 1): #verifica se c4 foi selecionado pelo decisor.

```

```

df.loc[j,'rl_coef_b'] = round(reg.intercept_[0],2)

df.loc[j,'rl_r2'] = round(reg.score(x_values, y_values),2)

#(c5) Perfil do imóvel (escala): Atribuição de valores entre 0 e 1 para perfil do imóvel

df['valor_PERFIL_IMOVEL'] = 0

if (df1.loc[4,'a'] == 1): #verifica se c5 foi selecionado pelo decisor.

    for j in range(0, len(df.index)): #quantidade de linhas
        if df.loc[j,'PERFIL_IMOVEL'] == 'CORPORATIVO':
            df.loc[j,'valor_PERFIL_IMOVEL'] = 1
        elif df.loc[j,'PERFIL_IMOVEL'] == 'GRANDE':
            df.loc[j,'valor_PERFIL_IMOVEL'] = 0.66
        elif df.loc[j,'PERFIL_IMOVEL'] == 'NORMAL':
            df.loc[j,'valor_PERFIL_IMOVEL'] = 0.33
        elif df.loc[j,'PERFIL_IMOVEL'] == 'TARIFA SOCIAL':
            df.loc[j,'valor_PERFIL_IMOVEL'] = 0

#(c6) Categoria do imóvel (escala): Atribuição de valores entre 0 e 1 para categoria do imóvel

df['valor_CATEGORIA'] = 0

if (df1.loc[5,'a'] == 1): #verifica se c6 foi selecionado pelo decisor.

    for j in range(0, len(df.index)): #quantidade de linhas
        if df.loc[j,'CATEGORIA'] == 'INDUSTRIAL':
            df.loc[j,'valor_CATEGORIA'] = 1
        elif df.loc[j,'CATEGORIA'] == 'COMERCIAL':
            df.loc[j,'valor_CATEGORIA'] = 0.66
        elif df.loc[j,'CATEGORIA'] == 'RESIDENCIAL':
            df.loc[j,'valor_CATEGORIA'] = 0.33
        elif df.loc[j,'CATEGORIA'] == 'PUBLICO':
            df.loc[j,'valor_CATEGORIA'] = 0

#(c7) Retorno pela faixa de consumo (escala): Atribuição de valores entre 0 e 1 para identificação
# da faixa de consumo pelo uso da média de volumes consumidos desde a data da instalação

df['valor_RETORNO_FAIXA_CONSUMO'] = 0

if (df1.loc[6,'a'] == 1): #verifica se c7 foi selecionado pelo decisor.

    for j in range(0, len(df.index)): #quantidade de linhas

        if (df.loc[j,'CONS_MEDIO']) >= 10: # média igual ou maior que 10 m³/mês
            df.loc[j,'valor_RETORNO_FAIXA_CONSUMO'] = 1
        elif df.loc[j,'CONS_MEDIO'] >= 7 and df.loc[j,'CONS_MEDIO'] < 10: #média entre 7 e 10 m³/h
            df.loc[j,'valor_RETORNO_FAIXA_CONSUMO'] = 0.5
        else: # média menor que 7 m³/h
            df.loc[j,'valor_RETORNO_FAIXA_CONSUMO'] = 0

#(c8) Risco devido a quantidade de contas não pagas (escala): Atribuição de valores entre 0 e 1 para
quantidade de contas em aberto

df['valor_RISCO_CTS_NAO_PAGAS'] = 0

if (df1.loc[7,'a'] == 1): #verifica se c8 foi selecionado pelo decisor.

```

```

for j in range(0, len(df.index)): #quantidade de linhas
    if df.loc[j, 'QTD_CTS_NAO_PG'] >= 7: # quantidade de contas em aberto igual ou maior que 7
        df.loc[j, 'valor_RISCO_CTS_NAO_PAGAS'] = 1
    elif df.loc[j, 'QTD_CTS_NAO_PG'] >= 4 and df.loc[j, 'QTD_CTS_NAO_PG'] <= 6: # quantidade de
        #contas em aberto entre 4 e 6
        df.loc[j, 'valor_RISCO_CTS_NAO_PAGAS'] = 0.5
    else: # quantidade de contas em aberto menor ou igual a 3
        df.loc[j, 'valor_RISCO_CTS_NAO_PAGAS'] = 0 #valor_RISCO_DEVIDO_DEBITO

#Geração de arquivo .csv para verificação do algoritmo

df.to_csv('teste_verificacao_01.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

#(c9) Diferença de volume consumido (m³): Diferença entre a média dos 6 últimos meses da data de hoje
# e a média dos 6 primeiros meses da data da instalação

dff['diferença_VOL_CONSUMIDO'] = 0

if (df1.loc[8, 'a'] == 1): #verifica se c9 foi selecionado pelo decisor.

    for j in range(0, len(df.index)): #quantidade de linhas
        df.loc[j, 'diferença_VOL_CONSUMIDO'] = round(df.loc[j, 'consumo_medio_inicial_6meses'] -
        df.loc[j, 'consumo_medio_final_6meses'], 2)

#Análise de ganho no faturamento pela estrutura tarifária da Compesa

dff['valor_CONTA_inicio_6meses'] = 0
dff['valor_CONTA_final_6meses'] = 0
dff['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] = 0

tarifa_social = 9.44

#Consumo residencial
menor_igual_10m3 = 45.13
entre_10_e_20m3 = 5.17
entre_20_e_30m3 = 6.15
entre_30_e_50m3 = 8.47
entre_50_e_90m3 = 10.03
entre_90_e_999999m3 = 19.28

#Consumo industrial
INDUSTRIAL_menor_igual_10m3 = 66.40
INDUSTRIAL_entre_10_e_999999m3 = 13.16

#Consumo comercial
COMERCIAL_menor_igual_10m3 = 83.20
COMERCIAL_entre_10_e_999999m3 = 17.63

#Consumo público
PUBLICO_menor_igual_10m3 = 64.17
PUBLICO_entre_10_e_999999m3 = 9.73

#Valor da conta da Compesa, Reposicionamento tarifário
#incremental de 6,72%, válido a partir de 12 de Agosto de 2019

#https://lojavirtual.compesa.com.br:8443/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalAction.do

```

```

for i in range(0, len(df.index)): #quantidade de linhas
    if df.loc[i,'CATEGORIA'] == 'INDUSTRIAL':

        if df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <= 10:
            df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = INDUSTRIAL_menor_igual_10m3

            elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
9999999):
                df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = INDUSTRIAL_menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-10)*INDUSTRIAL_entre_10_e_9999999m3

        if df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 10:
            df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = INDUSTRIAL_menor_igual_10m3

            elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <=
9999999):
                df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = INDUSTRIAL_menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-10)*INDUSTRIAL_entre_10_e_9999999m3

        elif df.loc[i,'CATEGORIA'] == 'COMERCIAL':

            if df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <= 10:
                df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = COMERCIAL_menor_igual_10m3

                elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
9999999):
                    df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = COMERCIAL_menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-10)*COMERCIAL_entre_10_e_9999999m3

            if df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 10:
                df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = COMERCIAL_menor_igual_10m3

                elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <=
9999999):
                    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = COMERCIAL_menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-10)*COMERCIAL_entre_10_e_9999999m3

        elif df.loc[i,'CATEGORIA'] == 'RESIDENCIAL':

            #valor da conta nos 6 primeiros meses após a instalação
            if df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <= 10:
                df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = menor_igual_10m3

                elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
20):
                    df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-10)*entre_10_e_20m3

                elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 20) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
30):
                    df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-20)*entre_20_e_30m3

                elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 30) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
50):
                    df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
10*entre_20_e_30m3 + (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-30)*entre_30_e_50m3

```

```

elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 50) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
90):
    df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
10*entre_20_e_30m3 + 20*entre_30_e_50m3 + (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-
50)*entre_50_e_90m3

elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 90) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
999999):
    df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
10*entre_20_e_30m3 + 20*entre_30_e_50m3 + 40*entre_50_e_90m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-90)*entre_90_e_999999m3

#Valor da conta final
if df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 10:
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = menor_igual_10m3

elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 20):
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-10)*entre_10_e_20m3

elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 20) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 30):
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-20)*entre_20_e_30m3

elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 30) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 50):
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
10*entre_20_e_30m3 + (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-30)*entre_30_e_50m3

elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 50) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 90):
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
10*entre_20_e_30m3 + 20*entre_30_e_50m3 + (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-
50)*entre_50_e_90m3

elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 90) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <=
999999):
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = menor_igual_10m3 + 10*entre_10_e_20m3 +
10*entre_20_e_30m3 + 20*entre_30_e_50m3 + 40*entre_50_e_90m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-90)*entre_90_e_999999m3

elif df.loc[i,'PERFIL_IMOVEL'] == 'TARIFA SOCIAL':

    df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = tarifa_social
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = tarifa_social

elif df.loc[i,'CATEGORIA'] == 'PUBLICO':

    if df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <= 10:
        df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = PUBLICO_menor_igual_10m3

    elif (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses'] <=
999999):
        df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = PUBLICO_menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_inicial_6meses']-10)*PUBLICO_entre_10_e_999999m3

    if df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <= 10:
        df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = PUBLICO_menor_igual_10m3

```

```

elif (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] > 10) & (df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses'] <=
999999):
    df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = PUBLICO_menor_igual_10m3 +
(df.loc[i,'consumo_medio_final_6meses']-10)*PUBLICO_entre_10_e_999999m3

df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] = round(df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'],2)
df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'] = round(df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses'],2)

df.loc[i,'valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] =
round((df.loc[i,'valor_CONTA_inicio_6meses'] - df.loc[i,'valor_CONTA_final_6meses']),2)

#Retirada dos valores fora da faixa de consumo conforme entrada do decisor
df = df[(df.valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO >= df_exclusao['sup_fat_min_aceitavel'][0]) &
(df.valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO <= df_exclusao['sup_fat_max_possivel'][0])]

#Geração de arquivo .csv de dados de consumo com filtro complementar e alternativas excluídas
df.to_csv('DADOS_CONSUMO-filtro_complementar_exclusao.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

#Retira a coluna Unnamed: 0
df = pd.read_csv('DADOS_CONSUMO-filtro_complementar_exclusao.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
df = df.drop('Unnamed: 0', axis=1)
df.to_csv('DADOS_CONSUMO-filtro_complementar_exclusao.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

#Criação da matriz consequência
df_matriz_consequencia = pd.DataFrame()

df_matriz_consequencia['Hidrômetro'] = df['NUM_HIDRO']
df_matriz_consequencia['c1'] = df['tempo_de_uso']
df_matriz_consequencia['c2'] = df['vol_consum']
df_matriz_consequencia['c3'] = df['rl_coef_a']
df_matriz_consequencia['c4'] = df['rl_coef_b']
df_matriz_consequencia['c5'] = df['valor_PERFIL_IMOVEL']
df_matriz_consequencia['c6'] = df['valor_CATEGORIA']
df_matriz_consequencia['c7'] = df['valor_RETORNO_FAIXA_CONSUMO']
df_matriz_consequencia['c8'] = df['valor_RISCO_CTS_NAO_PAGAS']
df_matriz_consequencia['c9'] = df['diferença_VOL_CONSUMIDO']

df_matriz_consequencia['consumo_medio_inicial_6meses'] = df['consumo_medio_inicial_6meses']
df_matriz_consequencia['consumo_medio_final_6meses'] = df['consumo_medio_final_6meses']

df_matriz_consequencia['valor_CONTA_inicio_6meses'] = df['valor_CONTA_inicio_6meses']
df_matriz_consequencia['valor_CONTA_final_6meses'] = df['valor_CONTA_final_6meses']
df_matriz_consequencia['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] =
df['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO']

df_matriz_consequencia.to_csv('matriz_consequencia.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

```

#SAPhO v4 - 5º etapa - Cálculo das matrizes uni-critério

```

import pandas as pd
import numpy as np

#dados de entrada
df1 = pd.read_csv('matriz_consequencia.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
#df1 = df1.drop('Unnamed: 0', axis=1)

```

```

df2 = pd.read_csv('DADOS_ENT-uni.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

# carrega planilha em .csv de nome DADOS_ENT-uni.csv, em que as colunas:
# a = critérios - 1 = selecionado; 0 = não selecionado;
# q = limiar de indiferença;
# p = limiar de preferência;
# s = parâmetro que controla o achatamento da função de preferência gaussiana;
# c = 1 = maximização e 0 = minimização
# f = u = critério usual, us = quase-critério, vs = limiar de preferência,
# le = pseudo-critério, li - área de indiferença e g = função de preferência Gaussiano

#algoritmo
a = np.zeros((9, np.size(df1,0), np.size(df1,0)))
uni = np.zeros((np.size(a,0), np.size(df1,0), np.size(df1,0)))
m = 0
for z in range(0, (np.size(a,0))):
    if df2['a'][z] == 1:
        a[m][0] = df1['c'+str(z+1)])

    for i in range(0, (np.size(df1,0))):
        for j in range(0, (np.size(df1,0))):
            if i == j:
                uni[z][i][j] = 0
            elif df2['f'][z] == 'u': # critério usual
                if a[m][0][i] - a[m][0][j] > 0:
                    uni[z][i][j] = 1
                else:
                    uni[z][i][j] = 0
            elif df2['f'][z] == 'us': # quase-critério
                if a[m][0][i] - a[m][0][j] > df2['q'][z]:
                    uni[z][i][j] = 1
                elif a[m][0][i] - a[m][0][j] <= df2['q'][z]:
                    uni[z][i][j] = 0
            elif df2['f'][z] == 'vs': # Critério de preferência linear
                if a[m][0][i] - a[m][0][j] > df2['p'][z]:
                    uni[z][i][j] = 1
                elif a[m][0][i] - a[m][0][j] <= 0:
                    uni[z][i][j] = 0
                else:
                    uni[z][i][j] = (a[z][0][i] - a[z][0][j]) / df2['p'][z]
            elif df2['f'][z] == 'le': # Critério de nível
                if a[m][0][i] - a[m][0][j] > df2['p'][z]:
                    uni[z][i][j] = 1
                elif a[m][0][i] - a[m][0][j] <= df2['q'][z]:
                    uni[z][i][j] = 0
                else:
                    uni[z][i][j] = 0.5
            elif df2['f'][z] == 'li': # Critério de área de indiferença
                if a[m][0][i] - a[m][0][j] > df2['p'][z]:
                    uni[z][i][j] = 1
                elif a[m][0][i] - a[m][0][j] <= df2['q'][z]:
                    uni[z][i][j] = 0
                else:
                    uni[z][i][j] = ((a[m][0][i] - a[m][0][j]) - df2['q'][z]) / (df2['p'][z] - q[z])
            elif df2['f'][z] == 'g': # Critério Gaussiano
                if a[m][0][i] - a[m][0][j] > 0:
                    uni[z][i][j] = 1 - math.exp(-(math.pow(a[m][0][i] - a[m][0][j], 2) / (2 * df2['s'][z] ** 2)))

```

```

        else:
            uni[z][i][j] = 0
    if df2['c'][z] == 0:
        uni[z] = uni[z].T
    elif df2['c'][z] == 1:
        uni[z] = uni[z]

```

#Cálculo do fluxo de saída e de entrada uni-critério.

```

uni_fluxo = pd.DataFrame(uni[z])
uni_fluxo['fluxo_pos'] = round(uni_fluxo.sum(axis=1) / (uni_fluxo.shape[0] - 1),6)
uni_fluxo['fluxo_neg'] = round(uni_fluxo.sum(axis=0) / (uni_fluxo.shape[0] - 1),6)

```

#Cálculo do fluxo líquido uni-critério

```

uni_fluxo['fluxo_liq'] = uni_fluxo['fluxo_pos'] - uni_fluxo['fluxo_neg']
uni_fluxo['Hidrômetro'] = df1['Hidrômetro']

```

#saída para cada critério

```

uni_fluxo.to_csv(('uni_c'+ str(z+1) +'.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

m = m + 1

```

#Fluxos líquidos

```

fluxos_liquidos = pd.DataFrame()

```

```

fluxos_liquidos['Hidrômetro'] = df1['Hidrômetro']

```

```

m = 0

```

```

for z in range(0, 9):

```

```

    if df2['a'][z] == 1:

```

```

        df_uni_c = pd.read_csv(('uni_c'+ str(z+1) +'.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

```

```

        fluxos_liquidos[z] = round(df_uni_c['fluxo_liq'],4)

```

```

        #m = m + 1

```

```

    else:

```

```

        fluxos_liquidos[z] = round(0.0000,4)

```

```

fluxos_liquidos.to_csv(('fluxos_liquidos.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

```

#SAPhO v4 - 6º etapa - Cálculo dos pesos

```

import pandas as pd

```

```

import numpy as np

```

```

df_ENT_peso = pd.read_csv('DADOS_ENT-peso.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

```

```

df_ENT_uni = pd.read_csv('DADOS_ENT-uni.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

```

```

df_peso = pd.DataFrame()

```

```

df_peso['critério'] = df_ENT_peso['critério']

```

#Identificar a quantidade de critérios válidos

```

n = 0

```

```

for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)): #9 critérios possíveis
    if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
        n = n + 1 #contagem de critérios válidos

#Definição do peso manual

if df_ENT_peso['metodo_peso'][0] == 0: # entrada manual dos pesos

    for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
        if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
            df_peso.loc[i,'peso_manual'] = round(df_ENT_peso.loc[i,'peso_manual'],4)
        else:
            df_peso.loc[i,'peso_manual'] = round(0,4)

#Cálculo dos pesos substitutos

if df_ENT_peso['metodo_peso'][0] == 1: #1 é o método automático para cálculo dos pesos substitutos
    pelo ranling dos critérios

#Equal Weights – EW (critérios dos peso iguais)
#Dawes, R.M. e Corrigan, B. (1974), Linear Models in Decision Making. Psych. Bul, 81, 91-106.

    #df_peso['peso_EW'] = 0
    for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
        if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
            df_peso.loc[i,'peso_EW'] = 1/n #equação
            df_peso.loc[i,'peso_EW'] = round(df_peso.loc[i,'peso_EW'],4)

#Rank Sum (RS) (critérios da soma das posições)
#Stillwell, W. G., Seaver, D.A. e Edwards, W. (1981),
#A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. Org. Behav.
& Hum. Performc., 28, 62-77.

    for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
        if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
            df_peso.loc[i,'peso_RS'] = (2*(n+1-df_ENT_peso.loc[i,'prioridade']))/(n*(n+1)) #equação
            df_peso.loc[i,'peso_RS'] = round(df_peso.loc[i,'peso_RS'],4)

#Reciprocal of the Ranks (RR) (critérios dos pesos recíprocos)
#Stillwell, W. G., Seaver, D.A. e Edwards, W. (1981),
#A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. Org. Behav.
& Hum. Performc., 28, 62-77.

    soma = 0
    for j in range(1, n+1):
        soma = soma + (1/j)
    for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
        if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
            df_peso.loc[i,'peso_RR'] = (1/df_ENT_peso.loc[i,'prioridade'])/(soma) #equação
            df_peso.loc[i,'peso_RR'] = round(df_peso.loc[i,'peso_RR'],4)

#Rank Order Centroid (ROC)
#Barron FH(1992) Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attributeweights.
Acta Psychol 80(1-3):91-103

    for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
        if df_ENT_uni['a'][i] == 1:

```

```

if (df_ENT_peso.loc[i,'prioridade'] > 0) and (df_ENT_peso.loc[i,'prioridade'] < n+1):
    soma = 0
    for j in range(int(df_ENT_peso.loc[i,'prioridade']), n+1):
        soma = soma + (1/j)
    df_peso.loc[i,'peso_ROC'] = (1/n)*(soma) #equação
    df_peso.loc[i,'peso_ROC'] = round(df_peso.loc[i,'peso_ROC'],4)

```

#Method Empiric Weights (EW) (Método dos pesos empíricos) (ou Variable-Slope Linear)

#Alfares, H. and Duffuaa, S. (2009). Assigning cardinal weights in multi-criteria decision-making based on ordinal ranking,

#Journal of Multi-Criteria Analysis, Vol. 15, No. 1, 125-133.

```

for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
    if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
        df_peso.loc[i,'peso_MEW'] = 100 - (3.19514+(37.75756/n))*(df_ENT_peso.loc[i,'prioridade']-1)
    soma_pesos_EW = df_peso['peso_MEW'].sum()
for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
    if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
        df_peso.loc[i,'peso_MEW'] = df_peso.loc[i,'peso_MEW']/soma_pesos_EW #equação
        df_peso.loc[i,'peso_MEW'] = round(df_peso.loc[i,'peso_MEW'],4)

```

##(SR) (weight method is an additive combination of Sum and Reciprocal weight)

#Danielson M, Ekenberg L (2014) Rank ordering methods for multi-criteria decisions. In: Proceedings of the 14th group decision and negotiation—GDN 2014. Springer

```

soma_SR = 0
for j in range(1, n+1):
    soma_SR = soma_SR + (1/j+(n+1-j)/n)
#soma_SR

```

```

for i in range(0, np.size(df_ENT_uni,0)):
    if df_ENT_uni['a'][i] == 1:
        df_peso.loc[i,'peso_SR'] = (1/(df_ENT_peso.loc[i,'prioridade'])+(n+1-
(df_ENT_peso.loc[i,'prioridade'])/n))/(soma_SR) #equação
        df_peso.loc[i,'peso_SR'] = round(df_peso.loc[i,'peso_SR'],4)

```

#coloca o valor zero nas células vazias

```
df_peso = df_peso.fillna(0)
```

```
df_peso.to_csv('peso.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```

#SAPhO v4 - 7º etapa - Sobreclassificação

```
import pandas as pd
```

```
import numpy as np
```

#cálculo dos fluxos globais

```
fluxos_globais = pd.DataFrame()
```

```
fluxos_globais_int = pd.DataFrame()
```

```
ret_invest = pd.DataFrame()
```

```
df_fliq = pd.DataFrame()
```

```
df_peso = pd.read_csv('peso.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```

```
df_peso = df_peso.drop("Unnamed: 0", axis=1)
```

```

df_peso = df_peso.drop('critério', axis=1)

df_ENT_peso = pd.read_csv('DADOS_ENT-peso.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

df_ENT_rinv = pd.read_csv('DADOS_ENT-retorno_investimento.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

df_mconseq = pd.read_csv('matriz_consequencia.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

df_fliq = pd.read_csv('fluxos_liquidos.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

df_fliq = df_fliq.drop('Unnamed: 0', axis=1)
df_fliq = df_fliq.drop('Hidrômetro', axis=1)

if df_ENT_peso['metodo_peso'][0] == 0: # entrada manual dos pesos

    for i in range(0, (np.size(df_fliq,1))):
        fluxos_globais.loc[:,i] = round(df_fliq.iloc[:,i]*df_peso.loc[i,'peso_manual'],4)

    fluxos_globais['Soma_fluxos_globais'] = round(fluxos_globais.sum(axis=1),4)

    #Cria um arquivo .csv para os dados dos fluxos globais
    fluxos_globais.to_csv(('fluxos_globais_' + 'peso_manual' + '.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

    fluxos_globais['Hidrômetro'] = df_mconseq['Hidrômetro']
    fluxos_globais['valor_CONTA_inicio_6meses'] = df_mconseq['valor_CONTA_inicio_6meses']
    fluxos_globais['valor_CONTA_final_6meses'] = df_mconseq['valor_CONTA_final_6meses']
    fluxos_globais['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] =
df_mconseq['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO']

    #Organiza em ordem crescente os hidrômetros pelo valor da "Soma dos fluxos globais"
    fluxos_globais = fluxos_globais.sort_values(by=['Soma_fluxos_globais'], ascending=False)

    #Retira os hidrômetros com valores menores do "valor mínimo do superavit estimado"
    fluxos_globais = fluxos_globais[fluxos_globais['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] >
df_ENT_rinv.loc[0,'valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO']]

    #Retorno de investimento.

    fluxos_globais.to_csv(('fluxos_globais_temp.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

    fluxos_globais = pd.read_csv('fluxos_globais_temp.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

    if df_ENT_rinv.loc[0,'qtd'] <= len(fluxos_globais.index):
        n = (df_ENT_rinv.loc[0,'qtd']-1)
    else:
        n = len(fluxos_globais.index)

    ret_invest.loc[0,'custo'] = df_ENT_rinv.loc[0,'custo']
    ret_invest.loc[0,'qtd_hid'] = df_ENT_rinv.loc[0,'qtd']
    ret_invest.loc[0,'invest_total'] = ret_invest.loc[0,'custo']*ret_invest.loc[0,'qtd_hid']

    ret_invest.loc[0,'fat_mensal_antes_troca'] =
round(fluxos_globais.loc[0:n,'valor_CONTA_final_6meses'].sum(),2)
    ret_invest.loc[0,'fat_mensal_depois_troca'] =
round(fluxos_globais.loc[0:n,'valor_CONTA_inicio_6meses'].sum(),2)
    ret_invest.loc[0,'%superavit_mensal'] = round(100*(ret_invest.loc[0,'fat_mensal_depois_troca'] -
ret_invest.loc[0,'fat_mensal_antes_troca'])/ret_invest.loc[0,'fat_mensal_antes_troca'],2)

```

```

ret_invest.loc[0,'R$_superavit_mensal'] =
round(fluxos_globais.loc[0:n,'valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'].sum(),2)

ret_invest.loc[0,'PRI_mes'] = round(ret_invest.loc[0,'invest_total'] /
ret_invest.loc[0,'R$_superavit_mensal'],2)
ret_invest.loc[0,'retor_ano'] = round(ret_invest.loc[0,'R$_superavit_mensal']*12,2)

ret_invest.to_csv(('retorno_invest.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

if df_ENT_peso['metodo_peso'][0] == 1: # entrada automática, a partir do ranking de prioridade dos
critérios

for z in range(0,(np.size(df_peso,1))):

#zerar as colunas do DataFrame fluxos_globais
for i in range(0, (np.size(df_fliq,1))):
fluxos_globais.loc[:,i] = round(df_fliq.iloc[:,i]*0,4)

fluxos_globais['Soma_fluxos_globais'] = 0
fluxos_globais['Hidrômetro'] = 0
fluxos_globais['valor_CONTA_inicio_6meses'] = 0
fluxos_globais['valor_CONTA_final_6meses'] = 0
fluxos_globais['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] = 0

#Carregar os valores no dataFrame fluxos_globais
for i in range(0, (np.size(df_fliq,1))):
fluxos_globais.loc[:,i] = round(df_fliq.iloc[:,i]*df_peso.iloc[i,z],4)

fluxos_globais['Soma_fluxos_globais'] = round(fluxos_globais.sum(axis=1),4)
fluxos_globais['Hidrômetro'] = df_mconseq['Hidrômetro']
fluxos_globais['valor_CONTA_inicio_6meses'] = df_mconseq['valor_CONTA_inicio_6meses']
fluxos_globais['valor_CONTA_final_6meses'] = df_mconseq['valor_CONTA_final_6meses']
fluxos_globais['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] =
df_mconseq['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO']

fluxos_globais_simplif = fluxos_globais

#Organiza em ordem crescente os hidrômetros pelo valor da "Soma dos fluxos globais"
fluxos_globais_simplif = fluxos_globais_simplif.sort_values(by=['Soma_fluxos_globais'],
ascending=False)

#Retira os hidrômetros com valores menores do "valor mínimo do superavit estimado"
fluxos_globais_simplif =
fluxos_globais_simplif[fluxos_globais_simplif['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] >
df_ENT_rinv.loc[0,'valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO']]

#saída do fluxos globais para cada peso
fluxos_globais_simplif.to_csv(('fluxos_globais_' + str(df_peso.columns[:,z]) + '.csv'), sep = ';',
encoding="ISO-8859-1")

fluxos_globais_simplif = pd.read_csv('fluxos_globais_' + str(df_peso.columns[:,z]) + '.csv', sep = ';',
encoding="ISO-8859-1")

#Retorno de investimento

if df_ENT_rinv.loc[0,'qtd'] <= len(fluxos_globais.index):
n = (df_ENT_rinv.loc[0,'qtd']-1)

```

```

else:
    n = len(fluxos_globais.index)

    ret_invest.loc[0,'custo'] = df_ENT_rinv.loc[0,'custo']
    ret_invest.loc[0,'qtd_hid'] = df_ENT_rinv.loc[0,'qtd']
    ret_invest.loc[0,'invest_total'] = ret_invest.loc[0,'custo']*ret_invest.loc[0,'qtd_hid']

    ret_invest.loc[z,'fat_mensal_antes_troca'] =
round(fluxos_globais_simplif.loc[0:n,'valor_CONTA_final_6meses'].sum(),2)
    ret_invest.loc[z,'fat_mensal_depois_troca'] =
round(fluxos_globais_simplif.loc[0:n,'valor_CONTA_inicio_6meses'].sum(),2)
    ret_invest.loc[z,'% superavit_mensal'] = round(100*(ret_invest.loc[z,'fat_mensal_depois_troca'] -
ret_invest.loc[z,'fat_mensal_antes_troca'])/ret_invest.loc[z,'fat_mensal_antes_troca'],2)

    ret_invest.loc[z,'R$ superavit_mensal'] =
round(fluxos_globais_simplif.loc[0:n,'valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'].sum(),2)

    ret_invest.loc[z,'PRI_mes'] = round(ret_invest.loc[0,'invest_total'] /
ret_invest.loc[z,'R$ superavit_mensal'],2)
    ret_invest.loc[z,'retor_ano'] = round(ret_invest.loc[z,'R$ superavit_mensal']*12,2)

    ret_invest.loc[z,'tipo_peso'] = str(df_peso.columns[:,z])

    if z == 0:
        ret_invest.loc[0,'valor_max_retor_ano'] = 0
        ret_invest.loc[0,'linha_max_retor_ano'] = 0

    if (ret_invest.loc[z,'retor_ano']) > ret_invest.loc[0,'valor_max_retor_ano']:
        ret_invest.loc[0,'valor_max_retor_ano'] = ret_invest.loc[z,'retor_ano']
        ret_invest.loc[0,'linha_max_retor_ano'] = z

    #fluxos_globais_int = fluxos_globais.drop('Unnamed: 0', axis=1)
    #fluxos_globais_int.to_csv(('fluxos_globais_' + str(df_peso.columns[:,z]) + '.csv'), sep = ';',
encoding="ISO-8859-1")

    ret_invest.to_csv(('retorno_invest.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

#cálculo da lista ordenada

lista_ord = pd.DataFrame()

#fluxos_globais_maior = pd.DataFrame()

df_ENT_peso = pd.read_csv('DADOS_ENT-peso.csv', sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
df_ENT_ret_invest = pd.read_csv('DADOS_ENT-retorno_investimento.csv', sep = ';', encoding="ISO-
8859-1")
df_ret_invest = pd.read_csv(('retorno_invest.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")

if df_ENT_peso['metodo_peso'][0] == 0: # entrada manual dos pesos
    fluxos_globais = pd.read_csv(('fluxos_globais_' + 'peso_manual' + '.csv'), sep = ';', encoding="ISO-
8859-1")

if df_ENT_peso['metodo_peso'][0] == 1: # entrada automática, a partir do ranking de prioridade dos
critérios
    fluxos_globais = pd.read_csv(('fluxos_globais_' +
str(df_ret_invest.loc[int(df_ret_invest.loc[0,'linha_max_retor_ano']), 'tipo_peso']) + '.csv'), sep = ';',
encoding="ISO-8859-1")

```

```
fluxos_globais = fluxos_globais.drop('Unnamed: 0', axis=1)

if df_ENT_ret_invest.loc[0,'qtd'] <= len(fluxos_globais.index):
    n = (df_ENT_ret_invest.loc[0,'qtd']-1)
else:
    n = len(fluxos_globais.index)

fluxos_globais = fluxos_globais[fluxos_globais.index <= n]

lista_ord['Hidrômetro'] = fluxos_globais['Hidrômetro']

#lista_ord['Soma_fluxos_globais'] = round(fluxos_globais['Soma_fluxos_globais'],2)
#lista_ord['valor_CONTA_inicio_6meses'] = fluxos_globais['valor_CONTA_inicio_6meses']
#lista_ord['valor_CONTA_final_6meses'] = fluxos_globais['valor_CONTA_final_6meses']

lista_ord['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO'] =
fluxos_globais['valor_SUPERAVIT_MENSAL_FATURAMENTO']

lista_ord.to_csv(('Priorização_troca_hidrômetros.csv'), sep = ';', encoding="ISO-8859-1")
```