



Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro Acadêmico do Agreste - CAA

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental

GESTÃO DA DEMANDA DE ÁGUA NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Autora: Lyanne Cibely Oliveira de Sousa

Orientador: Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra

Caruaru – PE

2017

LYANNE CIBELY OLIVEIRA DE SOUSA

GESTÃO DA DEMANDA DE ÁGUA NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4 - 1878

S729g Sousa, Lyanne Cibely Oliveira de.
 Gestão da demanda de água no Agreste Pernambucano. / Lyanne Cibely Oliveira de
 Sousa. - 2017.
 88f. il.: 30 cm.

 Orientador: Saulo de Tarso Marques Bezerra.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de
 Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2017.
 Inclui Referências.

 1. Água - Captação (Pernambuco). 2. Chuvas (Pernambuco). 3. Água - Consumo
 (Pernambuco). 4. Abastecimento de água (Pernambuco). 5. Água – Reuso (Pernambuco).
 I. Bezerra, Saulo de Tarso Marques (Orientador). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-376)

LYANNE CIBELY OLIVEIRA DE SOUSA

GESTÃO DA DEMANDA DE ÁGUA NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Aprovado em: 29/09/2017

BANCA EXAMINADORA

SAULO DE TARSO MARQUES BEZERRA – PPGECAM/UFPE
(presidente da banca examinadora)

ANDERSON LUIZ RIBEIRO DE PAIVA – PPGECAM/UFPE
(examinador interno)

EDEVALDO MIGUEL ALVES – NT/CAA/UFPE
(examinador externo)

LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA – PPGCGTG/UFPE
(examinador externo)

À minha família e a todos que contribuíram
para a realização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Foram dois anos caminhando passo a passo em meio aos inúmeros desafios, sabendo que todas as tribulações geram perseverança e que Deus sempre esteve ao meu lado e me fortaleceu para que eu pudesse concretizar esse sonho, compartilhado por todos aqueles que, de alguma maneira, fazem e fizeram parte da minha história.

Agradeço à minha família, Maria Lúcia (Mãe), Cidoval Morais (Pai), Leilyanne Oliveira (Irmã). Não há nada que descreva o que sentimos e compartilhamos ao longo desse tempo. Distância. Ausência. Saudade. Palavras que se tornaram constantes em nossas vidas. Mas aprendemos juntos a transformá-las, fazendo, de cada uma delas, um grande incentivo. Sou grata por tudo! Essa conquista é nossa!

À Izabel Derlange, por me acolher como filha e agregar novos valores à família, se doando com carinho, promovendo a união.

À Isaura, minha irmã de coração. “Sempre comigo um pouco atribulada e, como sempre, singular comigo”.

Aos amigos que adquiri nessa jornada (Alice, Luttemberg, Tiago, Thomas, Wendell) pelo acolhimento, assistência, cooperação e companheirismo.

A Rogério Pessanha pela atenção e parceria, disponibilizando seu software para realização de testes na pesquisa.

A Whelton Brito por estar sempre disposto a ajudar e aberto aos questionamentos, por querer crescer junto.

Expresso minha gratidão a todos os docentes, pelas horas insubstituíveis de aprendizado, convivência e troca de experiências.

Agradeço, imensamente, ao meu orientador Saulo de Tarso pela oportunidade, suporte e confiança. Pelos conselhos, paciência e compreensão. Por todo empenho e dedicação.

Aos professores Anderson, Edevaldo e Leidjane pela disponibilidade e prontidão em aceitar compor a banca deste trabalho.

À FACEPE - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco, pela bolsa concedida.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

Num cenário de crise hídrica, como o vivenciado pelo Semiárido Brasileiro nos últimos anos, a sustentabilidade do abastecimento de água tem sido tema de exaustivas discussões e de buscas por medidas que apontem para um consumo mais eficiente. Nesse sentido, esta pesquisa abordou o estudo da implantação hipotética de alternativas voltadas para a redução do consumo de água em um loteamento localizado na cidade de Caruaru – PE. As alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda adotadas – equipamentos economizadores, captação de água de chuva e reuso de águas cinzas – foram avaliadas segundo uma ótica multicritério, levando em consideração aspectos ambientais, técnicos, econômicos e sociais, identificados por meio de projetos, pesquisas de mercado e entrevistas com moradores e especialistas. Com a aplicação do método multicritério de apoio à decisão PROMETHEE II – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations II* – foi possível verificar que a implantação de equipamentos economizadores seria a alternativa mais indicada para a região.

Palavras-chave: Captação de água de chuva. Equipamentos economizadores. Gestão da demanda de água. PROMETHEE. Reuso de águas cinzas.

ABSTRACT

In scenario of water crisis, such as that experienced by the Brazilian semi-arid region in recent years, the sustainability of water supply has been the subject of exhaustive discussions and searches for measures that point to a more efficient water consumption. In this sense, the present work approached the study of the hypothetical implantation of alternatives aimed at the reduction of water consumption, in a subdivision located in the Caruaru city - PE. The technological alternatives of water demand management adopted for implementation - economizing equipment, rainwater harvesting and gray water reuse - were evaluated according to a multicriteria perspective, taking into consideration environmental, technical, economic and social aspects, identified through projects, market research and interviews with residents and specialists. Using the multiple criteria decision support system PROMETHEE II - Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations - it was possible to verify that the implantation of water saving equipment would be the most suitable alternative for the region.

Keywords: Greywater reuse. PROMETHEE. Rainwater. Water demand management. Water-saving devices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do processo de estruturação	39
Figura 2- Localização da área de estudo	40
Figura 3 - Meta, alternativas, objetivos e critérios do modelo de gestão da demanda de água	41
Figura 4 - Esquema para aplicação do método.....	49
Figura 5 - Histograma para respostas das entrevistas sobre equipamentos economizadores ...	54
Figura 6 - Precipitação média mensal em Caruaru-PE em 2016.....	56
Figura 7 - Potencial de reservação mensal do sistema de captação de água de chuva em 2016	56
Figura 8 - Volume disponível em reserva e volume não potável requerido em 2016.....	57
Figura 9 - Histograma para respostas das entrevistas sobre captação de água de chuva	58
Figura 10 - Histograma para respostas das entrevistas sobre reuso de águas cinzas.....	61
Figura 11 - Histograma para respostas das entrevistas sobre equipamentos economizadores + captação de água de chuva.....	63
Figura 12 - Histograma das entrevistas sobre equipamentos economizadores + reuso de águas cinzas	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Funções de preferência usuais para o PROMETHEE.....	35
Quadro 2 - Alternativas de gerenciamento da demanda urbana de água.....	41
Quadro 3 - Dados do modelo de apoio à decisão	42
Quadro 4 - Relação de troca de equipamentos	45
Quadro 5 - Índice de facilidade de implantação	47
Quadro 6 - Índice de aceitabilidade geral	48
Quadro 7 - Pesos relativos aos critérios	52
Quadro 8 - Custo de implantação dos equipamentos economizadores	53
Quadro 9 - Facilidade de implantação dos equipamentos economizadores	55
Quadro 10 - Resumo dos parâmetros para os equipamentos economizadores.....	55
Quadro 11 - Facilidade de implantação do sistema de captação de água de chuva	59
Quadro 12 - Resumo dos parâmetros para o sistema de captação de água de chuva	59
Quadro 13 - Facilidade de implantação do sistema de reuso de águas cinzas.....	61
Quadro 14 - Resumo dos parâmetros para o sistema de reuso de águas cinzas	61
Quadro 15 - Resumo dos parâmetros para a alternativa 4.....	64
Quadro 16 - Resumo dos parâmetros para a alternativa 5.....	66
Quadro 17 - Matriz de desempenho geral	66
Quadro 18 - Tipo de função preferência e parâmetros p e q para cada critério.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo médio dos equipamentos	43
Tabela 2 - Consumo interno de uma residência	44
Tabela 3 - Tarifa de cobrança de consumo de água da COMPESA.....	46
Tabela 4 - Consumo de água mensal de uma residência	52
Tabela 5 - Consumo médio após implantação.....	53
Tabela 6 - Economia mensal proporcionada pelos equipamentos economizadores.....	54
Tabela 7 - Economia mensal proporcionada pelo sistema de captação de água de chuva em 2016.....	57
Tabela 8 - Custo de implantação do sistema de captação de água da chuva.....	58
Tabela 9 - Custo de implantação do sistema de reuso de águas cinzas	60
Tabela 10 - Economia mensal proporcionada pelo sistema de reuso de águas cinzas	60
Tabela 11 - Economia mensal proporcionada pela alternativa 4.....	62
Tabela 12 - Economia mensal proporcionada pela alternativa 5.....	65
Tabela 13 - Fluxo de sobreclassificação positivo, negativo e líquido	67
Tabela 14 - Resultado da análise multicritério - ordem de preferência.....	68
Tabela 15 - Resultado da análise multicritério com os pesos iguais a 25%	68
Tabela 16 - Resultado da análise multicritério com os pesos +6%	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Expressing Reality</i>
GIRH	Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
MAUT	Teoria da Utilidade Multiatributo (<i>Multiple Attribute Utility Theory</i>)
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
NQA	Nível de Qualidade Aceitável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
SMART	<i>Simple Multiattribute Rating Technique</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área em projeção do telhado
C	Coefficiente de runoff
F_i	Função de preferência
g	Valor ou desempenho da alternativa
η	Fator de correção
p	Limite de preferência
pH	Potencial hidrogeniônico
w	Peso do critério
P	Precipitação
q	Limite de indiferença
V	Volume captado
π	Grau de sobreclassificação
ϕ^+	Fluxo de sobreclassificação positivo
ϕ^-	Fluxo de sobreclassificação negativo
ϕ	Fluxo líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
1.2	Estrutura da dissertação	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Gestão de recursos hídricos	18
2.2	Gestão da demanda de água	20
2.3	Alternativas de gerenciamento da demanda de água	23
2.3.1	<i>Equipamentos economizadores de água</i>	24
2.3.2	<i>Captação de água de chuva</i>	25
2.3.3	<i>Reuso de águas cinzas</i>	27
2.4	Métodos multicritério de apoio à decisão	29
2.4.1	<i>Método PROMETHEE</i>	32
2.4.2	<i>O estado da arte</i>	36
3	METODOLOGIA	39
3.1	Descrição da área de estudo	39
3.2	Definição das alternativas, objetivos e critérios	40
3.3	Avaliação de alternativas	41
3.3.1	<i>Critério 1 (redução de consumo) - objetivo ambiental</i>	43
3.3.2	<i>Critério 2 (retorno de investimento) - objetivo econômico</i>	45
3.3.3	<i>Critério 3 (facilidade de implantação) - objetivo técnico</i>	46
3.3.4	<i>Critério 4 (aceitabilidade geral) - objetivo social</i>	47
3.4	Aplicação do método PROMETHEE	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	Desempenho das alternativas	52
4.1.1	<i>Alternativa 1 - equipamentos economizadores</i>	52
4.1.2	<i>Alternativa 2 - captação de água de chuva</i>	55
4.1.3	<i>Alternativa 3 - reuso de águas cinzas</i>	59
4.1.4	<i>Alternativa 4 - equipamentos economizadores + captação de água de chuva</i>	62
4.1.5	<i>Alternativa 5 - equipamentos economizadores + reuso de águas cinzas</i>	64
4.2	Desempenho geral	66
4.3	Método PROMETHEE	67

4.4	Análise de sensibilidade	68
5	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA PADRÃO	79
	APÊNDICE B – PROJETO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA	80
	APÊNDICE C – PROJETO DE SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS	82
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO EMPREGADO NAS ENTREVISTAS	85

1 INTRODUÇÃO

A demanda urbana de água mundial vem crescendo rapidamente em virtude do aumento populacional, do desenvolvimento econômico e da alta taxa de urbanização; por outro lado, a limitação dos recursos hídricos disponíveis faz aumentar a competição entre usos da água e reduz o acesso à água de boa qualidade, tornando o fornecimento aos centros urbanos um grande desafio para a gestão de recursos hídricos (SHARMA & VAIRAVAMOORTHY, 2009). Prevê-se que, até 2050, a população mundial atinja mais de 9,6 bilhões de pessoas (ONU, 2013).

A progressiva deterioração dos recursos hídricos e o agravamento dos conflitos entre os diversos usuários impulsionam discussões sobre a situação atual e o futuro deste recurso em todo o mundo. Sua disponibilidade é abundante em escala global, porém, em contextos regionais, devido às características naturais e climáticas, é escasso e não se encontra uniformemente distribuído (FARIA *et al.*, 2010). É urgente a avaliação de incertezas relacionadas aos recursos sustentáveis de gerenciamento de água no contexto da mudança climática (WANG *et al.*, 2016).

A necessidade de uma gestão eficiente é mais patente em regiões áridas e semiáridas de países em desenvolvimento (caso do agreste brasileiro), onde as condições climáticas, aliadas a sistemas de abastecimento obsoletos e à inadequação ou ausência da gestão de recursos hídricos, determinam o surgimento de graves problemas de abastecimento de água, dificultando o atendimento das demandas quantitativas e qualitativas da população (RÊGO *et al.*, 2013; GUEDES, RIBEIRO & VIEIRA, 2014).

Com uma população que ultrapassa 23,5 milhões de habitantes e somente 3% das águas doces do país, o Semiárido Brasileiro é o mais populoso do mundo, todavia é o mais chuvoso, apresentando uma pluviosidade média anual de 750 mm/ano, variando de 250 mm/ano a 800 mm/ano (ONU, 2014). Nesta região, mais do que em qualquer outra, os desafios de gestão dos recursos hídricos se avolumam nas cidades e na zona rural. Na zona urbana, por exemplo, além dos desafios de distribuição para atender as diferentes demandas, outro problema vem ganhando força: o uso racional, não apenas no nível individual, mas, principalmente, nos empreendimentos coletivos consumidores de água, seja essa ofertada pelos sistemas públicos ou pelos sistemas complementares. É nesse contexto que diferentes modelos de gestão, pública ou privada, dos recursos hídricos vêm sendo estudados e propostos como alternativa sustentável de gestão.

O abastecimento da população deve, então, ocorrer em concordância com a disponibilidade dos mananciais. De tal modo, os responsáveis pela gestão dos recursos hídricos enfrentam o problema de satisfazer a necessidade da população e, ao mesmo tempo, controlar os níveis dos mananciais de forma que eles possam manter uma capacidade suficiente para sustentar o abastecimento no futuro (CAMBRAINHA, 2015). Esse problema assinala-se como uma decisão estratégica entre a oferta e a demanda de água (WANG *et al.*, 2016).

A nova fase de gestão de recursos hídricos está baseada na avaliação integrada da gestão de oferta e demanda de água. A tradicional ótica de expansão da oferta de água está se tornando tecnicamente inviável, o que implica na necessidade da adoção de modelos de gestão de recursos hídricos modernos, de caráter multidisciplinar e participativo, que agreguem o gerenciamento da demanda de água à gestão de recursos hídricos. Em acréscimo à tradicional solução para a “falta d’água” nos sistemas (expansão da oferta), surgiu no âmbito da gestão de recursos hídricos, o conceito de gestão da demanda.

A gestão da demanda de água é definida como qualquer ação que reduz a quantidade de água consumida ou permite que a água seja utilizada de forma mais eficiente (BROOKS, 2006). Na prática, consiste na adoção de medidas, a partir dos usuários de água, que visam o uso racional de água, sem prejuízo a higiene e o conforto. Este conceito, quando consolidado, colabora na redução da escassez e da vulnerabilidade hídrica, garantindo a sustentabilidade dos recursos hídricos para as gerações atual e futura.

No entanto, para ser eficaz, um modelo de gestão de demanda requer uma compreensão substancial dos comportamentos dos consumidores de água e padrões de consumo em diferentes resoluções espaciais e temporais. A recuperação de informações sobre os comportamentos dos usuários, bem como seus fatores explicativos e/ou causais, são fundamentais para detectar ações potenciais e para projetar modelos adaptados ao usuário (GIULIANI *et al.*, 2016).

Nesse contexto, esta pesquisa se insere no conjunto de propostas que visam contribuir para discussões voltadas à redução do desperdício (conservação) e ao uso sustentável da água. Entende-se que a adoção de uma escala de bairro é apropriada para o estudo técnico, financeiro e ambiental das alternativas de gerenciamento da demanda, analisando detalhadamente ações de combate ao desperdício quantitativo, como por exemplo, a adoção de equipamentos economizadores, e a utilização de fontes alternativas, como reuso de água cinza e captação de chuva. Supõe-se que a região a ser avaliada possa se tornar sustentável no aspecto hídrico, onde a água será, portanto, empregada de forma eficiente e racional.

1.1 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa foi classificar, por meio de uma análise multicritério, alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda de água, considerando a sua implantação hipotética no loteamento Residencial Caruá, localizado na cidade de Caruaru – PE. Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- Avaliar alternativas tecnológicas para gerenciamento das demandas de água em áreas urbanas;
- Classificar, a partir do método multicritério PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*, as alternativas tecnológicas mais eficientes e adequadas para o gerenciamento da demanda de água na área de estudo.

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, incluindo este, introdutório, apresentando uma visão geral do problema em estudo, as principais motivações e os objetivos da investigação. No Capítulo 2 são explicitados conceitos fundamentais acerca dos temas: gestão de recursos hídricos, gestão da demanda de água, alternativas tecnológicas de gerenciamento de recursos hídricos e métodos multicritério de apoio à decisão, abrangendo estudos, modelos e condições de aplicabilidade.

O terceiro capítulo compreende as etapas que envolvem o contexto da tomada de decisão para gestão das demandas de água, sendo elas: identificação, caracterização e escolha das alternativas que serão avaliadas no processo decisório; e seleção da melhor ferramenta de auxílio para aplicação do modelo, permitindo a análise dessas alternativas sob múltiplos critérios.

O Capítulo 4 aponta o desempenho das alternativas tecnológicas frente a cada critério, fazendo uma análise dos resultados obtidos pela comparação dessas por meio do método empregado. Por fim, o quinto capítulo descreve as conclusões da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gestão de recursos hídricos

A água é um fator fundamental para a manutenção das relações de ordem natural e socioeconômicas, indispensável, portanto, à vida. Sabe-se que, no mundo, 780 milhões de pessoas não têm acesso a uma quantidade mínima aceitável de água potável e 2,5 bilhões de serviços de saneamento (ONU, 2014). Avalia-se, ainda, que a demanda global por água pode ultrapassar em 44% os recursos disponíveis anuais em 2050. De acordo com a Organização das Nações Unidas, se essa tendência de escassez continuar, as estatísticas podem ser piores: até 2025, três bilhões de pessoas não terão acesso à água, fruto do mau uso e gestão inadequada.

Embora o Brasil seja um dos países de maior disponibilidade hídrica, a escassez de água no país é elevada e decorre, principalmente, da má distribuição ao longo do seu território. Mais de 73% da água doce disponível encontra-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. Logo, 95% da população é atendida por apenas 27% da água doce disponível. Nas áreas de intensa concentração industrial os conflitos são constantes e a poluição dos recursos hídricos torna-os mais graves, aumentando, significativamente, os custos com tratamento (CASTRO, 2012).

O clima também tem provocado mudanças no fluxo médio das águas, especialmente em áreas de estresse hídrico (MUJUMDAR, 2013). Esses impactos foram evidenciados por Cosgrove & Cosgrove (2012), podendo-se citar: redução do fornecimento de água; aumento da frequência e da magnitude das inundações e eventos de seca; danos às áreas do litoral com possível aumento do nível do mar; diminuição da qualidade de todas as fontes de água doce devido às temperaturas mais elevadas e mudanças no fluxo; aumento funcional e operacional de requisitos para a infraestrutura de água existente (abastecimento municipal de água, energia hidrelétrica, defesas estruturais contra inundações e sistemas de drenagem e irrigação).

Considerando que os eventos climáticos não podem ser controlados, que a disponibilidade e a demanda de água não são uniformemente distribuídas, e a importância da água como recurso, faz-se necessário a aplicação de modelos de gestão hídrica que estejam adaptados às possíveis mudanças no ambiente (HOEKSTRA, 2017). Em regiões áridas e semiáridas a necessidade da gestão da demanda de água fica ainda mais evidente.

As regiões semiáridas no mundo se caracterizam por seu balanço hídrico deficitário, particularmente no que se refere às trocas com a atmosfera, e, em geral, apresentam baixa densidade populacional. No caso brasileiro, entretanto, sua região semiárida (possivelmente a mais habitada do globo) possui a mesma densidade média do país, superior a 20 habitantes por km², o que gera um desafio incontestável (ARAÚJO, 2012).

O semiárido brasileiro é caracterizado pelo seu clima, vegetação e solo, apresentando uma precipitação média anual de 750 mm (em algumas áreas não ultrapassa os 400 mm anuais), o que gera elevados déficits hídricos. A geologia regional é bastante variada, mas o predomínio de rochas cristalinas pouco permeáveis determina a baixa produtividade e a alta salinização dos aquíferos subterrâneos, com forte influência nas águas regionais. As condições ambientais associam-se à pobreza, desigualdade social e fraco desempenho econômico definindo afeição dessa região (SUDENE, 2011).

Medidas emergenciais como perfuração de poços, construção de reservatórios e transposição de águas, são as alternativas mais comuns para atender a demanda nas cidades da região, porém, em muitos casos, não são viáveis do ponto de vista econômico, financeiro e ambiental, além de intensificar o processo de artificialização do ciclo hidrológico natural, fazendo-se necessário o estabelecimento de medidas que atendam às carências das comunidades e que aumentem a eficiência da utilização da água (GNADLINGER, 2015).

A literatura aponta diversas pesquisas focadas na gestão e no uso de recursos hídricos no semiárido brasileiro (URTIGA *et al.*, 2013; ANDRADE & NUNES, 2014; SILVA & SILVA, 2014; CERQUEIRA *et al.*, 2016; DIAS *et al.*, 2016; MIRANDA, RIBEIRO & SILVA, 2017). Urtiga *et al.* (2013) propuseram um método para a alocação de água entre a população e a agricultura irrigada de dois tipos de cultura no semiárido, determinando, em um primeiro momento, a quantidade mínima de água para o abastecimento da população, e num segundo momento, sua divisão entre dois agentes econômicos, permitindo, a visualização do problema por meio de múltiplos aspectos para alcançar soluções eficientes.

Andrade & Nunes (2014) analisaram as principais intervenções públicas realizadas no semiárido brasileiro para garantir o abastecimento de água das comunidades sertanejas, desde o paradigma de “combate às secas” ao atual programa de implantação de cisternas para captação da água de chuva. Foi possível verificar que ainda se faz necessário a elaboração de planos de logística para abastecimento de cisternas, bem como, o desenvolvimento de ações regulares de controle da qualidade da água armazenada.

Silva & Silva (2014) estudaram a implementação das políticas públicas na gestão dos recursos hídricos no Estado de Pernambuco, especificamente, na Bacia Hidrográfica do

Capibaribe, relacionando os aspectos político, econômico, cultural, social e ambiental, e avaliando suas contribuições para a sustentabilidade da bacia. Os resultados mostraram que a integração do planejamento ambiental com a gestão dos recursos hídricos em Pernambuco, necessita da atuação mais comprometida do Estado e da ampliação de participação da sociedade civil organizada. Embora, haja progressos moderados, a promoção da sustentabilidade hídrica ainda está em construção.

Cerqueira *et al.* (2016) destacaram a evolução da implementação do modelo de gerenciamento da Bacia do São Francisco, que atualmente possibilita a cobrança pelo uso da água, bem como as experiências voltadas para o Rio Pirapama no Estado de Pernambuco. O estudo indicou que apesar dos avanços, a falta de mudança qualitativa no enfrentamento de problemas relativos a efetivação do modelo de gestão, tem comprometido a qualidade das águas, sendo necessário ainda, atingir o estágio de maturidade observado em outros países.

Dias *et al.* (2016) analisaram a gestão da água na região do semiárido, com ênfase nos aspectos de convivência e conflitos sobre o seu acesso em áreas rurais. Os casos forneceram ações concretas para articulação da sociedade civil e o Estado, indicando um processo de governança que pode preencher a lacuna entre o planejamento, implantação, gestão e melhoria.

Miranda, Ribeiro & Silva (2017) buscaram investigar o caso do Reservatório Epitácio Pessoa sob o aspecto institucional da gestão dos recursos hídricos nos períodos que melhor representam a alta variabilidade climática da região. A metodologia proposta descreveu o diagnóstico da área, definindo estratégias de incentivo à racionalização do uso da água, como o uso de equipamentos poupadores, capazes de minimizar eventuais riscos de colapso do manancial.

2.2 Gestão da demanda de água

Desafiado pela crescente demanda por água e fornecimento limitado, a questão de como alocar recursos hídricos entre as demandas concorrentes durante períodos de falta tornou-se uma questão crítica e atrai muita atenção da comunidade técnica-científica em todo o mundo (SPEED, LE QUESNE & ZHIWEI, 2013). Numerosos conflitos de água foram causados pelo desequilíbrio entre o abastecimento e a demanda (GLEICK & HEBERGER, 2014). Vários esforços práticos estão sendo realizados pelos gestores para a ampliação da infraestrutura hídrica, porém, junto com a demanda de água dramaticamente crescente, o

aumento da oferta para atender a demanda futura não é mais um meio econômico para um futuro sustentável, técnicas de gerenciamento de água mais proativas são imprescindíveis (XIAO, HIPEL & FANG, 2016).

Inúmeras pesquisas voltadas para a gestão da demanda de água foram desenvolvidas nos últimos anos (TORTAJADA & JOSHI, 2013; ARARAL & WANG, 2013; FIELDING *et al.*, 2013; GUEDES, RIBEIRO & VIEIRA, 2014; AL-ANSARI *et al.*, 2014; GUERRA, 2014; PRICE, CHERMAK & FELARDO, 2014; MAGGIONI, 2015; BOUZIOTAS, ROZOZ & MAKROPOULOS, 2015; XIAO, HIPEL & FANG, 2016; DARBANDSARI *et al.*, 2017). Os estudos apontam que o gerenciamento da demanda requer a implementação de instrumentos e estratégias que considerem preços, requisitos obrigatórios de conservação da água e o envolvimento dos setores público e privado, bem como da sociedade em geral (TORTAJADA & JOSHI, 2013).

Tortajada & Joshi (2013) analisaram as estratégias de demanda de água em Cingapura, onde a água é tratada como um bem econômico, e seu preço reflete os custos totais da produção, a escassez do recurso e o alto custo da implantação de novas fontes de água. Os resultados do estudo podem fornecer experiências úteis para cidades de países em desenvolvimento sobre o tipo de políticas que poderiam ser bem-sucedidas na redução do consumo, bem como no fornecimento de suprimentos alternativos de água para os setores doméstico e industrial.

Araral & Wang (2013) verificaram as práticas de gestão da demanda de água urbana no Sudeste Asiático. Os mecanismos econômicos incluem o aumento das tarifas de bloqueio, fixo, volumétrico, de água bruta e taxas de conservação, abatimentos e subsídios cruzados, enquanto aos não econômicos são de gestão, engenharia e regulação, bem como educação pública e envolvimento da comunidade, desempenham papéis importantes.

Fielding *et al.* (2013) relataram um estudo experimental projetado para testar o impacto a longo prazo de três intervenções diferentes sobre o consumo de água doméstica no sudeste do Queensland. Participantes de 221 famílias foram recrutados e completaram uma pesquisa inicial, equipando suas casas com medidores de água inteligentes. As famílias foram divididas em quatro grupos: um de controle e três grupos de intervenções (acesso somente das informações de economia de água, informações mais o uso de normas descritivas e informações mais *feedback* personalizado). O estudo é o primeiro a usar a tecnologia inteligente de medição de água como uma ferramenta para mudanças de comportamento, bem como uma maneira de testar a eficácia das intervenções de gerenciamento de demanda. A modelagem da curva de crescimento revelou que, em comparação com o controle, os três

grupos de intervenção obtiveram uma redução média de 11,3 L por pessoa por dia ao longo das intervenções e por alguns meses depois.

Guedes, Ribeiro & Vieira (2014) exibiram cenários de simulação, referentes à adoção de medidas tecnológicas de gestão da demanda urbana de água, objetivando fornecer subsídios para a elaboração de um possível programa de uso racional da água para os consumidores residenciais de Campina Grande - PB. A análise dos resultados indicou a viabilidade ambiental da adoção dessas medidas (redução do consumo de água de até 33,64%). Quanto ao aspecto da viabilidade econômica, alguns cenários foram muito atrativos, mas alguns indicaram um maior período de retorno dos investimentos. Para os cenários menos atrativos economicamente, foi enfatizado o papel do Poder Público no sentido de oferecer incentivos financeiros à população, induzindo-a ao uso racional da água e evitando novas crises no abastecimento de água da cidade.

Al-Ansari *et al.* (2014) introduziram um programa de redução de água para Jordan, Jordânia. Foram estudados dez anos de registros completos de consumo. O programa aponta para a redução no uso, a diminuição de perdas nas redes de distribuição, o uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis, o planejamento futuro de novas fontes de água, evita a poluição e a eliminação de águas residuais na natureza e, finalmente, impõe o custo real para o abastecimento de água.

Price, Chermak & Felardo (2014) realizaram análises estatísticas sobre os efeitos dos programas de descontos de Albuquerque Bernalillo County Water Utility Authority, Albuquerque, EUA, voltados para a redução do consumo de água. Os resultados indicaram uma correlação negativa entre o uso da água doméstica e a presença da maioria dos dispositivos de baixa vazão, depois de controlar o preço da água e as condições climáticas. As bacias sanitárias de volume reduzido têm o maior impacto no uso da água, enquanto as máquinas de lavar, máquinas de lavar louça, chuveiros têm efeitos menores, mas significativos. Em contrapartida, sistemas de ar condicionado e recirculadores de água quente não têm impacto significativo no uso da água. O último resultado sugere que as companhias de saneamento devem melhorar a eficiência dos programas de desconto visando o incentivo de dispositivos mais econômicos.

Guerra (2014) analisou o consumo de água no setor hoteleiro de João Pessoa e Campina Grande – PB, aplicando questionários e dados da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), através de quatro métodos de previsão de consumo de água, e propôs como medida de gestão de demanda a substituição dos equipamentos hidrossanitários

convencionais por economizadores. A redução estimada do consumo de água quando do uso dos aparelhos poupadores nos banheiros dos hotéis avaliados foi de, aproximadamente, 62%.

Maggioni (2015) enfatizou que os três principais fatores para melhorar o esforço de conservação são: usar os preços como uma ferramenta de conservação; investir em ferramentas eficientes que, obrigatoriamente, proporcionem economias significativas de água; e apoiar pequenas agências para dar-lhes oportunidades de implementar ações de conservação de forma mais eficaz ou para ajudá-las a consolidar estratégias.

O gerenciamento de água urbana é atualmente entendido como um problema sócio-técnico, incluindo tecnologias e intervenções de engenharia, bem como dimensões socioeconômicas e contextos em relação aos usuários finais e instituições (BOUZIOTAS, ROZOZ & MAKROPOULOS, 2015). Nesse sentido, Xiao, Hipel & Fang (2016) investigaram o impacto de um plano de gerenciamento dentro de um quadro abrangente de alocação de água cooperativa. Os resultados indicaram que a cooperação entre os usuários de água pode gerar mais benefícios líquidos e um plano de gerenciamento leva a um aumento adicional dos benefícios líquidos agregados por meio de transferências de água de usuários menos produtivos para os mais produtivos.

Darbandsari *et al.* (2017) desenvolveram uma nova estrutura baseada na modelagem de agentes para simular as características comportamentais dos usuários residenciais de água e suas interações sociais. O quadro proposto, como ferramenta de tomada de decisão, pode ser usado para avaliar as respostas dos usuários domésticos de água a alguns fatores, como a consciência social sobre condições hidrológicas, preços de água e políticas publicitárias, bem como interações sociais e comunicações. Para ilustrar a utilidade prática da estrutura, essa é aplicada na parte ocidental da cidade metropolitana de Teerã no Irã. Os resultados mostraram que o aumento do preço da água e o investimento em publicidade podem ser considerados como estratégias efetivas para o gerenciamento do consumo de água residencial na área de estudo.

2.3 Alternativas de gerenciamento da demanda de água

Segundo Albuquerque (2004), várias são as alternativas de gerenciamento da demanda ou ações que podem viabilizar o alcance do uso racional da água, entre estas:

- ações tecnológicas: medição individualizada em edifícios, instalações prediais que reduzam o consumo (equipamentos economizadores), sistemas individuais ou comunitários de captação de água de chuva, reuso de água, micro e

macromedição na rede, sistemas automatizados de monitoramento e controle da rede de distribuição, entre outros;

- ações educacionais: incorporação da questão da água aos currículos escolares, programas e campanhas de educação ambiental, adequação dos currículos dos cursos técnicos e universitários, programas de reciclagem para profissionais, entre outros;
- ações econômicas: estímulos fiscais para redução de consumo e adoção de novos instrumentos tecnológicos, tarifação que estimule o uso eficiente da água sem penalizar os usuários mais frágeis economicamente, estímulos ou penalização financeira que induzam o aumento da eficiência da concessionária de distribuição de água, cobrança pelo uso da água bruta, entre outros;
- ações regulatórias/institucionais: legislação que induza o uso racional da água, regulamentação de uso da água para usos externos, regulamentação de novos sistemas construtivos e de instalações prediais, regulamentação mais adequada da prestação do serviço de concessão e distribuição de água, outorga pelo uso da água, criação de comitês de bacias, entre outros.

Nesse contexto, esta pesquisa dedica-se ao estudo de três alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda: equipamentos economizadores de água, captação de água de chuva e reuso de águas cinzas. As alternativas encontram-se descritas nos itens a seguir.

2.3.1 Equipamentos economizadores de água

A substituição de equipamentos sanitários convencionais por equipamentos modernos vem sendo associada a dois fatores: primeiramente, à redução da vazão/volume durante o uso, tendo, por exemplo, equipamentos como as bacias sanitárias de duplo acionamento e as torneiras com arejadores; e por fim, ao controle e redução do tempo de utilização, com o emprego de dispositivos que possuem sensores para acionamento, mantendo o aparelho ligado o mínimo de tempo possível. Deve-se salientar que a aquisição de equipamentos economizadores diminui o consumo de água, mas não reduz a eficácia das instalações de edifícios domiciliares, hospitais, restaurantes, escolas, universidades, entre outros.

Atualmente, a maioria dos vasos sanitários do mercado apresenta o sistema de volume de descarga reduzido (VDR), o qual necessita de apenas 6 litros de água para efetuar uma descarga de forma eficiente (BATISTA, QUEIROZ & OLIVEIRA, 2014).

Outros exemplos de equipamentos economizadores são as torneiras acionadas por pressão manual, com os pés ou por meio de sensores infravermelhos. É possível obter uma economia no consumo de água entre 30 e 70% por meio das torneiras com fechamento automático. Válvulas automáticas para mictórios e válvulas reguladoras da vazão de chuveiro elétrico também auxiliam na redução de consumo (TOMAZ, 2010).

Nessa perspectiva, Scardua *et al.* (2014) analisaram os sistemas de descargas sanitárias e os chuveiros dos domicílios da cidade do Gama - DF por meio da aplicação de questionário, verificando o perfil socioeconômico das residências selecionadas aleatoriamente. O estudo identificou que o emprego de descargas e chuveiros mais eficientes permitiria uma redução de 41,29% do consumo total de água. Mais de 86% dos entrevistados se mostraram interessados em trocar ou adaptar os sistemas avaliados.

Barros, Rufino & Miranda (2016) avaliaram a aplicação de cinco equipamentos poupadores em edifícios verticais, no bairro do Catolé em Campina Grande - PB, considerando a eficiência e os custos de implantação, para minimizar o impacto da demanda de água gerada em um horizonte de cinco anos. Os resultados indicaram que a adoção dos equipamentos poupadores poderia reduzir em 83,26% o consumo final.

Silva, Ribeiro & Miranda (2017) quantificaram o impacto da troca de equipamentos hidrossanitários convencionais por economizadores em uma instituição de ensino superior. A medição de consumo foi realizada por meio da instalação de hidrômetros em bacias sanitárias, torneiras de lavatórios, torneiras de limpeza, mictórios e bebedouros. Houve uma redução significativa para cada equipamento, representando uma redução de consumo total de 12,34%.

Silva *et al.* (2017) selecionaram oito bairros do município de Caruaru-PE, para análise dos impactos ambientais e econômicos da implementação de equipamentos de poupança de água em residências. O consumo de água per capita com uso de equipamentos sanitários convencionais e o custo para instalação dos equipamentos economizadores foram estimados, demonstrando que a substituição possibilita uma economia de água de até 40%.

2.3.2 Captação de água de chuva

A captação e armazenamento de água de chuva são práticas utilizadas há séculos, mas no meio urbano, a captação imediata para usos diversos ainda é insipiente. Há uma crescente tendência internacional voltada a captação direta de águas pluviais, contudo, nas cidades brasileiras de médio e grande porte, a água de chuva, como fonte potencial e de boa qualidade, ainda tem sido desprezada (NETO, 2013).

No ciclo hidrológico, o processo de destilação natural torna a água pluvial bastante pura ao condensar-se. No entanto, os componentes atmosféricos, assim como, a carga poluidora decorrente dos grandes centros urbanos e polos industriais, alteram a sua composição (LUNA *et al.*, 2014).

No Brasil, a norma NBR 15527 - Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT, 2007) descreve as considerações técnicas e os cuidados que devem ser tomados com todos os componentes destinados a captação e armazenamento de água de chuva, incluindo calhas, tubulações, reservatórios, e também, com o uso posterior.

De maneira geral, vários estudos concluíram que a qualidade das águas armazenadas em cisternas, quanto aos parâmetros físico-químicos, atende aos padrões de potabilidade exigidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), mas, frequentemente, essas são contaminadas ou susceptíveis a contaminação por microrganismos patogênicos, indicando padrões microbiológicos de qualidade inferior (GOULD, 1999; SIMMONS, 1999; VIDAL, 2002; GOULD & NISSEN-PETERSEN, 2002).

Para que a água pluvial seja armazenada corretamente, faz-se necessário considerar dois aspectos fundamentais: o primeiro – não utilizar grandes reservatórios – geralmente é mais adequado o uso de pequenos reservatórios para captação e regularização em períodos chuvosos, conservando outras fontes de água disponíveis; o segundo – desprezar as primeiras águas de chuva – a qualidade melhora bastante após o início da precipitação.

A fim de evitar as primeiras águas, Bernier *et al.* (2014) elaboraram um dispositivo para captação e filtragem da água da chuva, verificando as possibilidades de reuso em residências. O dispositivo consiste em um produto que unifica diversas operações (filtragens, armazenamento e distribuição) e mostrou-se eficiente frente a outros dispositivos, com baixo custo de implantação e curto prazo para o retorno de investimento.

Alves *et al.* (2014) desenvolveram um dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva – DesviUFPE – para garantir que água, ao chegar no reservatório de armazenamento, esteja livre de parte das impurezas incorporadas durante o percurso. O dispositivo permite o acúmulo da água de lavagem da superfície de captação em tubos verticais (tubos e conexões em PVC) e só após estarem completamente cheios, direciona a água para a cisterna. Foi possível verificar melhoria significativa na qualidade da água desviada pelo sistema.

Apesar da restrição de potabilidade, a captação, armazenamento e uso de água da chuva são vistos pela comunidade técnica-científica como uma excelente proposta para o gerenciamento de demanda de água. Inúmeros trabalhos apontam o potencial

do uso desta técnica em cidades do Brasil e do mundo (MACHIONE & LOPES, 2015; MORAKYNIO *et al.*, 2015; NÓBREGA *et al.*, 2016; CRUZ & BLANCO, 2017; TUGOZ, BERTOLINI & BRANDALISE, 2017).

Machione & Lopes (2015) averiguaram a viabilidade econômica e ambiental da implantação de um plano de conservação e reuso de água pluvial em edificações com 100 m² de cobertura. A metodologia foi dada em duas etapas, sendo a primeira uma revisão literária e, a segunda, uma pesquisa de campo para escolha da edificação com o sistema. Foi possível observar uma considerável economia da água de abastecimento, alcançando uma redução, também significativa, na geração de esgoto. Morakynio *et al.* (2015) forneceram informações sobre o uso de águas pluviais para práticas sustentáveis de manejo de água em Hong Kong, uma cidade altamente urbanizada. Os resultados demonstraram um aumento da autossuficiência de água doce em até 9%.

Nóbrega *et al.* (2016) avaliaram a viabilidade do uso de cisternas no assentamento Novo Horizonte pertencente ao município de Várzea – PB, por meio da aplicação de questionários, abordando aspectos como usos da água da cisterna, formas de tratamento da água, importância das cisternas, formas de captação de água. Foi observado que 100% das residências possuíam cisterna e que as mesmas são uma alternativa eficiente para suprir as necessidades das famílias assistidas.

Cruz & Blanco (2017) investigaram o aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em Rio Branco - AC, levando em consideração parâmetros como: precipitação de projeto, área de captação, demanda de água, bem como dimensionamento de calhas, condutos e reservatório. O sistema considerado apontou uma redução mensal de aproximadamente 30% no consumo de água potável, equivalente à de 7,93 m³ de água tratada.

Tugoz, Bertolini & Brandalise (2017) analisaram os resultados obtidos pela implantação de cisternas para a captação e uso de água pluvial em uma escola estadual do Paraná. O estudo estabeleceu uma relação entre consumo de água mensal e o índice pluviométrico do período, com base nos dados das séries históricas de consumo da escola. Os resultados indicaram a eficiência do sistema de captação, reduzindo o consumo de água tratada em até 57,97%.

2.3.3 Reuso de águas cinzas

Caracteriza-se o reuso de águas como uma atividade que visa minimizar o consumo de água de qualidade superior e reduzir a geração de efluentes. Desse modo, pode ser

compreendido como uma alternativa recomendável para suprir demandas menos exigentes, promovendo o emprego de águas de melhor qualidade – distribuída pelas concessionárias públicas ou retirada diretamente dos mananciais hídricos – para usos mais nobres e/ou prioritários (DANTAS & SALES, 2009).

Até pouco tempo, o reuso era visto como uma opção “exótica”, porém, frente à escassez de recursos hídricos e à necessidade de adoção de práticas voltadas para o gerenciamento da demanda, está surgindo como uma estratégia de recuperação de água poluída. O que define sua finalidade específica é a adequação de parâmetros tais como pH, turbidez, temperatura, presença ou não de metais pesados, concentração máxima de matéria orgânica e de organismos patogênicos, entre outros.

A norma NBR 13969 - Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos (ABNT, 1997), afirma que no caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagens dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga das bacias sanitárias, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens, etc.

As águas cinzas, especificamente, são constituídas de efluentes provenientes de chuveiros, lavatórios, máquina de lavar, excetuando os efluentes de bacias sanitárias. Portanto, apresenta uma quantidade de resíduos inferior aos do esgoto doméstico, o que simplifica seu tratamento (JUNIOR & MARTINS, 2016).

Ao avaliar tecnologias otimizadas de tratamento de efluentes visando o reuso da água, deve-se considerar elementos tais como a confiabilidade operacional de cada processo e a capacidade global de tratamento a fim de atender aos padrões de qualidade requeridos por critérios de reaproveitamento de água, dependendo do uso (TESSELE, 2011).

Nesse contexto, Carli *et al.* (2013) indicaram diretrizes para gerenciamento de água dos laboratórios da Universidade de Caxias do Sul para redução de desperdício. O diagnóstico de consumo total foi realizado por meio da instalação de hidrômetros identificando a contribuição de cada sistema. A partir do mapeamento desses equipamentos foram propostas ações de uso racional e de conservação de água, como recirculação e reuso direto das águas nos laboratórios.

Sant’ana, Boeger & Monteiro (2014) averiguaram a aplicabilidade de sistemas de reuso de águas cinzas e de aproveitamento de águas pluviais, caracterizando os usos finais do consumo doméstico de água, em edificações residenciais de Brasília. O estudo apontou

possíveis soluções para adaptação predial das tipologias residenciais, fazendo uma avaliação financeira dos custos-benefícios para identificação do potencial de redução de consumo promovido pelos sistemas.

Cuba & Manzano (2014) investigaram a viabilidade técnica e econômica da utilização de águas provenientes de lavadoras de roupa em descargas de bacias sanitárias. O sistema de reuso foi montado com materiais de baixo custo para uma residência com quatro integrantes, possibilitando a reutilização de um volume médio equivalente a 3000 litros de água/mês.

Astudillo, Puerto & Duran (2015) sugeriram a instalação de um sistema de aproveitamento e reutilização das águas residuais para garantir um abastecimento confiável, de fácil operação e com viabilidade econômica, em edificações novas de tipo residencial pertencentes a classes sociais média e baixa. A metodologia buscou utilizar o preço do metro cúbico de água residual inferior à tarifa convencional de empresa de águas, reduzindo, paralelamente, a demanda mensal de água potável por usuário.

Ferraz & Silva (2015) analisaram a implantação de um sistema de reuso de água em residências com diversas finalidades (limpeza em geral, bacias sanitárias, máquina de lavar). Para máquina de lavar, o esquema do projeto foi baseado em um circuito fechado de tratamento/utilização. O estudo se mostrou economicamente viável para consumos acima de 25 m³, tendo retorno de investimento dentro de um período de até 12 meses.

Wilcox *et al.* (2016) examinaram as questões econômicas, sociais e ambientais relacionadas à implementação de redes de reutilização de água nas cidades. O trabalho foi baseado em um estudo de caso em Londres para demonstrar as implicações de sustentabilidade das práticas de reutilização de água.

2.4 Métodos multicritério de apoio à decisão

Segundo Roy (1985), um sistema de apoio à decisão se caracteriza por ser uma atividade que admite, por meio de modelos claramente explicitados, porém não necessariamente formalizados, auxiliar na obtenção de resposta às questões que são identificadas em um processo de decisão. Tais elementos buscam esclarecer, e normalmente prescrever, a decisão, ou simplesmente favorecer um comportamento que venha a adicionar coerência à evolução do processo, aos objetivos e sistema de valores utilizados pelo interventor (SANTOS *et al.*, 2006).

Os métodos multicritério de apoio à decisão fornecem ferramentas de auxílio que orientam processos de decisão em contextos complexos, onde se faz necessário a conciliação

de diversos pontos de vista, por vezes, contraditórios (VINCKE, 1992; HOBBS & MEIER, 2000). Quando o decisor se depara com problemas com critérios antagônicos, não existe, em geral, qualquer solução ótima sob todos os pontos de vista impostos.

Na visão de Bana & Costa (1988), os processos decisórios podem ser divididos em duas etapas: a primeira refere-se à análise do sistema em estudo, identificando, caracterizando e hierarquizando os principais intervenientes; a segunda refere-se à avaliação propriamente dita no sistema, esclarecendo a escolha com a aplicação de um método multicritério de apoio à decisão para apoiar a modelagem das preferências e sua agregação. Roy (1985) designou os seguintes agentes atuantes em problemas multicritérios:

- Decisores – indivíduos que fazem escolhas e assumem preferências, como uma entidade única;
- Analista – responsável por interpretar e quantificar as opiniões dos decisores, estruturar o problema, elaborar o modelo matemático e apresentar os resultados para a decisão;
- Modelo – conjunto de regras e operações matemáticas que permitem transformar as preferências e opiniões dos decisores em um resultado quantitativo;
- Alternativas – são ações globais, ou seja, ações que podem ser avaliadas isoladamente, representando diferentes cursos de ação, diferentes hipóteses sobre a natureza de uma característica, diferentes conjuntos de características, etc.;
- Critérios – ferramentas que permitem a comparação das ações em relação a pontos de vista particulares.

O método multicritério de apoio à decisão permite a análise de um número de alternativas, sob múltiplos critérios e objetivos conflitantes, para gerar soluções compromisso e a hierarquização de alternativas, segundo o grau de importância de cada uma delas frente ao decisor (BELTON & STEWART, 2004).

Para Gomes & Gomes (2012) e Roy & Boyssou (1993), no contexto do apoio à decisão, o resultado pretendido em determinado problema pode ser identificado em quatro tipos, descritos a seguir:

- 1) Problemática $P.\alpha$ – esclarece a decisão conforme escolha de um subconjunto de alternativas, tão restrito quanto possível, considerando a escolha final de uma única ação. Esse conjunto evidencia as “melhores ações” ou “ações satisfatórias”. O resultado pretendido é, portanto, uma escolha;

- 2) Problemática $P.\beta$ – esclarece a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada alternativa a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas a priori, com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações. O resultado pretendido é, portanto, um procedimento de classificação;
- 3) Problemática $P.\gamma$ – esclarece a decisão por um arranjo obtido pelo reagrupamento de todas ou parte (as alternativas mais satisfatórias) das ações em classes de equivalência. Essas classes são ordenadas de modo completo ou parcial, conforme as preferências do(s) decisor(es). O resultado pretendido é um procedimento de ordenação;
- 4) Problemática $P.\delta$ – esclarece a decisão por uma descrição, em linguagem apropriada, das ações e de suas consequências. O resultado pretendido é, portanto, uma descrição ou um procedimento cognitivo.

No entanto, podem-se acrescentar às problemáticas citadas as de design e portfólio. Cujas características, de acordo com Belton & Stewart (2002), são:

- 5) Problemática de Design – identificação ou criação de novas alternativas para alcançar os objetivos revelados ao longo do processo de decisão;
- 6) Problemática de Portfólio – se caracteriza como um problema de programação inteira 0-1, e proporciona a escolha de um subconjunto de alternativas que atenda aos objetivos estabelecidos, respeitando determinadas restrições.

Almeida (2013) classifica os métodos multicritério de uma forma mais generalista, conforme relação estabelecida entre os critérios. Sendo assim, os métodos podem ser:

- Métodos compensatórios (critério único de síntese) – dada uma alternativa, um mal desempenho em um determinado critério pode ser compensado por um bom desempenho em outro critério, assim, há uma agregação dos critérios em um único critério de síntese;
- Métodos não compensatórios (sobreclassificação) – não há uma compensação entre os critérios, ocorrendo, desse modo, relações de prevalência ou subordinação das alternativas.

Destacam-se, dentre os métodos compensatórios, o MAUT – Teoria da utilidade multiatributo (KEENEY & RAIFFA, 1976), o método AHP – *Analytic Hierarchy Process* (SAATY, 1980), o método MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (BANA, COSTA & VANSNICK, 1994), e os métodos

SMART – *Simple Multiattribute Rating Technique* (EDWARDS & BARRON, 1994). Os métodos de sobreclassificação usuais são os das famílias PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment* e ELECTRE – *Elimination and Choice Expressing Reality*.

No presente estudo, foi adotado o método de sobreclassificação (*outranking relation*) PROMETHEE II, do tipo P. γ e de natureza não compensatória, para ordenação das melhores alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda de água. Roy (1985) descreveu a seguinte definição para relações de sobreclassificação: É uma relação binária S definida em A , onde A é o conjunto de alternativas. $a, b \in A$, tal que aSb se, conhecidas as preferências do tomador de decisões, conhecida a qualidade das avaliações das ações e a natureza do problema, existe argumentos suficientes para decidir que a é no mínimo tão bom quanto b . Desse modo, os métodos estabelecem uma relação de subordinação denotada por S , em que aSb indica que a ação “ a é, no mínimo, tão boa quanto b ” ou “ a não é pior que b ”. Se essa relação é analisada para o critério j , a notação é aS_jb , que representa a é, no mínimo, tão bom quanto b para o critério j .

2.4.1 Método PROMETHEE

Neste trabalho, investiga-se uma abordagem fundamentada no emprego do método multicritério PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*). O método foi apresentado pela primeira vez em 1982 em uma conferência organizada por Nadeau e Landry na Universidade Laval, localizada em Quebec no Canadá (BRANS, 1982).

Alguns anos depois, foram desenvolvidas várias versões do método PROMETHEE com o intuito de auxiliar na resolução de problemas mais complexos. Para compreensão do modelo proposto, faz-se necessário o entendimento da dinâmica dessas versões, descritas na literatura e listadas abaixo (BRANS, VINCKE & MARESCHAL, 1986; BRANS & MARESCHAL, 1994; BEHZADIAN *et al.*, 2010):

- PROMETHEE I – Pré-ordem parcial, problemática de escolha;
- PROMETHEE II – Pré-ordem completa entre as alternativas, podendo ser adotado também na problemática de escolha;
- PROMETHEE III – Ampliação da noção de indiferença, tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar);

- PROMETHEE IV – Pré-ordem completa ou parcial. Problemática de escolha e ordenamento. Destinado às situações em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo;
- PROMETHEE V – Nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira;
- PROMETHEE VI – Pré-ordem completa ou parcial. Problemática de escolha e ordenamento. Destinado às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério;
- PROMETHEE – GAIA – Extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

Surgiram também mais duas abordagens ampliadas: o método PROMETHEE TRI, para lidar com triagens; e o método PROMETHEE CLUSTER, para classificação nominal (FIGUEIRA, DE SMET & BRANS, 2004).

Os métodos PROMETHEE constroem uma relação de sobreclassificação valorada, o que facilita o entendimento do decisor com relação ao método e ao processo decisório (CAMBRAINHA, 2015). De maneira geral, o método pode ser considerado de fácil entendimento e aplicabilidade, apresentando parâmetros com significado físico ou econômico de rápida assimilação pelos decisores.

Por ser um método de sobreclassificação, busca a alternativa mais indicada através da comparação par a par entre todas as opções analisadas, com um paradigma diferente de outras abordagens, que usualmente agregam critérios por meio de uma função aditiva. Desse modo, o método não permite a compensação ilimitada de largas desvantagens, admitindo que nem sempre as pequenas diferenças entre as avaliações das alternativas são significantes (VINCKE, 1992).

Através do PROMETHEE é possível encontrar a solução mais conveniente para as diversas situações onde há uma identificação prévia de critérios e alternativas, priorizando assim, a fase de avaliação do problema. Com isso, uma visão geral é retratada aos decisores, que podem fazer escolhas multifuncionais, por meio das possíveis estratégias de solução geradas pelo modelo de apoio à decisão (MACHARIS, BRANS & MARESCHAL, 1998).

Dentre os métodos que se baseiam na relação de sobreclassificação, o PROMETHEE II foi a versão selecionada para aplicação neste estudo. A principal vantagem de seu uso é a

facilidade da obtenção de informação adicional clara, que pode ser gerenciada pelo decisor, como também, pelo analista.

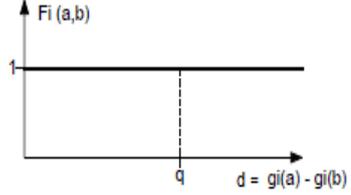
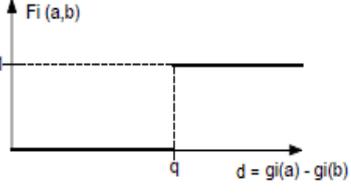
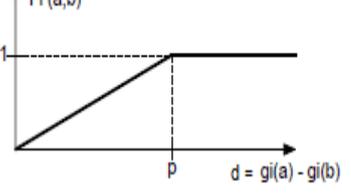
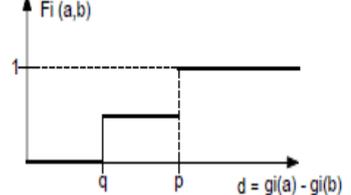
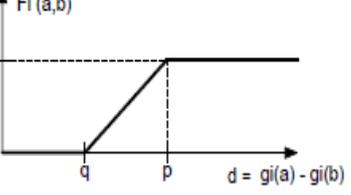
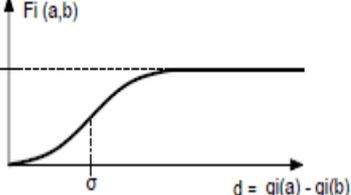
Brans & Mareschal (2002), definiram alguns conceitos da fase de construção da relação de sobreclassificação do PROMETHEE II:

- w_i – peso do critério i , representa a importância do critério em relação aos outros critérios.
- $g_i(a)$ – valor ou o desempenho da alternativa a no critério i .
- q – limite de indiferença, representa o maior valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$ abaixo do qual existe uma indiferença.
- p – limite de preferência, representa o menor valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$ acima do qual existe uma preferência estrita. $F_i(a,b)$ – função de preferência, valor que varia de 0 a 1, e representa o comportamento ou atitude do decisor frente as diferenças provenientes da comparação par a par entre as alternativas, para um dado critério, indicando a intensidade da preferência da diferença $[g_i(a) - g_i(b)]$. Empregando a função de preferência, as alternativas podem ser hierarquizadas pelo resultado líquido definido por meio das comparações par a par entre as alternativas, estabelecendo, ao final da aplicação, o conjunto classificado por um indicador multicritério ordenadas segundo os critérios e pesos estabelecidos, da menor para a maior potencialidade (JANNUZZI, MIRANDA & SILVA, 2009). As principais funções de preferência do PROMETHEE são apresentadas no Quadro 1.

O processo de aplicação do PROMETHEE II se dá basicamente em duas etapas: a primeira, denominada de avaliação intracritério, refere-se ao estabelecimento de parâmetros, tais como limiar de indiferença, limiar preferência e função de preferência, de acordo com a predileção do decisor; a segunda, denominada de avaliação intercritério, refere-se a agregação dos critérios por meio de uma combinação quantitativa, onde o decisor avalia a importância relativa de cada critério pela atribuição de pesos (CAMBRAINHA, 2015).

Assim, o emprego do PROMETHEE II permite a captação da amplitude das diferenças entre as avaliações de cada um dos critérios, oferecendo dois graus de liberdade ao decisor, um relativo à seleção do tipo de função de preferência e outro, à definição dos limiares (BRANS & MARESCHAL, 1994).

Quadro 1- Funções de preferência usuais para o PROMETHEE

Tipo de Critério	Representação	Parâmetros	
(I) Critério Usual		$F_i(a,b) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	-
(II) Quase Critério		$F_i(a,b) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	Q
(III) Limiar de Preferência		$F_i(a,b) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ d/p & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	P
(IV) Pseudo Critério		$F_i(a,b) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1/2 & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	Q,P
(V) Área de Indiferença		$F_i(a,b) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	Q,P
(VI) Critério Gaussiano		$F_i(a,b) = \begin{cases} d \leq 0 \\ d > 0 \end{cases}$	Σ

Fonte: A Autora (2017).

Nota: Adaptação de Brans, Vincke e Mareschal (1986).

2.4.2 *O estado da arte*

Especificamente no planejamento e gestão de recursos hídricos, várias são as aplicações de métodos de apoio à decisão adotadas como instrumentos de suporte para a gestão integrada e o uso racional desses recursos. Roozbahani, Zahraie & Tabesh (2012) introduziram um novo método de tomada de decisão para avaliações de enriquecimento PROMETHEE analisando uma série de regras de operação, em relação a oito critérios em situações de decisão única ou em grupo, do sistema de abastecimento de água de Melbourne. O método proposto foi considerado aplicável a diferentes problemas de tomada de decisão no gerenciamento de abastecimento de água urbana.

Fontana & Morais (2013) desenvolveram um modelo para reabilitar o maior número de pontos de vazamento em uma rede de água, respeitando as possíveis restrições de empresas de abastecimento. O método PROMETHEE V foi empregado no intuito de auxiliar na seleção do conjunto de alternativas viáveis para reabilitação da rede, segundo critérios e restrições estabelecidas pelo decisor.

O estudo realizado por Liu *et al.* (2013) propôs uma estrutura de serviços ecossistêmicos para apoiar o gerenciamento integrado de recursos hídricos e aplicá-lo à Bacia Murray-Darling na Austrália. A análise de decisão multicritério foi realizada para classificar potenciais regionais de fornecimento dos serviços ecossistêmicos na escala da bacia hidrográfica. O modelo de apoio à decisão pode ser empregado principalmente por aqueles que lidam com o desafio da alocação sustentável da água entre irrigação e meio ambiente.

Hashemi, Bazargan & Mousavi (2013) elaboraram um novo método de relação de compromisso baseado em conjuntos intuitivos sob múltiplos critérios para um problema real de gerenciamento de recursos hídricos da literatura recente. Os resultados demonstraram que o método pode ser empregado em larga escala para auxiliar os tomadores de decisão na solução ideal entre as alternativas potenciais com critérios conflitantes e compromissos.

Kuang, Kilguor & Hipel (2015) utilizaram o método PROMETHEE II para avaliação de estratégias de proteção de fontes de água. O estudo teve em conta dados quantitativos e qualitativos, agregando primeiramente os julgamentos individuais dos decisores sobre o desempenho de alternativas de acordo com cada critério, para gerar uma classificação completa de alternativas. A metodologia foi ilustrada por meio de um estudo de caso em que as estratégias de proteção de água de origem foram classificadas para a região de Waterloo, Ontário, Canadá.

Gao *et al.* (2014) apontaram um método multicritério para otimizar a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), investigando a redução do consumo de água doce e o custo total de abastecimento de água na área de Tianjin. A otimização da gestão demonstrou que a poupança local de água doce seria de 21,5% e que o custo total de abastecimento de água diminuiria em 13%.

Diante da busca de metodologias que promovam a conservação da água nos centros urbanos, Cambrainha (2015) e Egito, Fontana & Morais (2015) desenvolveram um modelo de apoio à decisão multicritério, baseado na abordagem de sobreclassificação do PROMETHEE V, para auxiliar o decisor na seleção de alternativas de conservação e uso eficiente da água. O modelo desenvolvido por Cambrainha (2015) para seleção de alternativas levou em consideração o balanceamento entre oferta e demanda no abastecimento de água do agreste de Pernambuco. Os resultados evidenciaram a necessidade de uma melhor distribuição de investimentos para a solução de problemas de longo prazo na região estudada.

Haider *et al.* (2015) indicou uma estrutura para a avaliação de diferentes opções de planos racionais de gerenciamento da qualidade de água de modo a atender os objetivos que definem os padrões de qualidade da água dos rios naturais nos países em desenvolvimento. Foram considerados cinco critérios de sustentabilidade, incluindo custos, requisitos de terra, questões de operação e manutenção, impactos ambientais e socioeconômicos. A análise multicritério foi aplicada como ferramenta para lidar com as incertezas e preferências do decisor.

Rousta & Araghinejad (2015) desenvolveram uma nova ferramenta de modelo de decisão multidisciplinar espacial para a alocação do sistema de avaliação e planejamento de água que facilita o processo de decisão multicritério. Os dois níveis de tomada de decisão (multicritério e multiatributo) foram usados considerando o equilíbrio entre oferta e demanda, mitigação da seca e eficiência econômica para atender a demanda doméstica de água na bacia do rio Gorganrud no Irã. Os resultados confirmaram a aplicabilidade da ferramenta proposta que facilita análises de impacto dos planos de desenvolvimento de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

Scholten *et al.* (2015) indicaram uma abordagem inovadora para tratar a incerteza na elicitação de preferências e na modelagem preditiva ao suporte de decisões multicritérios complexas baseadas em teorias de utilidade multiatributo. Foram onze alternativas de abastecimento de água, desde sistemas convencionais até novas tecnologias e esquemas de gerenciamento em relação a quarenta e quatro objetivos. O desempenho foi avaliado para

quatro cenários e dez partes interessadas de diferentes origens e níveis de tomada de decisão. Apesar da incerteza no ranking de alternativas, as melhores e piores soluções potenciais foram identificadas.

A metodologia do estudo realizado por Spiliotis, Carrasco & Garrote (2015) foi baseada em uma abordagem de filtragem multicritério com o objetivo de enfrentar a complexidade da escassez de água na bacia do rio Ebro. O processo permitiu a comparação entre critérios (satisfação da demanda de água, confiabilidade da água, eficácia da gestão, sustentabilidade) e os protótipos de caracterização da escassez, identificando os problemas na área descrita.

Udias *et al.* (2016) desenvolveram um quadro de modelagem hidro-econômica multicritério para avaliar opções de eficiência hídrica na Europa. O quadro pode auxiliar a reduzir o fosso entre a demanda de água e a disponibilidade de água levando em consideração aspectos ecológicos, a qualidade da água, o risco de inundação e fatores econômicos.

Vettorazzi & Valente (2016) avaliaram o desempenho do método de decisão multicritério na priorização de uma área de restauração florestal para conservação de recursos hídricos na bacia do rio Brasileiro, originalmente coberta pela Mata Atlântica. O estudo permitiu identificar as porcentagens das áreas que mais necessitavam de restauração.

Uma abordagem de análise de decisão multicritério foi proposta por Marques, Cunha & Saviuc (2017) como uma ferramenta útil para apoiar a tomada de decisões no projeto em redes de distribuição de água em um longo horizonte de planejamento. As alternativas foram classificadas por meio do método PROMETHEE para identificar as melhores soluções de design a serem implementadas de acordo com diferentes pesos atribuídos aos critérios.

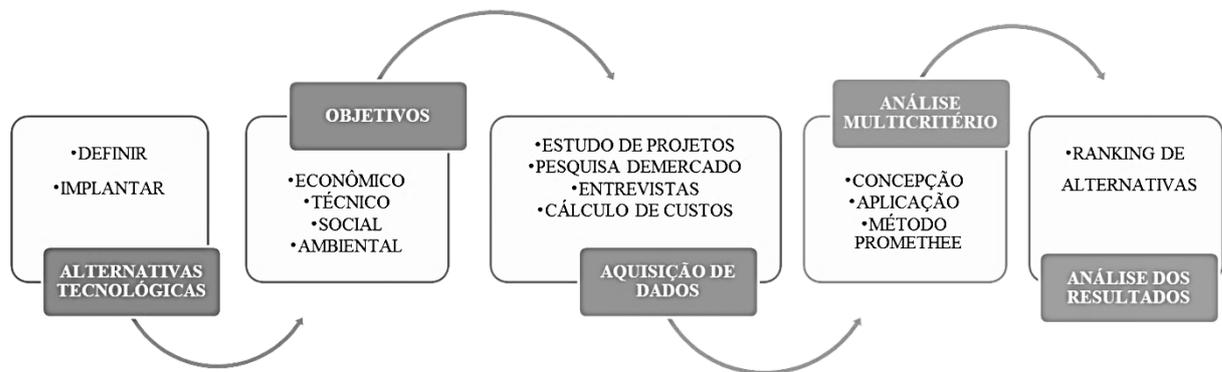
Zayed & Ismaeel (2016) desenvolveram um modelo de avaliação de redes de água para analisar com precisão o desempenho de seus componentes (tubulações e acessórios), refletindo seus níveis de deterioração e propondo ações preventivas de consequências. O método PROMETHEE auxiliou no cálculo dos índices de desempenho funcionais e globais dos componentes.

Devido às mudanças intensivas nos processos naturais dentro de uma bacia hidrográfica, o processo de gestão da drenagem de água de chuva é essencial. Pensando não apenas nos aspectos hidrológicos e hidráulicos, mas também nas questões sociais e ambientais, Araújo *et al.* (2017) aplicaram uma metodologia de análise multicritério, com o método PROMETHEE, para análise de questões de drenagem urbana de águas pluviais. O estudo mostrou-se eficaz para ajuda na tomada de decisões.

3 METODOLOGIA

O processo de estruturação que envolve o contexto da tomada de decisão para gestão das demandas de água envolve a identificação, caracterização e escolha das alternativas objetivas e critérios que serão avaliadas no processo decisório; e a aplicação do modelo proposto, permitindo a análise dessas alternativas sob múltiplos critérios. Nesse sentido, a metodologia pode ser resumida conforme o esquema mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema do processo de estruturação



Fonte: A Autora (2017).

3.1 Descrição da área de estudo

O município de Caruaru está localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Toritama, Vertentes e Taquaritinga do Norte, a sul com Altinho e Agrestina, a leste com Bezerros e Riacho das Almas, e a oeste com Brejo da Madre de Deus e São Caitano (PERNAMBUCO, 2010).

A área municipal ocupa 928,1 km² e representa 0,94% do Estado de Pernambuco. A sede do município tem uma altitude aproximada de 554 metros e coordenadas geográficas de 8°17'00'' de latitude sul e 35°58'34'' de longitude oeste, distando 140,7 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232 (CONDEPE/FIDEM, 2012).

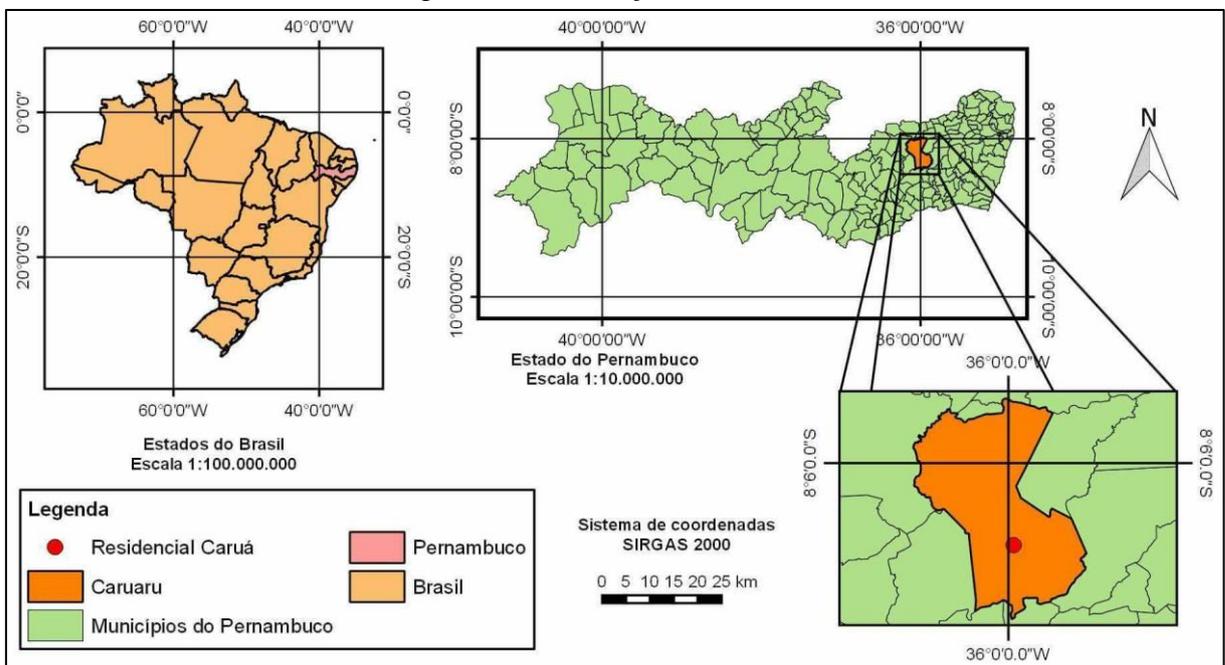
A cidade encontra-se inserida nos domínios das Bacias Hidrográficas dos Rios Ipojuca e Capibaribe. Seus principais tributários são: o Rio Capibaribe e os riachos: Tabocas, Caiçara, Borba, da Onça, Olho D'água, Mandacaru do Norte, Carapotós, São Bento, Curtume e Taquara. Todos os cursos de água no município têm regime de escoamento intermitente.

Por estar incluída no Polígono das Secas, Caruaru apresenta um regime pluviométrico marcado por extrema irregularidade de chuvas, no tempo e no espaço. A escassez de água

constitui um forte entrave ao desenvolvimento socioeconômico da região, bem como à subsistência da população.

Nesse sentido, a pesquisa abordará o estudo das alternativas de gerenciamento da demanda de água em uma escala micro, adotando como área de estudo um bairro ou região que possua residências com características similares. O local escolhido foi o loteamento Residencial Caruá (Figura 2), que possui 248 residências construídas com recursos do programa Minha Casa Minha Vida. Cada residência possui 160 m² de terreno e 48 m² de área construída como demonstrado no Apêndice A.

Figura 2- Localização da área de estudo

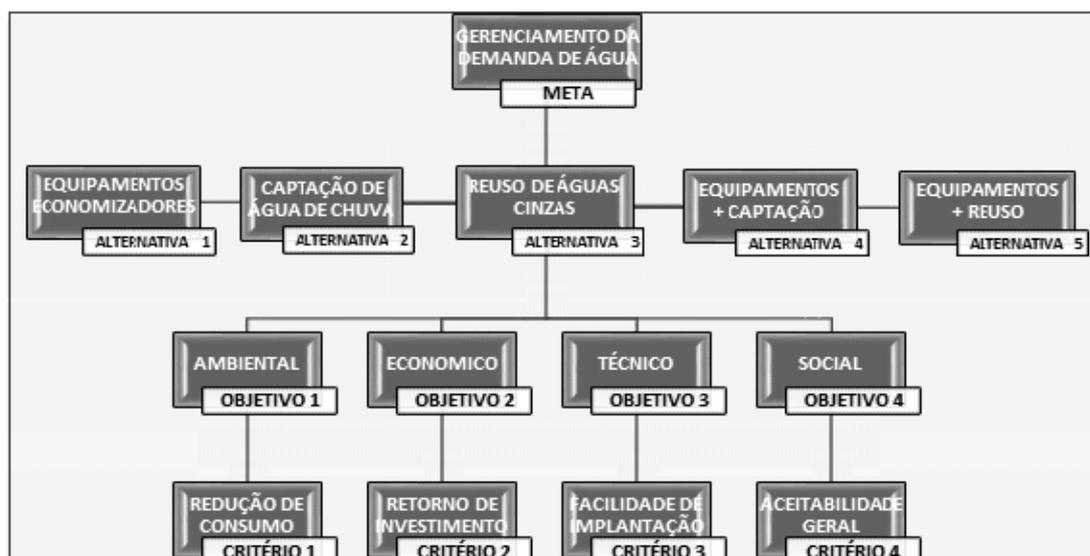


Fonte: A Autora (2017).

3.2 Definição das alternativas, objetivos e critérios

A avaliação de alternativas de gerenciamento da demanda urbana de água no contexto da tomada de decisão é um processo que depende de diversos fatores. Nesta pesquisa foram adotadas alternativas tecnológicas citadas pela literatura que podem ser aplicadas em residências. A Figura 3 apresenta o fluxograma geral do modelo multicritério, apontando as alternativas, objetivos e critérios considerados inicialmente no estudo.

Figura 3 - Meta, alternativas, objetivos e critérios do modelo de gestão da demanda de água



Fonte: A Autora (2017).

3.3 Avaliação de alternativas

Cada alternativa será comparada por meio da análise multicritério com todas as demais, de modo que, o estabelecimento de uma hierarquia, permita a identificação do conjunto das soluções que expressem o melhor compromisso, maior atratividade e melhor adequação aos objetivos e critérios fixados. O Quadro 2 indica as opções consideradas no estudo, que consistem na avaliação individual e associada de alternativas.

Quadro 2 - Alternativas de gerenciamento da demanda urbana de água

Alternativas individuais	Equipamentos economizadores (A1)	Captação de água de chuva (A2)	Reuso de água (A3)
Alternativas associadas	Equipamentos economizadores + Captação de água de chuva (A4)		Equipamentos economizadores + Reuso de água (A5)

Fonte: A Autora (2017).

Os projetos de reuso de águas cinzas e captação de água de chuva foram direcionados para uso não potável, em descargas de bacias sanitárias, sendo assim, o estudo considerou no item desempenho das alternativas associadas, apenas a aplicação conjunta da quantidade de alternativas suficientes para suprir a demanda, sendo inviável aplicar o conjunto (equipamentos + reuso + captação).

As informações requeridas pelo modelo (Quadro 3) foram definidas com dados reais obtidos através da aplicação de questionários, pesquisas de mercado, projetos de engenharia e de consultas à literatura.

Quadro 3 - Dados do modelo de apoio à decisão

Objetivo	Ambiental	Econômico	Social	Técnico
Critério	Redução de consumo	Retorno de investimento	Aceitabilidade geral	Facilidade de implantação
Intenção	Maximizar	Minimizar	Maximizar	Maximizar
Obtenção de dados	Aplicação de questionário; Elaboração de projetos de engenharia; Pesquisa de mercado; Cálculos de custos totais.			

Fonte: A Autora (2017).

As alternativas devem ser avaliadas segundo cada critério para demonstrar o impacto na redução de consumo de água nas residências. Em vista disso, é necessário atribuir pesos para os critérios estabelecidos. Quanto maior o peso, maior sua importância, de acordo com a preferência do decisor.

Os pesos foram definidos através da consulta da opinião de especialistas nos assuntos. Foram entrevistados professores da UFPE que possuem vivência na implantação das soluções cogitadas. Na entrevista, os especialistas atribuíram valores de pesos aos critérios, de modo que o valor da soma de todos os pesos correspondesse a 1. Com esses dados, o peso para cada critério foi definido como a média para cada valor dado pelos entrevistados.

Para realização das entrevistas em campo, um questionário foi elaborado visando quantificar a aceitabilidade geral da população para cada alternativa, de forma a integrar cada entrevistado com o tema da pesquisa. O questionário empregado encontra-se no Apêndice D.

Os projetos de engenharia – sistema de captação de água de chuva (Apêndice B) e sistema de reuso de águas cinzas (Apêndice C) – foram desenvolvidos para o modelo de residência padrão do Residencial Caruá (Apêndice A). Todo o material necessário para possível implantação dos projetos foi listado, apresentando os valores médios de cada alternativa de gerenciamento de água utilizada no estudo (aparelhos poupadores, reuso e captação de água de chuva), através da pesquisa de mercado realizada em diferentes casas comerciais na cidade de Caruaru-PE.

3.3.1 Critério 1 (redução de consumo) - objetivo ambiental

a) Alternativa 1: equipamentos economizadores

A Alternativa 1 considera que todos os equipamentos convencionais da residência padrão serão substituídos por equipamentos de baixo consumo (economizadores). A poupança de água proporcionada pela troca dos aparelhos é dada na Tabela 1.

O ganho ambiental com a instalação de equipamentos economizadores será contabilizado por meio da redução do volume de água consumido na concessionária.

Tabela 1 - Consumo médio dos equipamentos

Equipamento convencional	Consumo médio	Equipamento de baixo consumo	Consumo médio	Economia
Chuveiro convencional	0,33 L/s	Chuveiro com restritor de vazão	0,13 L/s	60%
Bacia sanitária convencional	6,00 L/ciclo	Bacia sanitária com acionamento duplo	3,60 L/ciclo	40%
Torneira convencional para pia	0,42 L/s	Torneira de pia com arejador	0,21 L/s	50%
Torneira convencional para lavabo	0,13 L/s	Torneira de lavabo com arejador	0,065 L/s	50%

Fonte: A Autora (2017).

b) Alternativa 2: Captação de Água de Chuva

O sistema de captação de água de chuva adotado (Apêndice B) é composto por calha, tubulação, barreira sanitária, reservatório inferior, bombeamento, reservatório superior, distribuição, e seu dimensionamento segue as diretrizes das seguintes normas técnicas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas:

- NBR 15527:2007 – Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos;
- NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais;
- NBR 5626:1998 – Instalação predial de água fria.

O cálculo do volume de água captado foi realizado de acordo com a NBR 15527, que é função da área do telhado, de características da composição material do telhado e da precipitação da região, conforme a Equação 1:

$$V = P.A.C.\eta \quad (1)$$

Onde:

- V é o volume captado no período considerado;
- P é a precipitação no período considerado;
- A é a área em projeção do telhado;
- C é o coeficiente de *runoff*;
- η é a correção devido ao dispositivo de descarte.

A plataforma *hidroweb* do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas (ANA) foi empregada para obtenção das precipitações médias mensais. Os dados adotados foram coletados da estação pluviométrica mais próxima ao residencial Caruá (Código 835106 – Alto do Moura, Caruaru-PE).

Todo o volume de água captado foi direcionado para usos não potáveis, neste caso, para descarga de bacias sanitárias, e a eficiência do sistema foi dada pela relação entre o volume captado e o volume consumido. A Tabela 2 mostra o percentual de consumo para cada aparelho.

Tabela 2 - Consumo interno de uma residência

Uso da água	Porcentagem
Bacia sanitária	27,70%
Lavagem de roupas	20,90%
Chuveiros	17,30%
Torneiras	15,30%
Vazamentos	13,80%
Outros consumos	2,10%
Banheira	1,60%
Lavagem de pratos	1,30%
TOTAL	100,00%

Fonte: Tomaz (2001).

c) Alternativa 3: Reuso de Águas Cinzas

O dimensionamento do sistema de reuso de águas cinzas segue as diretrizes das seguintes normas técnicas da ABNT:

- NBR 5626:1998 – Instalação predial de água fria;
- NBR 8160:1999 – Sistemas prediais de esgoto sanitário-projeto e execução;
- NBR 13969:1997 – Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação.

O projeto do sistema de reuso de águas cinzas (Apêndice C) prevê o tratamento de água para os reusos previstos na NBR 13969, indicando a redução de consumo pelo volume de recirculação das águas servidas do chuveiro e da máquina de lavar para a bacia sanitária.

3.3.2 Critério 2 (retorno de investimento) - objetivo econômico

A análise do objetivo econômico para cada alternativa foi realizada por meio do tempo de retorno do investimento (*payback*) não descontado. O tempo de retorno não descontado é o período de tempo (meses ou anos) necessário para o retorno do investimento inicial, sem considerar as taxas de juros e de aumento das grandezas monetárias durante a análise do projeto. Isso indica quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao investimento.

O tempo de retorno adotado será determinado, simplesmente, pela divisão dos custos de implantação da alternativa – custos com os processos construtivos e materiais empregados, assim como os custos com equipamentos e mão de obra especializada – pelo benefício líquido proporcionado pela economia de água, sem ponderar os efeitos de composição de juros do mercado. Os projetos de engenharia com seus respectivos orçamentos detalhados encontram-se dispostos nos Apêndices B e C. Os itens seguintes descrevem o procedimento de avaliação para cada alternativa.

a) Alternativa 1: equipamentos economizadores

Levando em consideração a estrutura padrão das casas do Residencial Caruá, o Quadro 4 especifica os equipamentos economizadores escolhidos para substituição, com os menores valores de mercado.

Quadro 4 - Relação de troca de equipamentos

Equipamento Convencional	Quantidade	Equipamento de Baixo Consumo
Chuveiro convencional	1	Chuveiro com restritor de vazão
Bacia sanitária convencional	1	Bacia sanitária com acionamento duplo
Torneira convencional para pia	1	Torneira de pia com arejador
Torneira convencional para lavabo	1	Torneira de lavabo com arejador

Fonte: A Autora (2017).

b) Alternativa 2: captação de água de chuva

O projeto de captação de água de chuva considerado (Apêndice B) possui as seguintes configurações: Sistema de captação; Desvio (modelo DesviUFPE); Reservatório Inferior; Sistema de bombeamento; Reservatório Superior e a Distribuição.

Desse modo, o acúmulo de água de chuva será dado por meio da adição de mais um reservatório superior e um inferior. A água acumulada no reservatório inferior será bombeada para o reservatório superior e destinada para a utilização em descargas de bacias sanitárias.

A Tabela 3 exibe as tarifas adotadas pela COMPESA. Por meio desses dados, é possível estabelecer a diferença entre os valores de conta de água das moradias com implementação e sem implementação do sistema.

Tabela 3 - Tarifa de cobrança de consumo de água da COMPESA

Consumo (L/mês)	Valor (R\$)
Inferior ou igual a 10.000	40,18
10.001 a 20.000	4,61
20.001 a 30.000	5,48
30.001 a 50.000	7,54
50.001 a 90.000	8,93

Fonte: COMPESA (2017).

c) Alternativa 3: reuso de águas cinzas

O projeto de reuso de águas cinzas considerado no estudo encontra-se no Apêndice C. Segundo a NBR 13969, nos casos simples de reuso (por exemplo, descarga das bacias sanitárias) não é necessário submeter o volume de água a ser reutilizado ao máximo grau de tratamento. Em termos gerais, nesse estudo as águas de reuso podem ser definidas como Classe 3, que devem apresentar parâmetros como turbidez, inferior a 10, e coliformes fecais, inferiores a 500 NPM/100 ml.

3.3.3 Critério 3 (facilidade de implantação) - objetivo técnico

A especificação do critério Facilidade de Implantação foi baseada nos seguintes itens: necessidade de alterações no projeto residencial original, necessidade de mão de obra

especializada e tempo necessário para implantação do sistema. Cada um dos itens foi traduzido em sub-índices baseados em características reais. A alternativa será contabilizada pela soma das três especificações. Portanto, quanto maior o índice (somatório dos sub-índices), menor a complexidade para implantação, sendo, desse modo, a mais recomendada por esse critério. Os sub-índices reais são identificados no Quadro 5.

Quadro 5 - Índice de facilidade de implantação

Especificação	Regra	Facilidade	Sub-índice
Mão de obra especializada	Não Necessita	Alta	0,25
	Necessita	Baixa	0,00
Alterações no projeto residencial original	Não Necessita	Alta	0,25
	Necessita	Baixa	0,00
Tempo necessário para implantação do sistema	< 1 dia	Alta	0,50
	>1 dia e < 1 semana	Média	0,25
	>1 semana	Baixa	0,00

Fonte: A Autora (2017).

3.3.4 Critério 4 (aceitabilidade geral) - objetivo social

O índice de aceitabilidade geral foi obtido por meio da aplicação de questionários à população residente na área de estudo. O questionário (Apêndice D) tem como objetivo avaliar o nível de informação das pessoas frente à problemática do abastecimento de água da cidade; avaliar o nível de consciência em relação ao uso racional de água; observar as sugestões para minimização do problema; informar a população do bairro/região sobre as medidas de gerenciamento.

Para a escolha das residências, um plano de amostragem foi definido com base nas recomendações estabelecidas nas normas da ABNT:

- NBR 5426:1985 – Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos;
- NBR 5427:1985 – Guia para utilização da norma NBR 5426.

Os planos de amostragem previstos na norma podem ser utilizados, além de outros, para inspeção de produtos terminados, componentes e matéria-prima, operações; materiais em processamento, materiais estocados, operações de manutenção, procedimentos administrativos, relatórios e dados.

Os procedimentos de amostragem e as tabelas de inspeção por atributos da NBR 5426 seguem a seguinte sequência de operações:

1. Escolha do Nível de Qualidade Aceitável (NQA) – Máxima porcentagem defeituosa que pode ser considerada satisfatória como média de um processo. No presente estudo foi adotado um NQA de 2,5%, dessa forma, não seriam aceitos mais que 2,5 falhas a cada 100 entrevistas.
2. Determinar o tamanho do lote – A área de estudo possui 248 residências.
3. Escolher o nível de inspeção – O nível de inspeção fixa a relação entre o tamanho do lote e o tamanho da amostra. Existem 3 níveis de inspeção, I, II e III. Para casos gerais adota-se o nível II, escolhido para o estudo.
4. Determinar o código literal do tamanho da amostra – Com base no número de lotes e de nível de inspeção, identifica-se o código literal para determinar o tamanho da amostra.
5. Escolher o plano de amostragem – Podem ser do tipo simples, duplo ou múltiplo, variando com relação ao tamanho do lote. Nesta pesquisa foi selecionado o plano de amostragem dupla, por permitir a aplicação de até duas amostragens. A primeira amostragem só será rejeitada caso o número de defeitos seja superior ao admissível.
6. Determinar o tamanho da amostra – Com base no código literal e no tipo de plano amostral, determinou-se a quantidade de 20 residências para cada amostragem.

Definida a amostra, o questionário foi aplicado, de modo a obter o grau de aceitabilidade da implementação de cada alternativa pela população, com o índice variando entre 0 e 1, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Índice de aceitabilidade geral

Especificação	Categoria	Índice
< 20%	Muito ruim	0,00
≥ 20% e < 40%	Ruim	0,25
≥ 40% e < 60%	Regular	0,50
≥ 60% e < 80%	Boa	0,75
≥ 80%	Muito Boa	1,00

Fonte: A Autora (2017).

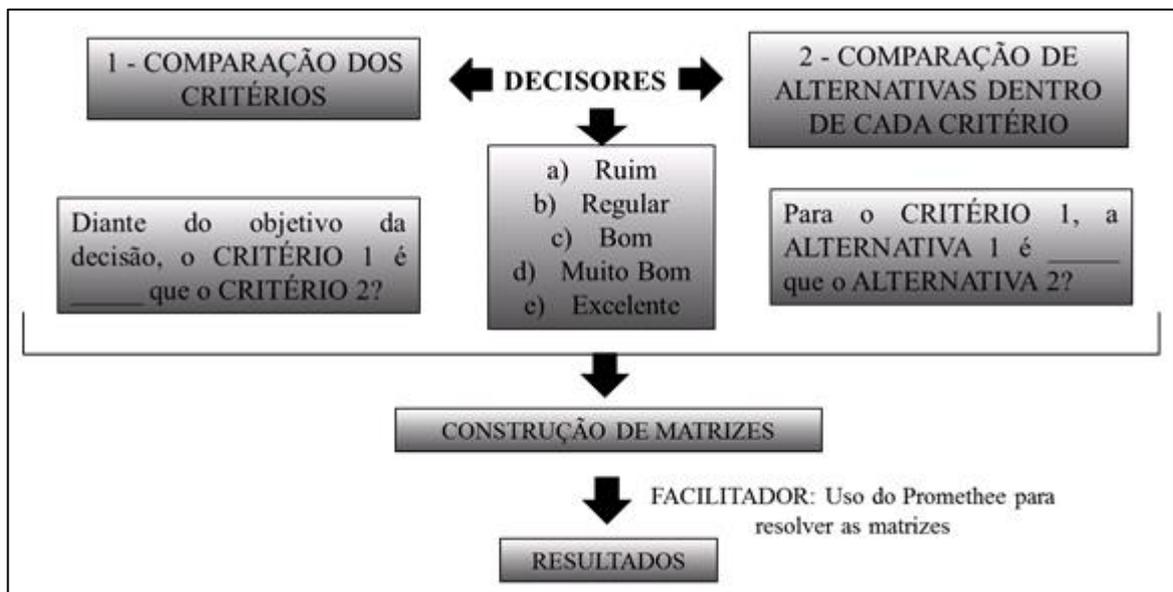
3.4 Aplicação do método PROMETHEE

No presente estudo, foi adotado o método de sobreclassificação (*outranking relation*) PROMETHEE II, do tipo P.γ e de natureza não compensatória. Para aplicação do método são necessários alguns procedimentos específicos:

- 1) Definir uma matriz de decisão contendo as alternativas e critérios;
- 2) Definir os pesos relativos a cada um dos critérios;
- 3) Calcular o grau de sobreclassificação;
- 4) Definir o tipo de função a ser utilizada;
- 5) Calcular os fluxos de sobreclassificação positivos e negativos para cada uma das alternativas;
- 6) Calcular o fluxo de sobreclassificação líquido.

No processo de análise, se decompõe o objetivo em critérios e as comparações entre as alternativas são feitas no ultimo nível de decomposição e aos pares, pelo estabelecimento de uma relação ditada pela preferência dos agentes decisores, que se dá conforme a Figura 4.

Figura 4 - Esquema para aplicação do método



Fonte: A Autora (2017).

A comparação das alternativas permite a obtenção do grau de sobreclassificação, que estabelece o quanto uma alternativa se sobressai em relação a outra.

O cálculo é realizado de acordo com a Equação 2:

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i * F_i(a, b) \quad (2)$$

Em que:

- $\pi(a, b)$: grau de sobreclassificação de a sobre b ;
- w_i : peso do critério i ;
- $F_i(a, b)$: função da diferença [$g_i(a) - g_i(b)$].
- $g_i(a)$: desempenho da alternativa a em relação ao critério i .

O valor de $F_i(a, b)$ é determinado de forma individual para cada critério. A escolha das funções de preferência deve levar em consideração a forma como o decisor avalia cada critério, transformando a diferença entre duas avaliações, em um determinado critério, para um valor real entre 0 e 1. No estudo em questão, foi utilizada a recomendação indicado por Keyser & Peeters (1996) onde o critério 3 (facilidade de implantação) é melhor avaliado adotando a função de preferência Critério Usual – Tipo I, conforme o Quadro 1.

Para os critérios 1, 2 e 4 (redução de consumo, retorno de investimento e aceitabilidade geral), foi aplicada a função Limiar de Preferência – Tipo III, considerando que a preferência do decisor por uma alternativa em relação a outra, cresce linearmente com a diferença de desempenho entre elas. Sendo assim, uma alternativa é considerada estritamente preferível a outra, a partir de um determinado limiar (p).

Posteriormente, obtêm-se os fluxos de sobreclassificação positivos (ϕ^+) e negativos (ϕ^-), conforme a Equação 3 e 4 respectivamente, para cada uma das alternativas, expressando:

- (ϕ^+) - o quanto uma alternativa “a” supera as demais;

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (3)$$

- (ϕ^-) - o quanto a alternativa “a” foi superada pelas demais alternativas.

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4)$$

Desse modo, cada fluxo representa o somatório do grau de preferência de cada comparação par a par. Os valores variam de 0 a 1, de modo que, quanto mais próximo a 1, melhor é a alternativa para (ϕ^+) e pior é a alternativa para (ϕ^-) .

O fluxo de sobreclassificação líquido (ϕ) representa a diferença entre os fluxos de sobreclassificação positivos e negativos (Equação 5), gerando uma ordem completa com o resultado final de cada alternativa.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (5)$$

Sendo “a” e “b” alternativas de um conjunto “A”, têm-se as seguintes relações:

- Preferência: $a(P)b$ se $\phi(a) > \phi(b)$;
- Indiferença: $a(I)b$ se $\phi(a) = \phi(b)$.

Dessa forma, quanto maior o (ϕ^+) de uma alternativa, melhor a classificação na ordenação final promovida pelo modelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Desempenho das alternativas

A importância relativa de cada critério foi estabelecida por meio de consulta a especialistas conforme o Quadro 7, e representa a média dos valores obtidos pelos decisores, de modo que a soma das médias seja equivalente a um.

Quadro 7 - Pesos relativos aos critérios

Objetivos	Critério	Peso
Ambiental	Redução de Consumo	0,37
Econômico	Retorno de Investimento	0,28
Técnico	Facilidade de Implantação	0,18
Social	Aceitabilidade Geral	0,17
Total		1,00

Fonte: A Autora (2017).

4.1.1 Alternativa 1 - equipamentos economizadores

a) Objetivo ambiental (redução de consumo)

O consumo de água da residência foi obtido levando em conta um consumo per capita da cidade de Caruaru (117 L/hab.dia) de acordo com os dados do SNIS (2016), e uma população de 4 pessoas por residência (2 quartos, 2 pessoas por quarto), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Consumo de água mensal de uma residência

Mês	Consumo (m ³)	Valor cobrado (R\$)
Janeiro	14,51	109,73
Fevereiro	13,10	98,08
Março	14,51	109,73
Abril	14,04	105,85
Maio	14,51	109,73
Junho	14,04	105,85
Julho	14,51	109,73
Agosto	14,51	109,73
Setembro	14,04	105,85
Outubro	14,51	109,73
Novembro	14,04	105,85
Dezembro	14,51	109,73
Anual	170,82	1289,59

Fonte: A Autora (2017).

De acordo com as informações da Tabela 1 e da Tabela 2, obteve-se a redução de consumo de água decorrente da implantação dos equipamentos. Assim, conforme a Tabela 5, o emprego desses equipamentos em conjunto (bacia sanitária com acionamento duplo, chuveiro com restritor de vazão, torneiras com arejadores), permitiria poupar um total de 29,11% do volume fornecido pela concessionária, que representa uma economia de 136,23 L/dia sobre um consumo diário de 468 L/dia para a residência com 4 habitantes.

Tabela 5 - Consumo médio após implantação

Equipamento convencional	Consumo médio residencial	Equipamento economizador	Economia de acordo com fabricante	Redução do consumo após implantação	Redução do consumo (L/dia)
Bacia sanitária convencional	27,70 %	Bacia sanitária com acionamento duplo	40%	11,08%	51,85
Chuveiro convencional	17,30%	Chuveiro com restritor de vazão	60%	10,38%	48,58
Torneiras convencionais	15,30%	Torneiras com arejadores	50%	7,65%	35,80
Total	60,30 %	-	-	29,11%	136,23

Fonte: A Autora (2017).

b) Objetivo econômico (retorno de investimento)

A média de custo na região para implantação de todos os equipamentos encontra-se no Quadro 8.

Quadro 8 - Custo de implantação dos equipamentos economizadores

Equipamentos economizadores	Quantidade	Preço (R\$)
Chuveiro com restritor de vazão	1	85,00
Bacia sanitária com acionamento duplo	1	290,00
Torneira de pia com arejador	1	62,00
Torneira de lavabo com arejador	1	78,00
Total		515,00

Fonte: A Autora (2017).

Desse modo, visto que a implantação dos equipamentos economizadores gera uma economia de 29,11% no volume de água consumido, com base no padrão de consumo adotado, esse percentual representa uma economia anual equivalente a R\$ 405,16, com tempo de retorno do investimento de 1 ano e 4 meses, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Economia mensal proporcionada pelos equipamentos economizadores

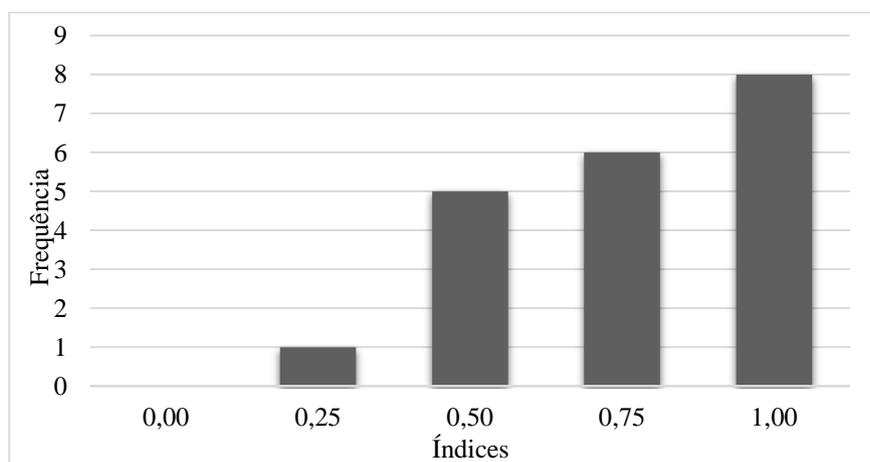
Mês	Consumo (m ³)	Conta (R\$)	Consumo após implantação (m ³)	Conta (R\$)	Economia consumo (m ³)	Economia mensal (R\$)
Jan	14,51	109,73	10,28	74,69	4,23	35,04
Fev	13,10	98,08	9,29	72,32	3,81	25,76
Mar	14,51	109,73	10,28	74,69	4,23	35,04
Abr	14,04	105,85	9,95	72,32	4,09	33,53
Mai	14,51	109,73	10,28	74,69	4,23	35,04
Jun	14,04	105,85	9,95	72,32	4,09	33,53
Jul	14,51	109,73	10,28	74,69	4,23	35,04
Ago	14,51	109,73	10,28	74,69	4,23	35,04
Set	14,04	105,85	9,95	72,32	4,09	33,53
Out	14,51	109,73	10,28	74,69	4,23	35,04
Nov	14,04	105,85	9,95	72,32	4,09	33,53
Dez	14,51	109,73	10,28	74,69	4,23	35,04
Anual	170,82	1289,59	121,10	884,43	49,73	405,16

Fonte: A Autora (2017).

c) Objetivo social (aceitabilidade geral)

A Figura 5 revela um histograma para os índices obtidos em cada uma das 20 entrevistas levantadas. Não houve indicativo de falhas nas entrevistas para a primeira visita, com isso não foi necessário realizar uma segunda amostragem. Por meio do questionário aplicado aos moradores da região foi possível estabelecer uma ordem de preferência entre as alternativas, de modo que os equipamentos economizadores apresentaram um índice de aceitabilidade geral de 0,78.

Figura 5 - Histograma para respostas das entrevistas sobre equipamentos economizadores



Fonte: A Autora (2017).

d) Objetivo técnico (facilidade de implantação)

Pode-se inferir que a instalação dos “equipamentos economizadores” é bastante simples, de modo que pode ser realizada pelo próprio morador, inclusive, sem necessidade de alterações na edificação. Com isto, o índice de facilidade de implantação foi 1,00, conforme se observa no Quadro 9.

Quadro 9 - Facilidade de implantação dos equipamentos economizadores

Especificação	Regra	Sub-índice
Necessidade de mão de obra	Não necessita	0,25
Alterações na edificação	Não necessita	0,25
Tempo de implantação	< 1 dia	0,50
Facilidade de implantação		1,00

Fonte: A Autora (2017).

e) Desempenho da alternativa 1

O Quadro 10 expressa o desempenho da alternativa “equipamentos economizadores” para cada objetivo.

Quadro 10 - Resumo dos parâmetros para os equipamentos economizadores

Objetivos	Crítérios	Equipamentos Economizadores
Ambiental	Redução do consumo	29,11%
Econômico	Tempo de retorno	1 ano e 4 meses
Social	Aceitabilidade geral	0,78
Técnico	Facilidade de implantação	1,00

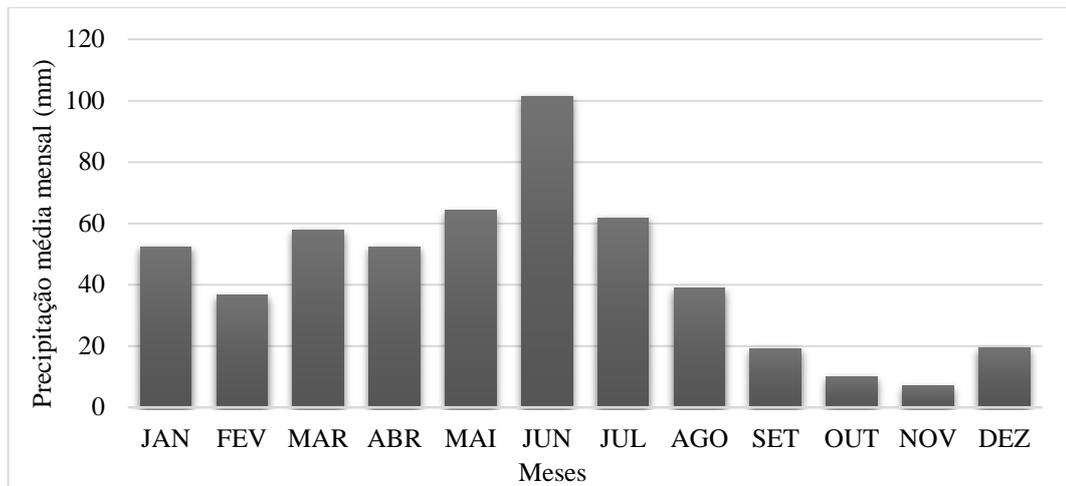
Fonte: A Autora (2017).

4.1.2 Alternativa 2 - captação de água de chuva

a) Objetivo ambiental (redução de consumo)

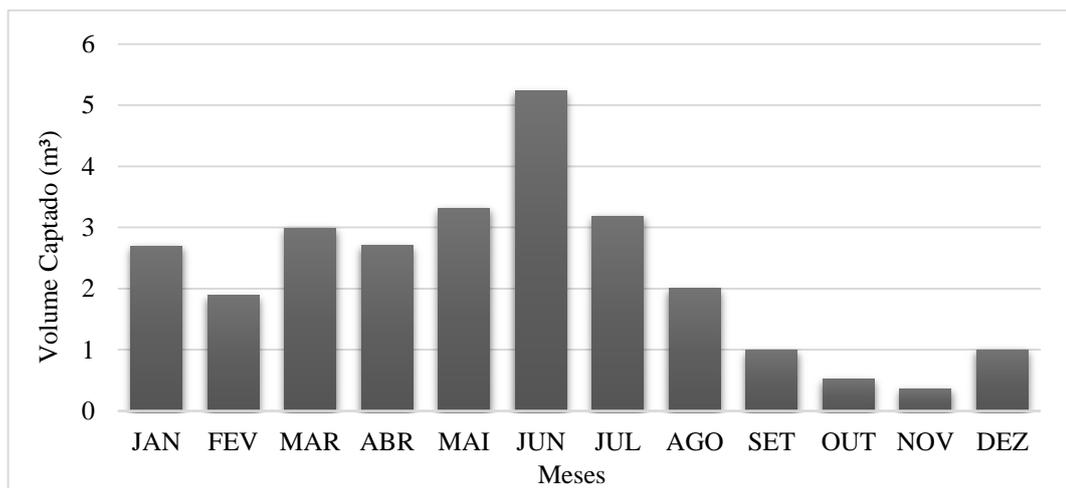
A Figura 6 representa a média de precipitação mensal na região de estudo (posto 835106, ano 2016). O potencial de reservação mensal do sistema de captação de água de chuva, mostrado na Figura 7, foi obtido por meio da Equação 1, considerando: (1) coeficiente de *Runoff* para telhas igual a 0,95; (2) correção de desvio devido ao dispositivo de descarte de 0,89; e (3) telhado com área de 61 m².

Figura 6 - Precipitação média mensal em Caruaru-PE em 2016



Fonte: A Autora (2017).

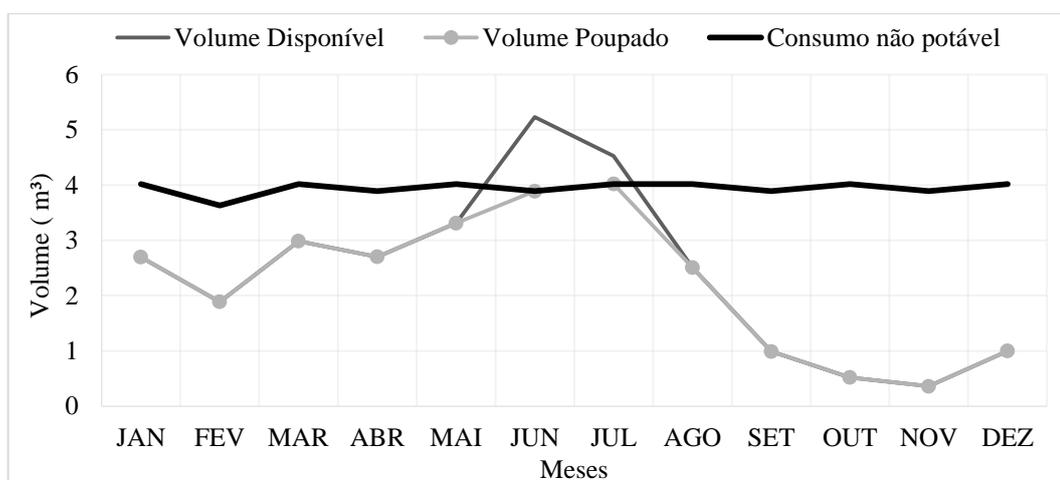
Figura 7 - Potencial de reservação mensal do sistema de captação de água de chuva em 2016



Fonte: A Autora (2017).

Sabendo-se as médias mensais de precipitação, o volume poupado pelo sistema (Figura 8) foi estabelecido pela relação entre o menor volume disponível no reservatório e o consumo não potável para bacias sanitárias (27,7% do consumo total). Pode-se observar que o sistema resulta em uma economia limitada devido à escassez de chuva (baixo índice pluviométrico), suprimindo a necessidade do volume de água requerido pela bacia sanitária apenas nos meses de junho e julho, o que representa um percentual de redução de consumo de 15,73%, equivalente a uma economia anual de 26,88 m³ de 170,82 m³ para o padrão de consumo adotado.

Figura 8 - Volume disponível em reserva e volume não potável requerido em 2016



Fonte: A Autora (2017).

b) Objetivo econômico (retorno de investimento)

A Tabela 7 revela a economia mensal com a implantação do sistema de acordo com os valores cobrados pela COMPESA (Tabela 3), enquanto os custos para a implantação do sistema são expostos na Fonte: A Autora (2017).

Tabela 8 e explanados no Apêndice B. Desse modo, o tempo de retorno do investimento é de 20 anos para um custo de implantação de R\$ 2.116,26 e uma economia anual de R\$ 105,75.

Tabela 7 - Economia mensal proporcionada pelo sistema de captação de água de chuva em 2016

Mês	Consumo (m³)	Conta (R\$)	Consumo após captação (m³)	Conta (R\$)	Economia consumo (m³)	Economia mensal (R\$)
Jan	14,51	109,73	11,81	87,34	2,70	22,39
Fev	13,10	98,08	11,21	82,36	1,89	15,72
Mar	14,51	109,73	11,52	84,94	2,99	24,79
Abr	14,04	105,85	11,34	83,44	2,70	22,41
Mai	14,51	109,73	11,20	82,28	3,31	27,45
Jun	14,04	105,85	10,15	73,57	3,89	32,28
Jul	14,51	109,73	10,49	76,39	4,02	33,34
Ago	14,51	109,73	12,00	88,92	2,51	20,81
Set	14,04	105,85	13,05	97,63	0,99	8,22
Out	14,51	109,73	13,99	105,43	0,52	4,30
Nov	14,04	105,85	13,68	102,86	0,36	2,99
Dez	14,51	109,73	13,51	101,45	1,00	8,28
Anual	170,82	1289,59	143,95	1183,84	26,88	105,75

Fonte: A Autora (2017).

Tabela 8 - Custo de implantação do sistema de captação de água da chuva

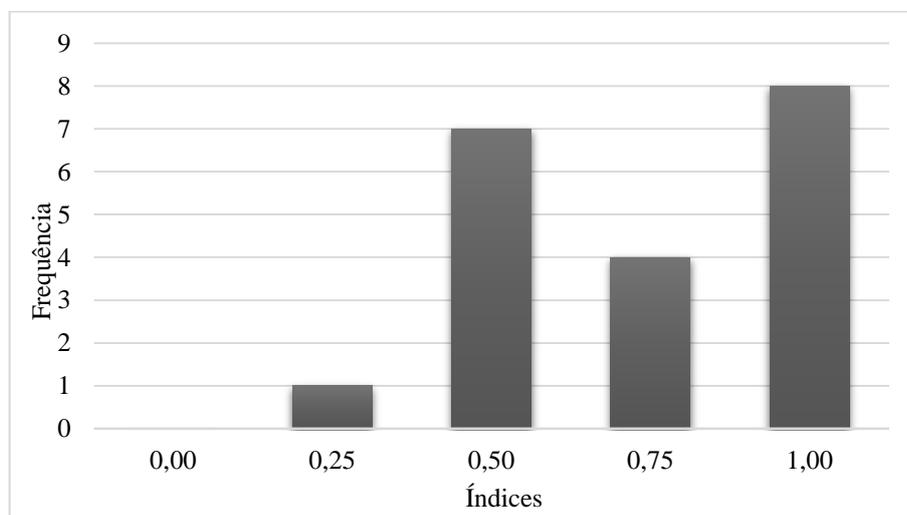
Componente	Preço (R\$)
Captação	419,84
DesviUFPE	248,76
Reservatório inferior + Bombeamento	940,64
Reservatório superior + Distribuição	352,36
Mão de obra	154,66
Total	2.116,26

Fonte: A Autora (2017).

c) Objetivo social (aceitabilidade geral)

A Figura 9 apresenta um histograma para os índices obtidos em cada uma das 20 entrevistas levantadas. Com a aplicação do questionário aos moradores da região, foi possível estabelecer uma ordem de preferência entre as alternativas, de modo que o índice de aceitabilidade geral obtido para captação de água de chuva foi de 0,77.

Figura 9 - Histograma para respostas das entrevistas sobre captação de água de chuva



Fonte: A Autora (2017)

d) Objetivo Técnico (Facilidade de Implantação)

Para implantação do sistema de captação de água de chuva é necessário emprego de mão de obra especializada bem como a realização de alterações na edificação (espaço para reservatórios, passagem de tubulações) o que não torna o processo tão simples, demandando tempo. O Quadro 11 estabelece os parâmetros para o cálculo da facilidade de implantação.

Quadro 11 - Facilidade de implantação do sistema de captação de água de chuva

Especificação	Regra	Sub-índice
Necessidade de mão de obra	Necessita	0,00
Alterações na edificação	Necessita	0,00
Tempo de implantação	> 1 dia e < 1 sem	0,25
Facilidade de implantação		0,25

Fonte: A Autora (2017).

e) Desempenho da alternativa 2

O Quadro 12 expressa o desempenho da alternativa “captação de água de chuva” para cada objetivo.

Quadro 12 - Resumo dos parâmetros para o sistema de captação de água de chuva

Objetivos	Crítérios	Captação de Água de Chuva
Ambiental	Redução do consumo	15,73%
Econômico	Tempo de retorno	20 anos
Social	Aceitabilidade geral	0,77
Técnico	Facilidade de implantação	0,25

Fonte: A Autora (2017).

4.1.3 Alternativa 3 - reuso de águas cinzas

a) Objetivo ambiental (redução de consumo)

Embora o volume de água disponível para reuso seja de 38,20% (soma das águas do chuveiro e da máquina de lavar roupa), a redução de consumo é representada pelo percentual de volume utilizado nas bacias sanitárias, que é de 27,7%.

b) Objetivo econômico (retorno de investimento)

A Tabela 9 destaca os custos de implantação do projeto de reuso explanados no Apêndice C. A Tabela 10 revela a economia mensal com a implantação do sistema de reuso de águas cinzas de acordo com os valores cobrados pela COMPESA. Visto que a implantação do sistema de reuso de águas cinzas em bacia sanitária gera uma economia de 27,7% no volume de água consumido, em uma situação convencional de consumo (170,82 m³/ano –

R\$ 1289,59), esse percentual representa uma economia anual equivalente a R\$ 388,27, com tempo de retorno do investimento de 9 anos e 1 mês.

Tabela 9 - Custo de implantação do sistema de reuso de águas cinzas

Componente	Preço (R\$)
Captação	214,00
Tratamento	1.126,40
Bombeamento	1.018,52
Distribuição	152,36
Mão de obra	1.018,60
Total	3.529,88

Fonte: A Autora (2017).

Tabela 10 - Economia mensal proporcionada pelo sistema de reuso de águas cinzas

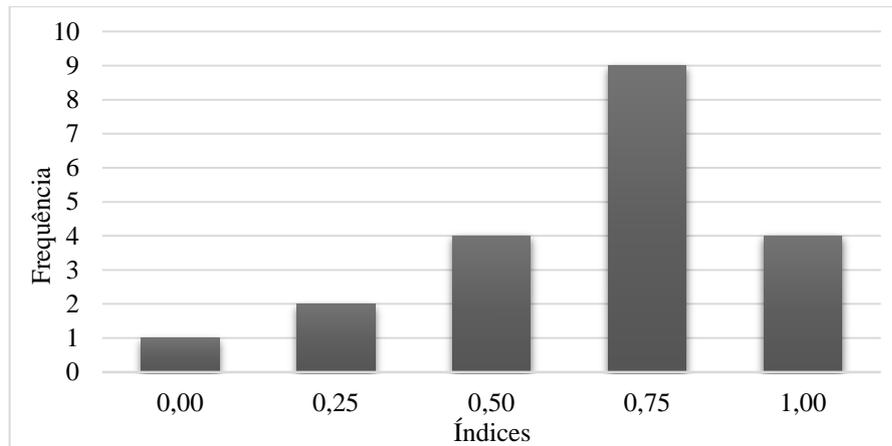
Mês	Consumo (m³)	Conta (R\$)	Consumo após implantação (m³)	Conta (R\$)	Economia consumo (m³)	Economia mensal (R\$)
Jan	14,51	109,73	10,49	76,38	4,02	33,35
Fev	13,10	98,08	9,47	72,32	3,63	25,76
Mar	14,51	109,73	10,49	76,38	4,02	33,35
Abr	14,04	105,85	10,15	73,58	3,89	32,27
Mai	14,51	109,73	10,49	76,38	4,02	33,35
Jun	14,04	105,85	10,15	73,58	3,89	32,27
Jul	14,51	109,73	10,49	76,38	4,02	33,35
Ago	14,51	109,73	10,49	76,38	4,02	33,35
Set	14,04	105,85	10,15	73,58	3,89	32,27
Out	14,51	109,73	10,49	76,38	4,02	33,35
Nov	14,04	105,85	10,15	73,58	3,89	32,27
Dez	14,51	109,73	10,49	76,38	4,02	33,35
Anual	170,82	1289,59	123,50	901,32	47,33	388,27

Fonte: A Autora (2017).

c) Objetivo social (aceitabilidade geral)

A Figura 10 expressa um histograma para os índices obtidos em cada uma das 20 entrevistas levantadas. Foi possível estabelecer uma ordem de preferência entre as alternativas com a aplicação do questionário aos moradores da região, de modo que o índice de aceitabilidade geral para reuso de águas cinzas foi de 0,74.

Figura 10 - Histograma para respostas das entrevistas sobre reuso de águas cinzas



Fonte: A Autora (2017).

d) Objetivo técnico (facilidade de implantação)

A implantação do sistema de reuso de águas cinzas é a mais complexa, sendo necessário o emprego de mão de obra especializada e a realização de alterações na edificação, o que demanda tempo maior que uma semana para finalização das intervenções. O Quadro 13 informa os parâmetros para o cálculo da facilidade de implantação do sistema.

Quadro 13 - Facilidade de implantação do sistema de reuso de águas cinzas

Especificação	Regra	Sub-índice
Necessidade de mão de obra	Necessita	0,00
Alterações na edificação	Necessita	0,00
Tempo de implantação	> 1 sem	0,00
Facilidade de implantação		0,00

Fonte: A Autora (2017).

e) Desempenho da alternativa 3

O Quadro 14 indica o desempenho da alternativa para cada objetivo.

Quadro 14 - Resumo dos parâmetros para o sistema de reuso de águas cinzas

Objetivos	Critérios	Reuso de Águas Cinzas
Ambiental	Redução do consumo	27,70%
Econômico	Tempo de retorno	9 anos e 1 mês
Social	Aceitabilidade geral	0,74
Técnico	Facilidade de implantação	0,00

Fonte: A Autora (2017).

4.1.4 Alternativa 4 - equipamentos economizadores + captação de água de chuva

a) Objetivo ambiental (redução de consumo)

A utilização de bacias sanitárias com duplo acionamento reduz em 40% o consumo de água neste equipamento, desse modo, o volume de água reservada pelo sistema de captação de água de chuva pode se tornar mais eficiente e chegar a suprir a necessidade de consumo que passa a ser 11,08%. O volume poupado pela alternativa 4 é de 44,84%, que corresponde à economia de 29,11% proporcionada pelos equipamentos economizadores (ver Tabela 5) e 15,73% pela água da chuva. Neste caso, observa-se que a água proveniente da chuva é suficiente para abastecer totalmente a bacia com duplo acionamento em 11 meses.

b) Objetivo econômico (retorno de investimento)

O custo de implantação é representado pela soma dos custos isolados de cada alternativa (equipamentos economizadores + captação de água de chuva) equivalente a R\$ 2631,26. A Tabela 11 explicita a economia mensal com a implantação do sistema. Assim é previsto que a implantação do sistema proporcione uma economia anual de R\$ 421,75, com tempo de retorno do investimento de 6 anos e 3 meses.

Tabela 11 - Economia mensal proporcionada pela alternativa 4

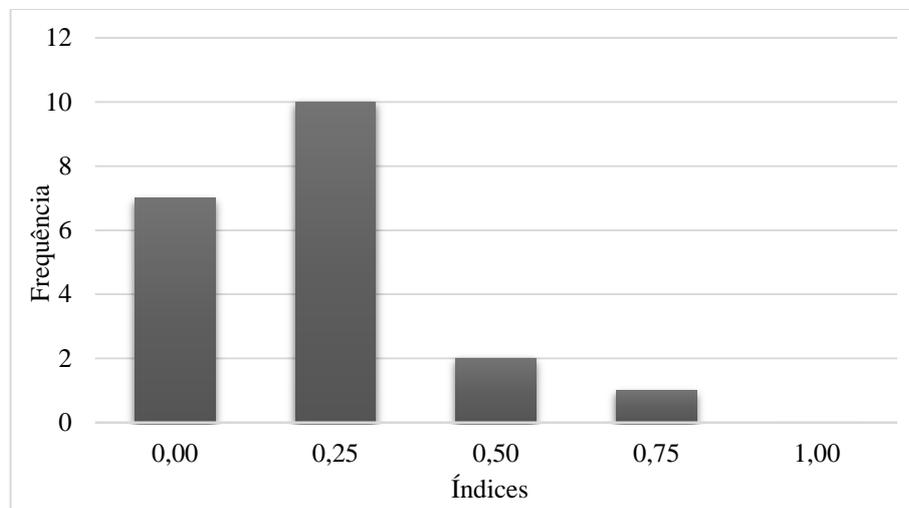
Mês	Consumo (m ³)	Conta (R\$)	Economia		Consumo após implantação (m ³)	Conta após implantação (R\$)	Economia Total	
			Equipamentos (m ³)	Captação de Água de Chuva (m ³)			Consumo (m ³)	Conta (R\$)
Jan	14,51	109,73	4,22	2,41	7,87	72,32	6,64	37,41
Fev	13,10	98,08	3,81	2,18	7,11	72,32	5,99	25,76
Mar	14,51	109,73	4,22	2,41	7,87	72,32	6,64	37,41
Abr	14,04	105,85	4,09	2,33	7,62	72,32	6,42	33,53
Mai	14,51	109,73	4,22	2,41	7,87	72,32	6,64	37,41
Jun	14,04	105,85	4,09	2,33	7,62	72,32	6,42	33,53
Jul	14,51	109,73	4,22	2,41	7,87	72,32	6,64	37,41
Ago	14,51	109,73	4,22	2,41	7,87	72,32	6,64	37,41
Set	14,04	105,85	4,09	2,33	7,62	72,32	6,42	33,53
Out	14,51	109,73	4,22	2,41	7,88	72,32	6,63	37,41
Nov	14,04	105,85	4,09	2,23	7,72	72,32	6,32	33,53
Dez	14,51	109,73	4,22	1,00	9,29	72,32	5,22	37,41
Anual	170,83	1.289,59	49,73	26,88	94,23	867,84	76,60	421,75

Fonte: A Autora (2017).

c) Objetivo social (aceitabilidade geral)

A Figura 11 revela um histograma para os índices obtidos em cada uma das 20 entrevistas levantadas. Por meio do questionário aplicado aos moradores da região, foi possível estabelecer uma ordem de preferência entre as alternativas, de modo que o índice de aceitabilidade geral da alternativa 4 “equipamentos economizadores + captação de água de chuva” foi de 0,62.

Figura 11- Histograma para respostas das entrevistas sobre equipamentos economizadores + captação de água de chuva



Fonte: A Autora (2017).

d) Objetivo técnico (facilidade de implantação)

Para as alternativas associadas utiliza-se o menor valor do índice de facilidade de implantação, neste caso, o da captação de água de chuva, que é a igual a 0,25.

e) Desempenho da alternativa 4

O Quadro 15 aponta o desempenho da alternativa “equipamentos economizadores + captação de água de chuva” para cada objetivo.

Quadro 15 - Resumo dos parâmetros para a alternativa 4

Objetivos	Crítérios	Equipamentos + Captação
Ambiental	Redução do consumo	44,84 %
Econômico	Tempo de retorno	6 anos e 3 meses
Social	Aceitabilidade geral	0,62
Técnico	Facilidade de implantação	0,25

Fonte: A Autora (2017).

4.1.5 Alternativa 5 - equipamentos economizadores + reuso de águas cinzas

O sistema de reuso é capaz de abastecer todo o volume de água requerido pela bacia sanitária, por isso os equipamentos economizadores considerados para uso conjunto foram apenas chuveiro e torneiras. Desse modo, temos:

a) Objetivo ambiental (redução de consumo)

A redução de consumo é dada pela soma dos percentuais dos sistemas isolados, o que representa um total de 45,73%, sendo:

- 18,03% – equipamentos economizadores (chuveiros + torneiras);
- 27,7% – reuso de águas cinzas.

b) Objetivo econômico (retorno de investimento)

A associação das alternativas reduz o consumo convencional de 170,82 m³/ano para 78,13 m³/ano. Desse modo, o valor cobrado mensalmente pela concessionária passa ser a taxa mínima igual a R\$ 72,32 (Tabela 12), o que resultaria em uma economia anual de R\$ 421,75. O custo de implantação do sistema é dado pela soma dos custos das alternativas isoladas, neste caso, igual a R\$ 4.044,88. Assim, o tempo de retorno do investimento é de 9 anos e 7 meses.

Tabela 12 - Economia mensal proporcionada pela alternativa 5

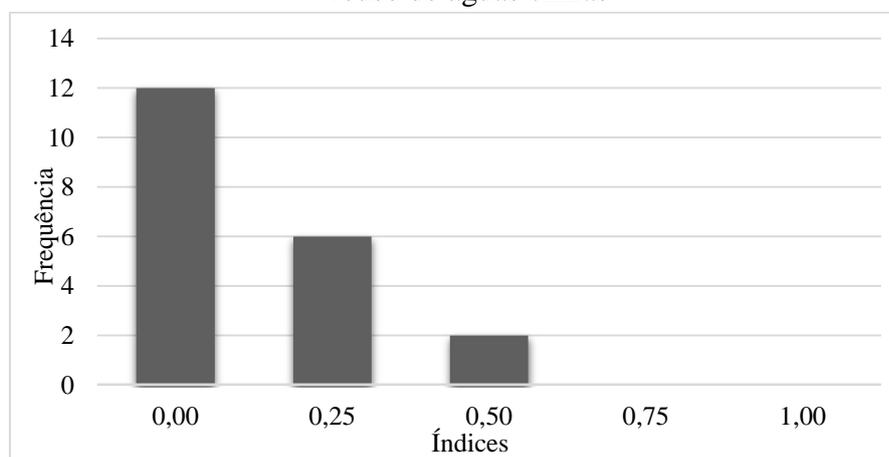
Mês	Consumo (m ³)	Conta (R\$)	Consumo após implantação (m ³)	Conta (R\$)	Economia consumo (m ³)	Economia mensal (R\$)
Jan	14,51	109,73	7,87	72,32	6,64	37,41
Fev	13,10	98,08	7,11	72,32	5,99	25,76
Mar	14,51	109,73	7,87	72,32	6,64	37,41
Abr	14,04	105,85	7,62	72,32	6,42	33,53
Mai	14,51	109,73	7,87	72,32	6,64	37,41
Jun	14,04	105,85	7,62	72,32	6,42	33,53
Jul	14,51	109,73	7,87	72,32	6,64	37,41
Ago	14,51	109,73	7,87	72,32	6,64	37,41
Set	14,04	105,85	7,62	72,32	6,42	33,53
Out	14,51	109,73	7,87	72,32	6,64	37,41
Nov	14,04	105,85	7,62	72,32	6,42	33,53
Dez	14,51	109,73	7,87	72,32	6,64	37,41
Anual	170,82	1289,59	92,71	867,84	78,13	421,75

Fonte: A Autora (2017).

c) Objetivo social (aceitabilidade geral)

A Figura 12 apresenta um histograma para os índices obtidos em cada uma das 20 entrevistas levantadas. Foi possível estabelecer uma ordem de preferência entre as alternativas com a aplicação do questionário aos moradores da região, neste caso, o índice de aceitabilidade geral da Alternativa 5 “equipamentos economizadores + reuso de águas cinzas” foi equivalente a 0,40.

Figura 12 - Histograma das entrevistas sobre equipamentos economizadores + reuso de águas cinzas



Fonte: A Autora (2017).

d) Objetivo técnico (facilidade de implantação)

De forma semelhante à análise realizada para a alternativa 4, utiliza-se o valor da alternativa que contém a menor facilidade de implantação. Nesse caso, o índice da alternativa 5 é igual ao do sistema de reuso empregado isoladamente (0,0).

e) Desempenho da alternativa 5

O Quadro 16 denota o desempenho da alternativa “equipamentos economizadores + reuso de águas cinzas” para cada objetivo.

Quadro 16 - Resumo dos parâmetros para a alternativa 5

Objetivos	Critérios	Equipamentos + Reuso
Ambiental	Redução do consumo	45,73%
Econômico	Tempo de Retorno	9 anos e 7 meses
Social	Aceitabilidade geral	0,40
Técnico	Facilidade de implantação	0,00

Fonte: A Autora (2017).

4.2 Desempenho geral

Os dados referentes ao desempenho de cada alternativa foram organizados de modo a formar a matriz de desempenho geral do método PROMETHEE. Os resultados encontram-se expostos de forma compacta no Quadro 17.

Quadro 17 - Matriz de desempenho geral

Alternativas	Ambiental	Econômico	Técnico	Social
	Redução do consumo	Tempo de retorno	Facilidade de implantação	Aceitabilidade geral
Equipamentos economizadores	29,11%	1,27	1,00	0,78
Captação de água da chuva	15,73%	20,01	0,25	0,77
Reuso de águas cinzas	27,70%	9,09	0,00	0,74
Equipamentos + Captação	44,84%	6,24	0,25	0,62
Equipamentos + Reuso	45,73%	9,59	0,00	0,40

Fonte: A Autora (2017).

4.3 Método PROMETHEE

Analisando os dados coletados foram escolhidos os valores do parâmetro p (limiar de preferência) para os objetivos conforme o Quadro 18. O parâmetro “ p ” da função tipo III - limiar de preferência - representa o menor valor para a função acima do qual existe uma preferência estrita. Os fluxos positivos, negativos e líquidos foram calculados para cada alternativa e estão descritos na Tabela 13.

A Tabela 14 demonstra o resultado final da análise multicritério por meio do método PROMETHEE II, hierarquizando as alternativas de gerenciamento de demanda de água para a região estudada, de acordo com o valor dos fluxos líquidos.

Quadro 18 - Tipo de função preferência e parâmetros p e q para cada critério

Objetivos	Critérios		Função	Parâmetro p
Ambiental	C1	Redução de consumo	III - Limiar de Preferência	5%
Econômico	C2	Retorno de investimento	III - Limiar de Preferência	2 anos
Técnico	C3	Facilidade de implantação	I - Usual	-
Social	C4	Aceitabilidade geral	III - Limiar de Preferência	0,2

Fonte: A Autora (2017).

Tabela 13 - Fluxo de sobreclassificação positivo, negativo e líquido

Alternativa	$\Phi+$	$\Phi-$	$(\Phi+) - (\Phi-)$
A1 Equipamentos economizadores	0,6657	0,1850	0,4807
A2 Captação de água de chuva	0,1708	0,6971	-0,5264
A3 Reuso de águas cinzas	0,2480	0,5010	-0,2530
A4 Equipamentos + Captação	0,6200	0,2228	0,3972
A5 Equipamentos + Reuso	0,3640	0,4625	-0,0985

Fonte: A Autora (2017).

As alternativas “equipamentos economizadores” e “equipamentos + captação” apresentaram os melhores resultados, com fluxos líquidos de sobreclassificação prioritários. Considerando que a região em estudo sofre uma severa escassez hídrica, a alternativa “equipamentos economizadores + captação de água de chuva” pode ser mais atrativa, pois essa requer um volume menor de água oriunda da concessionária.

Tabela 14 - Resultado da análise multicritério - ordem de preferência

Ranking	Alternativa		$\Phi+$	$\Phi-$	$(\Phi+) - (\Phi-)$
1	A1	Equipamentos Economizadores	0,6657	0,1850	0,4807
2	A4	Equipamentos + Captação	0,6200	0,2228	0,3972
3	A5	Equipamentos + Reuso	0,3640	0,4625	-0,0985
4	A3	Reuso de águas cinzas	0,2480	0,5010	-0,2530
5	A2	Captação de água de chuva	0,1708	0,6971	-0,5264

Fonte: A Autora (2017).

4.4 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para averiguar a robustez do método quanto às incertezas existentes no processo de atribuição dos pesos dos critérios, especialmente no que diz respeito ao grau de “importância” dos objetivos. A primeira análise considerou que todos os pesos são iguais. Os resultados encontram-se dispostos na Tabela 15.

Após a análise que considerou que todos os critérios possuem o mesmo peso, adotou-se um acréscimo 6% no peso de cada critério, redistribuindo os demais valores de modo que o somatório dos pesos se mantenha igual a um. Os cenários foram testados no PROMETHEE II e, conforme a Tabela 16, verificou-se que em todas as situações a alternativa 1 e a alternativa 4 foram as mais indicadas, o que comprova a robustez da solução.

Tabela 15 - Resultado da análise multicritério com os pesos iguais a 25%

Ranking	Alternativa		$\Phi+$	$\Phi-$	$(\Phi+) - (\Phi-)$
1	A1	Equipamentos Economizadores	0,7083	0,1250	0,5833
2	A4	Equipamentos + Captação	0,5625	0,2705	0,2920
3	A3	Reuso de águas cinzas	0,2406	0,4770	-0,2364
4	A5	Equipamentos + Reuso	0,2611	0,5781	-0,3170
5	A2	Captação de água de chuva	0,2437	0,5656	-0,3219

Fonte: A Autora (2017).

Tabela 16 - Resultado da análise multicritério com os pesos +6%

Ranking	C1 +6%		C2 +6%		C3 +6%		C4 +6%	
1	A4	0,4302	A1	0,5305	A1	0,4954	A1	0,4750
2	A1	0,4197	A4	0,4126	A4	0,4112	A4	0,3508
3	A5	-0,0096	A5	-0,1113	A5	-0,1212	A5	-0,1532
4	A3	-0,2597	A3	-0,2471	A3	-0,3137	A3	-0,2091
5	A2	-0,5806	A2	-0,5848	A2	-0,4717	A2	-0,4636

Fonte: A Autora (2017).

5 CONCLUSÕES

O estudo permitiu uma abordagem de formas atuais de gestão da demanda de água, caracterizando e identificando três alternativas tecnológicas de gerenciamento – equipamentos economizadores; captação de água de chuva; e reuso de águas cinzas – como possíveis medidas voltadas para a redução da demanda de água do setor residencial.

Essas medidas puderam ser avaliadas frente a quatro critérios pré-estabelecidos – (1) redução de consumo; (2) retorno de investimento; (3) facilidade de implantação; e (4) aceitabilidade geral – utilizando como instrumento de suporte à tomada de decisão, o método PROMETHEE II, e apresentando, ao final, o resultado que indica a alternativa “equipamentos economizadores” como medida prioritária.

Os índices de redução de consumo de água variaram de 15,73% a 45,73%, e o período de retorno de investimento com a implantação dos equipamentos economizadores foi de dezesseis meses, enquanto as demais alternativas tiveram a recuperação do capital superior a 6 anos. Tais resultados, do ponto de vista econômico, evidenciam a necessidade de políticas governamentais que ofereçam incentivos financeiros à população, de modo a impedir que as condições socioeconômicas da região sejam o principal entrave para a adoção de práticas de conservação dos recursos hídricos.

Deve-se salientar que este resultado considerou o grau de aceitabilidade de cada alternativa perante a população local, que demonstrou, nas entrevistas, ter informação sobre os problemas relacionados ao uso da água. Ressalta-se também que os custos relativos à implantação de cada alternativa podem ser minimizados, visto que a maioria das residências já possui reservatórios, sendo necessário apenas ajustes nas instalações.

Outro ponto importante, refere-se à modelagem do processo de decisão. Segundo as entrevistas realizadas com especialistas (decisores), os critérios ambiental e econômico são mais relevantes. Desse modo, as alternativas com melhores índices nesses critérios, apresentaram, conseqüentemente, melhor classificação. Destaca-se que o estudo não possui como objetivo “condenar” as demais alternativas, mas sim indicar a que seria mais recomendada para as condições preestabelecidas.

Por fim, considera-se que os objetivos do trabalho foram atingidos e a metodologia de análise multicritério se revelou como um método estruturado capaz de auxiliar satisfatoriamente no processo de decisão, particularmente, em relação à gestão da demanda de água em meio urbano.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5426:1985. **Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por atributos.** Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5427:1985. **Guia para a utilização da norma NBR 5426 - Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por atributos.** Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5626:1998. **Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844:1989. **Instalações prediais de águas pluviais.** Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969:1997. **Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8160:1999. **Sistemas prediais de esgoto sanitário-projeto e execução.** Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527:2007. **Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.** Rio de Janeiro
- AL-ANSARI, N., IBRAHIM, N., ALSAMAN, M., & KNUTSSON, S. 2014. **Water demand management in Jordan.** *Engineering*, 6(1), 19-26.
- ALBUQUERQUE, T. M. A. 2004. **Seleção Multicritério de Alternativas para o Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de Bairro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- ALMEIDA, A. T. 2013. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**, 1a Edição. São Paulo: Editora Atlas.
- ALVES, F.; KOCHLING, T.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. 2014. **Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil.** *Journal of Water and Health*, v. 12, n. 3, p. 513- 525.
- ANDRADE, J.A.; NUNES, M.A. 2014. **Water access in Brazilian Semi-Arid: an analysis of regional public policies.** *Revista Espinhaço (UFVJM)*, v. 3, n. 2, 2014.
- ARARAL, E.; WANG, Y. 2013. **Water demand management: review of literature and comparison in South-East Asia.** *International Journal of Water Resources Development*, 29(3), 434-450.

- ARAÚJO, J. C. 2012. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. In. Recursos hídricos em regiões semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 258 p.
- ARAÚJO, D.C.; SILVA, P.O.; CURI, W.F.; CABRAL, J.J.S.P. 2017. **Multicriteria analysis applied to the management of urban pluvial waters**. Brazilian Journal of Water Resources, v. 22.
- ASTUDILLO, D.A.P.; PUERTO, L.J.C.; DURAN, E.A.V. 2015. **Study of Alternatives for the Use and Reuse of Domestic Water**. Epsilon.
- BANA E COSTA, C. A; VANSNICK, J. C. **MACBETH - An interactive path towards the construction of cardinal value functions**. International transactions in operational Research, v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994
- BANA E COSTA, C. A. 1988. **Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão**. Investigação Operacional, v. 8, n. 1, p. 117-139.
- BARROS, M.B.; RUFINO, I.A.A.; MIRANDA, L.I.B. 2016. **Mecanismos poupadores de água como suporte ao planejamento urbano**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 1, p. 251-262.
- BATISTA, F.G. A.; QUEIROZ, F. R. P.; OLIVEIRA, D. S. 2014. **Percepção socioambiental do reuso das águas residuárias em condomínios verticais da cidade de Campina Grande – PB**. Revista HOLOS, Ano 30, v. 6.
- BEHZADIAN, M. KAZEMZADEH, R. B. ALBADVI, A. AGHDASI, M. 2010. **PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications**. European Journal of Operational Research 200 (2010) p. 198-215.
- BELTON, V. & STEWART, T. 2002. **Multiple Criteria Decision Analysis: an integrate approach**. 1 ed. Springer, p. 35-77.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. 2004. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- BERNIER, R.T.; SANTOS, C.V.; SEVERO, E.A.; GUIMARÃES, J.C.F. 2014. **Dispositivo de Captação e Filtragem para o Reuso da Água da Chuva: A Percepção da Aplicação em Residências no Sul do Brasil**. Espacios, v. 35, n. 12.
- BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JUNIOR, G. A. 2010. **Instalações Hidráulicas Prediais usando Tubos de PVC e PPR**. 3. ed. São Paulo Blucher.
- BOUZIOTAS, D.; ROZOS, E.; MAKROPOULOS, C. 2015. **Water and the city: exploring links between urban growth and water demand management**. Journal of Hydroinformatics, 17(2), 176-192.
- BRANS, J.P. 1982. **L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision. Méthode PROMETHEE**. Em: Nadeau, R., Landry, M. (Eds.), L'aide a la Décision: Nature, Instruments et Perspectives d'avenir. Presses de l'Université Laval, Québec, Canada, p. 183-214.

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

BRANS, J. P. MARESCHAL. B. 1994. **The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid**. Decision Support Systems. p. 297-310.

BRANS, J.P. & MARESCHAL, B. 2002. **Promethee-Gaia, une Methodologie d'Aide la Décision em Présence de Critères Multiples**. Éditions Ellipses, Bruxelles.

BROOKS, D. B. 2006. **An Operational Definition of Water Demand Management**, Water Resources, v. 22, n. 4, p. 521–528.

CAMBRAINHA, G. M. G. 2015. **Modelo para decisões estratégicas em abastecimento de água no agreste de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru.

CARLI, L.N.; CONTO, S.M.; BEAL, L.L.; PESSIN, N. 2013. **Rational Water use at Universities – University of Caxias do Sul Case Study**. Journal of Environmental Management & Sustainability, v. 2, n. 1, p. 143-165.

CASTRO, C. N. D. 2012. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira**. IPEA.

CERQUEIRA, L. S.; FADUL, É.; VITÓRIA, F. T.; MORAIS, J. L. M. D. 2016. **Produção científica em gestão de recursos hídricos no brasil no período de 2002 a 2011: uma análise da sua contribuição para o setor**. Gestão & Planejamento-G&P, 17(2).

COMPESA - **Companhia Pernambucana de Saneamento**. 2017. Disponível em: <<http://servicos.compesa.com.br/>>. Acesso em 28 Abr 2017.

CONDEPE/FIDEM . 2012. **Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Base de Dados do Estado**. Perfil dos Municípios.

COSGROVE, C. E.; COSGROVE, W. J. 2012. **The United Nations World Water Development Report–Nº 4–The Dynamics of Global Water Futures: Driving Forces 2011–2050**. UNESCO.

CREDER, H. 2006. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro. LTC.

CRUZ, W.M.C.; BLANCO, J.C. 2017. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis residenciais em Rio Branco – AC**. Exatas & Engenharia, v. 7, n. 17, 2017.

CUBA, R.M.F.; MANZANO, D.P. 2014. **Technical and economical assessment of gray water reuse in toilet flush**. Colloquium Exactarum, v. 6, n. 3.

DANTAS, D. L.; SALES, A. W. C. 2009. **Aspectos ambientais, sociais e jurídicos do reuso de água**. RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental. v. 3, n. 3, p. 04-19.

DARBANDSARI, P., KERACHIAN, R., & MALAKPOUR-ESTALAKI, S. 2017. **An Agent-based behavioral simulation model for residential water demand management: The case-study of Tehran, Iran**. Simulation Modelling Practice and Theory, 78, p. 51-72.

DIAS, T.H.; VALENÇA, D.A.; ARAÚJO, I.T.; GOMES, R.C.A.; MAIA, R.M. 2016. **Water Resources Management Coexistence and Conflict in Semiarid Brazil**. *Desenvolvimento em Questão*, v. 14, n. 34, p. 91-126.

EDWARDS, W. & BARRON, F. H. 1994. **SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement**. *Organizational Behavior and Human Decision Process*. 60: 306-325.

EGITO, T. B.; FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. 2015. **Seleção de alternativas de conservação de água no meio urbano utilizando abordagem multicritério**. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v. 19, n. 3, p. 209-221.

FARIA, A. S.; KIPERSTOK, A.; MEDEIROS, Y. D. P.; BERETTA, M. 2010. **Aproximação dos Conceitos de Gestão de Recursos Hídricos e Produção Limpa, Utilizando a Abordagem Gestão de Demanda**. In: *Anais do I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental – I COBESA*. Salvador, Bahia.

FERRAZ, M.F.A.; SILVA, E.M. 2015. **Estudo de Viabilidade de um Sistema de Tratamento para Reutilização de Água em Finalidades Domiciliares Diversas**. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v. 19, n. 3, p. 702-712.

FIELDING, K. S.; SPINKS, A.; RUSSELL, S.; MCCREA, R.; STEWART, R.; GARDNER, J. 2013. **An experimental test of voluntary strategies to promote urban water demand management**. *Journal of environmental management*. 114, 343-351.

FIGUEIRA, J., DE SMET, Y., BRANS, J.P. 2004. **MCDA methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and Promethee CLUSTER**, Université Libre de Bruxelles. Service de Mathématiques de la Gestion, Working Paper, v. 2.

FONTANA, M.E.; MORAIS, D.C. 2013. **Using Promethee V to Select Alternatives so as to Rehabilitate Water Supply Network with Detected Leaks**. *Water Resources Management*, v. 27, n. 11, p. 4021-4037.

GAO, H.; WEI, T.; LOU, I.; YANG, Z.; SHEN, Z.; LI, Y. 2014. **Water saving effect on integrated water resource management**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 93, p. 50-58.

GIULIANI, M.; COMINOLA, A.; ALSHAF, A.; CASTELLETTI, A.; ANDA, M. 2016. **Data-driven behavioural modelling of residential water consumption to inform water demand management strategies**. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, vol. 18, p. 12007.

GLEICK, P. H.; HEBERGER, M. 2014. **Water conflict chronology**. In *The world's water*. Island Press/Center for Resource Economics, v. 8, p. 173-219.

GNADLINGER, J. 2015. **Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: Aspectos históricos, biofísicos, técnicos, econômicos e sociopolíticos**. In: *Captação, manejo e uso de água de chuva*. Campina Grande, PB: INSA, cap. 3.

- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. 2012. **Tomada de Decisão Gerencial: o Enfoque Multicritério**. Rio de Janeiro: Atlas.
- GOULD, J. 1999. **Is Rainwater safe to drink? A review of recent findings**. In: Conferência internacional de sistemas de captação de água de chuva, 9. Petrolina. Anais. Petrolina, PE: IRCSA / ABCMAC.
- GOULD, J.; NISSEN-PETERSEN, E. 2002. **Rainwater catchment systems for domestic supply – design, construction and implementation**. London, UK: ITDG Publishing, 356p.
- GUEDES, M. J. F.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. 2014. **Alternativas de Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de uma Cidade**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 19, Nº 2, Abr/Jun 2014, P. 123-134.
- GUERRA, H. R. 2014. **Proposta de gestão de demanda de água e análise de métodos de previsão na rede hoteleira de João Pessoa e Campina Grande – Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- HAIDER, H.; ALI, W.; TESHAMARIAM, S.; SADIQ, R. 2015. **Sustainability Evaluation of Surface Water Quality Management Options in Developing Countries: Multicriteria Analysis Using Fuzzy UTASTAR Method**. Water Resources Management, v. 29, n. 8, p. 2987-3013.
- HASHEMI, H.; BAZARGAN, J.; MOUSAVI, S.M. 2013. **A Compromise Ratio Method with an Application to Water Resources Management: An Intuitionistic Fuzzy Set**. Water Resources Management, v. 27, n. 7, p. 2029-2051.
- HOBBS, B.F.; MEIER, P. 2000. **Energy Decisions and the Environment: A Guide to the Use of Multi-Criteria Methods**, by Kluwer's International Series in Operational Research and Management Science, Kluwer Academic Publishers, Boston, 272 pages.
- HOEKSTRA, A. Y. 2017. **Water footprint assessment: evolvment of a new research field**. Water Resources Management, p. 1-21.
- JANNUZZI, P.M.; MIRANDA, W.L.; SILVA, D.S.G. 2009. **Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações**. Informática Pública, v. 11, n. 1, p. 69-87.
- JUNIOR, R. M.; MARTINS, M.V. L. 2016. **Dimensionamento de filtro de areia para tratamento de água cinza do bloco novo do IRN**. Revista Brasileira de Energias Renováveis. v. 5, n. 3.
- KEENEY, R. & RAIFFA, H. 1976. **Decisions with Multiple Objectives: Preference and value Trade Off**. Wiley: New York.
- KEYSER, W.; PEETERS, P. 1996. **A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods**. European Journal of Operational Research. 89: 457-461.
- KUANG, H.; KILGOUR, D.M.; HIPEL, K.W. 2015. **Grey-based PROMETHEE II with application to evaluation of source water protection strategies**. Information Sciences, v. 294, p. 376-389.

- LIU, S.; CROSSMAN, N.D.; NOLAN, M.; GHIRMAY, H. 2013. **Bringing ecosystem services into integrated water resources management**. Journal of Environmental Management, v. 129, p. 92-102.
- LUNA, Y.H.D.M.; SANTANA, N.C.B.; JUNIOR, R.H.A.; JUNIOR, G.B.A. 2014. **Qualidade da água de chuva em João Pessoa: estudo comparativo com diversos padrões de qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais – GESTA, v. 2, n. 1, p. 53-68.
- MACHARIS, C.; BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. 1998. **The GDSS PROMETHEE Procedure**. Journal of Decision Systems, 7, p. 283-307.
- MACHIONE, E. C.; LOPES, M. A. 2015. **Análise da viabilidade econômico-ambiental da implantação de um sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais em construções de 100m² de cobertura no município de Colina-SP**. Unimontes Científica, v. 17, n. 1, p. 03-17.
- MACINTYRE, A. J. 2010. **Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro. LTC.
- MAGGIONI, E. 2015. **Water demand management in times of drought: What matters for water conservation**. Water Resources Research, 51(1), 125-139.
- MARQUES, J.; CUNHA, M.; SAVIĆ, D. 2017. **Ranking Alternatives for the Flexible Phased Design of Water Distribution Networks**. Procedia Engineering, v. 186, p. 567-575.
- MIRANDA, L.I.B.; RIBEIRO, M.M.R.; SILVA, P.H.P. 2017. **Uso de cadeia causal na análise institucional da gestão de recursos hídricos em reservatório no semiárido da Paraíba**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 4, p. 637-646.
- MORAKINYO, T.E.; HAO, S.; LAM, Y.F, AN, K.J. 2015. **Multi-purpose rainwater harvesting for water resource recovery and the cooling effect**. Water Resource, v. 86, p. 116-121.
- MUJUMDAR, P. P. 2013. Climate change: a growing challenge for water management in developing countries. **Water Resources Management**, v. 27, n. 4, p. 953-954.
- NETO, C.O.A. 2013. **Aproveitamento imediato da água de chuva**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais – GESTA, v. 1, n. 1, p. 73-86.
- NÓBREGA, J.S.; SILVA, F.A.; SILVA, M.S.; CHAVES, M.T.L.; LIRA, R.P. 2016. **Estudo da viabilidade do uso de cisternas em assentamento rural no município de Várzea-PB**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 11, n. 1, p. 23-27.
- PERNAMBUCO. 2010. **Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe (PHA-Capibaribe)**. Recife.
- PRICE, J. I.; CHERMAK, J. M.; FELARDO, J. 2014. **Low-flow appliances and household water demand: an evaluation of demand-side management policy in Albuquerque, New Mexico**. Journal of environmental management, 133, 37-44.

- RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O.; VIEIRA, Z. C.; RIBEIRO, M. R.; ALBUQUERQUE, J. T.; SOUSA, J. A. 2013. **Atribuições e Responsabilidades na Gestão dos Recursos Hídricos – O Caso do Açude Epitácio Pessoa/Boqueirão no Cariri Paraibano**. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves: ABRH.
- ROOZBAHANI, A.; ZAHRAIE, B.; TABESH, M. 2012. **PROMETHEE with Precedence Order in the Criteria (PPOC) as a New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply Management**. *Water Resources Management*, v. 26, n. 12, p. 3581-3599.
- ROUSTA, B., ARAGHINEJAD, S. 2015. **Development of a Multi Criteria Decision Making Tool for a Water Resources Decision Support System**. *Water Resources Management*, v. 29, n. 15, p. 5713-5727.
- ROY, B. 1985. **Méthodologie multicritère d'aide à la décision**. Economica, Paris.
- ROY, B.; BOYSSOU, D. 1993. **Aid Multicritère à la decision**. Paris: Ed Economica.
- SAATY, T. L. 1980. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill: New York.
- SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; MONTEIRO, L. 2014. **Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília – parte 2: viabilidade técnica e econômica**. *Paranoá*, n. 10, p. 85-94.
- SANTOS, D. C.; LOBATO, M. B.; VOLPI, N. M. P.; BORGES, L. Z. 2006. **Hierarquização de medidas de conservação de água em edificações residenciais com o auxílio da análise multicritério**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 31-47, jan./mar.
- SCARDUA, F.P.; BERNARDES, R.S.; ALMEIDA, R.L.; DUARTE, D.G. 2014. **Eficiência do uso de água em domicílios residenciais na cidade do Gama**. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 2, n. 2, p. 188-192.
- SCHOLTEN, L.; SCHUWIRTH, N.; REICHERT, P.; LIENERT, J. 2015. **Tackling uncertainty in multi-criteria decision analysis – An application to water supply infrastructure planning**. *European Journal of Operational Research*, v. 242, n. 1, p. 243-260.
- SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. 2009. **Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries**. *Water and Environment Journal*, v. 23, n. 3, p. 210-218.
- SILVA, A.P.; SILVA, C.M. 2014. **Planejamento ambiental para bacias hidrográficas: convergências e desafios na bacia do rio Capibaribe, em Pernambuco-Brasil**. *HOLOS*, Ano 30, v.1.
- SILVA, P. H. P. D., RIBEIRO, M. M. R., & MIRANDA, L. I. B. D. 2017. **Use of causal chain for an institutional analysis of water resources management in a semiarid reservoir in Paraíba**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(4), 637-646.
- SIMMONS, G. **Assessing the microbial health risks of potable water**. 1999. In: Conferência internacional de sistemas de captação de água de chuva. Petrolina. Anais. Petrolina, PE: IRCSA / ABCMAC.
- SPEED, LI Y. R.; T. LE QUESNE, G.P.; ZHIWEI, Z. 2013. **Basin Water Allocation**

Planning. Principles, procedures and approaches for basin allocation planning. UNESCO, Paris. 143p.

SPILIOTIS, M.; CARRASCO, F.M.; GARROTE, L. 2015. **A Fuzzy Multicriteria Categorization of Water Scarcity in Complex Water Resources Systems.** *Water Resources Management*, v. 29, n. 2, p. 521-539.

TESSELE, F.S. 2011. **Tratamento de efluente de reator anaeróbio de manto de lodos de fluxo ascendente (UASB) por flotação não convencional e Desinfecção ultravioleta.** Tese para obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. UFR.

TOMAZ, P. 2010. **Aproveitamento de água de chuva.** Água pague menos (Org.).

TOMAZ, P. 2001. **Economia de água para empresas e residências.** Editora Navegar. São Paulo, 112 p.

TORTAJADA, C.; JOSHI, Y. K. 2013. **Water demand management in Singapore: involving the public.** *Water resources management*, v. 27, n. 8, p. 2729-2746.

TUGOZ, J.; BERTOLINI, G. R. F.; BRANDALISE, L. T. 2017. **Captação e Aproveitamento da Água das Chuvas: O Caminho para uma Escola Sustentável.** *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - GeAS*, v. 6, n. 1, p. 26-39.

UDIAS, A.; GENTILE, A.; BUREK, P.; ROO, A.; BOURAOU, F.; VANDECASTEELE, I.; LAVALLE, C.; BIDOGLIO, G. 2016. **Multi-Criteria Framework to Assess Large Scale Water Resources Policy Measures.** *Water*, v. 8, n. 9, p. 370.

URTIGA, M.M.B.A.; FILHO, J.L.S.; GUIMARÃES, L. A.; MORAIS; D.C. 2013. **Modelo de alocação e negociação de recursos hídricos em regiões semiáridas.** XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos. Salvador, BA, Brasil.

VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.A. 2016. **Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources.** *Ecological Engineering*, v. 94, p. 255-267.

VIDAL, R. T. 2002. **Agua de lluvia, agua saludable (manual de mantenimiento del sistema de captación de agua de lluvia.** *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)* 86 GestA, v.1, n.1 – Andrade Neto, p. 073-086, 2013 – ISSN: 2317-563X). Proyecto de Apoyo a la Reforma del Sector Salud en Guatemala – APRESAL, Comisión Europea. República de Guatemala, 108p.

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

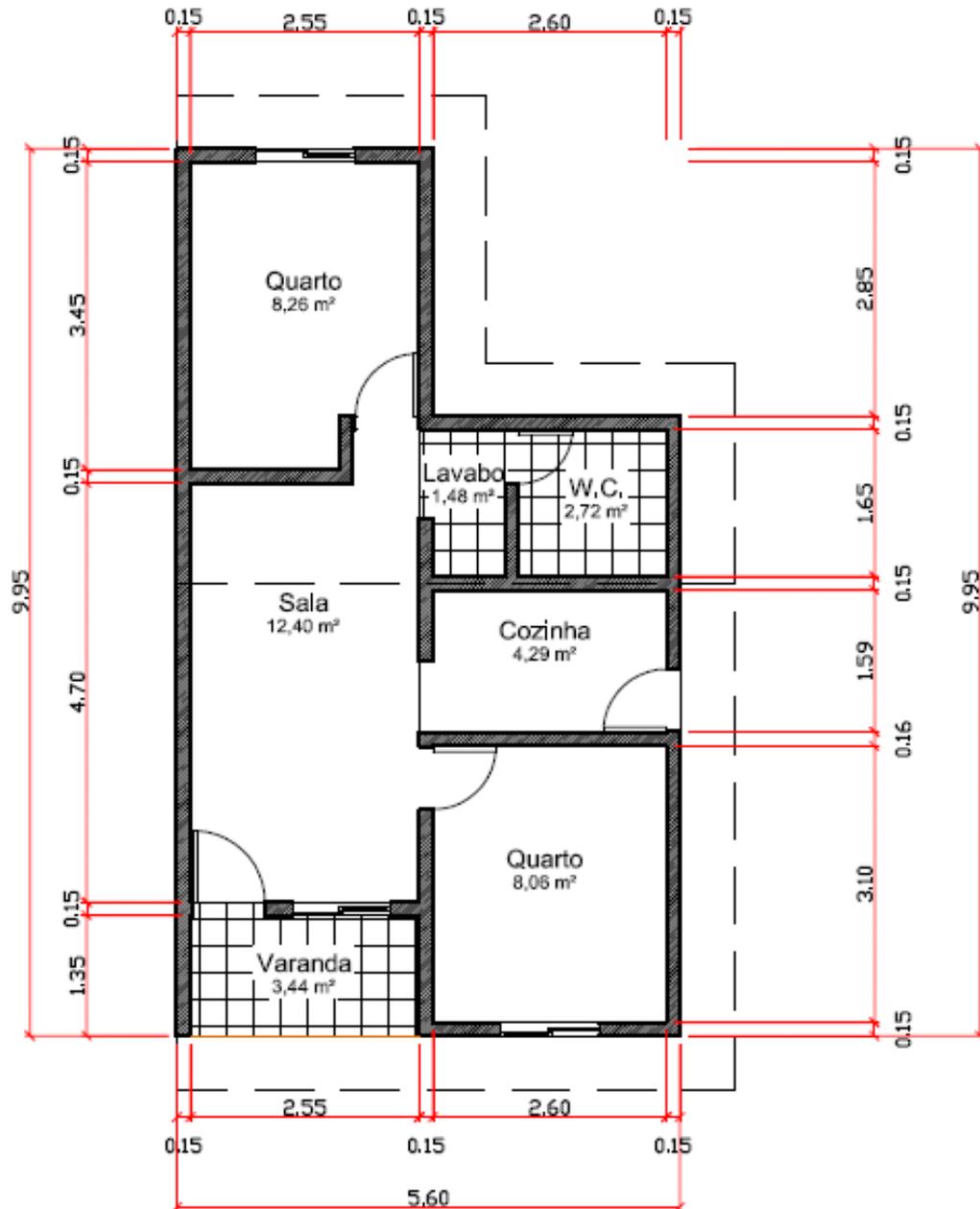
WANG, X. J.; ZHANG, J. Y.; SHAHID, S.; GUAN, E. H.; WU, Y. X.; GAO, J.; HE, R. M. 2016. **Adaptation to climate change impacts on water demand.** *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 21, n. 1, p. 81-99.

WILCOX, J.; NASIRI, F.; BELL, S.; RAHAMAN, S. 2016. **Urban water reuse: A triple bottom line assessment framework and review.** *Sustainable Cities and Society*. Vol 27, Pages 448-456, November.

XIAO, Y.; HIPEL, K. W.; FANG, L. 2016. **Incorporating water demand management into a cooperative water allocation framework.** *Water Resources Management*, 30(9), 2997-3012.

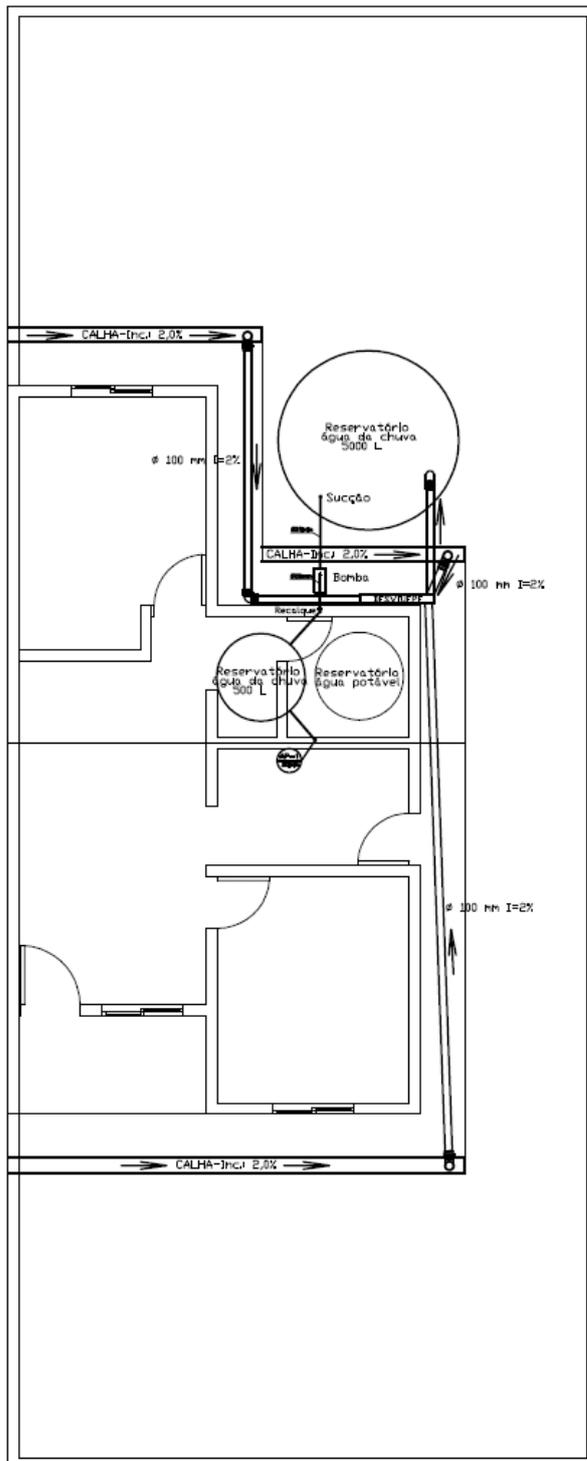
ZAYED, T.; ISMAEEL, M. 2016. **Performance Assessment Model for Water Networks. Pipelines.** July 17–20, Kansas City, Missouri.

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA PADRÃO

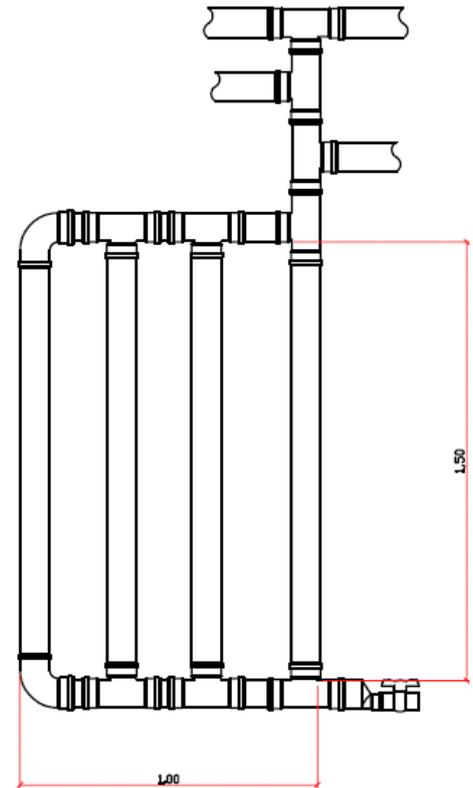


PLANTA BAIXA RESIDÊNCIA 2 QUARTOS – RESIDENCIAL CARUÁ

APÊNDICE B – PROJETO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA



SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA



DETALHE DESVIUPE

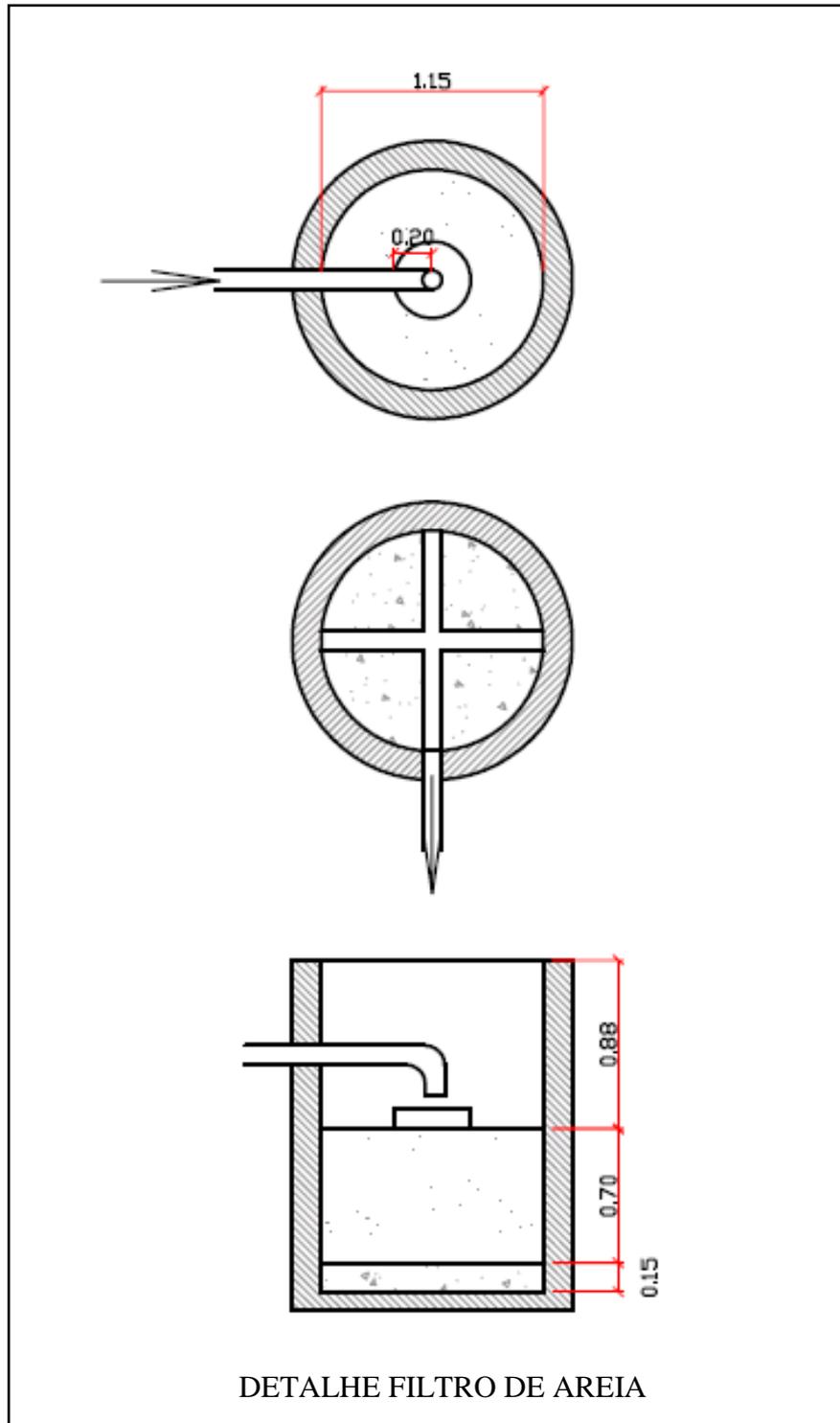
Quadro B1 - Orçamento do projeto de sistema de captação de água de chuva

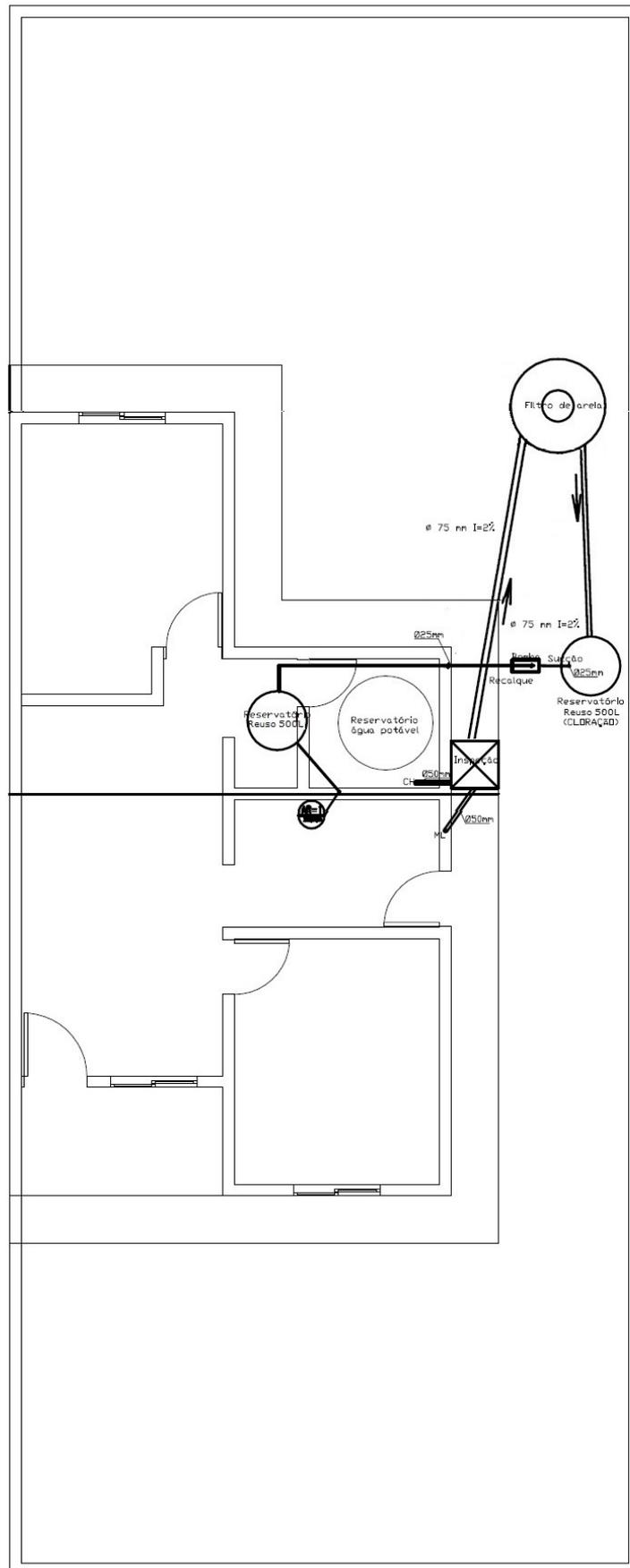
	Descrição	Qtd.	Und.	Valor Unitário	Valor Total
C	CALHA PLUVIAL DE PVC, DIAMETRO ENTRE 100 E 170 mm 3m	6	m	39,18	235,08
C	JOELHO 90 GRAUS, PVC, DN 100 MM	4	und	6,19	24,76
C	TUBO PVC, ÁGUA PLUVIAL, DN 100	1	und	40,00	40,00
D	COLA PARA PVC	2	und	2,00	6,00
D	JOELHO 90 GRAUS, PVC, DN 100 mm	4	und	6,19	24,76
D	REDUÇÃO EXCÊNTRICA, PVC, DN 100 X 50 mm	1	und	8,00	8,00
D	REGISTRO DE ESFERA, PVC, SOLDÁVEL, DN 50 mm	1	und	17,9	17,90
D	TE, PVC, SÉRIE NORMAL, DN 100 X 100 mm	9	und	16,9	152,10
D	TUBO PVC, ÁGUA PLUVIAL, DN 100mm	4	und	40,00	160,00
B	CHAVE DE BÓIA AUTOMÁTICA	2	und	71,30	142,60
B	JOELHO 90 SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	6	und	4,12	24,72
B	MOTO BOMBA BC-98 1/3 CV SCHNEIDER	1	und	379,00	379,00
B	RESERVATÓRIO POLIETILENO 500 L	1	und	200,00	200,00
B	VÁLVULA DE PÉ COM CRIVO	1	und	53,62	53,62
B	VÁLVULA DE RETENÇÃO	1	und	51,06	51,06
B	TUBO SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	6	und	14,94	89,64
D	JOELHO 90 SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	3	und	4,12	12,36
D	PONTO DE CONSUMO TERMINAL DE ÁGUA FRIA	1	und	95,18	95,18
D	RESERVATÓRIO POLIETILENO 500 L	1	und	200,00	200,00
D	TUBO SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	3	und	14,94	44,82
M	AJUDANTE DE ENCANADOR	6	h	14,21	85,26
M	ENCANADOR	4	h	17,35	69,40
S	TOTAL	-	-	-	2.116,26

VALORES BASEADOS EM CASAS COMERCIAIS E TABELAS DE INSUMOS E COMPOSIÇÕES DO SINAPI/PE – JANEIRO/2017.

ONDE: C – CAPTAÇÃO; D – DESVIUPE; B – BOMBEAMENTO; D – DISTRIBUIÇÃO; M – MÃO DE OBRA; S – SISTEMA COMPLETO.

**APÊNDICE C – PROJETO DE SISTEMA DE REUSO
DE ÁGUAS CINZAS**





SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS

Quadro C1 - Orçamento do projeto de sistema de reuso de águas cinzas

	Descrição	Qtd.	Und.	Valor Unitário	Valor Total
C	CAIXA DE INSPEÇÃO EM ALVENARIA 60X60cm	1	und	127,11	127,11
C	JOELHO 90 GRAUS, PVC, SERIE NORMAL, DN 40mm	1	und	6,10	6,10
C	JOELHO 90 GRAUS, PVC, SERIE NORMAL, DN 50mm	1	und	8,90	8,90
C	TUBO PVC, SERIE NORMAL, DN 40mm	0,5	m	10,38	5,19
C	TUBO PVC, SERIE NORMAL, DN 50mm	0,5	m	12,84	6,42
C	TUBO PVC, SERIE NORMAL, DN 75mm	2,2	m	27,40	60,28
T	CAMADA DE AREIA	1,15	m ³	90,27	103,81
T	CAMADA DE BRITA	0,25	m ³	87,13	21,78
T	JOELHO, PVC, SERIE NORMAL, DN 75 X 75 mm	1	und	18,61	18,61
T	RESERVATÓRIO 1500 L	1	und	700,00	700,00
T	RESERVATÓRIO POLIETILENO 500 L	1	und	200,00	200,00
T	TUBO, PVC, SÉRIE NORMAL, DN 75X 75 mm	3	m	27,40	82,20
B	CHAVE DE BÓIA AUTOMÁTICA	2	und	71,30	142,60
B	JOELHO 90 SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	6	und	4,12	24,72
B	MOTO BOMBA BC-98 1/3 CV SCHNEIDER	1	und	379,00	379,00
B	REGISTRO ESFERA, PVC, SOLDÁVEL, DN 25 mm	1	und	18,12	18,12
B	RESERVATÓRIO POLIETILENO 500 L	1	und	200,00	200,00
B	TUBO SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	10	und	14,94	149,94
B	VÁLVULA DE PÉ COM CRIVO	1	und	53,62	53,62
B	VÁLVULA DE RETENÇÃO	1	und	51,06	51,06
D	JOELHO 90 SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	3	und	4,12	24,72
D	TUBO SOLDÁVEL, PVC - ÁGUA FRIA PREDIAL (D 25 mm)	3	und	14,94	44,82
D	PONTO DE CONSUMO TERMINAL DE ÁGUA FRIA	1	und	95,18	95,18
M	AJUDANTE DE ENCANADOR	6	h	14,21	85,26
M	ESCAVAÇÃO MANUAL	6	m ³	143,99	863,94
M	ENCANADOR	4	h	17,35	69,40
S	TOTAL	-	-	-	3.529,88

VALORES BASEADOS EM CASAS COMERCIAIS E TABELAS DE INSUMOS E COMPOSIÇÕES DO SINAPI/PE – JANEIRO/2017
C – CAPTAÇÃO; T- TRATAMENTO; B – BOMBEAMENTO; D – DISTRIBUIÇÃO; M – MÃO DE OBRA; S – SISTEMA COMPLETO.

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO EMPREGADO NAS ENTREVISTAS

ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
GERAL	Está ciente dos problemas de abastecimento de água na cidade de Caruaru?
	Utiliza a água de maneira racional?
	Acredita que os outros usuários utilizam?

PRÁTICAS DE CONSUMO	
COZINHA	Utiliza apenas a água necessária para cozimento dos alimentos?
	Utiliza a água de cozimento de alimentos para facilitar a lavagem das louças?
	Fecha a torneira enquanto ensaboa as louças?
	Utiliza água da torneira para beber?
	Nenhuma das práticas?
	Outras práticas:

PRÁTICAS DE CONSUMO	
COZINHA	Utiliza apenas a água necessária para cozimento dos alimentos?
	Utiliza a água de cozimento de alimentos para facilitar a lavagem das louças?
	Fecha a torneira enquanto ensaboa as louças?
	Utiliza água da torneira para beber?
	Nenhuma das práticas?
	Outras práticas:

PRÁTICAS DE CONSUMO	
BANHEIRO	Fecha a torneira para escovar os dentes?
	Fecha a torneira enquanto ensaboa o corpo?
	Diminui o tempo do banho?
	Utiliza descarga na duração necessária?

	Nenhuma das práticas?	
	Outras práticas:	
	Quantas vezes aciona a válvula da bacia sanitária a cada uso? () 1 () 2 () mais de 2	
	Quantas vezes utiliza o chuveiro por dia? () 1 () 2 () mais de 2 () Raramente () Não usa. Por quê? _____	
	Qual a duração aproximada do banho? () 5 min () 10 min () 15 min () mais de 15 min	

LAVANDERIA	PRÁTICAS DE CONSUMO	
	Reutiliza a água da máquina de lavar?	
	Utiliza a máquina de lavar apenas com lotação máxima?	
	Utiliza a máquina de lavar apenas uma vez por semana?	
	Deixa as roupas de molho utilizando a mesma água para ensaboar, usando água nova apenas no enxágue?	
	Nenhuma das práticas?	
	Outras práticas:	

LIMPEZA DOMICILIAR	PRÁTICAS DE CONSUMO	
	Substitui lavagem por pano úmido?	
	Evita lavagens de cortinas e carpetes?	
	Evita lavagens de portas e janelas?	
	Nenhuma das práticas?	
	Outras práticas:	
Com que frequência as faxinas são realizadas? () Diariamente () 2 vezes por semana () 1 vez por semana		

	<input type="checkbox"/> A cada 15 dias <input type="checkbox"/> Outros: <hr/>
O consumo de água é maior em qual das atividades?	

GERAL	ALTERNATIVAS
	Conhece alguma dessas alternativas de redução de consumo de água? <input type="checkbox"/> Equipamentos Economizadores <input type="checkbox"/> Captação de água de chuva <input type="checkbox"/> Reuso de água
	Utiliza alguma delas? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
	Caso SIM , qual? <hr/>
	Onde a água é utilizada? <input type="checkbox"/> Lavagem de carro <input type="checkbox"/> Rega de Jardim <input type="checkbox"/> Limpeza e arrumação geral da casa <input type="checkbox"/> Bacias Sanitárias <input type="checkbox"/> Outro: <hr/>
	Como você capta esta água? <hr/>
	Faz algum tratamento? <input type="checkbox"/> Sim - Qual? <hr/>
	<input type="checkbox"/> Não - Por quê? <hr/>
	Caso NÃO , adotaria alguma delas independentemente do valor? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

Caso SIM, qual?

- Apenas equipamentos economizadores
- Apenas captação de água de chuva
- Apenas reuso de água
- Equipamentos economizadores + reuso de água
- Equipamentos economizadores + captação de água de chuva

Indique uma ordem de preferência:

- Apenas equipamentos economizadores
- Apenas captação de água de chuva
- Apenas reuso de água
- Equipamentos economizadores + reuso de água
- Equipamentos economizadores + captação de água de chuva

Onde seria utilizada?

- Lavagem de carro
 - Rega de Jardim
 - Limpeza e arrumação geral da casa
 - Bacias Sanitárias
 - Outro:
-

Caso NÃO, por quê?

- Perigo de contaminação
 - Dificuldade de captação
 - Não tem incentivo
 - Não tem interesse
 - Outro:
-