

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEYDIANA DE SOUSA PEREIRA

**ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ESTABELECIMENTO
DE PRIORIDADES GERENCIAIS/COMERCIAIS PARA
MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO COM
CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

RECIFE

2017

LEYDIANA DE SOUSA PEREIRA

**ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ESTABELECIMENTO
DE PRIORIDADES GERENCIAIS/COMERCIAIS PARA
MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO COM
CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Dissertação de Mestrado apresentada à UFPE para a obtenção de grau de Mestre como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (Área de Concentração: Gerência da Produção).

Orientadora: Prof.^a Danielle Costa Morais, DSc.

RECIFE

2017

P436a	Pereira, Leydiana de Sousa. Abordagem multicritério para estabelecimento de prioridades gerenciais/comerciais para manutenção em sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea / Leydiana de Sousa Pereira . - 2017. 133 folhas, il. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Danielle Costa Morais, DSc. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2017. Inclui Referências. 1. Engenharia de Produção. 2. Sistemas de abastecimento de água. 3. Captação subterrânea. 4. Gestão da manutenção. 5. SODA. 6. ELECTRE. I. Morais, Danielle Costa (Orientadora). II.Título. UFPE 658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2017-117
-------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO
DE MESTRADO ACADÊMICO DE

LEYDIANA DE SOUSA PEREIRA

“ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ESTABELECIMENTO DE PRIORIDADES
GERENCIAIS/COMERCIAIS PARA MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO COM CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato Leydiana de Sousa Pereira **APROVADA**.

Recife, 21 de fevereiro de 2017.

Prof. Danielle Costa Morais, Doutora (UFPE)

Prof. Adiel Teixeira de Almeida Filho, Doutor (UFPE)

Prof. Wilson Fadlo Curi, PhD (UFCG)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade, coragem e força para superar as dificuldades no decorrer dessa jornada.

A minha orientadora, a Prof.^a *Danielle Costa Moraes*, pelo apoio acadêmico e pessoal, pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos, por sua atenção e confiança para a realização desta pesquisa.

Aos meus pais, João Henrique e Alzenir; a minha irmã, Leidjane; e ao meu namorado, Wagner, pelos incentivos, amor e paciência.

Ao PPGE/UFPE, em especial aos professores pelos ensinamentos e a secretaria do curso, sempre solícitos no apoio as questões administrativas.

Ao Prof. André Marques Cavalcanti, orientador durante a graduação em Administração, pela motivação, aconselhamentos e acompanhamento em todos os momentos desta conquista.

Aos funcionários da Companhia Pernambucana de Saneamento, sempre atenciosos e dispostos em colaborar com o desenvolvimento da pesquisa.

Aos servidores da Vigilância Sanitária da Ilha de Itamaracá que colaboraram com informações pertinentes ao município.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida.

E a todos que contribuíram indiretamente para a concretização desse trabalho.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

As companhias de saneamento brasileiras apresentam problemas nos sistemas de abastecimento que além de impactar negativamente seu desempenho, provoca desperdício de água tratada, aumento nos custos operacionais, exploração demasiada dos mananciais e prejuízos à sociedade diante das interrupções no fornecimento ou em virtude dos vazamentos. Consequentemente, as companhias estão sofrendo fortes pressões econômicas, ambientais e sociais. Essa pesquisa objetiva auxiliar na tomada de decisão nesses sistemas, essencialmente os que utilizam fontes subterrâneas, quanto ao estabelecimento de prioridades gerenciais em termos das atividades de manutenção. Na fase de captação, é comum ocorrerem problemas nos poços repercutindo na interrupção da produção. Considerando que um sistema é composto por diversos poços, o conhecimento de quais unidades tem maior relevância torna-se uma importante informação. Assim, é proposto um modelo multicritério para ordenação dos poços baseado no método ELECTRE III. Além disso, em termos das redes de distribuição, é comum o registro simultâneo de vazamentos em diversos pontos do sistema. Dessa forma, para facilitar a gestão da manutenção é proposta a classificação da região de estudo em áreas por criticidade, a fim de reconhecer os setores que apresentam uma maior prioridade no atendimento. Para este caso, foi proposto um modelo para classificação das áreas críticas utilizando o método ELECTRE TRI. Os critérios para avaliação das alternativas empregados em cada processo decisório foram determinados pela abordagem SODA. Para ilustração da aplicação dos modelos, foram coletados os dados do município pernambucano da Ilha de Itamaracá, que além de ser um destaque turístico e cultural para o estado, possui um sistema de abastecimento exclusivamente provido de fontes subterrâneas e altas taxas de desperdício. Como resultado, foram estabelecidas a ordenação dos nove poços, bem como a classificação do município em onze áreas considerando seu impacto em termos de criticidade para a gestão da manutenção. Assim, percebe-se que estes dois modelos estão direcionados para a melhoria da eficiência dos serviços prestados pela companhia de saneamento, aliado a um maior bem estar da população.

Palavras-chave: Sistemas de abastecimento de água. Captação subterrânea. Gestão da manutenção. SODA. ELECTRE.

ABSTRACT

The Brazilian sanitation companies have problems in their supply systems which impact in your performance, cause losses of treated water, increase in operating costs, excessive exploitation of water sources and waste to society due to interruptions in supply or leaks. As a result, companies have been suffering from severe economic, environmental and social pressures. This research aims to assist in decision making in these systems, mainly those that use underground sources, in establishing management priorities in terms of maintenance activities. In the catchment phase, it is common have problems in the wells that affect the production. Considering that a system consist of several wells, the knowledge of which units have the greatest relevance becomes important information. Thus, is proposed a multicriteria model for well ordering based on the ELECTRE III method. In addition, in terms of distribution networks, it is common to simultaneously record leaks at various points in the system. In this way, to facilitate the maintenance management, it is proposed to classify the study region in critical areas, in order to recognize the sectors that have a higher priority in service. For this case, a model was proposed for classification of critical areas using the ELECTRE TRI method. The criteria for evaluating the alternatives employed in each decision process were determined by the SODA approach. In order to illustrate the application of the models, data were collected from the city of Pernambuco, on the Ilha de Itamaracá, which besides being a touristic and cultural highlight for the state, has a supply system exclusively provided from underground sources and problems of waste. As a result, the ordering of the nine wells was established and the classification of the city in eleven areas considering its impact in terms of criticality for maintenance management. Thus, it can be seen that these two models are aimed at improving the efficiency of the services provided by the sanitation company, together with a greater well-being of the population.

Keywords: Water supply system. Groundwater. Maintenance management. SODA. ELECTRE.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Sistema de abastecimento com captação de água superficial	26
Figura 2.2 – Sistema de abastecimento com captação de água subterrânea.....	26
Figura 2.3 – Tipos de poços.....	27
Figura 2.4 – Partes principais dos poços profundos	27
Figura 2.5 – Classificação do reservatório pela sua posição no terreno.....	28
Figura 2.6 – Redes ramificadas	29
Figura 2.7 – Redes malhadas.....	30
Figura 2.8 – Redes mistas.....	30
Figura 2.9 – Estágios do Soft System Methodology	40
Figura 2.10 – A dinâmica do SCA	41
Figura 2.11 – ELECTRE TRI: limites entre as categorias	49
Figura 2.12 – Classificação no ELECTRE TRI	50
Figura 3.1 – Divisão político-administrativa da RMR	58
Figura 3.2 – Divisão administrativa da Ilha de Itamaracá.....	59
Figura 3.3 – Índice de crescimento populacional da Ilha de Itamaracá	60
Figura 3.4 – Mapa do crescimento demográfico da Ilha de Itamaracá.....	60
Figura 3.5 – Antigas subdivisões para abastecimento da Ilha de Itamaracá	63
Figura 3.6 – Representação das zonas de abastecimento da Ilha de Itamaracá.....	64
Figura 3.7 – Sistema de distribuição de água da Compesa na Ilha de Itamaracá.....	65
Figura 3.8 – Histórico do Índice de Perdas na Distribuição na Ilha de Itamaracá	66
Figura 3.9 – Histórico do Índice de Perdas por Ligação na Ilha de Itamaracá.....	67
Figura 4.1 – Esquema do modelo I.....	70
Figura 4.2 – Mapas individuais dos atores para modelo I.....	81
Figura 4.3 – Mapa agregado dos critérios para o modelo I	81
Figura 4.4 – Representação do peso dos critérios	86
Figura 4.5 – Resultados das destilações	88
Figura 4.6 – Ranking final das alternativas	89
Figura 4.7 – Ranking final para análise de sensibilidade I.....	90
Figura 4.8 – Ranking final para análise de sensibilidade II.....	91
Figura 5.1 – Esquema do modelo II	94
Figura 5.2 – Alternativas para o modelo II.....	104
Figura 5.3 – Mapas individuais dos atores para modelo II.....	106
Figura 5.4 – Mapa agregado dos critérios para o modelo II.....	106
Figura 5.5 – Representação dos pesos dos critérios	111

Figura 5.6 – Representação da classificação obtida pelo modelo II.....	113
Figura 5.7 – A Ilha de Itamaracá classificada por níveis de impacto	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Uso limitante para isenção de outorga.....	23
Tabela 2.2 – Índice de desperdício nas redes distribuição para o nordeste	33
Tabela 2.3 – Matriz de consequência	44
Tabela 3.1 – Zonas de abastecimento da Ilha de Itamaracá	63
Tabela 4.1 – Histórico de intervenções nos poços da Ilha de Itamaracá	77
Tabela 4.2 – Escala de avaliação para população abastecida (g_1)	82
Tabela 4.3 – Escala de avaliação para liderança comunitária (g_3)	83
Tabela 4.4 – Escala de avaliação para pressão política (g_4)	83
Tabela 4.5 – Dados do desempenho das alternativas	84
Tabela 4.6 – Escala de julgamento	84
Tabela 4.7 – Matriz de desempenho das alternativas (modelo I)	85
Tabela 4.8 – Ordenação dos conjuntos de cartões (modelo I).....	85
Tabela 4.9 – Convertendo os rankings em pesos (modelo I)	86
Tabela 4.10 – Pesos dos critérios (modelo I)	86
Tabela 4.11 – Limiares para o modelo I.....	87
Tabela 4.12 – Matriz de concordância.....	87
Tabela 4.13 – Matriz de pré-ordem final.....	87
Tabela 4.14 – Matriz de credibilidade	88
Tabela 4.15 – Limiares para a análise de sensibilidade I	89
Tabela 4.16 – Limiares para a análise de sensibilidade II.....	90
Tabela 5.1– Estabelecimento das prioridades de intervenções	105
Tabela 5.2 – Escala de avaliação para as pressões externas (g_3).....	107
Tabela 5.3 – Escala de avaliação para o impacto nas atividades cotidianas (g_4)	108
Tabela 5.4 – Escala de julgamento	109
Tabela 5.5 – Dados do desempenho das alternativas (modelo II).....	109
Tabela 5.6 – Matriz de desempenho (modelo II).....	110
Tabela 5.7 – Ordenação do conjunto de cartões (modelo II).....	111
Tabela 5.8 – Convertendo os rankings em pesos para o modelo II.....	111
Tabela 5.9 – Pesos dos critérios	112
Tabela 5.10 – Perfis para os limites entre as classes	112
Tabela 5.11 – Limiares para os critérios do modelo II.....	112
Tabela 5.12 – Resultados da classificação obtida pelo modelo II.....	113
Tabela 5.13 – Comparações das alternativas do modelo II	114
Tabela 5.14 – Estatística da aplicação do modelo II	115

Tabela 5.15 – Classificação das alternativas com $\lambda = 0,5$	115
Tabela 5.16 – Classificação das alternativas com $\lambda = 0,9$	116
Tabela 5.17 – Alocações das alternativas mediante a análise de sensibilidade.....	116
Tabela 5.18 – Parâmetros estatísticos variando na análise de sensibilidade	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – Analytic Hierarchy Process
ANA – Agência Nacional de Águas
ARPE – Agência Estatal de Regulação de Pernambuco
CELPE – Companhia Energética de Pernambuco
COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CTTU – Companhia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife
ELECTRE – Elimination and Choice Traduisant la Réalité
EPA – Elementos Primários de Avaliação
GIS – Geographical Information System
IBNET – International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities
IPD – Índice de Perdas na Distribuição
IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional
IWA – International Water Association
LAMSADE – Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes Pour l'Aide à la Décision
MAUT – Multi-Attribute Utility Theory
MCDA – Multi-Criteria Decision Aid
NBR – Norma Brasileira
PLMO – Programação Linear Multiobjetivo
PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PROMETHEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
PSM – Problem Structuring Methods
RMR – Região Metropolitana do Recife
RS – Remote Sensing
SAA – Sistema de Abastecimento de Água
SBRP – Sistema Básico de Relações de Preferências
SCA – Strategic Choice Approach
SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SODA – Strategic Options Development Analysis
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRHE – Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos
SSM – Soft Systems Methodology
TOPSIS – Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
VIGIAGUA – Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
UNESCO – Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos.....	18
1.3	Metodologia.....	18
1.4	Estrutura da dissertação	20
2	BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	A água subterrânea: conceitos e características	21
2.1.1	Outorga de direito para os recursos hídricos	22
2.1.2	O uso das águas subterrâneas: vantagens e desvantagens	23
2.1.3	Mensuração do uso das águas subterrâneas.....	24
2.2	Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)	25
2.2.1	Sistemas de abastecimento com captação subterrânea	26
2.2.1.1	<i>Captação.....</i>	26
2.2.1.2	<i>Reservatório</i>	28
2.2.1.3	<i>Rede de distribuição</i>	29
2.3	As perdas de água em sistemas de abastecimento	31
2.4	Gestão da manutenção em SAA	34
2.4.1.	Tipos de intervenções	34
2.4.2	Gestão da manutenção na fase de captação para fontes subterrâneas	35
2.4.3	Gestão da manutenção nas redes de distribuição de água	36
2.5	Métodos de Estruturação de Problemas (PSM)	37
2.5.1	Strategic Options Development and Analysis – SODA	38
2.5.1.1	<i>Mapas cognitivos.....</i>	39
2.5.2	Soft Systems Methodology – SSM.....	39
2.5.3	Strategic Choice Approach – SCA	40
2.6	Métodos de apoio a decisão multicritério	42
2.6.1	Estruturas de preferências.....	43
2.6.2	Família de critérios	44
2.6.3	Avaliação intracritério e intercritério	44
2.6.4	Classificação dos métodos MCDA.....	44
2.6.5	A Família ELECTRE	45
2.6.5.1	<i>O método ELECTRE III.....</i>	46

2.6.5.2	<i>O método ELECTRE TRI</i>	49
2.7	Procedimento revisto de Simos	51
2.8	A abordagem multicritério aplicada aos sistemas de abastecimento	53
2.9	Considerações finais do capítulo	57
3	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	58
3.1	Sistema de captação de água de água na Ilha de Itamaracá	62
3.2	Sistema de distribuição de água na Ilha de Itamaracá	65
3.3	Considerações finais do capítulo	68
4	MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE POÇOS PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO (MODELO I)	69
4.1	Descrição do modelo I	69
4.1.1	Etapa 1 – Identificação do problema	71
4.1.2	Etapa 2 – Estruturação do problema.....	73
4.1.3	Etapa 3 – Tomada de decisão	74
4.2	Aplicação do modelo I	76
4.2.1	Etapa 1 – Identificação do Problema	76
4.2.2	Etapa 2 – Estruturação do Problema	80
4.2.3	Etapa 3 – Tomada de decisão	85
4.3	Considerações finais do capítulo	91
5	MODELO PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO (MODELO II)	93
5.1	Descrição do modelo II	93
5.1.1	Etapa 1 – Identificação do problema	95
5.1.2	Etapa 2 – Estruturação do problema.....	97
5.1.3	Etapa 3 – Tomada de decisão	98
5.2	Aplicação do modelo II	100
5.2.1	Etapa 1 – Identificação do problema	100
5.2.2	Etapa 2 – Estruturação do problema.....	105
5.2.3	Etapa 3 – Tomada de decisão	110
5.3	Considerações finais do capítulo	117
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
6.1	Conclusões	119
6.2	Sugestões para trabalhos futuros	120
	REFERÊNCIAS	122

1 INTRODUÇÃO

As companhias de saneamento brasileiras, em sua maioria, enfrentam problemas nos sistemas de abastecimento de água que interferem negativamente no seu nível de eficiência, bem como repercutem em prejuízos a sociedade. Essas dificuldades podem ser minimizadas mediante o estabelecimento de prioridades à gestão das atividades de manutenção.

Os aquíferos assumem um papel relevante na segurança hídrica mundial (SHIKLOMANOV & RODDA, 2003). O uso dessas reservas segue crescendo, desde a década de setenta, em razão de fatores como: avanços da hidrogeologia e das técnicas de perfuração de poços, redução dos custos de extração, qualidade das águas subterrâneas, aumento da demanda, degradação das águas superficiais, entre outros (REBOUÇAS, 2006).

No Brasil, as águas subterrâneas são fundamentais para o abastecimento público. Ponderando a totalidade dos seus municípios, 47% são providos exclusivamente por fontes superficiais, 39% por mananciais subterrâneos e 14% recorrem ao fornecimento misto (ANA, 2013). Em termos numéricos, o território brasileiro possui 181 aquíferos e sistemas de aquíferos aflorantes resultando numa disponibilidade explorável de 11.430 m³/s. Em contrapartida, o volume de recursos superficiais é de 91.300 m³/s (ANA, 2015).

Embora as reservas hídricas subterrâneas brasileiras sejam consideravelmente menores, seu papel no abastecimento é comparável ao das águas superficiais, quando ponderado o número de municípios e a população atendida. As fontes subterrâneas se destacam como parte da solução para a restrição hídrica, em razão de ampliar a oferta e enfrentar a variabilidade climática (VILLAR, 2016). Mas o suprimento da necessidade da população deve ocorrer em concordância com a capacidade dos mananciais, visando manter seu futuro potencial de extração (WANG *et al.* 2016).

A captação das águas subterrâneas para os sistemas de abastecimento requer o uso de poços, que por sua vez, dificultam as atividades de manutenção em razão da grande parte dos seus equipamentos estarem submersos. Nesse aspecto, as intervenções são preventivas quando planejadas e buscam reduzir os riscos de falhas. Por outro lado, a manutenção corretiva é de natureza emergencial e ocorre quando o poço paralisa o fornecimento de água (MONTE & DE ALMEIDA-FILHO, 2016).

Nos sistemas de distribuição o desperdício constitui um grande problema representando a ineficiência nas operações de entrega e medição de água (DIGHADE *et al.* 2014). Tais perdas podem ser de dois tipos: real, compreende ao volume de água perdido por fissuras,

roturas e extravasamentos nas redes; ou aparente, que abrange ao volume de recurso consumido, mas não faturado (TSUTIYA, 2006).

A fuga de água nas redes de distribuição não envolve apenas o viés econômico, como na maioria das vezes é percebida mais também representa uma questão ambiental e potencialmente de saúde e segurança, fomentando aspectos sociais. Ações de gerenciamento que auxiliem na redução das perdas tende em proporcionar benefícios, como: minimização dos custos de produção, aumento das receitas através da venda de água economizada, adiamento da expansão do sistema e, a redução da necessidade por acréscimo nas tarifas de serviços (DIGHADE *et al.* 2014).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Brasil desperdiça 36,7% de água nas redes de distribuição. Para esse indicador, avaliando as cinco regiões do país, o Sudeste detém o menor índice médio de perdas com 32,6%, contrariamente ao Norte e Nordeste cujos percentuais atingiram 47,9 e 46,9%, respectivamente. Em nível estadual, localidades como Acre, Amapá, Maranhão, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rondônia, Roraima e Sergipe as perdas superam 50% (BRASIL, 2016).

A Região Metropolitana do Recife (RMR) constitui no maior aglomerado urbano do estado de Pernambuco (IBGE, 2010). Em termos de saneamento básico, a RMR é caracterizada pelo racionamento e acesso precário a água, rede de distribuição antiga, podendo alcançar 100 anos de idade e, a baixa cobertura do sistema de esgoto, tendo apenas 40% das águas residuais recolhidas (TRATA BRASIL, 2011).

Considerando os quatorze municípios que integram a RMR a oferta de água é derivada de um complexo sistema requerendo conjuntos de abastecimento integrados e outros isolados. Dentre os mananciais superficiais explorados, destacam-se as barragens de Tapacurá, Gurjaú e Botafogo, além dos rios Capibaribe, Ipojuca e Beberibe. Muitas regiões complementam o provimento com o uso de manancial subterrâneo, com exceção da Ilha de Itamaracá e Itapissuma que captam água exclusivamente em poços (ANA, 2010).

Okeola & Sule (2012) ressaltam que o ambiente de decisão quanto aos recursos hídricos é complexo e de difícil solução tendo em vista satisfazer todas as partes envolvidas. Assim, diversos fatores caracterizam esse contexto, como: objetivos multidimensionais, dificuldade na identificação do(s) real(is) tomador(es) de decisão e uma estrutura sofisticada de soluções alternativas que nem sempre resolvem a causa raiz do problema (NETTO *et al.* 1996).

Para uma gestão mais eficiente dos sistemas de abastecimento é necessário que o(s) decisores saibam integrar os recursos escassos aos objetivos estratégicos, considerando as pressões externas. Nessa perspectiva, os métodos multicritério de apoio a decisão (do inglês

Multi-Criteria Decision Aid, MCDA) são adequados. Com o alinhamento de diversas técnicas, tais abordagens mostram-se capazes em avaliar e comparar um conjunto de ações para que sirvam de suporte ao processo de modelagem das preferências dos decisores, permitindo a inclusão de fatores subjetivos nas avaliações (DE ALMEIDA, 2013).

1.1 Justificativa

Mediante as pressões globais (alterações climáticas, urbanização, aumento da demanda *etc.*), os serviços de abastecimento, sobretudo nos países em desenvolvimento, precisam ajustar seus processos operacionais para serem sustentáveis e, conseqüentemente minimizar os prejuízos decorrentes das perdas (MUTIKANGA *et al.* 2011). Nesse sentido, Carvalho & Curi (2015) propõem um instrumento composto por indicadores de gestão dos recursos hídricos capaz de medir a performance de municípios, tornando-se viáveis em problemas relacionados a: fontes de água, gestão da água, impactos sociais, econômicos e ambientais, entre outros.

A forma pela qual os recursos hídricos são utilizados e gerenciados tem levado a um nível de degradação ambiental e ao risco iminente de escassez de água que comprometem a qualidade de vida das populações. Assim, constitui um desafio fazer com que todos os atores utilizem a água de forma a maximizar o bem-estar social, quer seja produzindo com a máxima eficiência ou consumindo sem desperdícios (HENKES, 2008).

Atendendo a operação nos sistemas de abastecimento tem-se que uma determinada região apresenta dezenas a centenas de poços e, que muitas unidades podem apresentar problemas ao mesmo tempo. Então, surge o dilema de ponderar quais as unidades de captação detêm uma maior importância para receber prioritariamente os serviços de manutenção, alinhando a perspectiva da eficiência da companhia à maximização do benefício social.

Em termos de distribuição, os esforços devem ser concentrados na redução dos vazamentos. Apreciando que as redes de fornecimento de água em uma cidade são geralmente extensas e que as rupturas estão susceptíveis a ocorrer em diversos pontos simultaneamente, aparece o problema para classificar uma região por níveis de criticidade para o recebimento das atividades de manutenção, tendo em vista a minimização dos impactos sociais.

A estruturação formal do processo decisório tende a facilitar a busca por soluções satisfatórias para os problemas identificados. No entanto, esse tipo de suporte não está presente na maioria das companhias de saneamento brasileiras.

Dentre os municípios da RMR, a Ilha de Itamaracá foi escolhida como objeto de estudo por diversas razões, como: deter uma significativa importância histórica e cultural para o

estado de Pernambuco; apresentar altos índices de desperdício real de água nas redes de distribuição, atingindo 69,01%, segundo Brasil (2016); ter um sistema de abastecimento público de água totalmente provido exclusivamente de fontes subterrâneas; haver disponibilidade e acesso de dados sobre a região; não ter encontrado estudos em contexto semelhante sobre o município na literatura e o fato de ser uma área localizada na zona costeira, aspecto que repercute na tendência à salinização dos mananciais quando mal utilizados, conforme argumentam Cary *et al.* (2015).

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver modelos multicritério de decisão para o estabelecimento de prioridades na gestão dos sistemas de abastecimento de água baseado em fontes subterrâneas, avaliando as atividades de manutenção nas etapas de captação e distribuição para uma maior satisfação social, envolvendo as problemáticas de ordenação e classificação, respectivamente.

Para subsidiar o propósito geral, define-se como objetivos específicos:

- Compreender alguns problemas enfrentados no processo de tomada de decisão nos sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea relacionando-os com aspectos da manutenção para a promoção do bem estar social;
- Desenvolver modelos que auxiliem na tomada das decisões para a solução dos problemas identificados;
- Realizar as aplicações dos modelos propostos;
- Relatar os resultados obtidos comparando-os com a perspectiva de gerenciamento atual desses sistemas.

1.3 Metodologia

Este trabalho pode ser enquadrado como uma abordagem exploratória e de natureza aplicada, apreciando que os conhecimentos adquiridos serão de uso em aplicações práticas. A coleta de dados foi intensa em todas as fases da pesquisa.

A abordagem multicritério foi contemplada neste estudo como uma forma de desenvolver novos caminhos para tratar alguns problemas que tangem o contexto de decisão nos sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea. Para a construção dos modelos de decisão foi tomado como base os procedimentos estabelecidos por De Almeida (2013) que consideram três etapas principais:

- **A fase preliminar:** responsável por definir os elementos básicos para a formulação do problema;
- **Modelagem de preferências e escolha do método:** em que são estruturados os fatores que provavelmente têm maior influência sobre a escolha do método de decisão multicritério, sendo este definido ao fim da etapa;
- **Finalização:** promove-se a resolução do problema e a implementação da ação recomendada, incluindo nesse meio a análise de sensibilidade.

Cada fase envolve várias atividades que promovem um refinamento sucessivo permeado por aspectos de recursividade (DE ALMEIDA, 2013). E em busca de elucidar as situações a serem analisadas, bem como promover a interação de ideias entre os atores, são considerados os Métodos de Estruturação de Problemas (do inglês *Problem Structuring Methods*, PSM). Essas abordagens são essencialmente úteis em casos caracterizados por interesses conflitantes, intangibilidade e incerteza (MINGERS & ROSENHEAD, 2004).

Na etapa de estruturação, além de outras informações para o processo decisório, são identificados os critérios para avaliação das alternativas. Especificadamente, foi utilizada a abordagem SODA (*Strategic Options Development Analysis*) com auxílio da ferramenta dos mapas cognitivos, por ser um método de aprendizagem que permite compreender os pontos de vista dos agentes envolvidos (EDEN & ACKERMANN, 2001). Para o mapeamento cognitivo foi utilizado como suporte o *Decision Explorer*® versão 3.4.0 da *Banxia Software*.

Em relação à busca de uma solução satisfatória para os problemas, esta pesquisa concentrou-se nos ideais da escola francesa, especialmente na família ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*). Esses métodos baseiam-se na construção de uma relação de sobreclassificação, sendo mais flexíveis, sem compensação entre os critérios e aceitam a incomparabilidade entre as alternativas (ROY, 1996; FIGUEIRA *et al.* 2005).

Propriamente, foi utilizado o ELECTRE III para a problemática de ordenação e ELECTRE TRI para a problemática de classificação, empregando *softwares* específicos. Também foi utilizando como apoio o programa *Logiciel SRF* versão 2.2 para a determinação dos pesos dos critérios. Todos esses *softwares* são fornecidos pelo *Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision* (LAMSADE), da *University of Paris Dauphine*.

Outros programas também foram necessários no desenvolvimento desta pesquisa. Na elaboração dos mapas temáticos houve o emprego do Sistema de Informação Geográficas ESRI ArcGIS® versão 10.4.1 utilizando o módulo ArcMap® na qual todas os dados foram

disponibilizados pela companhia de saneamento atuante na região de estudo juntamente com mapas gerados por um dos seus sistemas internos, o GisComp.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em seis capítulos, incluindo a presente introdução, onde foram expostos os pontos de relevância, os objetivos e a metodologia empregada na pesquisa.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico responsável por nortear este estudo. São abordados conceitos relativos às águas subterrâneas, sistemas de abastecimento público, gestão da manutenção, abordagens para a estruturação de problemas, métodos multicritério além de uma revisão de literatura contendo as relevantes contribuições sobre a temática e algumas considerações finais.

O capítulo 3 caracteriza a área de estudo em nível econômico, geográfico e social, explicando também aspectos quanto ao seu sistema de abastecimento de água. No caso desta pesquisa configura-se no município pernambucano da Ilha de Itamaracá.

No capítulo 4 é proposto um modelo multicritério para a priorização de poços de um sistema de abastecimento quanto às atividades de manutenção. Esse modelo, baseado na problemática de ordenação, visa criar um *ranking* dos poços de uma região por grau de importância. Nesse capítulo também é apresentada uma aplicação real do modelo proposto, bem como algumas considerações finais.

No capítulo 5 é exposto outro modelo multicritério, desta vez, aplicado aos sistemas de distribuição de água. Dado modelo, baseado na problemática de classificação, tem por objetivo segmentar a região de estudo por níveis de criticidade para o recebimento de atividades da manutenção. Esse capítulo também inclui o emprego do modelo em uma situação real e alguns comentários finais.

Por fim, o capítulo 6 expõe uma discussão geral, integrando as principais conclusões. Além disso, são apresentadas algumas limitações da pesquisa e sugestões para pesquisas futuras.

2 BASE CONCEITUAL E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados à pesquisa. Por conseguinte, são destacados aspectos que tangem à água subterrânea e sua aplicabilidade aos sistemas de abastecimento englobando a perspectiva da manutenção aos poços e as redes de distribuição. Em seguida, são explanadas as abordagens de estruturação de problemas, o procedimento revisto de Simon e os métodos de apoio à decisão multicritério, especialmente a Família ELECTRE. Por fim, exhibe-se uma revisão da literatura, como um aporte das relevantes aplicações da abordagem multicritério ao contexto do abastecimento de água.

2.1 A água subterrânea: conceitos e características

As águas subterrâneas ocorrem no subsolo, preenchendo os espaços entre grãos minerais, falhas e fraturas das rochas, movendo-se por efeito gravitacional. A estrutura composta por rochas com capacidade de armazenar água é denominada de aquífero e, pode ser: livre, correspondendo a formação geológica superficial, com extensão totalmente aflorante; ou confinado/artesiano, referindo-se à constituição geológica limitada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis (BORGHETTI *et al.* 2004).

A litografia dos aquíferos é responsável por caracterizar a quantidade de água e sua velocidade de circulação, existindo três classes (REBOUÇAS, 1999):

- **Aquífero poroso ou sedimentar:** com porosidade homogênea, formado por sedimentos de areia, silte e argila, permite amplo volume de armazenamento;
- **Aquífero fraturado ou fissural:** constituído por rochas ígneas, cristalinas ou metamórficas. A vazão do poço fica reduzida a poucos metros cúbicos por hora;
- **Aquífero cárstico (*Karst*):** ocorrem nas rochas carbonáticas, de modo que a circulação da água é possível por fraturas e outras descontinuidades (diaclasses).

O Brasil destaca-se ao deter 12% do total de água doce potável do mundo. Esse fato é justificado por sua extensão territorial abarcar importantes bacias hidrográficas (Paraná, São Francisco e aproximadamente 60% da Amazônica) e os dois maiores aquíferos mundiais (Alter do Chão e Guarani), além de possuir uma climatologia favorável ao ciclo hidrológico (ANA, 2013; OLIVEIRA *et al.* 2016). Os aquíferos brasileiros são dominados pelo tipo fraturado com 54%, seguido do poroso com 41% e do cárstico com aproximadamente 5% (MMA, 2006).

Os mananciais subterrâneos são primordialmente recarregados em razão da chuva que se infiltra no subsolo e percola até as profundas camadas. Os cursos d'água e os lagos propiciam uma maior capacidade de absorção. Os procedimentos artificiais também devem ser considerados, principalmente os que decorrem do excesso na irrigação, dos vazamentos em canais e adutoras e do uso de poços de recarga (HELLER & PÁDUA, 2010).

A Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO, 2015) estima que 20% dos aquíferos mundiais estejam sendo explorados acima da sua capacidade de reposição natural. Esse uso intensivo tende a repercutir no fenômeno da superexploração, que segundo Foster *et al.* (2011), pode acarretar:

- Redução localizada dos níveis dos aquíferos, podendo exauri-los;
- Decréscimo dos fluxos de base em corpos de água superficiais, resultando em problemas ao próprio corpo hídrico ou à ecologia;
- Elevação dos custos de extração da água, em razão da diminuição dos níveis dinâmicos dos poços e/ou readequação de obras de captação;
- Degradação da qualidade da água, por indução de contaminação ou salinidade;
- Problemas de equidade social.

Em relação à contaminação dos mananciais subterrâneos, os agentes poluidores são de origens diversas, destacando-se: atividades domésticas (matéria orgânica e microrganismos patogênicos), industriais (componentes químicos, metais e elementos radioativos) e agrícolas (agrotóxicos e fertilizantes a base de nitrogênio, fósforo e potássio). As operações minerais e a extração de petróleo também são potenciais contaminantes (TERRA *et al.* 2016).

A superexploração dos aquíferos pode estar associada ao quantitativo de poços ilegais operantes, ou seja, aqueles sem outorga ou autorização de funcionamento (FOSTER *et al.* 2011). Em termos de poços cuja existência é conhecida, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), criado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), pondera 282.563 cadastros a nível nacional em sua atualização do dia 02/01/2017. Em Pernambuco contabilizam-se 27.084 registros de poços, sendo 7.241 apenas na RMR, correspondendo a 26,7% do total do estado.

2.1.1 Outorga de direito para os recursos hídricos

A outorga é um instrumento derivado da Lei nº 9.433/97 e se configura como um dos artifícios de controle mais relevantes da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). É

um mecanismo administrativo discricionário para os usuários confirmarem a autorização quanto o uso de determinada “reserva” de água, por condições e período acordados.

O poder público outorgante pode ser em nível da União, Estado ou Distrito Federal. A outorga deve ser solicitada a Agência Nacional de Águas (ANA) em caso dos corpos hídricos em domínio da União, ou as responsáveis estaduais em caso de controle do estado. Em Pernambuco, o órgão responsável é a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE).

A SRHE (2016) atribui aos Comitês das bacias hidrográficas o dever em definir os valores limitantes que proporcionam à isenção da outorga. Em caso de omissão dos Comitês, serão resguardados os valores estabelecidos pela própria Secretaria e expressos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Uso limitante para isenção de outorga

Fontes	Definição	Características
Águas Superficiais	Derivações e captações	Vazão média $\leq 0,5 \text{ l/s} = 43 \text{ m}^3/\text{dia}$
	Barramentos de rios intermitentes	Volume de acumulação $\leq 200.000 \text{ m}^3$
Águas Subterrâneas	Usuário doméstico, residencial ou rural	Profundidade do poço $\leq 20 \text{ m}$ Vazão $\leq 5 \text{ m}^3/\text{dia}$
	Poços destinados exclusivamente à pesquisa, não produtivos, independente da profundidade.	

Fonte: SRHE (2016)

Para a gestão dos aquíferos, em Pernambuco, também vigora a Lei nº 11.427/97 relativa à conservação e proteção das águas subterrâneas e, o Decreto nº 20.423/98 que controla as perfurações e a manutenção da qualidade e quantidade dessas fontes.

2.1.2 O uso das águas subterrâneas: vantagens e desvantagens

As águas subterrâneas vêm ganhando uma maior projeção, desde as últimas décadas, nos sistemas de abastecimento público, nas indústrias e na irrigação (ANA, 2013). Segundo Rosal *et al.* (2013), o uso dessas fontes é permeado de características positivas, como: água com qualidade, comumente, dispensando os procedimentos químicos das estações de tratamento; bem como o baixo custo de distribuição, em razão da captação ser realizada com proximidade dos centros consumidores.

Feitosa & Manoel Filho (2000) listam outros benefícios quanto à utilização das águas subterrâneas, sendo:

- Não acarreta inundação de espaços aproveitáveis na superfície;
- A área de captação e proteção é extremamente reduzida;
- Menor custo operacional;

- Indepe de dos períodos de estiagem prolongados para recarga anual como nos reservatórios de superfície;
- Parcelamento dos investimentos (perfurações relacionadas à demanda);
- Menor prazo de execução, em geral, a escavação de um poço dura três meses, enquanto a construção de um sistema superficial requer o triplo do tempo;
- As águas subterrâneas estão menos sujeitas ao intenso processo de evaporação;
- Maior proteção contra eventuais poluições;
- Os poços com bom nível técnico nas fases de projeto, construção e operação, seguindo as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), têm vida útil superior a 20 anos, com amortização dos investimentos em 5 a 8 anos;
- A manutenção é mais segura, pois a paralisação para conservação ou substituição de uma unidade de bombeamento, pode ser efetuada sem prejuízo do conjunto.

No entanto, o uso dos mananciais subterrâneos repercute em algumas desvantagens, conforme Feitosa & Manoel Filho (2000):

- A renovação das águas retiradas dos aquíferos não se faz na mesma velocidade da extração, resultando no uso das reservas permanentes, com risco de exaustão;
- A distribuição espacial das bacias sedimentares com aquíferos é heterogênea. No Brasil, sobretudo no Nordeste, 55% dos terrenos são formados por rochas cristalinas onde as águas, devido ao clima semiárido, são poucas e geralmente salinizadas;
- A superexploração pode acarretar subsidência de terrenos e provocar salinização da água nos aquíferos costeiros;
- Apesar de serem menos vulneráveis à poluição a detecção de um processo contaminante, em geral, não é imediata;
- Requer alto consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento;
- A manutenção periódica preventiva é mais cara devido à multiplicidade dos equipamentos de bombeamento para os poços.

2.1.3 Mensuração do uso das águas subterrâneas

O uso consciente dos mananciais subterrâneos tende assegurar que a característica de ser uma “conta poupança de água” continue a existir, minimizando os impactos da falta desse recurso. Ou seja, almeja-se propagar uma situação diferente da Califórnia, onde os níveis dos reservatórios subterrâneos vem atingindo níveis críticos (ALLEY, 2016).

Atualmente, cerca de metade da população mundial depende desses mananciais para atender sua demanda de consumo (TUSHAAR *et al.* 2007 *apud* UNESCO, 2016). Doll *et al.* (2012) considera que essas fontes tem um papel crucial na sociedade, alcançando 36%, 42% e 27% do uso global de água a nível doméstico, agrícola e industrial, respectivamente.

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos está presente em importantes cidades, como: Delhi, na Índia (DASH *et al.* 2010); Hong Kong, na China (JIAO *et al.* 2008); São Paulo, no Brasil (ANA, 2010); Tóquio, no Japão (NAM & OOKA, 2011), entre outras. Nos Estados Unidos, a água subterrânea supre em 75% a demanda pelo recurso (UNESCO, 2004). Esse país é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos a nível mundial e aproximadamente 42% da sua agricultura irrigada dependem desses mananciais (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2005).

Regiões como o Mediterrâneo e o Médio Oriente são dependentes das águas subterrâneas e provavelmente sofrerão secas mais intensas no futuro, em virtude de “usos irracionais” (ALLEY *et al.* 2002). A Áustria, Bélgica, Hungria, Geórgia, Dinamarca, Suíça e Alemanha utilizam as fontes subterrâneas a uma taxa superior a 70%; enquanto o montante de 50 a 70% é registrado na Bulgária, Itália, Portugal, Ucrânia e França (UNESCO, 2004).

No Brasil, a exploração dos aquíferos tende a aumentar para complementar a oferta por água. Em 2010, a maioria dos municípios já enfrentava dificuldades de abastecimento, sendo que 2.551 necessitavam ampliar o sistema e 472 requeriam um novo manancial (ANA, 2010).

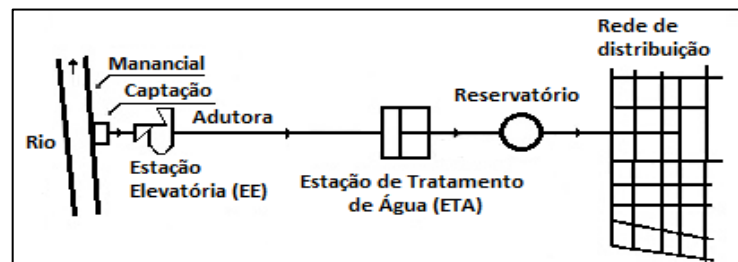
O esperado impacto das variações climáticas sobre os aquíferos brasileiros para 2050 é que haja uma redução em 70% da recarga nos aquíferos da região Nordeste e, para o Norte, dada variação deve permear de 30% a 70%. Enquanto, no Sul e Sudeste a situação tende a ser favorável mediante um aumento das recargas de 30 a 100% (HIRATA & CONICELLI, 2012).

2.2 Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)

Um SAA para consumo humano corresponde ao conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e distribuição canalizada de água potável para as populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada por regime de concessão ou permissão (BRASIL, 2004).

Os componentes de um SAA são diversos, baseando-se nas características locais ou por atributos particulares desejáveis. Tsutiya (2006) propõe que em relação às fontes superficiais, tais sistemas possuem como constituintes: mananciais, pontos de captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento, reservatório e rede de distribuição, conforme a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Sistema de abastecimento com captação de água superficial



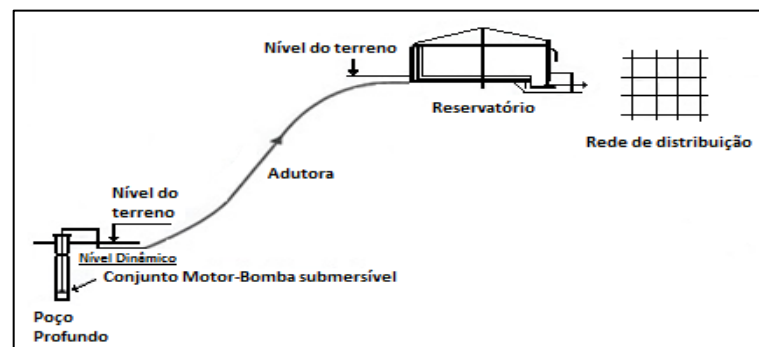
Fonte: Tsutiya (2006)

Um sistema de abastecimento permite satisfazer as necessidades por água potável em localidades longínquas dos mananciais. Dessa forma, as sociedades modernas dependem cada vez mais dessa infraestrutura hídrica para prestar serviços essenciais que apoiem a prosperidade econômica e a qualidade de vida dos cidadãos (AGUDELO-VERA *et al.* 2016).

2.2.1 Sistemas de abastecimento com captação subterrânea

Tsutiya (2006) considera que um SAA baseado em fontes subterrâneas apresenta uma estrutura com três etapas: captação, reservatório e distribuição, conforme a Figura 2.2.

Figura 2.2 – Sistema de abastecimento com captação de água subterrânea



Fonte: Adaptado de Tsutiya (2006)

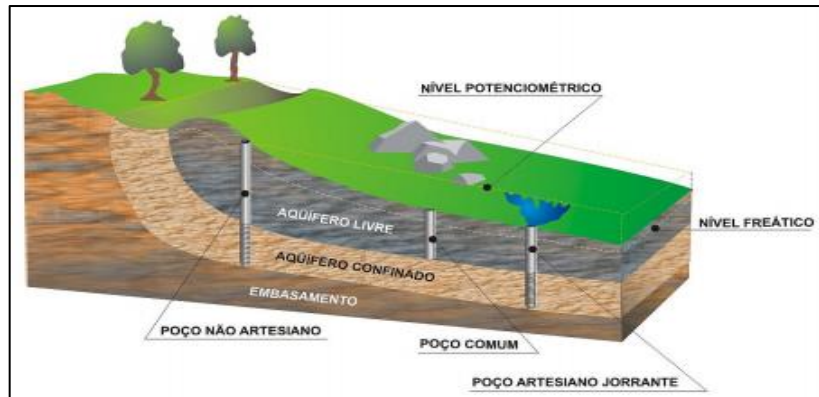
Essa simplificação decorre da qualidade da água dessas fontes, que em geral, requerem como tratamento apenas a cloração, possível de ser realizada automaticamente por uma bomba dosadora de cloro. A seguir, são descritas as fases desse tipo de sistema.

2.2.1.1 Captação

Satisfaz ao conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água. A sua projeção e construção deve assegurar, em qualquer época do ano, a condição da entrada de água sem dificuldades, observando os parâmetros de qualidade; e, a facilidade nas atividades de operação e manutenção (TSUTIYA, 2006).

Os poços constituem a obra para captação das águas subterrâneas, e variam quanto a sua disposição no aquífero em relação ao nível potenciométrico, como na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Tipos de poços

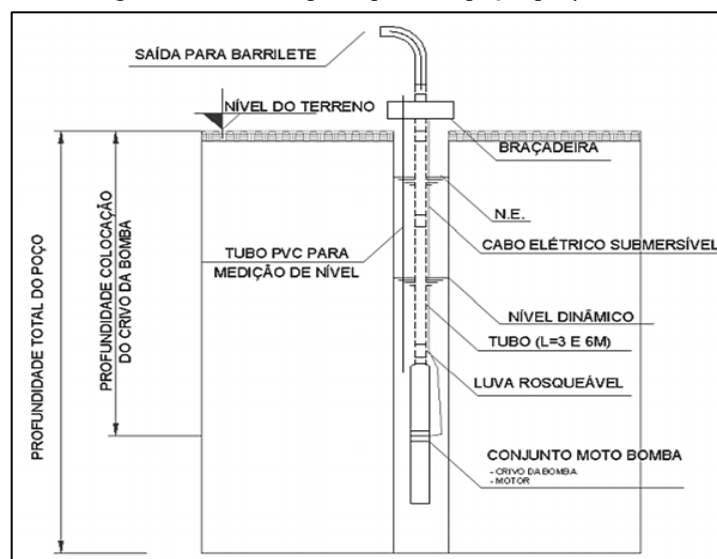


Fonte: Diniz & Michaluate (2002)

Os poços com menor profundidade, conhecidos como poços rasos, são beneficiados ao utilizar procedimentos facilitados ao captar água dos lençóis freáticos, no entanto, estão mais susceptível a contaminação e poluição, enquanto os poços profundos ou artesianos, geralmente dispõem de água com melhor qualidade, em razão da exploração dos lençóis artesianos (ZOBY, 2008). Nos casos em que a água é elevada acima da superfície espontaneamente constitui um poço jorrante (VASCONCELOS, 2014).

Nos sistemas de abastecimento público são comumente encontrados os poços do tipo profundo, representados pela Figura 2.4, por propiciar alta capacidade de extração de água.

Figura 2.4 – Partes principais dos poços profundos



Fonte: Mello et al. (2010)

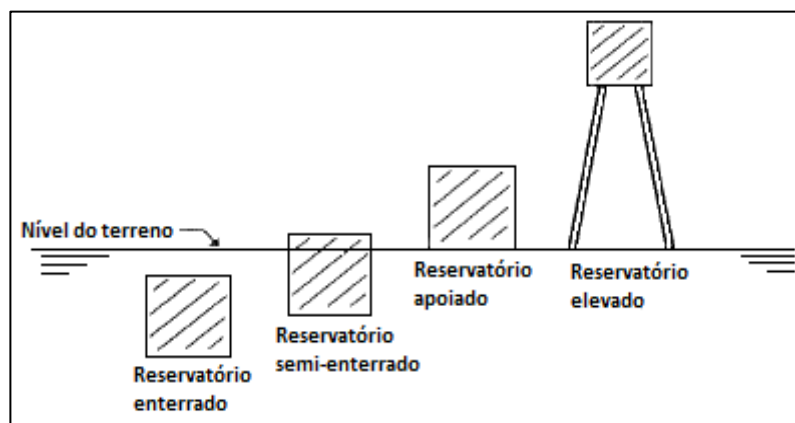
Para a captação, geralmente, é requerido o auxílio de um Conjunto Motor Bomba (CMB), cujas especificações atrelam-se as particularidades do poço, considerando a litologia do aquífero, principalmente as variáveis da profundidade e o volume de água a ser extraído (DINIZ & MICHALUATE, 2002).

2.2.1.2 Reservatório

Elemento do sistema de abastecimento que armazena água com o intuito de regularizar as variações entre as extrações de adução e consumo, e manter a pressão mínima na rede de distribuição (ABNT, 1994a). Ao reservatório também pode ser atribuído à finalidade de garantir uma reserva de água em casos de incêndio, além de propiciar a vantagem de bombear água fora do horário de pico elétrico. Contudo, podem surgir entraves como: elevado custo de implantação, dificuldade para encontrar uma localização com cota altimétrica adequada e os riscos de impactos ambientais (TSUTIYA, 2006).

Os materiais usados na construção dos reservatórios podem ser de diversos tipos como: alvenaria, concreto, aço, fibra de vidro ou mesmo madeira. No Brasil, o concreto armado é o material mais utilizado (SANESUL, 2016). Os reservatórios podem ser caracterizados por diferentes aspectos, sendo um deles baseado na localização da sua estrutura em relação ao terreno, como mostra a Figura 2.5.

Figura 2.5 – Classificação do reservatório pela sua posição no terreno



Fonte: Tsutiya (2006)

Tsutiya (2006) distingue os reservatórios apresentados na Figura 2.5 como:

- **Reservatório enterrado:** quando sua estrutura estiver completamente em cota inferior à do terreno;
- **Reservatório semienterrado:** detém pelo menos um terço de sua altura total embutida ao nível do terreno;

- **Reservatório apoiado:** o fundo do reservatório se encontra a uma profundidade correspondente a menos que um terço de sua altura total abaixo do nível do terreno;
- **Reservatório elevado:** quando sua cota de fundo for superior ao nível do terreno.

Os reservatórios enterrados são vantajosos por serem isolados termicamente, porém os custos para execução são elevados. Os reservatórios semienterrado e apoiado são construídos de forma simplificada, mas exigem atenção quanto ao isolamento térmico. Por fim, os reservatórios elevados são indicados quando a topografia do terreno é acentuada, porém é passível de entraves como: os elevados custos e o impacto ambiental (TSUTIYA, 2006).

Os reservatórios podem ter seu uso maximizado de forma sustentável. Assim, Santos & Curi (2014) propuseram um modelo de otimização multiobjectivo para verificar a capacidade de atendimento de um reservatório em meio a cenários com distintas variáveis operacionais.

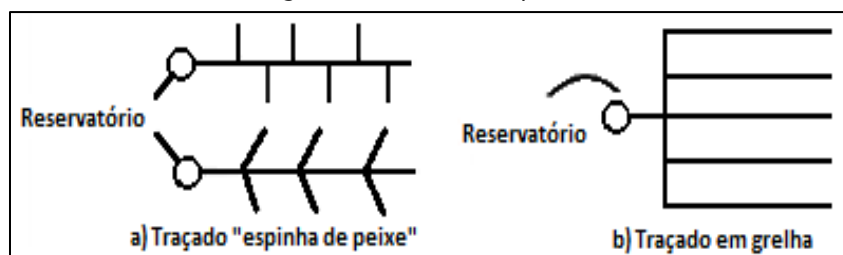
2.2.1.3 Rede de distribuição

A Norma Brasileira (NBR) 12218 considera a rede de distribuição como o setor composto por tubulações e órgãos acessórios, cuja função é colocar água potável à disposição dos usuários, de modo contínuo, com pressão e quantidade adequada. Em termos de pressão é recomendado 100 kPa na avaliação dinâmica mínima e 500 kPa para a medição estática máxima (ABNT, 1994a). Correspondendo à parte mais onerosa de um SAA, abarca entre 50 a 75% do total dos custos quanto às obras e pode se tornar uma fonte inesgotável de problemas quando erroneamente projetada ou operada (TSUTIYA, 2006).

Martins (1987) apresenta que os condutos de distribuição de água podem assumir três estruturas distintas. Essa variação decorre de fatores como: pavimentação das ruas, fluxo de trânsito, proximidade dos grandes consumidores, edificações históricas *etc.* São os tipos:

- **Redes ramificadas:** típica de regiões lineares sem conexão das ruas. Assume o traçado “espinha de peixe” com os condutos se ramificando partindo do eixo central; ou “grelha”, com tubulações são estabelecidas paralelamente, como na Figura 2.6.

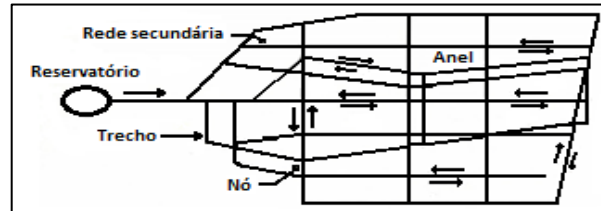
Figura 2.6 – Redes ramificadas



Fonte: Adaptado de Martins (1987)

- **Redes malhadas:** semelhante à representação na Figura 2.7, o arranjo dos condutos permite a formação de anéis ou blocos, fato que proporciona maior eficiência em relação às redes ramificadas.

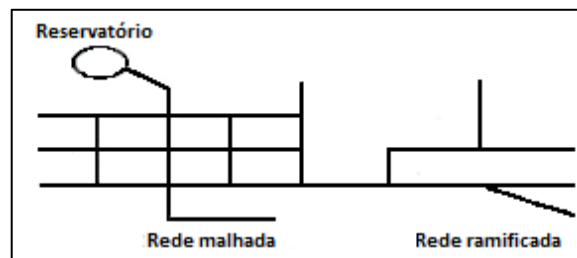
Figura 2.7 – Redes malhadas



Fonte: Adaptado de CESEC (2010)

- **Redes mistas:** composta pela associação das redes ramificadas com as redes malhadas, como demonstrado na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Redes mistas



Fonte: Martins (1987)

Nas redes ramificadas a circulação da água obedece a um único sentido, tendo como ponto de partida o reservatório com destino às extremidades. Consequentemente, caso ocorra qualquer acidente no conduto principal todo o sistema será prejudicado. Por outro lado, nas redes malhadas, em razão da formação dos anéis e conexões, são minimizadas as interrupções no fornecimento, uma vez que os trechos a jusante do intervalo avariado por ações de manutenção ou vazamentos, podem receber água pelos caminhos opostos (MARTINS, 1987).

Considerando o sistema de distribuição é válido destacar o mecanismo da setorização, ou seja, a divisão da rede em seções com menor dimensão e consequentemente a redução na complexidade da gestão (GOMES *et al.* 2012). De acordo com a NBR 12218, um setor deve abranger de 600 a 3.000 pontos consumidores em uma área de 40.000 a 200.000 m² (ABNT, 1994a). Dessa forma, em casos de danos às tubulações, as válvulas das proximidades poderiam ser acionadas e a suspensão de acesso à água atingiria um menor número de unidades de consumo, facilitando ainda a manutenção (FONTANA & MORAIS, 2015).

Além das tubulações, as redes de distribuição também apresentam como componentes: válvulas, bombas, tanques, hidrômetros, entre outros. Nos centros urbanos, um problema enfrentado é a deterioração dos sistemas mais antigos de distribuição de água, resultando em frequentes vazamentos. Os pontos de desgastes ao não receberem manutenção e recuperação adequada suscitam em elevado desperdício de água (TSUTIYA, 2006).

2.3 As perdas de água em sistemas de abastecimento

O cenário das elevadas perdas de água tornaram-se um problema de alta proporção. Contribuem para tal situação: a baixa capacidade institucional e de gestão dos sistemas; a pouca disponibilidade de recursos para investimentos, sobretudo em ações de desenvolvimento tecnológico na rede de distribuição e na operação dos sistemas; a cultura do aumento da oferta e do consumo individual, sem preocupações com o uso racional; e, as decisões pragmáticas de ampliação da carga hidráulica e extensão das redes, para atendimento aos novos consumidores, sem os devidos estudos (MIRANDA, 2006).

De acordo com o *International Water Association* (IWA) em Alegre *et al.* (2006), a perda de água corresponde ao volume da diferença entre a água entregue ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados, medidos e não medidos, faturados ou não faturados, fornecidos aos usuários cadastrados e a própria companhia de saneamento. O desperdício pode apresentar dois enfoques: físico ou aparente.

As perdas físicas ou reais correspondem à água disponibilizada para a distribuição que não chega aos consumidores em razão de vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema. Tais rupturas podem estar associadas ao excesso de pressão, a qualidade dos materiais, a idade das tubulações, a qualificação da mão de obra e a ausência dos programas de monitoramento de perdas, dentre outros fatores (BRASIL, 2016).

Enquanto, as perdas não físicas ou aparentes obedecem ao volume de água efetivamente consumido, mas que por algum motivo não foi medido ou contabilizado, gerando prejuízo no faturamento da companhia. São decorrentes dos erros de medição (hidrômetros inoperantes, com submedição, erros de leitura, fraudes, equívocos na calibração dos hidrômetros), ligações clandestinas, *by pass* irregulares, falhas no cadastro comercial, entre outros (BRASIL, 2016).

O SNIS dispõe de indicadores que mensuram os serviços prestados pelas companhias de saneamento brasileiras, e alguns são destacados nesta pesquisa. Esses índices têm como elementos (BRASIL, 2016):

- **Volume de água consumido (V_C):** representa a quantidade de água consumida por todos os usuários;
- **Volume de água produzido (V_P):** corresponde ao volume anual de água disponível para consumo, seja procedente das estações de tratamento ou captado e disponibilizado diretamente para consumo;
- **Volume de água tratada importado (V_{TI}):** abrange o quantitativo de água potável, previamente tratada e recebida de outros fornecedores;
- **Volume de água de serviço (V_S):** consiste na soma dos volumes de água usados para as atividades operacionais e especiais, acrescido da quantidade recuperada;
- **Quantidade de ligações ativas de água (Q_{LA}):** versa sobre o quantitativo de ligações ativas de água a rede pública;
- **Extensão da rede de água (E_R):** comprimento total da malha de distribuição, incluindo adutoras, subadutoras e redes distribuidoras, excluindo os ramais prediais.

O desperdício no SAA, em proporção, corresponde a 70% físico e os outros 30% em não físico, em acordo com o relatório do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) (CONEJO *et al.* 1999). Segundo Galvão (2007), a parcela mais expressiva das perdas reais ocorre nas redes de distribuição, principalmente nos ramais prediais.

Em um levantamento do *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* (IBNET) para o ano de 2013, o Brasil ocupou a 20ª posição de um *ranking* formado por 43 países em razão de perder 39% da água tratada, obtendo uma colocação pior que Vietnã (31%), México (24%), Rússia (23%) e China (22%). Enquanto, a Austrália (7%) e os Estados Unidos (13%) representaram as nações com menores desperdícios.

Numa perspectiva semelhante, o SNIS propôs para o ano base de 2014 que o Brasil registrou um Índice de Perdas na Distribuição (IPD) de 36,7%. A mensuração desse indicador é dada pela Equação (2.1).

$$\text{Índice de Perdas na Distribuição: } \frac{(V_P + V_{TI} - V_S) - V_C}{V_P + V_{TI} - V_C} = \text{percentual} \quad (2.1)$$

Gomes (2007) considera que o IPD também pode ser utilizado para a mensuração do nível de gerenciamento de uma companhia de saneamento, obedecendo à classificação:

- **IPD > 40%** – Sistema com mau gerenciamento;
- **40% ≥ IPD ≤ 25%** – Sistema com gerenciamento de nível intermediário;
- **IPD < 25%** – Sistema com bom gerenciamento.

Avaliando os estados do nordeste brasileiro ainda com relação ao ano de 2014, Pernambuco assumiu a quarta maior taxa para o IPD. Analisando os dados da Tabela 2.2, a cota pernambucana alcançou 51,9%.

Tabela 2.2 – Índice de desperdício nas redes distribuição para o nordeste

Estados	IPD (2014)
Sergipe	60,20%
Maranhão	57,90%
Rio Grande do Norte	53,80%
Pernambuco	51,90%
Piauí	49,30%
Alagoas	44,20%
Ceará	40,10%
Bahia	39,60%
Paraíba	38,40%

Fonte: Adaptado de Brasil (2016)

Há outras mensurações para as perdas na distribuição, como o Índice de Perdas por Ligação calculado com base no quantitativo de água produzido pelo volume consumido, estabelecido na Equação (2.2). E o Índice Bruto de Perdas Lineares, demonstrado na Equação (2.3), que corresponde às perdas relacionadas à extensão parcial de rede, seja física ou não física, por não haver controle sobre os desvios sistemáticos de medição (BRASIL, 2016).

$$\text{Índice de Perdas por Ligação: } \frac{(V_P + V_{TI} - V_S) - V_C}{Q_{LA}} = (L/\text{dia})/\text{ligação} \quad (2.2)$$

$$\text{Índice Bruto de Perdas Lineares: } \frac{(V_P + V_{TI} - V_S) - V_C}{E_R} = m^3/(\text{dia.km}) \quad (2.3)$$

As perdas de água repercutem na minimização da qualidade dos serviços e na elevação dos custos operacionais para as companhias de saneamento. De acordo com World Bank (2001), as principais explicações quanto aos problemas de perdas nos SAA referem-se:

- Planejamento deficitário na engenharia, desde a construção até a manutenção;
- Medição mal gerida, em termos de faturamento ou cobrança;
- Informações deficitárias aos consumidores;
- Ligações clandestinas e roubo em algumas cidades.

Morrison *et al.* (2007) relata que o gerenciamento do desperdício de água é essencial para melhorar a eficiência das redes de distribuição, de modo a contribuir para a sustentabilidade ambiental e social.

2.4 Gestão da manutenção em SAA

O planejamento eficiente das atividades da manutenção constitui um importante apoio a qualquer sistema, propiciando expectativas em dois momentos: de início, para argumentar com os decisores sobre os investimentos em manutenção e posteriormente no auxílio ao estabelecimento das metas e objetivos (TROJAN & MORAIS, 2012).

Atingir uma gestão da manutenção eficaz é uma tarefa complexa, dependente de um controle rigoroso e sistemático. Isto, pois a manutenção trata de eventos, em sua maioria de natureza incerta; além de depender não apenas dos sistemas de automação mais também dos conhecimentos e habilidades humanas (SINHA, 2015).

Scarf & Cavalcante (2012) propõem em seus estudos a relação entre a qualidade e a manutenção e enfatizam os critérios de custo e da confiabilidade. Inclusive, acrescentam que um planejamento ineficiente da manutenção pode reduzir o desempenho dos sistemas, proporcionando inatividade, custos elevados e induzir falhas no sistema.

2.4.1. Tipos de intervenções

A NBR 5462 conceitua manutenção como a combinação das ações técnicas e administrativas, incluindo aspectos de supervisão, direcionadas a manter ou realocar um item a um estado que permita desempenhar sua função (ABNT, 1994b). De modo geral, as atividades da manutenção podem ser divididas em três principais abordagens:

- **Manutenção corretiva:** é realizada nos componentes do sistema que sofreram falhas, caracterizando-se como uma intervenção aleatória, sem definições previstas ou planejadas, procurando minimizar a parada ocorrida (JI *et al.* 2016);
- **Manutenção preventiva ou de rotina:** são atividades realizadas em intervalos conhecidos, ou mediante critérios descritos. Evita maiores falhas, pois concebe o evento como determinístico (ABNT, 1994b; JI *et al.* 2016);
- **Manutenção preditiva:** corresponde à assistência que toma por base a aplicação sistemática de técnicas de análise, para reduzir ao mínimo as manutenções, seja preventiva ou corretiva (ABNT, 1994b). Kardec & Nascif (2012) pontuam que é necessário o acompanhamento das funções do equipamento/ sistema para prever o período correto para fazer as intervenções.

Ait Mokhtar *et al.* (2016) afirmam que uma adequada política de manutenção é uma solução vantajosa, pois melhora a disponibilidade do sistema e reduz os custos operacionais.

2.4.2 Gestão da manutenção na fase de captação para fontes subterrâneas

Rocha & Jorba (2007) e Tsutiya (2006) afirmam que um poço pode enfrentar problemas distintos, que por sua vez, são comumente alocados em três categorias: mecânica, hidráulica e de qualidade da água. No entanto, a atuação simultânea dessas esferas dificulta a identificação do fator predominante.

Os problemas de origem mecânica apresentam uma variada natureza, destacando-se na visão de Tsutiya (2006):

- **Produção de areia:** decorre, na maioria das vezes, dos problemas de corrosão; ruptura da coluna de revestimento e filtro; ou recalque do material de pré-filtro, deixando-os descobertos, entre outras causas;
- **Obstruções das seções filtrantes:** causadas por acúmulo de argila, silte ou areia; ou por subprodutos da corrosão e/ou metabolismo bacteriano, que se depositam nas seções filtrantes e no fundo do poço;
- **Deterioração na estrutura física do poço:** manifesta-se em abatimento do terreno em torno do poço e na redução da vazão de bombeamento.

Os problemas hidráulicos estão associados à queda na produção de água e suas causas são diversas, desde o bombeamento superior à taxa de recarga do aquífero (superexploração), obstrução de filtros e fraturas, interferências entre poços, bombas erroneamente dimensionadas ou posicionadas, ou pelas próprias características hidrológicas, ou da sazonalidade do aquífero (TSUTIYA, 2006).

Rocha & Jorba (2007) pontuam que a exploração do poço também pode repercutir em problemas associados à corrosão ou incrustação e, conseqüentemente influenciar nas características físico-químicas e bacteriológicas da água. Inclusive, nos pontos de captação os problemas elétricos podem aparecer com certa frequência, seja no quadro de comando até as estruturas e cabos da bomba, fato que pode interromper o funcionamento do poço.

A manutenção preventiva corresponde a uma atividade programada e efetuada em tempo hábil, evitando que o poço atinja o colapso. Feitosa & Manoel Filho (2000) acreditam que a manutenção é necessária quando a vazão do poço sofre uma redução de 25% da sua capacidade específica. O controle operacional é fundamental para a detecção antecipada de problemas, proporcionando a diminuição das despesas de energia e de depreciação de materiais e equipamentos, a racionalização do trabalho das equipes, a padronização e a redução dos estoques (GIAMPÁ & GONÇALES, 2005; MELO, 2006).

Por outro lado, as atividades corretivas são executadas quando o poço entra em colapso e muitas vezes, repercutem em um longo período de inatividade. Tsutiya (2006) propõe que uma boa gestão da manutenção deve prever:

- Treinamentos da equipe para executar serviços de recuperação e limpeza dos poços;
- Planos sistemáticos para a aquisição e/ou estocagem de bombas, quadros elétricos, cabos e outros materiais imprescindíveis aos poços, com parceria junto aos fornecedores quanto aos prazos de entrega;
- Colaboradores treinados e com material apropriado para instalação e troca de equipamentos de exploração (guinchos, chaves especiais *etc.*);
- Existência de um rígido controle para os casos de instalações e/ou substituição de equipamentos, de modo a evitar a alocação de materiais não adequados e, por conseguinte ocorrer problemas no bombeamento, produção de areia *etc.*;
- Manutenção preventiva para evitar paralisações abruptas no abastecimento, que poderiam em até 90% dos casos ser previamente detectadas e solucionadas.

Em relação à manutenção nos poços outros dois procedimentos também são destacados: a inspeção para detectar problemas visíveis, verificando as condições dos equipamentos de suporte e da própria área do poço; e a revisão da parte elétrica do sistema.

2.4.3 Gestão da manutenção nas redes de distribuição de água

Os sistemas de abastecimento apresentam três objetivos básicos em sua operação (WALSKI, 1996):

1. Maximizar a confiança do sistema, mantendo a máxima quantidade possível de água armazenada para casos de emergência como quebras de tubulações e incêndios;
2. Minimizar o custo de energia, obtido pela operação de bombas o mais próximo possível do ponto ótimo de eficiência da bomba;
3. Manter o padrão de qualidade da água, controlando o tempo que a água passa dentro dos reservatórios, pois a flutuação do volume é recomendada para renovar a água.

A gestão ineficiente da manutenção nesses sistemas pode levar ao seu irregular funcionamento. As atividades corretivas nas redes de distribuição decorrem do envelhecimento e da degradação do sistema. As intervenções devem ter suas causas registradas, visando orientar escolhas futuras e auxiliar a decidir se parte ou a totalidade de uma rede deve ser reabilitada ou trocada (WORLD BANK, 2001).

Por outro lado, a manutenção preventiva consiste na detecção de vazamentos e deve ser realizada de forma contínua em momentos pré-estabelecidos, utilizando critérios racionais e sempre registrando os resultados. Em casos especiais pode incluir pesquisas para detecção de ligações clandestinas, substituição de medidores de consumo ou análise da rede (WORLD BANK, 2001). Nos sistemas de distribuição é incomum verificar aspectos de manutenção preditiva, portanto, os esforços são concentrados em aspectos corretivos e preventivos.

As perdas reais nas redes de abastecimento podem ter consequências em dois extremos. Um rele relaciona-se a conservação dos recursos naturais, uma vez que a redução do desperdício repercute na menor necessidade de ampliar as captações de água, minimizando os impactos ambientais (TSUTIYA, 2006). Em outro viés, os vazamentos favorecem a contaminação da água por agentes nocivos, em razão da baixa ou mesmo ausente pressão nos tubos, como destacado por Mutikanga *et al.* (2013).

Nesse sentido, o processo de reabilitação dos sistemas de distribuição pode ser evidenciado como uma forma de controle e prevenção à poluição da água. O estudo proposto por Sargaonkar *et al.* (2013), envolve um mapeamento e uma avaliação integrada dos riscos por modelos de otimização, com o objetivo de auxiliar no processo de decisão para a priorização das redes no que tange a sua reabilitação, visando a proteção da saúde pública.

Agudelo-Vera *et al.* (2014) desenvolveram uma ferramenta para determinar a robustez das redes de distribuição de água utilizando como indicadores a perda de carga e o tempo de residência. Essa abordagem pode ser útil à gestão da manutenção ao possibilitar uma análise detalhada do sistema de distribuição sob variações nos cenários tecnológicos e demográficos.

Considerando os custos operacionais dos sistemas de distribuição, Curi *et al.* (2012) propuseram um modelo de otimização combinada de programação linear e programação quadrática tendo em vista propiciar uma melhor eficiência energética e, consequentemente menores custos a companhia de saneamento.

Os conceitos até então apresentados reforçam a complexidade das decisões no âmbito dos recursos hídricos. Assim, as abordagens de estruturação de problemas juntamente com os métodos multicritério podem contribuir proporcionando maior suporte à tomada de decisão.

2.5 Métodos de Estruturação de Problemas (PSM)

Os métodos de estruturação pertencem à Pesquisa Operacional *Soft*, sendo considerados como abordagens para tratar níveis irreduzíveis de incerteza, complexidade, conflitos e com a implicância dos riscos decorrentes de tais variáveis (ROSENHEAD, 1996). Em geral, estrutura-se um problema, quando o mesmo não está pronto para a modelagem. Portanto,

almeja-se viabilizar uma estrutura ideal para a tomada de decisão através da exploração de espaços de solução (FRANCO *et al.* 2004; ROSENHEAD, 1996).

Ackermann (2012) afirma que tais métodos promovem um trabalho conjunto entre o analista e os outros atores envolvidos para obter um esquema do problema, segundo os conhecimentos agentes. Mingers & Rosenhead (2004) caracterizam os PSMs por:

- Ser cognitivamente acessível para os atores com uma visão dos cenários e sem requerer treinamento de especialista, de forma que a representação do seu desenvolvimento possibilite um processo participativo na estruturação do problema;
- Agir interativamente, permitindo que a representação da situação em estudo seja ajustada para refletir o estado e a fase de discussão entre os atores e vice-versa;
- Permitir que alternativas com diferentes perspectivas sejam analisadas em conjunto;
- Admitir que as melhorias parciais ou locais sejam identificadas e comprometidas, ao invés de requerer uma solução global e a fusão dos vários interesses.

Segundo Mingers (2011), os PSMs mais conhecidos são: o *Strategic Options Development and Analysis* (SODA), *Soft Systems Methodology* (SSM) e o *Strategic Choice Approach* (SCA). Cada método apresenta uma particularidade: o SODA volta-se a construção de mapas cognitivos, o SSM ressalta mudanças passíveis de implementação tanto no presente como no futuro e o SCA foca nas incertezas incluindo a projeção dos planos de contingência.

Silva Filho (2015) sugere que a determinação do método mais adequado a um problema deve ter como base as características e o contexto ao qual a situação está inserida, bem como a seleção dos *stakeholders*. A seguir, os principais PSMs são brevemente descritos.

2.5.1 Strategic Options Development and Analysis – SODA

Proposto por Colin Eden em 1988, o SODA é empregado para a análise e desenvolvimento de opções estratégicas que auxiliem os agentes a encontrarem uma solução ou conjunto de compromissos. Com foco em problemas complexos, requer a construção de mapas cognitivos para o processo de modelagem (DE ALMEIDA *et al.* 2012).

Esta abordagem, fundamentada na premissa de que subjetivismo é inerente à tomada de decisão, tem como elementos-chaves a sabedoria e a experiência dos membros da equipe (EDEN & ACKERMANN, 2001). Assim, Levino & Moraes (2011) ressaltam que o SODA destaca-se perante outros PSMs por permitir a interação entre os interessados e aprendizagem.

O método SODA apoia-se na Teoria dos Constructos Pessoais de George Kelly, especificamente em três princípios: o homem está buscando constantemente explicar seu

mundo, o homem traz sentido ao seu mundo por meio de contrastes e semelhanças e, o homem busca entender o significado de seu mundo organizando conceitos hierarquicamente (EDEN, 1988). Baseando-se nessas regras, o SODA para reduzir as ambiguidades no processo interpretativo recorre ao conceito de bipolaridade.

A efetividade do SODA não é mensurado por conceitos como otimalidade e racionalidade, mas pelo comprometimento dos atores quanto à modelagem e implementação das ações (EDEN & ACKERMANN, 2001).

2.5.1.1 Mapas cognitivos

São ferramentas de apoio à definição de um problema auxiliando na geração de informações. Seu principal objetivo é exprimir as ideias dos atores, assim como seus sentimentos, valores e atitudes no contexto do processo decisório (EDEN, 1988).

Os mapas cognitivos podem ter duas abordagens. Uma corresponde em explorar o objetivo do problema e seguidamente, trabalhar nas alternativas para atingir o objetivo (*laddering down*). Outro modo é iniciar detalhando as alternativas e gradualmente direcionar aos objetivos explorando cada conceito do mapa (*laddering up*) (DE ALMEIDA *et al.* 2012).

O SODA pode ser trabalhado de duas formas quando a situação envolve mais de um agente, em consonância com Eden (1988):

- I. **Gerar um mapa único partindo de mapas cognitivos individuais:** inicialmente são construídos os mapas cognitivos para todos os atores envolvidos. Em seguida, o facilitador dotado de bom senso, respeitando a hierarquia entre os atores e os conceitos, reúne as informações e gera um mapa único. Finalizada a agregação, o próximo passo é o *Workshop*, procedimento na qual o mapa único é apresentado aos atores para *feedback*, permitindo uma avaliação evolutiva dos conceitos, objetivos e ações, garantindo a presença dos detalhes e um melhor entendimento do problema;
- II. **Obter um mapa geral envolvendo todos os membros:** todo o processo ocorre no *Workshop*, permitindo a interação entre os agentes envolvidos na construção de um mapa único por intermédio do facilitador. Busca-se estabelecer um processo cíclico, a fim de admitir uma absorção gradual das questões emergentes ao problema, bem como a familiarização com seus detalhes.

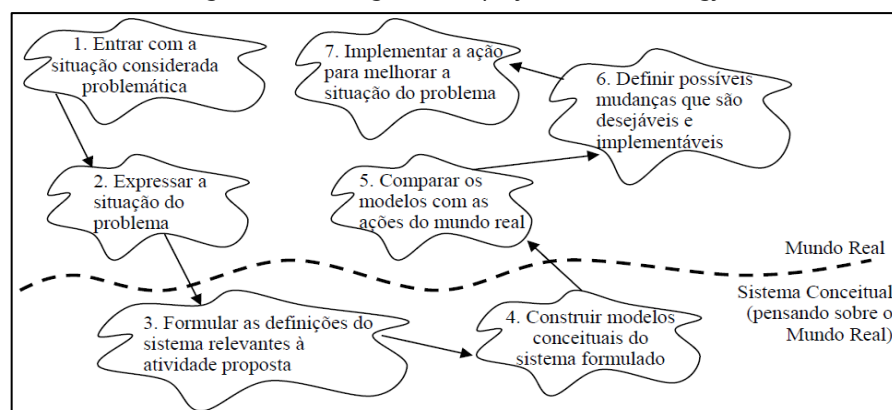
2.5.2 Soft Systems Methodology – SSM

O SSM apresenta um viés para a pesquisa qualitativa e requer uma aplicabilidade cíclica, articulando questionamentos que conduzem às ações, que por sua vez, não são

finalizadas a menos que se escolha executá-las (DE ALMEIDA *et al.* 2012). Sua forma de pensamento estimula aspectos como: a autoreflexividade, a interpretação, a experiência humana, o aprendizado e a participação (SALNER, 1999).

O processo do SSM é iniciado com a identificação do problema, analisando a cultura e as relações de poder da situação (CHECKLAND & POULTER, 2006). Cunha & Moraes (2013) propõem que o SSM, através de sete estágios, permite aos participantes construir modelos conceituais (ideais) comparando-os com suas percepções, conforme a Figura 2.9.

Figura 2.9 – Estágios do Soft System Methodology



Fonte: Adaptado de Checkland (2001)

O SSM é caracterizado como um método para o redesenho do sistema, que reconhece os indivíduos como seres dotados de diferentes percepções para um mesmo problema. De acordo com Checkland (2001), é uma abordagem promotora de consenso ao permitir que os indivíduos vejam as dificuldades tomando por base seu modelo mental individual.

2.5.3 Strategic Choice Approach – SCA

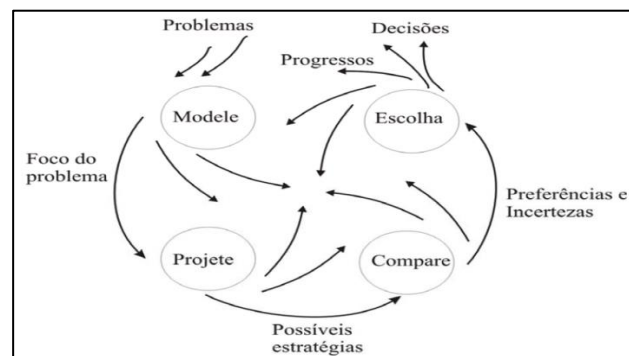
O SCA caracteriza-se por sua capacidade de planejamento sob pressão, pois combina o tratamento da complexidade (envolvendo análise de decisões interconectadas e o gerenciamento das incertezas) à ênfase na tomada de decisão (FRIEND, 2001). A estrutura do SCA é composta por quatro modos complementares, como na Figura 2.10, que se caracterizam como (MINGERS, 2011; LEVINO & MORAIS, 2013):

- **Shaping mode (modo de modelagem):** corresponde à primeira fase, e os atores concentram-se no conjunto de problemas de decisão, debatendo as formas para as escolhas e determinando como as áreas de decisões devem ser conectadas;
- **Designing mode (modo de design):** os atores preocupam-se com os cursos de ações viáveis em relação ao problema, ou seja, com as opções de decisão, discutindo se há

ações suficientes, ou se existe restrições. São consideradas as combinações prováveis das opções para o conjunto do esquema de decisão potencialmente viável;

- **Comparing mode (modo de comparação):** os atores atentam-se as implicações dos diferentes cursos de ação. Os esquemas das decisões viáveis são confrontados em diferentes áreas de comparação ou com os critérios identificados pelos agentes;
- **Choosing mode (modo de escolha):** satisfaz a última etapa do processo e os atores focam em como concordar com o compromisso das ações ao longo do tempo.

Figura 2.10 – A dinâmica do SCA



Fonte: Adaptado de Friend (2001)

O processo do SCA sofre a influência dos princípios da robustez e da variedade. O princípio da robustez está relacionado à escolha da opção que permita uma maior flexibilidade do processo no futuro. Assim, é preferível “apertar” as exigências no início do processo e depois “afrouxar” caso as coisas não transcorram satisfatoriamente, ao procedimento contrário. Enquanto, o princípio da variedade faz menção à escolha da Opção que permite o maior número de soluções (MIRANDA FILHO, 2007). Na última etapa da abordagem do SCA as incertezas devem ser consideradas (FRIEND & HICKLING, 2005):

- **Incerteza sobre o ambiente de trabalho (UE):** gerenciada através dos retornos de natureza relativamente técnica: pesquisas, entrevistas, previsões *etc.*;
- **Incerteza sobre os valores orientados (UV):** investiga resposta na forma de algum tipo de consulta com os decisores políticos ou partes interessadas;
- **Incerteza sobre as escolhas relacionadas (UR):** busca respostas na exploração dos *links* estruturais entre a decisão corrente e outras com as quais se interligam.

O SCA facilita a comparação interativa das alternativas, contribui na identificação das áreas prioritárias para o problema e na criação dos planos de contingência (MINGERS & ROSENHEAD, 2004).

2.6 Métodos de apoio a decisão multicritério

Os métodos multicritério correspondem às abordagens que auxiliam na organização e síntese das informações em um processo de decisão visando uma solução satisfatória, que por sua vez, é dificultada pela presença de critérios conflitantes (ZELENY, 1986).

De acordo com Roy (1996), o processo de tomada de decisão envolve confrontos entre as preferências dos diversos atores, seja por influência direta ou indireta e por terceiros. Dentre os atores, o papel central recai ao decisor por ser o responsável pela decisão e assumir suas consequências. Esse interveniente pode ser um indivíduo ou um grupo, a depender do modelo de decisão e da escolha do método. Os *stakeholders* são responsáveis por influenciar o decisor geralmente fazendo uso de pressão. E a terceira parte são os agentes que não participam da decisão, mas são afetados pelas suas consequências.

Os métodos multicritérios amparam no processo de escolher, classificar ou ordenar as potenciais ações agregando múltiplos aspectos no processo (COSTA *et al.* 2012). Nessas abordagens, o caráter científico alinha-se ao enfoque subjetivo, permitindo que a solução agregue características quantitativas e qualitativas, facilitando o entendimento do problema.

Um problema de decisão multicritério representa uma situação em que se tem pelo menos duas ações para se optar e deve focar a satisfação de múltiplos objetivos (DE ALMEIDA, 2013). Representativamente, corresponde a um conjunto A de alternativas e uma família F de critérios, na qual o decisor pode, segundo Vincke (1992):

- Estabelecer um subconjunto de F com as melhores alternativas de todo o espaço de ações possíveis (Problemática de escolha - $P.\alpha$);
- Segmentar o conjunto A obedecendo determinadas normas (Problemática de classificação - $P.\beta$); ou,
- Ordenar de forma decrescente, ou seja, da melhor para a pior, as alternativas de A (Problemática de ordenação - $P.\gamma$).

Roy (1996) também destaca a Problemática de descrição - $P.\delta$, que apoia a decisão através do relato das ações e suas consequências, agregando as informações necessárias para que o decisor possa entender as características de cada ação. Por sua vez, Belton & Stewart (2002) acrescentam outras duas classes:

- **Problemática de portfólio:** tem por finalidade a escolha de um subconjunto de alternativas dentre um conjunto de possibilidades, considerando as características individuais para cada alternativa e a forma como elas interagem;

- **Problemática de *design*:** seu objetivo consiste em procurar, identificar ou criar novas alternativas de decisão de acordo com as metas definidas pelo MCDA;

A seguir são apresentados outros elementos básicos que compõem os métodos de apoio a decisão multicritério. Salienta-se que caso as informações não sejam coletadas de forma correta, as alternativas não estejam bem determinadas, os custos e benefícios não forem completamente explícitos, as decisões obtidas podem atingir cursos desfavoráveis (HAMMOND *et al.* 1998).

2.6.1 Estruturas de preferências

Segundo Vincke (1992), são estruturas responsáveis pela modelagem de preferência do decisor através de relações binárias. É necessário identificar a subjetividade dos atores, ressaltando suas percepções individuais.

Um modelo de preferência satisfaz à representação formal de comparações entre as ações. Confrontando duas ações *a* e *b*, segundo Vincke (1992), um decisor pode manifestar opiniões como: indiferença entre as ações, preferência por uma das ações ou rejeição entre elas. De acordo com Roy (1996), tais comparações resultam no Sistema Básico de Relações de Preferências (SBRP) constituído por quatro conjunturas:

- **Indiferença (I):** satisfaz à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre duas ações;
- **Preferência Estrita (P):** obedece à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma (bem identificada) das duas ações;
- **Preferência Fraca (Q):** corresponde à existência de razões claras e objetivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma (bem identificada) das duas ações, mas essas razões são insuficientes para diferenciar uma preferência estrita em favor da outra, ou uma indiferença entre essas duas ações. Consequentemente, não é possível diferenciar nenhuma das duas situações precedentes;
- **Incomparabilidade (R):** satisfaz à existência de razões claras e objetivas que justifiquem qualquer uma das três situações precedentes.

Nas relações de preferências, para cada par de ação de *A*, pelo menos uma dessa coleção é aplicada (princípio da exaustividade); e, para cada par de ação de *A*, não pode haver justaposição com outra relação (princípio da exclusividade) (DE ALMEIDA, 2013).

2.6.2 Família de critérios

Os critérios devem obedecer ao princípio da exaustividade, sem que haja redundância. Um critério é uma função g , dado um conjunto A de preferências do decisor. De acordo com Vincke (1992), a avaliação de uma alternativa a em relação ao critério i é representada por $g_i(a)$, que por sua vez apresenta diversas classificações, como:

- **Critério verdadeiro:** corresponde ao modelo tradicional e requer uma pré-ordem completa na estrutura de preferência;
- **Semicritério:** associa-se a uma semiordem para a modelagem de preferência, ou seja, corresponde a presença de um limiar;
- **Critério de intervalo:** requer modelagem de preferência associada a uma ordem de intervalo, relativa ao modelo com limiar variável ao longo da escala de valor;
- **Pseudocritério:** a estrutura de preferência assume uma pseudo-ordem, que corresponde a um modelo de duplo limiar.

2.6.3 Avaliação intracritério e intercritério

Nos modelos multicritérios conhecendo as ações e os critérios para julgamento é possível formular uma matriz de decisão, conforme a Tabela 2.3. O procedimento intracritério incide na avaliação de cada ação i para todo critério j , resultando numa função $v_j(a_i)$ para ponderar as consequências (*payoffs*) entre tais elementos (DE ALMEIDA, 2013).

Tabela 2.3 – Matriz de consequência

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	...	C_m
a_1	$v_1(a_1)$	$v_2(a_1)$	...	$v_m(a_1)$
a_2	$v_1(a_2)$	$v_2(a_2)$	...	$v_m(a_2)$
...	...	...	...	...
a_n	$v_1(a_n)$	$v_2(a_n)$	...	$v_m(a_n)$

Fonte: De Almeida (2013)

Enquanto, a avaliação intercritério corresponde à análise entre as ações. Pode ser realizada de duas formas, seja por um “score” (valor) global para cada ação, ou por um procedimento que permita a comparação entre as ações sem a atribuição de um valor pleno.

2.6.4 Classificação dos métodos MCDA

Os métodos MCDA podem ser rotulados de diversas formas. Uma das classificações é quanto à natureza do conjunto de alternativas A , em: discreto, abrangendo os problemas de

ordem gerencial dotados de ações discretas; e, contínuo, englobando os métodos que usam programação matemática (DE ALMEIDA, 2013).

Vincke (1992) classifica os MCDA em três conjuntos: teoria da utilidade multiatributos; métodos de sobreclassificação e métodos iterativos. Roy (1985) e Pardalos *et al.* (1995) estabeleceram outra nomenclatura para esses métodos, sendo respectivamente:

- **Métodos de critério único de síntese:** apresentam a ideia de agregação compensatória, eliminando qualquer incomparabilidade, sendo baseados em Modelo Aditivo Determinístico e na Teoria da Utilidade (KEENEY & RAIFFA, 1976);
- **Métodos de sobreclassificação, prevalência, superação e síntese (*outranking*):** aceitam incomparabilidade e fundamentam-se na comparação par a par entre as alternativas. Destacam-se os métodos da Família ELECTRE e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*);
- **Métodos iterativos:** abrangem problemas discretos ou contínuos, sendo representados pelos métodos PLMO (Programação Linear Multiobjetivo).

Por outro lado, os métodos multicritérios podem ser divididos em: compensatórios, nestes prevalecem à ideia de *trade-off*, ou seja, compensa um pior desempenho de uma ação em certo critério por um melhor desempenho em outro critério; e, não compensatórios, é o caso contrário, quando não há *trade-off* entre os critérios (DE ALMEIDA, 2013).

Os métodos multicritérios vêm sendo amplamente empregados no contexto dos recursos hídricos. Nessa perspectiva, Ishizaka & Nemery (2013) ressaltam aplicações de sucesso do ELECTRE em contextos como: gestão ambiental, agricultura e floresta, energia, gestão da água, entre outros. Sendo a abordagem considerada nesta pesquisa está descrita a seguir.

2.6.5 A Família ELECTRE

Oriunda da Escola Francesa, a Família ELECTRE é caracterizada como uma análise sistemática da relação entre todos os pares possíveis de diferentes opções sobre um conjunto de critérios de avaliação (ROY & BOUYSSOU, 1993). Ou seja, obedece à lógica não compensatória, explorando as preferências do decisor por uma relação binária (ROY, 1991).

Esses métodos adotam o poder de veto através das noções de concordância e discordância. A concordância é relativa à força da hipótese de que uma alternativa é pelo menos tão boa quanto a outra. Assim, é possível dizer que *a* sobreclassifica *a'* (*aSa'*) se *a* é considerada pelo menos tão boa quanto *a'*. Enquanto a discordância preconiza as forças de evidências contra essa hipótese (ROY, 1991).

Esse método permite verificar quais as ações do problema são dominantes. Ou seja, uma alternativa a_m domina a alternativa b_m (aSb) se não existirem argumentos suficientes para dizer que a_m é pior que b_m . Considera-se como dominada a alternativa que “perde” para as demais, ou são piores em um maior quantitativo de critérios (BELTON & STEWART, 2002).

Segundo Roy (1996), a Família ELECTRE apresenta diversas versões, cada qual com suas particularidades operacionais quanto ao tipo de problema a ser resolvido, tais como:

- **ELECTRE I:** procura selecionar um conjunto de alternativas dominantes, sendo recomendado para as problemáticas de escolha ($P.\alpha$);
- **ELECTRE II:** resulta num *ranking* das alternativas não dominadas, sendo aconselhado para as problemáticas de ordenação ($P.\gamma$);
- **ELECTRE III:** aplicável aos casos em que se tem uma família de pseudocritério, sendo indicado para as problemáticas de ordenação ($P.\gamma$);
- **ELECTRE IV:** é igualmente aplicável nos casos com pseudocritério, diferenciando-se pela ausência do uso de ponderação associada à importância relativa dos critérios, sendo indicado para as problemáticas de ordenação ($P.\gamma$);
- **ELECTRE IS:** indicado para as problemáticas de escolha ($P.\alpha$) e para a família com estrutura de pseudocritério;
- **ELECTRE TRI:** aplicável aos casos de pseudocritério, sendo recomendado para as problemáticas de classificação ($P.\beta$).

Nesta pesquisa dois métodos serão explorados: o ELECTRE III e o ELECTRE TRI.

2.6.5.1 O método ELECTRE III

Este método fundamentado nas comparações entre alternativas visa eliminar as menos vantajosas e indicar as mais preferidas em acordo com a maioria dos critérios, sem resultar em níveis inaceitáveis de insatisfação em algum parâmetro julgado importante (ROY, 1996).

O método ELECTRE III introduz os conceitos de limiar de preferência p_j e limiar de indiferença q_j , a cada critério g_j . Consequentemente o decisor pode estabelecer um intervalo de valores no qual uma ação é estritamente preferível à outra e um intervalo no qual uma ação é indiferente à outra. Dessa forma, as tradicionais relações de preferência adquirem as seguintes características (BUCHANAN *et al.* 1998):

$$aPb: a \text{ é preferível a } b, \text{ se } g_j(a) > g_j(b) + p_j \quad (2.4)$$

$$aIb: a \text{ é indiferente a } b, \text{ se } |g_j(a) - g_j(b)| \leq q_j \quad (2.5)$$

Os valores dos limiares de indiferença e preferência são estabelecidos pelo próprio decisor, sendo uma forma de demonstrar seu grau de sensibilidade ao comparar duas ações.

Segundo Vincke (1992), a primeira fase do ELECTRE III assinala-se pela definição de um grau de sobreclassificação $S(a,b)$, que consiste no valor da relação de sobreclassificação do método utilizando os índices de concordância e discordância. O índice $S(a,b)$ é associado a cada par ordenado de alternativas (a,b) , denotando o grau de credibilidade de a sobre b . A mensuração varia entre 0 e 1, consistindo numa função crescente de $g_j(a) \forall j$ e decrescente de $g_j(b) \forall j$, pois os valores crescem quanto mais forte for a sobreclassificação de b por a .

O índice de concordância entre as alternativas tem como propósito a construção de uma matriz para os critérios. Apreciando as ações a e b é definido em conformidade com a Equação (2.6).

$$C(a,b) = \sum_{j=1}^n p_j c_j(a,b) \quad (2.6)$$

Onde:
$$C_j = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \\ 0 & \text{se } g_j(a) + p_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \\ \text{limiar entre os dois} & \end{cases}$$

Sendo q_j e p_j , os limiares de indiferença e preferência, respectivamente.

Segundo Vincke, no ELECTRE III, o índice de discordância requer a introdução do limiar de veto $v_j(g_j(a))$, responsável por rejeitar qualquer credibilidade da sobreclassificação de b por a se:

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j(g_j(a)) \\ 1 & \text{se } g_j(b) \geq g_j(a) + v_j(g_j(a)) \\ \text{limiar entre os dois} & \end{cases} \quad (2.7)$$

Conhecendo os índices de concordância e discordância, é possível determinar a matriz de credibilidade, a qual mede quão forte é a afirmação aSb (BUCHANAN *et al.* 1998). Assim, segundo Vincke (1992), o grau de sobreclassificação pode ser definido pela Equação (2.8).

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b) & \text{se } D_j(a,b) \leq C(a,b), \forall j \\ C(a,b) \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1 - D_j(a,b)}{1 - C(a,b)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.8)$$

onde $J(a,b)$ é o conjunto de critérios que satisfazem

O grau de sobreclassificação é igual ao índice de concordância quando não há discordância para nenhum critério. Finalizada a matriz de credibilidade tem-se a segunda fase do ELECTRE III, que consiste na exploração da relação de sobreclassificação, sendo alcançadas duas pré-ordens completas. Para obter a primeira pré-ordem é aplicado o procedimento da destilação descendente, que versa no algoritmo (DE ALMEIDA, 2013):

- Partindo do conjunto A , seleciona-se a melhor alternativa a_j , denominada de primeira destilação D_1 .
- A alternativa em D_1 é retirada do conjunto A , que por sua vez, recebe o nome de A' ;
- Repetem-se os procedimentos 1 e 2 sobre A' remanescente, obtendo a destilação D_2 e assim sucessivamente até descobrir a alternativa com pior desempenho.

Caso D_1 tenha mais de uma alternativa, realiza-se o procedimento anterior até que reste única alternativa. Prosseguindo, a segunda pré-ordem é obtida pela destilação ascendente, um processo que seleciona as opções com menor desempenho (DE ALMEIDA, 2013).

Assim, determina-se um valor λ , o qual será o máximo valor da matriz de credibilidade ($\lambda = \max S(a,b)$), sendo também definido um coeficiente de “relaxamento” para λ , sendo $\lambda \cdot s(\lambda)$, onde $s(\lambda)$ corresponde ao limiar que permite a seleção de valores próximos de λ (VINCKE, 1992). Complementando, De Almeida (2013) pondera que na literatura tem-se a recomendação de usar $s(\lambda) = 0,3 - 0,15\lambda$, de modo que “ a é λ preferível a b ”, se $S(a,b)$ é aceita.

A partir do limite para o qual se aceita a relação $S(a,b)$, tem-se a determinação do índice de qualificação que é igual ao número de alternativas em relação às quais a é preferível menos o número de alternativas em que são preferíveis a alternativa a . Para a definição do ranqueamento final as seguintes regras de classificação são válidas (MAYSTRE *et al.* 1994):

- Se a é preferível a b , dentro das duas pré-classificações, então a será preferível a b no ranqueamento final;
- Se a é equivalente a b , em uma das pré-classificações, mas ela é preferível na outra, então a é preferível a b ;
- Se a é preferível a b em uma das pré-classificações, mas na outra pré-classificação b é preferível a a , então as duas ações serão incomparáveis entre si.

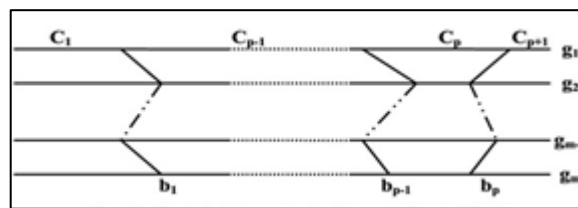
Finalizado esses procedimentos, faz-se necessário verificar a robustez dos resultados. Essa análise é realizada variando-se os parâmetros, pesos e limites de preferência, indiferença e veto estabelecidos inicialmente, visando determinar o domínio de variação nos resultados (MAYSTRE *et al.* 1994).

2.6.5.2 O método ELECTRE TRI

O ELECTRE TRI é um método de classificação que tem como propósito alocar um conjunto de alternativas potenciais de um conjunto A em classes ou categorias previamente definidas. Inicialmente, é construída uma relação de sobreclassificação (S), admitindo todas as relações de preferência existentes e em seguida essa relação é explorada, permitindo a disposição das alternativas em categorias por perfis (alternativas de referência) (FIGUEIRA *et al.* 2005; YU, 1992; ROY & BOUYSSOU, 1993; MOUSSEAU & SLOWINSKI, 1998).

Nesse método são consideradas as avaliações das alternativas para cada critério $\{g_1, \dots, g_i, \dots, g_m\}$ e um conjunto de índices de perfis $\{b_1, \dots, b_h, \dots, b_p\}$, sendo estabelecidas $p+1$ categorias, em que b_h representa o limite superior da categoria C_h e o limite inferior da categoria C_{h+1} , para $h = 1, 2, \dots, p$, como disposto na Figura 2.11 (DE ALMEIDA, 2013; DIAS & CLIMACO, 2000).

Figura 2.11 – ELECTRE TRI: limites entre as categorias



Fonte: Adaptado de Mousseau e Slowinski (1998)

As preferências de cada critério são definidas por um pseudocritério. Assim, os limiares de preferência $p_j[g(b_h)]$ e indiferença $q_j[g(b_h)]$ constituem as informações intracritério. A partir da comparação entre os perfis são construídas as relações de sobreclassificação (aSb_h), obedecendo a duas condições para sua validação, segundo Mousseau *et al.* (2001):

- **Concordância:** para a relação aSb_h ser aceita, a maioria suficiente dos critérios deve estar em seu favor. Em virtude disso, no ELECTRE TRI é construído um índice de concordância para cada critério e um índice de concordância global intercritérios;
- **Não discordância:** quando a condição de concordância for atendida, nenhum dos critérios deve opor-se a aSb_h . Para verificar esse fato é estabelecido um índice de discordância para cada critério.

Segundo De Almeida (2013), para a construção da relação de sobreclassificação são utilizados os limiares de veto ($v_1(b_h)$, $v_2(b_h)$, ..., $v_m(b_h)$) presente no teste de discordância. Sendo $v_j(b_h)$ a menor diferença entre $g_j(b_h) - g_j(a)$ que por sua vez é incompatível com aSb_h .

Para a determinação dos índices de concordância parcial $c_j(a,b)$, concordância $c(a,b)$ e discordância $d_j(a,b)$ são consideradas as Equações 2.9, 2.10 e 2.11, respectivamente.

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (2.9)$$

$$C(a,b) = \frac{\sum_{j \in F} k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} k_j} \quad (2.10)$$

$$d_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{g_j(b_h) + g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)}, & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (2.11)$$

Fundamentado nos princípios da concordância e da discordância, este método constrói um índice de credibilidade $\sigma_j(a,b_h) \in [0,1]$, dado pela Equação (2.12), que representa o grau em que é possível acreditar em uma relação de subordinação S (YU, 1992).

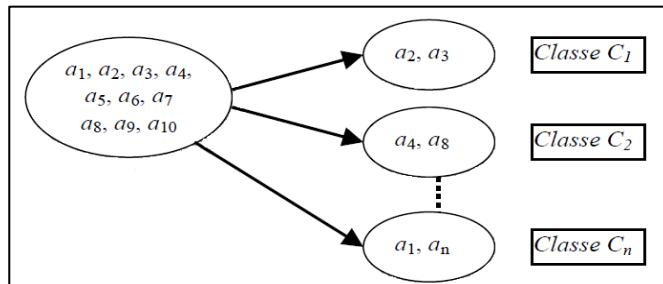
$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \cdot \prod_{j \in F} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)} \text{ onde } \bar{F} = \{j \in F : d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\} \quad (2.12)$$

Complementando, Mousseau *et al.* (2001) acredita que a alocação de cada alternativa a em uma categoria não resulta apenas da avaliação de aSb_h , mas também na etapa de exploração das relações de sobreclassificação entre os pares de alternativas e os perfis. Utiliza-se um nível de corte $\lambda \in [0.5, 1.0]$ e configuram as seguintes preferências:

$$\begin{aligned} \sigma(a, b_h) \geq \lambda \text{ e } \sigma(b_h, a) \geq \lambda &\rightarrow aSb_h \text{ e } b_hSa \rightarrow a \text{ é indiferente a } b_h; \\ \sigma(a, b_h) \geq \lambda \text{ e } \sigma(b_h, a) < \lambda &\rightarrow aSb_h \text{ e } b_hSa \rightarrow a \text{ é preferível a } b_h; \\ \sigma(a, b_h) < \lambda \text{ e } \sigma(b_h, a) \geq \lambda &\rightarrow aSb_h \text{ e } b_hSa \rightarrow b_h \text{ é preferível a } a; \\ \sigma(a, b_h) < \lambda \text{ e } \sigma(b_h, a) < \lambda &\rightarrow aSb_h \text{ e } b_hSa \rightarrow a \text{ é incomparável a } b_h. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Representativamente, o ELECTRE TRI promove a atribuição do desempenho das alternativas às classes definidas previamente, conforme a Figura 2.12.

Figura 2.12 – Classificação no ELECTRE TRI



Fonte: Mousseau & Slowiski (1998)

Segundo Mousseau *et al.* (2001), dois procedimentos podem ser utilizados para a atribuição das alternativas às categorias:

1. Procedimento pessimista:

- Compara sucessivamente as ações a com os perfis b_h , para $h = p, p-1, \dots, 1$;
- b_h sendo o primeiro perfil, tal que aSb_h representa a para categoria C_{h+1} ($a \rightarrow C_{h+1}$).

2. Procedimento otimista:

- Compara-se sucessivamente as ações a com os perfis b_h , para $h = 1, 2, \dots, p$;
- b_h sendo o primeiro perfil, tal que b_h seja preferível a a designa-se a para categoria $C_h(a \rightarrow C_h)$.

Por conseguinte, no método ELECTRE TRI inicialmente são construídas as relações de sobreclassificação, e em seguida procedem as devidas explorações. No procedimento pessimista a atribuição das alternativas às categorias é alcançada de uma forma mais conservadora, ou seja, mais exigente, caso contrário ocorre na classificação otimista. Caso ocorra convergência entre as classificações pessimista e otimista, é um indicativo que o sistema construído foi capaz de comparar as alternativas aos perfis. Contudo, em evento de divergências sugere deficiência em comparar as alternativas em pelo menos um dos limites, desse modo, os parâmetros do modelo podem ser revistos (ARAZ & OZKARAHAN, 2007).

Para uso dos métodos da Família ELECTRE explanados, requerem-se a determinação dos pesos dos critérios. Dada atividade, nesta pesquisa, conta com o apoio do Procedimento revisto de Simos proposto por Figueira & Roy (2002).

2.7 Procedimento revisto de Simos

O procedimento de Simos tem por finalidade a elicitação dos pesos de diferentes critérios através de cartões, facilitando a avaliação de atributos subjetivos. Por ser uma técnica relativamente simples que permite uma compreensão indutiva, não requer que o decisor tenha conhecimento sobre decisão multicritério (SIMOS, 1990; FIGUEIRA & ROY, 2002).

Figueira & Roy (2002) pontuam que o procedimento de Simos, no que tange ao processamento da informação, merece ser revisto em dois motivos:

1. Ser baseado em suposição irrealista decorrente da falta de informação essencial;
2. Leva a processar critérios com mesma importância (peso) de forma não robusta.

Dessa forma, o procedimento revisto em suas etapas iniciais é idêntico ao tradicional, modificando apenas o modo para o cálculo dos pesos não normalizados e normalizados.

Detalhando o processo pontua-se que a coleta de informações, juntamente com o decisor, obedece três etapas, sendo (FIGUEIRA & ROY, 2002):

- É dado ao decisor um conjunto de cartões nomeados com os critérios, sendo n cartões, referentes à n critérios da Família F. Caso necessário, podem ser incluídas informações a respeito dos critérios em cada cartão. São fornecidos também “cartões brancos” do mesmo tamanho, ou seja, sem nenhuma informação escrita;
- Ao decisor é requerido que organize os cartões nomeados ordenando os critérios em ordem crescente de importância. Caso alguns critérios detenham a mesma importância, constrói-se um subconjunto de cartões, mantendo-os numa mesma posição do *ranking*. Ao fim, é obtida uma pré-ordem completa dos critérios;
- É solicitado que o decisor reflita sobre a diferença da importância de dois critérios sucessivos. Os cartões brancos devem ser usados para representar a diferença entre os pesos dos critérios. Uma maior quantidade de cartões significa uma maior diferença entre os pesos. Se não há cartão branco entre os critérios, remete que a diferença de peso entre eles tem uma unidade de medição u . Se há um cartão branco a diferença de peso entre os critérios é duas vezes u , e assim sucessivamente.

Mediante tais informações, é estabelecido o algoritmo para cálculo dos pesos não normalizados e normalizados. Originalmente, o procedimento para converter a ordenação em pesos limitava o conjunto dos pesos viáveis, uma vez que determinava automaticamente a razão entre o peso do critério mais importante e o peso do critério menos importante. Caso não haja cartões na primeira e última fileira, a proporção é igual ao número total de cartões, T . Contudo, se existe um subconjunto com critérios q mais importantes e um subconjunto com p critérios menos importantes no *ranking*, obtém-se a razão utilizando a Equação (2.14).

$$z = \frac{(\sum_{i=0}^{q-1} (T - i))p}{(\sum_{i=0}^{p-1} (1 + i))q} \quad (2.14)$$

No entanto, o procedimento de Simos revisto por Ferreira & Roy (2002) tem a informação adicional que justamente refere-se a razão entre os pesos mais importante e o menos importante, denominada z .

A Equação (2.15) corresponde à definição dos pesos não normalizados, sendo e'_r o número de cartões brancos entre os *rankings* r e $r+1$.

$$k(r) = 1 + u(e_0 + \dots + e_{r-1}) \text{ com } e_0 = 0 \quad (2.15)$$

$$\text{Onde: } \begin{cases} e_r = e'_r + 1 \quad \forall r = 1, \dots, \bar{n} - 1, \\ e = \sum_{r=1}^{\bar{n}-1} e_r, \\ u = \frac{z-1}{e} \end{cases}$$

Para a determinação dos pesos normalizados (k_i^*) considera-se a Equação (2.16), sendo $k_i' = k(r)$ o peso não normalizado.

$$\begin{cases} k' = \sum_{i=1}^n k_i' \\ k_i^* = \frac{100}{k'} k_i' \end{cases} \quad (2.16)$$

Finalizada a aplicação do algoritmo, os pesos para os critérios estão determinados. Dadas operações pode recorrer ao suporte do *software Logiciel* SRF (Simos-Roy-Figueira) versão 2.2 da LAMSADE. Esse *software*, segundo Augusto *et al.* (2008), é capaz de realizar a análise de sensibilidade e robustez, permitindo testar o impacto da incerteza, imprecisão e/ou imprecisão nos resultados.

2.8 A abordagem multicritério aplicada aos sistemas de abastecimento

Os métodos de decisão multicritério tem apresentado uma vasta gama de aplicações no contexto dos recursos hídricos. Nesse sentido, Hajkowicz & Collins (2007) catalogaram oito aplicações possíveis, sendo: gestão de captação, gestão de águas subterrâneas, seleção de infraestrutura, avaliação do projeto, distribuição de água, política da água e planejamento da oferta, gestão da qualidade da água e, gestão de áreas marinhas protegidas.

As companhias de saneamento necessitam constantemente de melhorias e ampliações, tendo em vista o crescimento populacional, a escassez de água, a deterioração das tubulações e estruturas *etc.*, tornando fundamental um gerenciamento integrado e sustentável (CARDOSO *et al.* 2012). Nesta seção, será dada ênfase as aplicações multicritério no que ao contexto dos sistemas de abastecimento de água, tanto no segmento de captação em fontes subterrâneas como nas redes de distribuição.

Agarwal & Garg (2016) reconhecendo a necessidade de estudos que auxiliem na exploração sustentável dos mananciais subterrâneos propuseram um modelo para delinear as suas faixas potenciais de ocorrência, bem como as áreas de recarga, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto (do inglês *Remote Sensing*, RS), Sistema de Informação Geográfica (do inglês, *Geographical Information System*, GIS) e método multicritério. Os autores empregaram o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para normalizar os pesos e suas classes para delinear os limites das análises; e, o ambiente GIS possibilitou gerar representações

visuais. O mapa potencial de ocorrência das águas subterrâneas contém cinco zonas: "muito pobre", "pobre", "bom", "muito bom" e "excelente". Enquanto, o mapa dos pontos de recarga possui quatro zonas: "mais adequado", "moderadamente adequado", "pouco adequado" e "não adequado". Tais resultados podem ser úteis aos decisores na identificação dos locais adequados para a perfuração de poços, quer seja para extração ou proteção. Estudos semelhantes foram realizados por Jha *et al.* (2010) e Sahoo *et al.* (2015).

Antonakos *et al.* (2014) propuseram um modelo que proporcionasse maior capacidade de análise quanto ao local para a perfuração de novos pontos de captação de água subterrânea, através da abordagem multicritério e lógica *fuzzy*. Assim, foram estabelecidos doze parâmetros alocados em três categorias: rendimento de poço, qualidade da água subterrânea e restrições econômicas e técnicas. Uma visão facilitada das classificações da área de estudo pode ser obtida pelas técnicas GIS que gera um mapa com os aspectos desejados. Atestando a viabilidade do estudo, a aplicação do modelo pode ser utilizada pelas autoridades locais e pelos decisores para a gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos.

Monte & De Almeida-Filho (2016) enfatizaram o problema quanto à determinação do intervalo de tempo para as atividades de manutenção preventiva nos poços de sistemas de abastecimento público. Dessa forma, construíram um modelo multicritério baseado em MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*) ponderando os critérios de custo e disponibilidade do sistema. Esse estudo tende a proporcionar benefícios em caráter social, por estabelecer uma política de manutenção que aumenta a disponibilidade dos poços e, conseqüentemente a continuidade no fornecimento de água; bem como gera benefícios à companhia de saneamento tendo em vista a redução dos custos e aumento no rendimento.

Ainda com relação à temática da conservação dos equipamentos nos poços, De Almeida-Filho *et al.* (2016), desenvolveram um modelo que engloba no processo de decisão tanto as preferências dos gerentes de manutenção como as perspectivas dos clientes, para definir os critérios de avaliação em termos do intervalo ideal para a manutenção preventiva nos poços. Os métodos multicritérios MAUT e PROMETHEE II foram utilizados para a classificação das preferências individuais. Finalizada essa atividade, os procedimentos de votação foram úteis para encontrar uma alternativa que melhor concilie as preferências dos decisores envolvidos, a fim de reduzir o tempo de inatividade devido a falhas nos equipamentos. Esse trabalho é destacado quando aplicado em sistemas sob o regime de racionamento, ou seja, localidades que recebem água apenas em momentos pré-definidos.

No segmento de saneamento, considerando os investimentos, tem-se que do montante nacional disponibilizado nos anos base de 2013 e 2014, aproximadamente 41% foram

direcionados aos serviços de água (BRASIL, 2015; 2016). No entanto, Cambrainha & Fontana (2015) consideram que nos estados do Nordeste brasileiro, não houve nenhuma aplicação de capital direcionada a redução das perdas. Esse estudo também revela que em Pernambuco, os investimentos são voltados ao incremento do volume de coleta de água e no aumento na extensão da rede de abastecimento.

Zyoud *et al.* (2016) apreciam que uma gestão sustentável da água tem como tarefa central a redução das perdas nos sistemas de distribuição. Esses autores propuseram um modelo multicritério de decisão para identificar, dentre um conjunto de opções, as estratégias-chaves para minimizar as perdas físicas de água nos países em desenvolvimento. Com uma metodologia integrada, o AHP tem utilidade para estabelecer os pesos aos critérios e o TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*) fuzzy para auxiliar no *ranking* das opções para atingir o objetivo geral com base nas avaliações e preferências dos decisores. Quanto aos resultados, foram enfatizados, primordialmente, o gerenciamento das pressões e a estratégia de controle, seguido do emprego de tecnologia avançada e do estabelecimento de áreas calibrada.

Morais *et al.* (2010) desenvolveram um modelo multicritério baseado no PROMETHEE I visando priorizar as áreas críticas de perdas de uma cidade para melhorar a operacionalização dos sistemas de abastecimento a fim de reduzirem os desperdícios de água. Os critérios estabelecidos seguiram três agrupamentos: técnicos, qualidade da água e contexto social, sendo ponderados pelas preferências do decisor. Mediante a identificação das localidades críticas, tornou possível concentrar de forma mais eficiente os investimentos de tempo e recursos.

Trojan & Moraes (2015) propuseram um complexo modelo multicritério para analisar os problemas na gestão da manutenção. Assim, trata os problemas em três fases interligadas: classificação, ordenação e agregação. Este modelo foi desenvolvido para ajudar os gestores a visualizar alternativas viáveis para melhorar as técnicas de manutenção, seja no viés: corretivo, preventivo ou proativo. Com esta proposta, a tomada de decisão pode focar-se nas ações de manutenção efetiva, visando alcançar metas de excelência em manutenção e, conseqüentemente melhoria na disponibilidade e qualidade dos serviços de água, respeito ao meio ambiente e redução de perdas nos sistemas de abastecimento.

Por sua vez, Moraes *et al.* (2014) salientam a importância de diversos agentes para tratar problemas nos SAA. Dessa forma, foi proposto um modelo para abordar a problemática de classificação em grupo, usando o método SMAA-TRI. Dessa forma, aloca em categorias as áreas do sistema em estudo, considerando como parâmetro as perdas de água. Mediante os

diferentes pontos de vista e incertezas é possível obter um melhor gerenciamento quanto ao plano de manutenção e dos usos mais eficiente dos escassos recursos financeiros para a região em estudo. Ou seja, prioriza-se em identificar as zonas onde as perdas são intensas e, assim, focar o esforço dos gestores nessas regiões.

Morais & De Almeida (2010), apresentaram uma proposta para reabilitação das redes de distribuição de água a partir de uma abordagem de tomada de decisão em grupo. Esse modelo, obedecendo à problemática de escolha, recorre à análise dos *rankings* individuais, de modo a identificar alternativas que são mais favoráveis ao problema, melhorando a qualidade das decisões. Moraes & De Almeida (2012) também desenvolveram uma perspectiva de análise semelhante, mas aplicada para apoiar a escolha de uma alternativa para controlar a degradação da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizado no estado de Pernambuco, Brasil. O método adotado foi o PROMETHEE II, e ao obter o ranqueamento final também propõem uma comparação dos resultados com tradicionais procedimentos de votação.

Fontana & Moraes (2016) tendo em vista selecionar um subconjunto de ações de manutenção preventivas viáveis para controlar as perdas de água, propuseram um modelo baseado na análise multiatributo aditiva através do método SMARTER para avaliar alternativas com Programação Linear Inteira. O modelo proposto se torna especialmente útil quando o número de alternativas for alto, e existirem atributos compensatórios na opinião do decisor.

Scholten *et al.* (2014) propuseram um modelo para auxiliar no planejamento de reabilitação estratégica das redes de água a longo prazo, combinando os métodos de gestão estratégica de ativos, modelagem falha, análise de decisão e análise de cenários. Nesse estudo é ressaltado que a substituição puramente reativa não é recomendável, a menos que o custo seja o único objetivo relevante, uma vez que contribui fracamente para a confiabilidade do sistema, um contexto diferente as práticas proativas.

Em termos de avaliação dos serviços nos sistemas de abastecimento de água, Melo *et al.* (2015) ponderaram oito municípios do Rio Grande do Norte, tomando como apoio o método TOPSIS. O modelo desenvolvido baseou-se em onze critérios divididos em três categorias (operacional, financeiro e qualidade) para hierarquizar as alternativas em estudo. Para essa mesma problemática Pinto *et al.* (2016) utilizaram o método ELECTRE TRI-nC para medir a prestação dos serviços em Portugal, definindo as categorias e os indicadores agregados de desempenho. Tendo em vista trabalhar com critérios coerentes foi aplicada a lógica da iso-preferência. E para uma melhor visualização, os resultados são expressos com auxílio das ferramentas GIS.

2.9 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou um aporte dos principais conceitos relacionados à temática dos sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea. Além de caracterizar cada etapa desse tipo de sistema, foi também discutida sua relação com a gestão da manutenção.

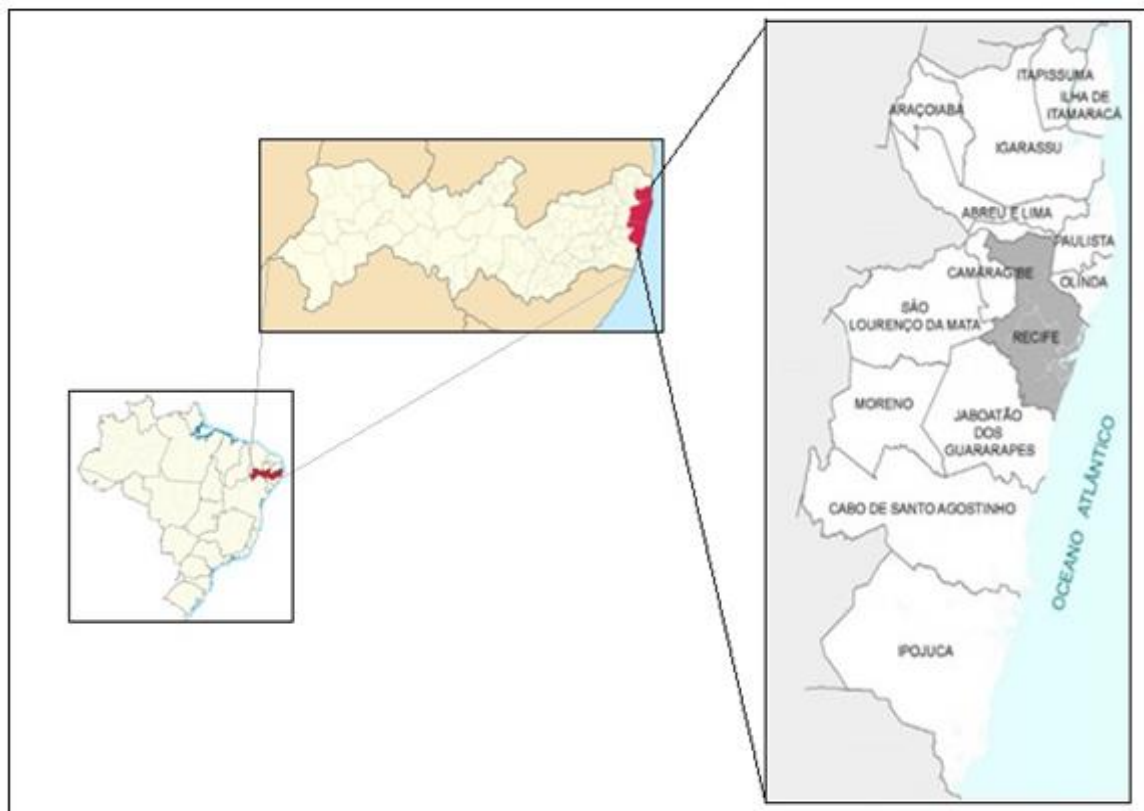
Como incitado, a tomada de decisão é uma tarefa complexa. Assim, foram apresentados os métodos de estruturação de problemas, que são úteis para esclarecer a percepção dos atores. Por sua vez, os métodos de apoio a decisão multicritério possibilitam uma representação formal e com simplificação das variáveis da situação estudada, considerando a preferência do(s) decisor(es). Enquanto, o procedimento de Simon revisto por Figueira & Roy (2002) tem seu destaque por auxiliar na definição dos pesos para os critérios de avaliação das alternativas de decisão.

Por fim, foram discutidos vários modelos multicritérios desenvolvidos para a tomada de decisão no contexto do abastecimento de água, considerando diferentes perspectivas dos problemas e dos métodos empregados.

3 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A cidade de Itamaracá é uma ilha no litoral norte pernambucano distante 48 km da capital do estado, Recife. Banhada pelo oceano Atlântico, é separada do continente pelo canal de Santa Cruz, sendo a travessia possível pela ponte Presidente Getúlio Vargas. Está localizada a uma latitude de 07°44'52" sul, longitude de 34°49'32" oeste e altitude de 19 m em relação ao nível do mar. Considerando as localidades vizinhas, limita-se ao norte com Goiana, ao sul com Igarassu e ao oeste com Itapissuma e tem na rodovia PE-035 sua principal via para deslocamento. A Ilha de Itamaracá juntamente com outros treze municípios compõem a RMR, representada na Figura 3.1 (IBGE, 2010).

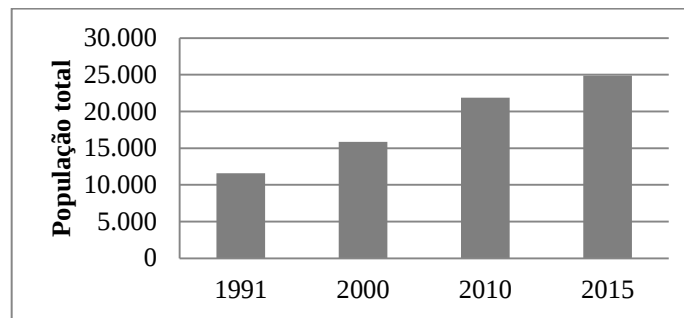
Figura 3.1 – Divisão político-administrativa da RMR



Fonte: Adaptado de Atlas Metropolitano (2005)

O município da Ilha de Itamaracá estende-se por 67 km² e foi criado pela Lei nº 30.338 de 31 de dezembro de 1958, embora a ocupação em seu território tenha sido iniciada na época colonial. Suas áreas urbanas e rurais são bem delimitadas e alguns dos seus bairros estão demonstrados na Figura 3.2, sendo no Pilar, sua atual sede administrativa (ILHA DE ITAMARACÁ, 2013?).

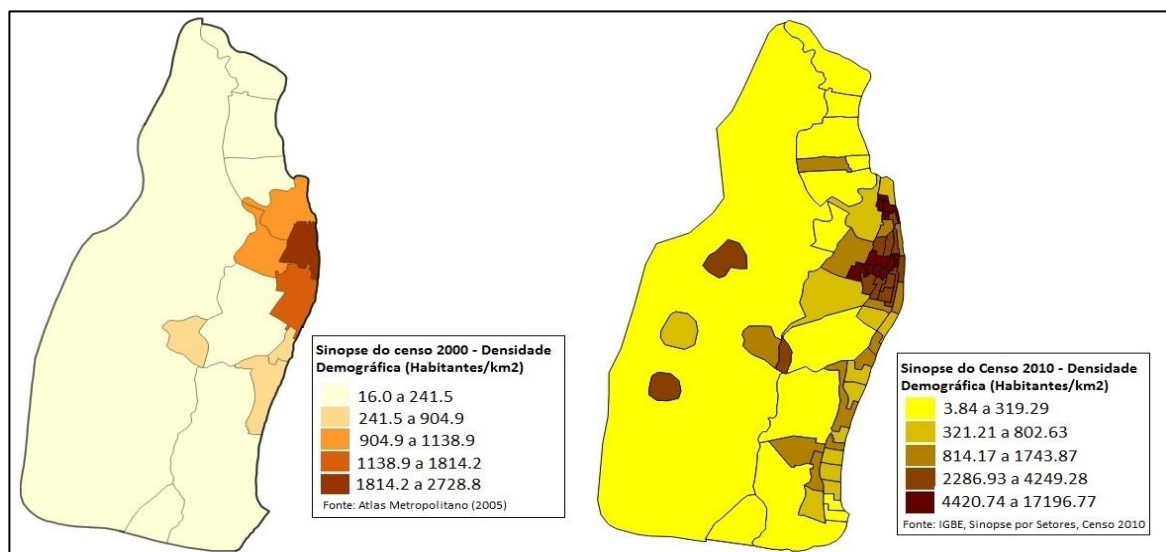
Figura 3.3 – Índice de crescimento populacional da Ilha de Itamaracá



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Analisando a Figura 3.3 percebe-se que o número de habitantes praticamente dobrou no lapso temporal de 1991 a 2010. A população no município é predominantemente urbana e com adensamento na região costeira, conforme a Figura 3.4. Segundo o IBGE (2010), dos 21.884 residentes em 2010, 16.993 cidadãos viviam na zona urbana, enquanto o perímetro rural totalizava 4.891 moradores, resultando numa densidade demográfica de 328,17 hab/km². Para o ano de 2016 foi estimado um quantitativo de 25.346 habitantes.

Figura 3.4 – Mapa do crescimento demográfico da Ilha de Itamaracá



Fonte: Adaptado de Atlas do desenvolvimento humano na RMR (2005) e IBGE (2010)

A Ilha de Itamaracá é dominada pelo clima tropical com uma temperatura média anual de 26°C. Situada na unidade geoambiental das baixadas litorâneas do Nordeste apresenta dunas, restingas e mangues. Seis reservas ecológicas estão nessa região, sendo: Mata do Amparo, Mata do Engenho Macaxeira, Mata do Engenho São João, Mata de Jaguaribe, Mata Lance dos Cações e Mata de Santa Cruz. Inclusive, abriga o Centro de Preservação do Peixe-Boi-marinho dentro dos resquícios de conservação de Mata Atlântica (CPRM, 2005).

Em termos hídricos, a Ilha de Itamaracá está incluída no domínio dos grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos, sendo seus principais rios: o Paribe e o Jaguaribe. Do ponto de vista geológico encontra-se na Província Borborema, sendo formada pelos litotipos da Formação Gramame, do Grupo Barreiras e dos Depósitos Flúvio-marinhos. As ocorrências minerais frequentes são a argila, a areia e o calcário (CPRM, 2005).

Economicamente, a maior parte da população está alocada nas áreas de prestação de serviços, administração pública e comércio de mercadorias, compreendendo respectivamente as porcentagens de 31,58%, 13,95% e 9,14%. Por outro lado, a área industrial, serviços auxiliares da atividade econômica, a área de comunicação e transportes, são as ocupações que abrigam as menores porcentagens da população (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010).

Essa expressividade para o setor de prestação de serviços relaciona-se ao fato da região ser um ponto turístico de Pernambuco. Além das belas paisagens litorâneas, com águas calmas, bancos de areias e piscinas naturais, o município tem uma relevante importância histórica, carregando símbolos tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional (IPHAN), como o Forte Orange. Localidades como Vila Velha também é destacada pela presença de casarões e capelas do século XVI. Em termos culturais, a Ilha de Itamaracá é conhecida por ser o berço da Ciranda, uma dança representativa do estado (ILHA DE ITAMARACÁ, 2013).

Com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) para o ano de 2010 de 0,653, o município conquistou a 21ª posição em relação aos 185 municípios pernambucanos (ATLAS BRASIL, 2013). Duas penitenciárias estão localizadas na região: a Agroindustrial São João de Itamaracá e a Professor Barreto Campelo, além de um Hospital de Custódia para tratamento psiquiátrico (ILHA DE ITAMARACÁ, 2013).

A Ilha de Itamaracá configura o abastecimento público de água como sendo provindo exclusivamente de fontes subterrâneas, delimitadas pelo aquífero Beberibe (ANA, 2010). Esse é o principal aquífero explorado na RMR, satisfazendo a demanda local há mais de cinquenta anos. Caracterizado estratigraficamente pelo embasamento cristalino repousando nos sedimentos da Era Cretácea, divide-se em: aquífero Beberibe Inferior (composto por arenitos conglomeráticos de coloração branca a cinza, essencialmente quartzos) e aquífero Beberibe Superior (predomina arenito creme, granulometria média a grossa, com cimento calcífero) (LIMA FILHO & MELO, 2004).

O atendimento da população urbana aos serviços de abastecimento de água atinge 100%, sendo dois prestadores: a Prefeitura municipal e a Companhia Pernambucana de

Saneamento (COMPESA), que corresponde ao objeto de estudo desta pesquisa. No entanto, o município não é provindo de saneamento básico.

3.1 Sistema de captação de água de água na Ilha de Itamaracá

No ano de 2014, na Ilha Itamaracá, foram registradas 10.478 economias ativas e 9.099 ligações ativas de água (SNIS, 2016). O sistema de abastecimento sob o domínio da Prefeitura é composto por quatro poços, caracterizados como:

- **Poço 1 (Chafariz):** poço de uso coletivo com fornecimento de água situado por três torneiras de jardim ligadas ao pequeno reservatório, localizado na Rua Amazonas especificadamente no Sítio Bom Jesus, no bairro de Jaguaribe;
- **Poço 2:** situado as margens da PE-035, no bairro Alto da Felicidade. O fornecimento de água é diretamente canalizado na rede de distribuição;
- **Poço 3:** posto na Rua Eliz Regina, no bairro do Sossego. Dispõe de um reservatório com duas torneiras de jardim e também fornece água por rede de distribuição;
- **Poço 4:** centrado da Praça de Vila Velha, no próprio bairro de Vila Velha. O fornecimento de água é canalizado partindo de um reservatório elevado.

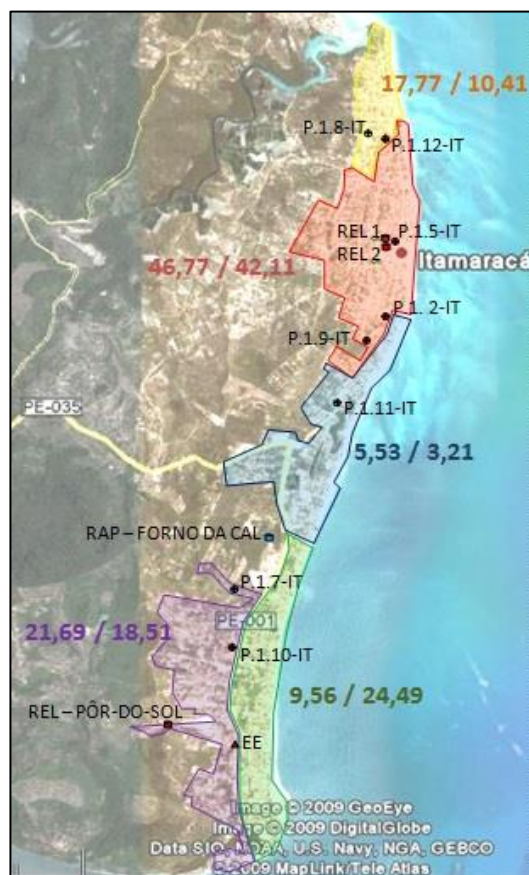
Com exceção do Poço 1 que complementa o provimento de água, por estar em uma região prioritariamente atendida pela Compesa, os demais poços abastecem exclusivamente pequenas comunidades. Estima-se que a Prefeitura forneça água para 1.000 habitantes.

O SAA da Compesa passou por modificações recentes, pois nos anos 2009/2010 foi constatado que sua capacidade não estava suprimindo a procura, conforme as evidências na Figura 3.5 do comparativo médio da demanda/produção em “l/s” nas zonas de abastecimento.

Esse sistema era composto por oito poços e quatro reservatórios. Os poços P.1.2-IT, P.1.5-IT, P.1.9-IT e P.1.12-IT abasteciam os reservatórios R_1 e R_2 , cada um com capacidade de 200 m^3 ; o poço P.1.11-IT abastecia o reservatório R_3 com capacidade de 250 m^3 . Os poços P.1.7-IT e P.1.10-IT proviam água à região do Forte Orange, estando ligados diretamente à rede de distribuição, em razão da ausência de reservatórios. Situação semelhante era registrada para o poço P.1.8-IT responsável pelo fornecimento de água na área de Jaguaribe.

Tendo em vista a necessidade de expansão do sistema para atender a sociedade, foram construídos dois poços e dois reservatórios. Dessa forma, atualmente, a Compesa conta com nove poços operantes na Ilha de Itamaracá e seis subsistemas (reservatórios), tendo o poço P.1.2-IT sido desativado desde 2012, por questões técnicas.

Figura 3.5 – Antigas subdivisões para abastecimento da Ilha de Itamaracá



Fonte: Adaptado GisComp (2017)

No atual domínio da Compesa, todos os poços estão conectados aos subsistemas antes de direcionar a água para as redes de distribuição. Os poços agrupam-se para fornecerem água para um ou mais reservatórios, obedecendo à divisão do município em três macros zonas de abastecimento (Jaguaribe, Pilar e Forte Orange), conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Zonas de abastecimento da Ilha de Itamaracá

Zonas de abastecimento			Sistema de captação	
Zona	Nome da área		Poços	Subsistema
JAGUARIBE	1	Parte baixa	P. 1.8 IT P. 1.13 IT	Reservatório apoiado de Jaguaribe
	2	Salinas		
	3	Jaguaribe (PDS)		
PILAR	4	Nova Descoberta	P.1.5 IT P.1.9 IT	Reservatório elevado 1 e 2 do Pilar
	5	Pilar	P.1.12 IT	
FORTE ORANGE	6	Forno da Cal	P.1.7 IT P.1.10 IT P.1.11 IT P.1.14 IT	Reservatório elevado do Pôr do Sol + Reservatório apoiado Forno da Cal + Reservatório apoiado Forte Orange
	7	Parte alta I		
	8	Parte alta II		
	9	Parte baixa		
	10	Pôr do Sol		

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Por sua vez, a Figura 3.6 permite visualizar espacialmente a extensão dessas zonas de abastecimento e suas respectivas subdivisões apresentadas na Tabela 3.1.

Figura 3.6 – Representação das zonas de abastecimento da Ilha de Itamaracá



Fonte: Adaptado GisComp (2017)

Caracterizando cada subdivisão de abastecimento da Ilha de Itamaracá expostas na Figura 3.6, tem-se:

- **Área 1 (Parte Baixa):** abrange a parte baixa de Jaguaribe
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 09h às 21h;
- **Área 2 (Salinas):** abrange a parte alta de Jaguaribe
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 14h às 20h;
- **Área 3 (Jaguaribe-PDS):** abrange as localidades de Salinas e Chié
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 12h às 20h;
- **Área 4 (Nova Descoberta):** abrange a localidade de Nova Descoberta
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 14h às 20h;
- **Área 5 (Pilar):** abrange os bairros da Baixa verde, Pilar, Biquinha, Quatro Cantos, Vila Eldorado, Pantanal, Roque Santeiro e Renascer
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 08h às 20h;
- **Área 6 (Forno da Cal):** abrange o bairro de Forno da Cal
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 09h às 21h;

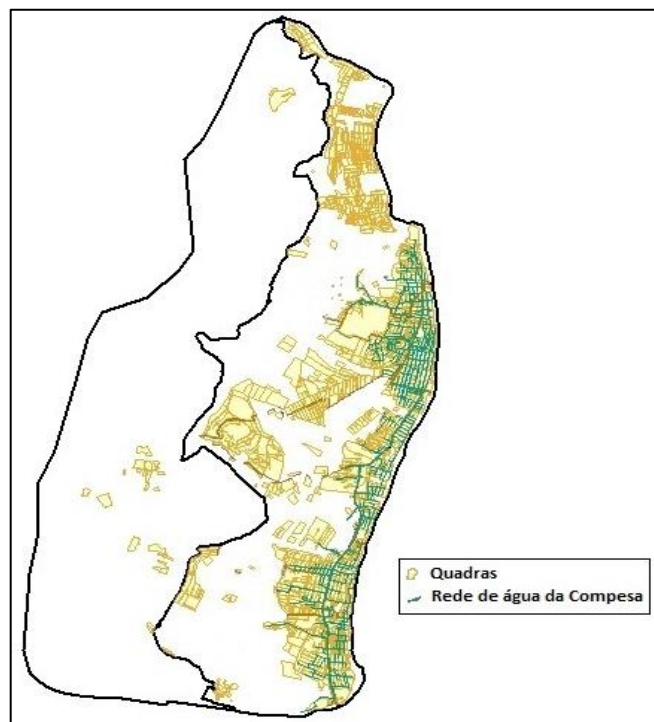
- **Área 7 (Parte alta I):** abrange as localidades entre a Rua Sorriso até a Rua Abacaxi
Regularidade no abastecimento: uma vez por semana, das 09h às 19h;
- **Área 8 (Parte Alta II):** abrange as localidades entre a Rua Macaíba até o Forte
Regularidade no abastecimento: uma vez por semana, das 09h às 19h;
- **Área 9 (Parte baixa):** abrange as localidades da PE 001 Beira mar
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 09h às 21h;
- **Área 10 (Loteamento Pôr do Sol):** abrange a região do Loteamento Pôr do Sol
Regularidade no abastecimento: todos os dias da semana, das 09h às 21h.

Considerando que a Ilha de Itamaracá é totalmente abastecida por poços, qualquer eventual interrupção em uma das unidades de captação gera impacto tanto a companhia de saneamento quanto a sociedade. E um agravante a essa situação é que os conhecimentos sobre os poços são em quase sua totalidade subjetivos, o que repercute em certa volatilidade e, conseqüentemente ressalta a importância em estabelecer processos formais para decisão.

3.2 Sistema de distribuição de água na Ilha de Itamaracá

Inicialmente fez-se necessário conhecer as áreas que apresentam redes de distribuição de água sob o domínio da Compesa, representadas na Figura 3.7.

Figura 3.7 – Sistema de distribuição de água da Compesa na Ilha de Itamaracá



Fonte: Adaptado GisComp (2017)

Mediante a Figura 3.7, verifica-se que a Compesa restringe sua atuação no perímetro urbano com exceção de Vila Velha, ao sul; e do Pontal da Ilha, Enseada dos Golfinhos e Sossego, ao norte, cuja proposta para abastecimento dessas regiões está na fase de projeto.

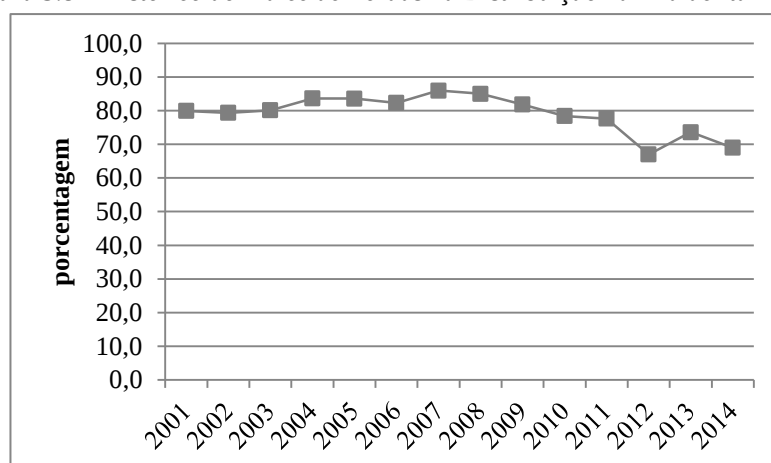
Atualmente, o sistema de distribuição de água da Ilha de Itamaracá é composto por seis subsistemas (reservatórios), cada qual com capacidades distintas, sendo:

- **R₁** – Reservatório elevado do Pilar (1): capacidade de 200 m³;
- **R₂** – Reservatório elevado do Pilar (2): capacidade de 200 m³;
- **R₃** – Reservatório apoiado de Forno da Cal: capacidade de 250 m³;
- **R₄** – Reservatório elevado do Pôr do Sol: capacidade de 50 m³;
- **R₅** – Reservatório apoiado do Forte Orange: capacidade 1.000 m³;
- **R₆** – Reservatório apoiado de Jaguaribe: capacidade 600 m³.

Os reservatórios de Forno da Cal, Jaguaribe e do Forte são de construção mais recentes e dotados de um sistema de automação, enquanto os demais são manuais e dependem das manobras realizadas pelos operadores da Compesa.

Em termos de desperdício de água, a Ilha de Itamaracá detém um histórico com altos percentuais. Considerando o IPD ao longo de uma série evolutiva de quatorzes anos, as taxas mantiveram um patamar próximo aos 70%, um valor quase duas vezes maior que a média nacional em 2014 (36,7%), conforme os dados do SNIS compilados na Figura 3.8.

Figura 3.8 – Histórico do Índice de Perdas na Distribuição na Ilha de Itamaracá



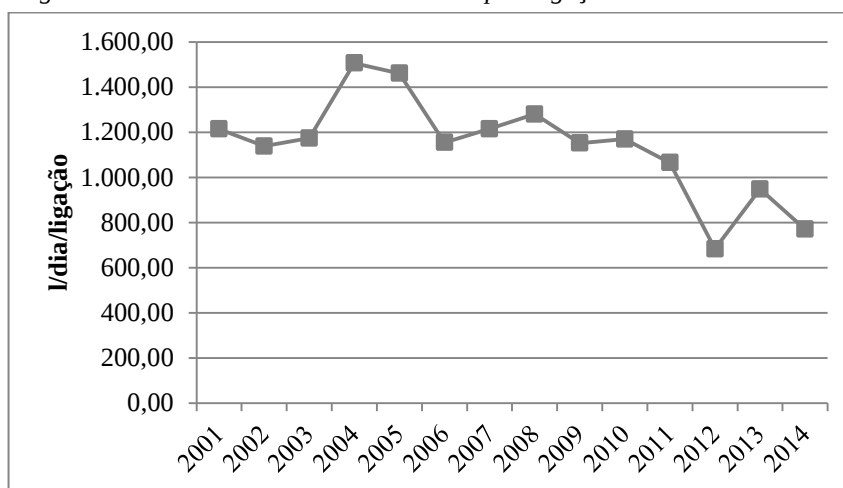
Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Diante da Figura 3.8 observa-se que no ano de 2007 foi registrado o maior percentual de desperdício, correspondendo a 85,98%, enquanto 2012 deteve o menor índice, alcançando

67%. Mediante essas estatísticas, a Compesa produz duas vezes do que realmente necessita para abastecer a demanda local, em razão dos vazamentos nas tubulações.

Ainda sobre o desperdício nas redes de distribuição é possível obter parâmetros em outras métricas. A Figura 3.9 retrata o Índice de Perdas por Ligação, segundo o SNIS.

Figura 3.9 – Histórico do Índice de Perdas por Ligação na Ilha de Itamaracá



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

A Figura 3.9 retrata que entre 2013 e 2014 houve uma redução de cerca de 18% no índice de perdas por ligação no município, atingindo a segunda menor marcação da série representada. No entanto, ainda foram desperdiçados em média 770,47 l/dia/ligação no ano de 2014. Apreciando outro indicador, o Índice Bruto de Perdas Lineares, a Ilha de Itamaracá apresentou para 2014 uma medição de desperdício em 67,441 m³/dia/km (BRASIL, 2016).

Considerando o controle de qualidade da água, a Secretária de Saúde da Ilha de Itamaracá segue as diretrizes do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) e atua juntamente com a I Geres – Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco. A base desse programa está alinhada à Constituição Federal de 1988, que explana a obrigatoriedade da fiscalização e inspeção da água para consumo humano.

O VIGIAGUA desenvolve ações de prevenção que garantam à população acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na norma brasileira, para promoção da saúde (PORTARIA MS nº 518/2004). As análises rotineiras verificam a presença de Coliformes e *Escherichia coli*, e em casos especiais são realizadas análises físico-químicas e/ou bacteriológicas. Esse programa controla a água fornecida por ambos os prestadores. Entretanto, a Compesa também detém um segmento próprio responsável por aferir a qualidade da água.

3.3 Considerações finais do capítulo

Este capítulo teve como objetivo descrever a Ilha de Itamaracá, escolhida como a região de estudo para esta pesquisa. Esse município litorâneo do estado de Pernambuco preserva belezas naturais, históricas e culturais que o ressaltam como um importante ponto turístico.

A Ilha de Itamaracá apresentou um expressivo crescimento populacional nas últimas décadas, fato que repercutiu em mudanças no seu sistema de abastecimento. Como descrito, em razão da sua formação geológica e geográfica é dificultada a captação de água via fontes superficiais, recorrendo ao uso exclusivo de poços. Consequentemente, qualquer interferência em um desses pontos de captação gera fortes impactos para a população e ao setor de serviços, o principal ramo econômico do município.

A Ilha de Itamaracá também apresenta dificuldades com relação ao sistema de distribuição, visto que suas taxas de desperdício são elevadas e em alguns índices atingem aproximadamente 70%. Esse fato repercute em prejuízos a companhia de abastecimento em razão dos custos operacionais e da perda de receitas, a sociedade que acaba arcando com maiores cobranças pelos serviços e sofre interferências nas vias e em localidades decorrentes dos vazamentos e, ao meio ambiente que está tendo seus recursos hídricos explorados acima da real demanda de consumo da população.

Nos próximos capítulos serão descritos os modelos propostos para auxiliar essas dificuldades presentes no sistema de abastecimento da Ilha de Itamaracá, por meio da abordagem de estruturação de problemas e dos métodos multicritério.

4 MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE POÇOS PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO (MODELO I)

O segmento de captação de água está imerso em um cenário de fortes pressões por parte dos *stakeholders*, principalmente com vieses políticos e regulatórios, além das restrições monetárias por parte das companhias de saneamento.

O número de poços na RMR é crescente desde as últimas décadas, sobretudo após a crise de abastecimento entre os anos de 1998 e 1999. Consequentemente, a Compesa se encontra diante de um aumento na complexidade em termos da gestão desses pontos de captação, principalmente nas regiões que são abastecidas exclusivamente por fontes subterrâneas.

Considerando a operação dos poços, numa situação de quebra do CMB um grande tempo é demandado para a execução de uma ação corretiva, visto que há a necessidade de retirar estes equipamentos que estão abrigados a uma profundidade muitas vezes maior que 100 m, além de ter que instalá-lo novamente (MONTE & DE ALMEIDA-FILHO, 2015). Por conseguinte, pode haver a indisponibilidade do poço por horas ou mesmo dias, afetando diretamente os consumidores, bem como interferindo nos segmentos econômicos e/ou sociais.

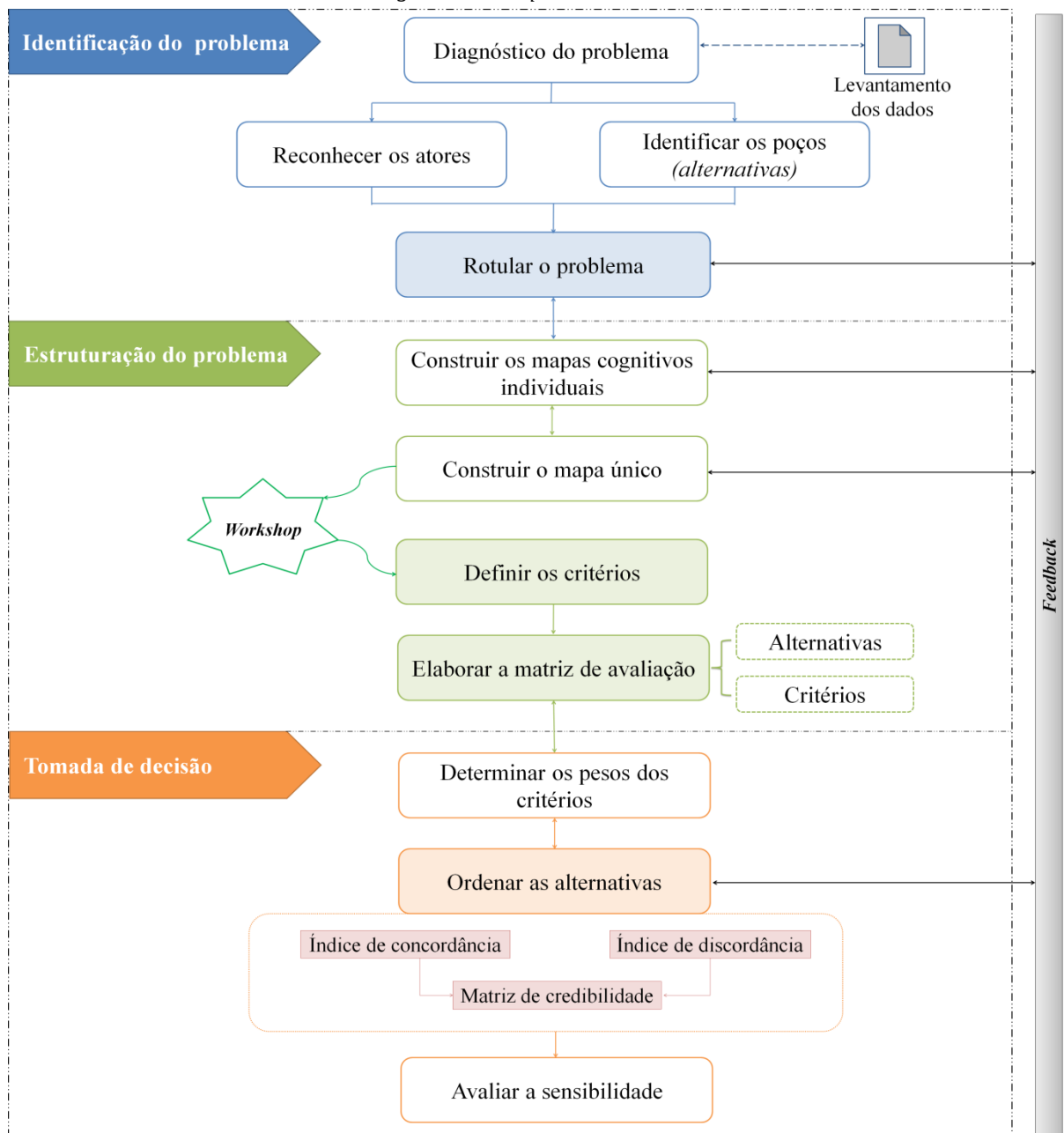
Atendendo a necessidade de auxiliar no processo de tomada de decisão no contexto do planejamento da manutenção no segmento de captação, é apresentado um modelo com visão multicritério, incorporando a abordagem de estruturação de problemas que permite estabelecer uma ordenação dos poços para um SAA.

O modelo proposto objetiva que o decisor conheça quais as unidades de captação apresenta maior importância para o sistema de abastecimento, possibilitando decisões que elevem a eficiência da companhia de saneamento e permita um maior bem estar à população. Ou seja, este modelo tende em proporcionar aos decisores maior segurança na tomada de decisão, tendo em vista uma análise das alternativas diante de critérios bem definidos e de um processo estruturado seguindo parâmetros coletados na própria região.

4.1 Descrição do modelo I

O modelo visa tratar o problema em três etapas, cada qual envolvendo três ou mais atividades, que devem ser completamente seguidas para que seja alcançado um resultado satisfatório. O esquema do referido modelo está representado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Esquema do modelo I



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

A primeira etapa corresponde a levantar dados que possibilitem identificar o problema e caracterizar o seu contexto. A segunda fase relaciona-se as discussões para a estruturação do problema mediante a interação entre as ideias dos atores, permitindo obter conhecimentos sobre a situação quando interpretadas. Por fim, na terceira etapa, é obtida uma solução satisfatória para a situação, através do emprego de um método multicritério baseado nas preferências individuais do decisor.

A presença das setas mútuas no modelo permite um maior refinamento do processo, visto que as etapas podem ser revistas e corrigidas, caso necessário. É recomendado que a

coleta dos dados com os agentes envolvidos ocorra por meio de entrevistas semiestruturadas, permitindo certa flexibilidade aos aspectos debatidos.

A importância do modelo proposto é ressaltada, pois não foi encontrado na literatura um processo formal que garantisse o completo delineamento das características presentes no problema analisado. A seguir, são descritas todas as etapas do modelo I.

4.1.1 Etapa 1 – Identificação do problema

Essa fase destaca a busca por aspectos relevantes para a estruturação do problema e para o processo decisório. Assim, possibilita o reconhecimento do(s) ator(es) envolvido(s), a assimilação das alternativas e a caracterização do problema. Integram esta fase:

– *Diagnóstico do problema*

Representa as informações que possibilitam a compreensão do problema e do ambiente que o cerca. Demanda um acurado levantamento de dados, tendo como fontes: a literatura, as bases de domínio público, e as informações fornecidas tanto pela Prefeitura municipal como pela companhia de saneamento atuante na região. Os dados a serem reunidos devem compreender atributos, como:

- Mapeamento das unidades de captação e sua contribuição para o SAA da região;
- Identificação dos subsistemas ligados a cada unidade de captação;
- Entendimento do processo atual de tomada de decisão, contemplando a disponibilidade dos insumos materiais e do capital humano.

Outros aspectos podem ser acrescentados, caso haja necessidade. Tais dados, quando reunidos e interpretados, permitem obter um panorama geral da situação abordada.

– *Reconhecer os atores*

Segundo Roy (1996) e Gomes *et al.* (2009), um ator corresponde a um indivíduo ou um grupo de pessoas, dotados de juízo de valor, que influencia direta ou indiretamente a decisão.

Nesse modelo a identificação dos atores ocorre em duas circunstâncias. Na etapa de estruturação do problema, são considerados todos os agentes da companhia de saneamento que detêm uma autoridade imediata quanto às atividades de manutenção para o setor de captação subterrânea. No entanto, o processo de decisão é modelado para um único decisor. Logo, ponderam-se apenas as preferências do ator que no contexto da gestão atual detém um maior ímpeto nas decisões e assume suas responsabilidades.

Nesse momento, também devem ser identificados os agentes que podem interferir no processo decisório, além de delimitar o papel do facilitador, ou seja, o ator que auxilia na tomada de decisão, mas suas recomendações devem ser isentas de valor (ROY, 1996).

– **Identificar os poços (alternativas)**

Esta atividade consiste no reconhecimento e na caracterização das alternativas, que neste caso, correspondem aos poços do SAA da região de estudo. Em relação às informações técnicas e comerciais, devem estar presentes aspectos como:

- **Idade do poço:** ano de efetivo início das operações na unidade de captação;
- **Profundidade:** satisfaz ao tamanho do poço e tem como base as características geológicas da área, as propriedades do projeto e a vazão de extração pretendida;
- **Equipamento instalado:** neste estudo, identifica o CMB instalado no poço;
- **Vazão:** volume de água extraído do poço por unidade de tempo, ou seja, é o indicativo da produtividade real (ABNT, 1992b);
- **Nível dinâmico do poço:** profundidade do nível de água de um poço bombeado a certa vazão, referida em um tempo de bombeamento e medido em relação à superfície do terreno no local (ABNT, 1992b);
- **Diâmetro nominal (DN-rede):** corresponde ao tubo de saída da água do poço, sendo 150 mm de circunferência a sugestão da literatura. Entretanto, podem ser usadas tubulações com 125, 100 e 75 mm em condições especiais para poços de pequena vazão (ABNT, 1992a);
- Pressão;
- População abastecida pelas unidades de captação;
- Consumo de energia elétrica por poço.

Em termos dos aspectos: vazão, nível dinâmico, pressão e consumo de energia elétrica, recomenda-se a representação por valores médios/poço, em um lapso temporal de no mínimo dois anos, tendo em vista conferir uma maior confiabilidade aos dados. Caso haja necessidade, outros aspectos para caracterização podem ser adicionados.

– **Rotular o problema**

Mediante aos dados disponíveis, deve-se caracterizar o problema e definir seu limite de abrangência. Ou seja, essa atividade é estabelecida como uma consolidação da identificação da situação atual permitindo um senso comum acerca dos aspectos que serão tratados.

4.1.2 Etapa 2 – Estruturação do problema

Nos métodos *Soft*, a prática da construção de representações dos problemas é conduzida em grupo, num processo consultivo e interativo, permitindo uma profunda compreensão da situação (WHITE *et al.* 2016). Assim, os atores são estimulados quanto à geração de ideias e para a expressão dos conhecimentos que possuem sobre o problema.

Nesta fase é aplicada a abordagem SODA com o objetivo de identificar quais os critérios devem ser considerados na avaliação das alternativas no processo de decisão. A motivação para o uso do SODA está pautada na sua capacidade de promover a interação entre os pensamentos de todos os participantes, criando um ambiente de aprendizado e configurando um desenho unificado para o contexto analisado.

Essa abordagem requer como apoio o uso da ferramenta dos mapas cognitivos visando gerar uma representação facilitada das percepções de cada indivíduo e, posteriormente, do grupo. Durante o processo, além das informações tangíveis, também são ponderados aspectos relacionados à cultura organizacional e a subjetividade dos atores, incluindo: percepções, valores, objetivos e opiniões. A seguir estão descritas, em detalhes, as atividades desta etapa.

– *Construir os mapas cognitivos individuais*

Nesse modelo a opção para a modelagem corresponde ao uso do SODA por intermédio dos mapas cognitivos individuais. Segundo Eden & Ackerman (2001), o facilitador deve entrevistar particularmente cada ator, estimulando-os a expressar abertamente suas opiniões e sugestões com respeito aos fatores importantes para a priorização de um poço à manutenção. Assim, será concretizada a identificação dos Elementos Primários de Avaliação (EPAs), que devem ser relacionados através de setas estabelecendo relações de causalidade par-a-par.

O mapeamento cognitivo pode ser realizado por intermédio do *Decision Explorer*® versão 3.4.0 da *Banxia Software Ltd.* Findada as construções, o facilitador valida os dados alocados em cada mapa com os respectivos atores, promovendo alterações, caso necessário.

– *Construir o mapa único*

Em posse dos mapas individuais, ajustando as relações de hierarquia entre os atores e as ordens das ligações entre cada critério, o facilitador constrói um único mapa cognitivo. Nessa atividade também é indicado o uso do *Decision Explorer*® versão 3.4.0 da *Banxia Software Ltd.* Após a consolidação dos conceitos, o mapa é apresentado aos agentes envolvidos para sua validação, num processo conhecido por *Workshop*. Nesse momento, os atores estão livres para exporem *feedbacks* e, inclusive, proporem alterações.

– Definir os critérios

Mediante a identificação dos critérios faz-se necessários defini-los rigorosamente, visando a acuracidade do processo decisório. Essa atividade é necessária para que o agente de decisão, durante o julgamento das alternativas, conheça quais aspectos estão sendo ponderados por cada critério e sua escala de medida. Entretanto, De Almeida *et al.* (2016) salientam que variando a situação, é possível estabelecer critérios diferentes, cada um com seu próprio nível de prioridade.

– Construir a matriz de avaliação

Consiste em apresentar ao decisor uma matriz com as alternativas em relação a todos os critérios identificados, possibilitando o estabelecimento das suas preferências. Como parâmetro é recomendado à ponderação das alternativas em escala com métrica de 0,0 a 1,0.

Alguns critérios são facilmente analisados em razão da sua natureza quantitativa, requerendo dados específicos para sua mensuração e consequentemente dificultando qualquer contestação por parte do decisor, como exemplo têm-se aspectos como: custo, produção, entre outros. Enquanto, outros critérios por não possuírem uma relação direta com valores numéricos, são conduzidos para uma análise de forma mais subjetiva. Nesses casos, é necessário utilizar escalas verbais para que seja estabelecido um padrão de apreciação, garantindo maior objetividade ao processo.

4.1.3 Etapa 3 – Tomada de decisão

Diante do problema estruturado é iniciada a busca pela solução satisfatória quanto à ordenação dos poços por análise multicritério. De Almeida (2013), afirma que o ambiente de inserção da decisão, os atores, a estrutura de preferência do decisor e o tipo de solução a ser atingida são os pontos cruciais a serem avaliados para a escolha do método.

Dentre os métodos multicritérios, o ELECTRE III foi escolhido por suas características englobarem as necessidades do modelo proposto, ressaltando os fatores:

- Não ter como resposta apenas uma única “melhor decisão”, mas sim uma hierarquia das alternativas. Ou seja, é um método apropriado para integrar diferentes variáveis, de modo a ranquear os poços com maior nível de importância para a região de estudo;
- Essa abordagem utiliza os fundamentos da sobreclassificação para incorporar a natureza (imprecisa e incerta) *fuzzy* na ordenação de alternativas da melhor para pior alternativa, considerando os limiares de indiferença e preferência;
- Possibilitar análises com o limiar de veto;

- Facilidade em incorporar aos critérios informações quantitativa ou qualitativa.

Compreendem as atividades necessárias para esta etapa:

– ***Determinar os pesos dos critérios***

Inicialmente é necessário conhecer o nível de importância de cada critério no processo decisório. Assim, o modelo proposto requer o apoio do “Procedimento revisto de Simos” por Figueira & Roy (2002), que segue os passos descritos no item 2.7 desse estudo.

De forma simplificada, esse processo requer que sejam distribuídos ao decisor cartas com o nome de cada critério e um conjunto de cartões em branco, sendo solicitado que ordene os critérios em ordem crescente de importância e, em casos de igualdade coloque-os emparelhados. Posteriormente, o decisor é levado a simbolizar o grau de importância entre os critérios, acrescentando entre eles os cartões brancos. Caso os critérios tenham a mesma valoração, não é necessário acrescentar tais cartões.

Finalizada a ordenação dos critérios e do número de cartões em branco na classificação, segue-se para a fase de cálculos dos pesos normalizados e dos pesos não normalizados. Para facilitar esse processo é indicado o uso do *software Logiciel* SRF versão 2.2 da LAMSADE.

– ***Ordenar as alternativas***

Dispondo da matriz de avaliação devidamente ponderada pelo decisor e dos pesos para os critérios, o próximo passo relaciona-se a atribuição dos valores dos limiares: preferência (p_j), indiferença (q_j) e veto (v_j) (BUCHANAN *et al.* 1988). Essas estimativas são subjetivas, porém devem ser baseadas em fatos que as aproximem da realidade (ROY *et al.* 1985).

No método ELECTRE III, são calculados para cada critério, os índices de concordância entre as alternativas, que indica o grau de confiança para se afirmar que a alternativa a é tão boa quanto a alternativa b , possibilitando a construção da matriz de concordância. Também é avaliado o índice de discordância, que varia de 0 a 1 e mensura para cada critério o grau de desconfiança em se afirmar que a alternativa a é tão boa quanto b (BUCHANAN *et al.* 1998). Posteriormente, tem-se a construção da matriz de credibilidade.

Ainda para o método ELECTRE III há o uso dos processos de destilação ascendente e descendente para a qualificação e estabelecimento de um *ranking* final das alternativas, mediante a exploração das relações de sobreclassificação (MAYSTRE *et al.* 1994). Para promover as interações entre os elementos seguindo os procedimentos do método é recomendado utilizar o *software* ELECTRE III/IV versão 3.1a, fornecido pela LAMSADE.

– *Avaliar a sensibilidade*

A análise de sensibilidade serve para verificar a robustez do modelo, referenciando a sua estabilidade. No caso do ELECTRE III, os parâmetros para essa avaliação podem ser as variações nos pesos dos critérios e nos limiares de indiferença, preferência e veto, verificando se ocorreram mudanças significativas na ordenação final das alternativas. Os limiares estão relacionados com a natureza do critério e sua avaliação (incertezas e imprecisões), enquanto os pesos definem a importância relativa para cada critério.

4.2 Aplicação do modelo I

Nesta parte será apresentada a aplicação numérica do modelo I para criar um *ranking* dos poços da Ilha de Itamaracá tendo em vista auxiliar no estabelecimento de prioridades para o planejamento das atividades de manutenção da Compesa, a fim elevar sua eficiência e assegurar maior bem estar à população.

4.2.1 Etapa 1 – Identificação do Problema

– *Diagnóstico do problema*

A Ilha de Itamaracá, pela sua própria formação e localização geográfica dificulta estabelecer um SAA provindo de fontes superficiais. Consequentemente, recorre ao uso exclusivo dos mananciais subterrâneos. Sob o domínio da Compesa, nesse município foram construídos dois poços nos últimos anos, que se tornaram essenciais em razão do forte aumento na demanda por água, fato que pode ser justificado por seu expressivo crescimento populacional nos últimos anos, a uma taxa aproximada de 100%.

A configuração do sistema de captação da Ilha de Itamaracá e a estrutura dos nove poços e seis reservatórios foram apresentadas no Capítulo 3.

Em termos de operação, a Compesa fundamenta suas decisões quanto à alocação das prioridades de um poço para manutenção com base nas pressões externas e em caso de ausência desse critério, utiliza aspecto como a localização do poço e a quantidade de clientes atendidas pela unidade. No entanto, todas as considerações são realizadas de maneira subjetiva e sem uma estrutura formal de análise.

Sempre que possível, é posto em prática um rudimentar planejamento da gestão da manutenção realizando atividades preventivas e preditivas nos poços. Especificadamente, a atenção para esses procedimentos teve início em 2012, pois até essa data o setor de captação atuava exaustivamente apenas no controle corretivo dos poços. Considerando os poços da Ilha

de Itamaracá e o lapso temporal por dezoito meses (janeiro/2015 a junho/2016) foram registradas 130 ocorrências de manutenção, distribuídas conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Histórico de intervenções nos poços da Ilha de Itamaracá

Tipo de intervenção	Quantitativo
Manutenção elétrica corretiva	90
Manutenção elétrica preventiva	12
Inspeção elétrica	14
Revisão elétrica	11
Manutenção mecânica corretiva	2
Manutenção eletromecânica	1
Total de intervenções	130

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Mediante a Tabela 4.1 é possível verificar que a predominância das intervenções volta-se as manutenções corretivas, correspondendo a aproximadamente 70% dos serviços prestados nos poços.

O setor responsável pela manutenção nos poços da RMR enfrenta uma forte restrição quanto à disponibilidade de mão de obra, possuindo apenas cinco equipes para suporte, que se subdividem segundo sua especialização. Assim, são dois grupos com especificação elétrica, dois voltado às atividades mecânicas e, um para suporte interno que também atua na restauração dos equipamentos constituintes dos poços. Dessa forma, destaca-se a importância em ordenar os pontos de captação que apresentem uma maior importância à sociedade, bem como incidam em proporção mais elevada para alavancar a eficiência da Compesa.

– Reconhecer os atores

Em termos da operacionalização do sistema de captação subterrânea na RMR, a Compesa conta com três atores que agem sob as decisões. São eles:

- **D₁ - Gerente da manutenção da RMR:** supervisiona todas as atividades envolvidas na captação, sendo o receptor direto das pressões externas, seja por parte das comunidades, ou mesmo por vieses políticos e/ou regulatórios;
- **D₂ - Coordenador de poços da RMR:** coordena diretamente a operação das atividades de manutenção nos poços, supervisionando diretamente as equipes de suporte;
- **D₃ - Técnico em pitometria:** responsável por realizar e acompanhar periodicamente as análises pitométricas de cada poço, monitorando todas as variáveis que podem indicar a presença de alguma falha/problema.

Como proposto no modelo, para a etapa da tomada de decisão será considerada apenas as preferências de um único decisor. Neste caso, é ressaltado o Coordenador de poços da RMR, pois é o ator que mais se destaca no controle das atividades de manutenção, em razão do seu alto poder de influenciar as decisões e por assumir diretamente as responsabilidades. Ademais, deve ser destacado que o segmento da captação de água na RMR sofre interferências de alguns órgãos, como:

- **Agência Estadual de Regulação de Pernambuco (ARPE):** responsável por supervisionar o tipo de montagem do poço, a qualidade da água ofertada, bem como os períodos de realização de manutenção nos sistemas de captação;
- **Companhia Energética de Pernambuco (CELPE):** inspeciona a demanda elétrica por poço, abertura das chaves de comando elétrico e a regulação da potência;
- **Companhia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife (CTTU):** confere suporte no decorrer das atividades de manutenção no que tange o controle do fluxo de veículos na localidade;
- **Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco (SRHE/PE):** responsável por controlar a quantidade de água retirada dos mananciais subterrâneos.

– Identificar as alternativas (poços)

Os nove poços existentes na Ilha de Itamaracá configuram-se como as alternativas para o processo decisório. Tais unidades de captação podem ser caracterizadas da seguinte forma:

- **a₁ – P.1.8-IT:** Localizado na Avenida Rios, no bairro de Jaguaribe. Em funcionamento desde 1989, tem 350 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 47,79 m, apresentando um DN de rede com 150 mm. Abastece o reservatório apoiado de Jaguaribe com uma pressão em torno de 49,67 mca e uma vazão média de 12,73 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo S 65/09+32,5 CV e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 21.023,30 kWh/mês;
- **a₂ – P.1.13-IT:** Localizado na Rua José Matias Cruz, em funcionamento desde 2013, tem 312 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 65,31 m, apresentando um DN de rede com 150 mm. Abastece o reservatório apoiado de Jaguaribe com uma pressão em torno de 47,38 mca e uma vazão média de 26,74 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo P 83/05+75 CV e seu consumo médio de energia elétrica, desde o início de sua operação em março de 2014, permeiam os 39.501,23 kWh/mês;

- **a₃ – P.1.5-IT:** Localizado na Travessa Ageu da Cunha Amaral, em funcionamento desde 1979, tem 384 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 74,81 m, apresentando um DN de rede com 150 mm. Abastece o reservatório apoiado do Pilar com uma pressão em torno de 24,87 mca e uma vazão média de 22,41 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo BHS 517/12+50 HP e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 31.075,28 kWh/mês;
- **a₄ – P.1.9-IT:** Localizado no centro de Itamaracá, em funcionamento desde 1994, tem 221 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 58,42 m, apresentando um DN de rede com 100 mm. Abastece os dois reservatórios elevados do Pilar com uma pressão em torno de 24,07 mca e uma vazão média de 13,36 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo BHS 517/12+50 HP e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 16.358,94 kWh/mês;
- **a₅ – P.1.12-IT:** Localizado no bairro de Jaguaribe, em funcionamento desde 2003, tem 330 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 67,06 m, apresentando um DN de rede com 200 mm. Abastece os dois reservatórios elevados do Pilar com uma pressão em torno de 29,05 mca e uma vazão média de 29,35 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo BHS 517/08+27,5 HP e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 38.019,69 kWh/mês;
- **a₆ – P.1.7-IT:** Localizado na Estrada do Forte, em funcionamento desde 1986, tem, 374 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 63,71 m, apresentando um DN de rede com 200 mm. Abastece o reservatório apoiado do Forte Orange e o reservatório elevado de Pôr do Sol com uma pressão em torno de 56,35 mca e uma vazão média de 25,19 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo SP 77/08+45 KW e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 37.579,71 kWh/mês;
- **a₇ – P.1.10-IT:** Localizado na Estrada do Forte, em funcionamento desde 1995, tem 378 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 68,21 m, apresentando um DN de rede com 150 mm. Abastece o reservatório apoiado do Forte Orange e o reservatório elevado de Pôr do Sol com uma pressão em torno de 58,14 mca e uma vazão média de 21,72 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo BHS 517/14+50 HP e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 37.969,27 kWh/mês;
- **a₈ – P.1.11-IT:** Localizado na Rua Rio Âmbar, em funcionamento desde 2003, tem 331 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 63,95 m, apresentando um DN de rede com 150 mm. Abastece o reservatório apoiado de Forno da Cal com uma

pressão em torno de 88,88 mca e uma vazão média de 28,44 l/s. Atualmente, utiliza um CMB modelo de SP 77/08+45 KW e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 38.504,80 kWh/mês.

- **a₉ – P.1.14-IT:** Localizado na Rodovia PE 01, bairro Forno da Cal, em funcionamento desde 2013, tem 305 m de profundidade. Seu nível dinâmico médio é de 74,65 m, apresentando um DN de rede com 150 mm. Abastece o reservatório apoiado de Forno da Cal com uma pressão em torno de 45,33 mca e uma vazão média de 24,99 l/s. Atualmente, utiliza um CMB de modelo P 83/05+75 CV e seu consumo médio de energia elétrica permeiam os 41.311,57 kWh/mês.

A nomenclatura atribuída a cada alternativa é legítima da Compesa. A simbologia “P” é uma abreviação de poço e “IT” remete a Itamaracá. Para estabelecer os valores médios relativos à vazão, pressão, nível dinâmico e consumo de energia elétrica para cada unidade de captação foram considerados os dados dos últimos três anos, neste caso, desde janeiro de 2014.

– Rotular o problema

Neste momento é formulada a situação problema. Assim, a aplicação desse modelo objetiva ordenar os poços da Compesa na Ilha de Itamaracá, baseando no estabelecimento de prioridades gerenciais das atividades de manutenção, para assegurar uma maior eficiência na gestão da companhia de saneamento, bem como proporcionar maiores benefícios sociais, minimizando o lapso de tempo sem fornecimento de água.

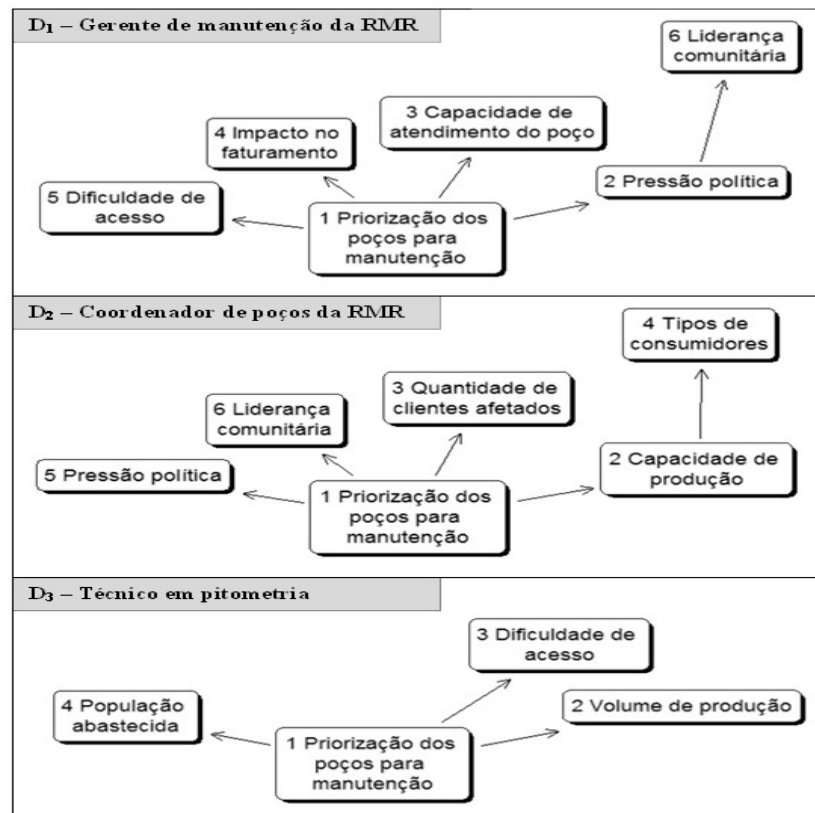
4.2.2 Etapa 2 – Estruturação do Problema

– Construir os mapas cognitivos individuais

Em reuniões individuais, com os três principais atores, foi possível elaborar seus respectivos mapas cognitivos mediante o auxílio do *software* recomendado. Finalizada as construções, demonstradas na Figura 4.2, as representações foram validadas com seus respectivos atores e em nenhum dos casos foi necessário promover ajustes.

A partir da Figura 4.2, percebe-se que todos os atores ressaltaram como essencial o aspecto relacionado à capacidade de produção do poço, que por sua vez apresenta uma correlação com quantitativo de pessoas abastecidas.

Figura 4.2 – Mapas individuais dos atores para modelo I



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– Construir o mapa único

O mapa único, disposto na Figura 4.3, corresponde à agregação dos conceitos das representações individuais demonstradas anteriormente. Para sua construção, o facilitador ponderou a hierarquia entre os três atores e a relação estabelecida em cada conceito.

Figura 4.3 – Mapa agregado dos critérios para o modelo I



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Finalizada a agregação, o facilitador promoveu o *Workshop*, e como resultado, os atores concordaram com o mapa único, não sendo necessárias alterações. A partir da Figura 4.3, os

critérios a serem considerados para análise das alternativas são: capacidade de produção do poço, população abastecida, pressão política e liderança comunitária. O critério “dificuldade de acesso” não foi considerado no mapa único, pois nem todos os poços existentes no município da Ilha de Itamaracá estão submetidos a esse aspecto.

– Definir os critérios

Explanando cada critério identificado visando garantir uma maior objetividade e acurácia no processo decisório, tem-se:

- **g_1 – População abastecida:** considerando a região em que opera cada poço, esse critério pondera o quantitativo populacional e o tipo de cliente. Ao unificar esses dois parâmetros, sua mensuração deve ser baseada em uma escala verbal, conforme a Tabela 4.2. A atenção volta-se a alternativa com maior número de habitantes e que predomine os clientes que maximizam as interferências nas atividades sociais;

Tabela 4.2 – Escala de avaliação para população abastecida (g_1)

Nível	Descrição
Altíssima	A alternativa abastece uma região com alto quantitativo populacional ($a > 4.500$ habitantes), predominando atividades do setor comercial e de órgãos públicos.
Alta	A alternativa abastece uma região com alto quantitativo populacional ($a > 4.500$ habitantes), sem predominância de atividades comerciais.
Moderada	A alternativa abastece uma região com moderado quantitativo populacional ($2.000 < a < 4.499$), com predominância de atividades comerciais.
Baixa	A alternativa abastece uma região com moderado quantitativo populacional ($2.000 < a < 4.499$), sem predominância de atividades comerciais.
Desprezível	A alternativa abastece uma região com baixo adensamento populacional ($a < 1.800$)

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

- **g_2 – Capacidade de produção do poço:** esse critério avalia o volume de produção de cada poço. Caso uma unidade de captação responsável por suprir um maior volume da demanda por água permaneça inoperante a tendência será gerar maiores prejuízos à sociedade e a própria Compesa, em relação a outro poço com menor capacidade de abastecimento. Pode ser calculado, quantitativamente, pela mensuração da vazão média (l/s) de cada poço;
- **g_3 – Liderança comunitária:** esse critério reflete o grau de representatividade comunitária na região abastecida pelo poço. Esse tipo de liderança é capaz de sensibilizar a mídia, promover protestos ou mesmo incitar outras formas de manifestações. Em razão da sua natureza subjetiva, a ponderação das alternativas

nesse critério considera a escala de avaliação expressa na Tabela 4.3, sendo preferíveis as alternativas com maior articulação dos seus líderes;

Tabela 4.3 – Escala de avaliação para liderança comunitária (g₃)

Nível	Descrição
Altíssima	A alternativa abastece uma região com liderança comunitária articulada com o poder público e comercial da localidade, sendo extremamente influente para a população.
Alta	A alternativa abastece uma região com liderança comunitária atuante, mas desarticulada de qualquer poder público e/ ou segmento comercial.
Moderada	A alternativa abastece uma região com liderança comunitária atuante, mas com interesses difusos e conflitantes.
Baixa	A alternativa abastece uma região com baixa liderança comunitária e independe de articulação com o poder público e/ou comercial.
Desprezível	Na região abastecida pela alternativa está localizada não há representatividade comunitária.

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

- **g₄ – Pressão política:** esse critério reflete o grau de influência política na região em que a alternativa opera. Sendo a Compesa uma companhia estatal tende a receber fortes pressões por vieses políticos. Para avaliação, em virtude de sua natureza subjetiva, contempla uma escala de preferência como a disposta na Tabela 4.4. A preferência será dada as alternativas dispostas em maior nível de classificação.

Tabela 4.4 – Escala de avaliação para pressão política (g₄)

Nível	Descrição
Altíssima	A alternativa abastece uma região com expressiva representatividade política, com forte articulação com outros segmentos públicos e comerciais e nível estadual.
Alta	A alternativa abastece uma região com representatividade política atuante, com forte articulação a nível municipal e/ou regional.
Moderada	A alternativa abastece uma região com representação política indireta, ou seja, as forças atuantes nas regiões vizinhas exercem influência quando se há um problema.
Baixa	A alternativa abastece uma região com baixa representatividade no contexto político, não dispondo de articulações com o meio empresarial.
Desprezível	A alternativa abastece uma região com sem representatividade no campo político.

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– Construir a matriz de avaliação

Diante da identificação das alternativas e dos critérios foi proposta a matriz de avaliação ao decisor, necessária para o registo das suas preferências. Diante da inserção dos dados

quantitativos aliados as ponderações subjetivas do decisor foram obtidos os resultados dispostos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Dados do desempenho das alternativas

Alternativa	g₁	g₂	g₃	g₄
a₁	Moderada	12,73	Moderada	Altíssima
a₂	Moderada	26,74	Moderada	Altíssima
a₃	Altíssima	22,41	Altíssima	Moderada
a₄	Altíssima	13,36	Altíssima	Moderada
a₅	Altíssima	29,35	Altíssima	Moderada
a₆	Desprezível	25,19	Baixa	Alta
a₇	Desprezível	21,72	Baixa	Alta
a₈	Moderada	28,44	Alta	Baixa
a₉	Moderada	24,99	Alta	Baixa

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

O critério relativo à “capacidade de produção do poço” assume uma avaliação direta sendo mensurado através de valores numéricos. Porém, os critérios “população abastecida”, “liderança comunitária” e “pressão política” em razão da sua natureza subjetiva, utilizam escalas verbais para a sua quantificação e, conseqüentemente requerem métricas de equiparação para as avaliações, como a correspondência da Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Escala de julgamento

Escala verbal	Correspondente numérico
Altíssima	1,00
Alta	0,75
Moderada	0,50
Baixa	0,25
Desprezível	0,00

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

É importante salientar que algumas regiões na Ilha de Itamaracá, em certos momentos, podem ter seu abastecimento de água reforçado com o suporte de caminhões pipa. Na Tabela 4.5, também é possível verificar situações como a alternativa a₁ (apresenta a menor vazão) e a a₂ (possui uma das maiores vazões) ambas abastecem regiões com população maior que 4.500 habitantes. Situações como essa podem também ser justificadas por esses dois poços fornecerem água ao mesmo reservatório, no caso o de Jaguaribe.

Para seguir a parametrização, as avaliações quanto ao critério g₂ (capacidade de produção do poço) requerem uma adequação à métrica [0,0 e 1,0]. Assim, foi utilizada uma conversão baseada na média dos valores da série. No entanto, caso alguma alternativa

apresente um desempenho superior à média deve receber a maior pontuação (1,0). Os resultados do processo de equiparação para todos os critérios estão dispostos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Matriz de desempenho das alternativas (modelo I)

Alternativa	g ₁	g ₂	g ₂ - médio	g ₃	g ₄
a ₁	0,50	12,73	0,56	0,50	1,00
a ₂	0,50	26,74	1,00	0,50	1,00
a ₃	1,00	22,41	0,98	1,00	0,50
a ₄	1,00	13,36	0,59	1,00	0,50
a ₅	1,00	29,35	1,00	1,00	0,50
a ₆	0,00	25,19	1,00	0,25	0,75
a ₇	0,00	21,72	0,95	0,25	0,75
a ₈	0,50	28,44	1,00	0,75	0,25
a ₉	0,50	24,99	1,00	0,75	0,25
		22,77			

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Finalizada a construção da matriz de desempenho é possível iniciar o processo de tomada de decisão em busca de uma solução satisfatória ao problema.

4.2.3 Etapa 3 – Tomada de decisão

– Determinar os pesos dos critérios

Como recomendado, realiza-se a determinação dos pesos para cada critério através do método revisto de Simos proposto por Figueira & Roy (2002). A ordenação dos critérios, segundo as preferências do Coordenador de poços da RMR, está disposta na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Ordenação dos conjuntos de cartões (modelo I)

Ranking	Cartão	Número de cartões
1	Liderança comunitária	1
2	<u>Cartão branco</u>	2
3	Pressão política	1
4	<u>Cartão branco</u>	1
5	População abastecida	1
6	<u>Cartão branco</u>	2
7	Capacidade de produção do poço	1

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Interpretando a Tabela 4.8, o critério com menor importância é a “liderança comunitária”, enquanto o mais importante corresponde a “capacidade de produção do poço”. Mediante a ordenação, também foi definido junto ao decisor a razão entre o critério menos importante e o mais importante, neste caso ponderado em cinco. Ou seja, o volume de produção por poço é cinco vezes mais relevante que as expressões comunitárias. Conhecendo

esses dados foi possível iniciar a busca pelos pesos não normalizados e normalizados dos critérios, conforme a Tabela 4.9.

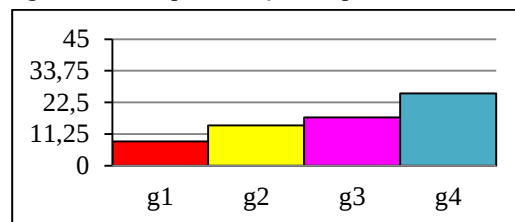
Tabela 4.9 – Convertendo os rankings em pesos (modelo I)

<i>Ranking</i>	<i>Critério no ranking</i>	<i>Número de cartões brancos e_r</i>	<i>e_r</i>	<i>Pesos não normalizados k(r)</i>	<i>Pesos normalizados k_i</i>
1	Liderança comunitária	2	3	1,0	8,33
2	Pressão política	1	2	2,5	20,83
3	População abastecida	2	3	3,5	29,17
4	Capacidade de produção do poço	-	-	5,0	41,67
		5	8	12,0	100,00

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Finalizado os cálculos, segundo o procedimento revisto apresentado por Figueira & Roy (2002), a diferença entre os pesos para os critérios estabelecidos no modelo I, com auxílio do *software Logiciel SRF*, pode ser facilmente observada mediante a Figura 4.4.

Figura 4.4 – Representação do peso dos critérios



Fonte: Esta pesquisa (2017)

Quanto aos pesos para os critérios expressos na Figura 4.4, para manter o padrão dos valores entre 0,0 e 1,0, pode-se utilizar uma fatoração por 100, resultando na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Pesos dos critérios (modelo I)

<i>Critério no ranking</i>	<i>Pesos</i>
g ₁ - População abastecida	0,292
g ₂ - Capacidade de produção do poço	0,417
g ₃ - Liderança comunitária	0,083
g ₄ - Pressão política	0,208

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– Ordenar as alternativas

Tendo definidos os critérios e seus respectivos pesos, faz-se necessário conhecer os limiares de preferência, indiferença e veto. A fixação desses parâmetros, representados pelos valores da Tabela 4.11, esteve fundamentalmente baseada nas experiências do decisor.

Tabela 4.11 – Limiares para o modelo I

Limiares	g_1	g_2	g_3	g_4
Indiferença (q)	0/0,10	0/0,15	0/0,10	0/0,10
Preferência (p)	0/0,35	0/0,30	0/0,25	0/0,25
Veto (v)	0/0,50	-	0/0,50	0/0,50

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Nessa Tabela 4.11, nota-se que o critério g_2 não foi submetido ao limiar de veto, isto, pois foi decidido não limitar qualquer alternativa para esse critério visto que o mesmo apresenta o maior peso e, conseqüentemente foi desejado garantir um maior destaque perante os demais critérios.

Após a definição de todos os parâmetros necessários ao método de decisão, pode-se dar início propriamente aos seus procedimentos. O suporte é conferido pelo *software* ELECTRE III versão 3.1a da LAMSADE. Inicialmente, faz-se necessário construir a matriz de concordância visando analisar a equivalência entre as alternativas, conforme a Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Matriz de concordância

a_n	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
a_1	1,00	0,58	0,21	0,62	0,21	0,58	0,58	0,50	0,50
a_2	1,00	1,00	0,62	0,62	0,62	1,00	1,00	0,92	0,92
a_3	0,79	0,79	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	1,00	1,00
a_4	0,79	0,38	0,58	1,00	0,58	0,38	0,38	0,58	0,58
a_5	0,79	0,79	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	1,00	1,00
a_6	0,42	0,42	0,62	0,62	0,62	1,00	1,00	0,62	0,62
a_7	0,42	0,42	0,62	0,62	0,62	1,00	1,00	0,62	0,62
a_8	0,79	0,79	0,42	0,42	0,42	0,79	0,79	1,00	1,00
a_9	0,79	0,79	0,42	0,42	0,42	0,79	0,79	1,00	1,00

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

O próximo passo corresponde ao estabelecimento de uma pré-ordem final para todas as mesmas, resultando na representação da Tabela 4.13. Nessa matriz é considerada: P – preferência estrita, P⁻ – preferência fraca, R – incomparabilidade e I – indiferença.

Tabela 4.13 – Matriz de pré-ordem final

a_n	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
a_1	I	P ⁻	P ⁻	P	P ⁻	P	P	P	P
a_2	P	I	P	P	P	P	P	P	P
a_3	P	P ⁻	I	P	I	P	P	P	P
a_4	P ⁻	P ⁻	P ⁻	I	P ⁻	R	R	P	P
a_5	P	P ⁻	I	P	I	P	P	P	P
a_6	P ⁻	P ⁻	P ⁻	R	P ⁻	I	I	P	P
a_7	P ⁻	P ⁻	P ⁻	R	P ⁻	I	I	P	P
a_8	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	I	I
a_9	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	I	I

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

De acordo com a Tabela 4.13, as alternativas a_8 e a_9 são as menos importantes nesse *ranking*, visto que na avaliação a predominância dos resultados é alocada nos tipos não preferível e indiferente. Caso oposto, acontecem com a alternativa a_2 , a_3 e a_5 , que concentram avaliações de preferências na matriz de ordenação.

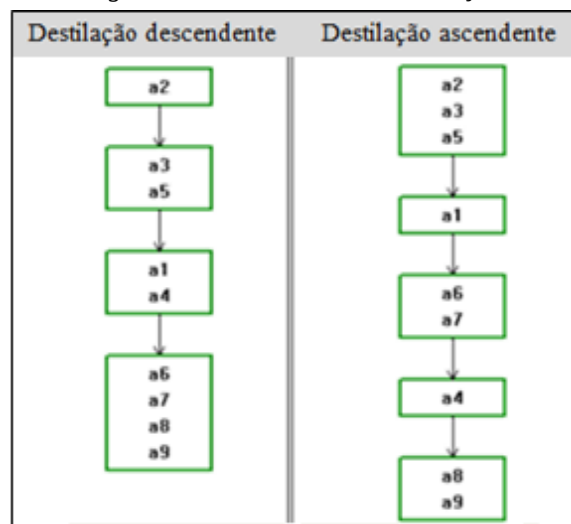
A matriz de credibilidade, e os resultados da destilação ascendente e descendente estão dispostos respectivamente na Tabela 4.14 e na Figura 4.5. Para o cálculo dos resultados no ELECTRE III foi considerado um coeficiente de destilação com alfa (α) = -0,15 e beta (β) = 0,3, que consistem nos valores padrões, não sendo recomendada qualquer modificação.

Tabela 4.14 – Matriz de credibilidade

a_n	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
a_1	1,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,50	0,50
a_2	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,92	0,92
a_3	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	1,00	1,00
a_4	0,00	0,00	0,58	1,00	0,58	0,38	0,38	0,58	0,58
a_5	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	1,00	1,00
a_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
a_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
a_8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
a_9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

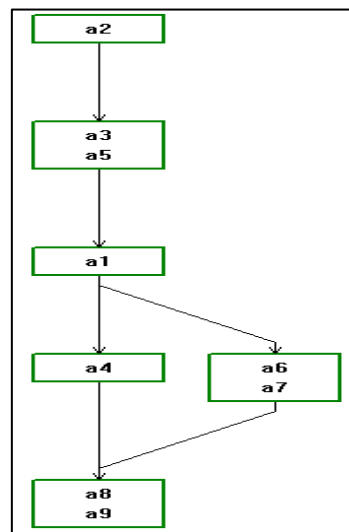
Figura 4.5 – Resultados das destilações



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Diante dos resultados da Figura 4.5 percebe-se que em ambos os processos as alternativas a_2 , a_3 e a_5 lideram as preferências da ordenação, enquanto as alternativas a_8 e a_9 seguem em níveis mais baixos. O grafo final das alternativas para o modelo I está representado na Figura 4.6.

Figura 4.6 – Ranking final das alternativas



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Mediante a Figura 4.6, as alternativas foram classificadas em cinco níveis. O poço correspondente a a_2 deve apresentar uma maior prioridade para as atividades de manutenção, seguida por a_3 e a_5 . Em um terceiro nível, é alocada unicamente a alternativa a_1 , enquanto as alternativas a_4 e a_6/a_7 correspondem ao quarto plano, sendo incomparáveis entre si. No último nível estão os poços relacionados à a_8 e a_9 , que por sua vez, apresentam total subordinação as alternativas do patamar anterior.

Neste grafo final também é possível analisar que as alternativas a_8 e a_9 , aparentemente melhores que as alternativas a_6 e a_7 , em termos do critério de maior peso (g_2), conforme a Tabela 4.7, apresentam uma classificação em nível inferior. Esse fato está relacionado a fatores como: ausência de veto para o referido critério e, considerando os demais critérios, as alternativas a_8 e a_9 têm maior avaliação em g_3 , justamente o de menor peso dentre os demais, sendo aproximadamente 2,5 vezes menor que g_4 , o segundo critério com menor ponderação.

– Avaliar a sensibilidade

A análise de sensibilidade será composta pela variação dos limiares de preferência, indiferença e veto. Inicialmente é proposto variar apenas o parâmetro do veto, conforme a Tabela 4.15.

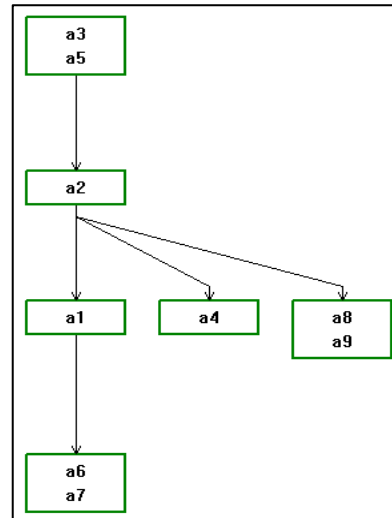
Tabela 4.15 – Limiares para a análise de sensibilidade I

Limiares	g_1	g_2	g_3	g_4
Indiferença (q)	0/0,10	0/0,15	0/0,10	0/0,10
Preferência (p)	0/0,35	0/0,30	0/0,25	0/0,25
Veto (v)	0/0,50	0/0,50	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Mediante a Tabela 4.14 percebe-se que além de duas exclusões do valor veto tradicional da aplicação do modelo, houve o acréscimo desse limiar no critério g_2 . Para essa situação foi obtido como grafo final à representação presente na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Ranking final para análise de sensibilidade I



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Na Figura 4.7, percebe-se que as alternativas a_2 , a_3 e a_5 continuaram a apresentar maiores prioridades e consequentemente os dois primeiros níveis. A grande diferença consiste a partir do terceiro nível, pois são verificados três conjuntos de alternativas incomparáveis entre si (a_1 , a_4 , e a_8/a_9). E, por último são alocados os poços referentes à a_6 e a_7 , que por sua vez, não é subordinada as alternativas a_4 e a_8/a_9 . Dessa forma, as alternativas a_8 e a_9 apareceram em um nível mais alto e tornaram-se incomparáveis com a_6 e a_7 .

Em outra análise é proposta a redução dos valores de todos os limites e a continuação quanto à abstenção de veto para o critério g_2 , conforme os dados da Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Limiares para a análise de sensibilidade II

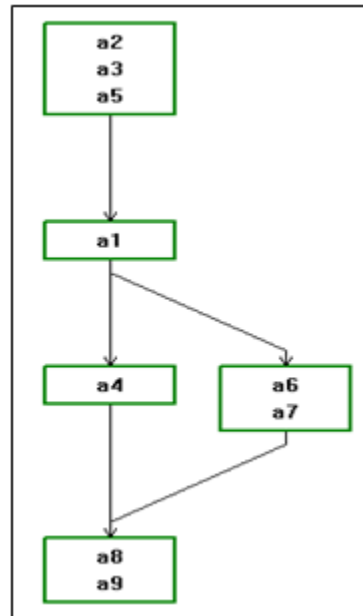
Limiares	g_1	g_2	g_3	g_4
Indiferença (q)	0/0,05	0/0,15	0/0,05	0/0,05
Preferência (p)	0/0,15	0/0,15	0/0,15	0/0,15
Veto (v)	0/0,20	-	0/0,25	0/0,25

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Diante da aplicação dos limiares dispostos na Tabela 4.15, é obtido como grafo final a representação na Figura 4.8, pela qual semelhantemente a análise anterior apresenta apenas quatro níveis e a contínua prevalência das alternativas a_2 , a_3 e a_5 . E em seu resultado,

apresenta uma semelhança maior com a aplicação fidedigna das preferências do decisor. A incomparabilidade entre as alternativas a_4 e a_6/a_7 permanecem, bem como a ordenação dos poços a_8 e a_9 nos últimos níveis.

Figura 4.8 – Ranking final para análise de sensibilidade II



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

O modelo proposto mostrou-se bastante robusto, tendo em vista as análises semelhantes mesmo com a variação dos limiares. Fato esse que proporciona uma maior confiança ao decisor.

4.3 Considerações finais do capítulo

. O trabalho teve por finalidade classificar (ordenar), por meio do método multicritério de avaliação de desempenho ELECTRE III, os poços do sistema de abastecimento da Ilha de Itamaracá, a saber, quais as alternativas apresentam uma maior importância para o sistema como um todo, ao ponderar os extremos da eficiência da população alinhados ao maior benefício social. Assim, o desempenho do modelo proposto foi satisfatório, visto que os objetivos foram atingidos.

Considerando os resultados obtidos, as alternativas referentes a continua alocação das alternativas a_2 , a_3 e a_5 nos primeiros níveis, está diretamente associada à correspondência social. Isto, pois ambos os poços apresentam elevada produtividade, bem como abastecem uma das áreas mais populosas da Ilha de Itamaracá, relativa ao bairro de Jaguaribe, caso da

alternativa a_2 ; e as alternativas a_3 e a_5 são responsáveis pelo fornecimento de água ao Pilar, atual sede administrativa do município e também dotada pela concentração das atividades comerciais e de residências.

Este tipo de ordenação e conhecimentos agregados dos poços é inexistente para a atual gestão do segmento de manutenção. Salienta-se que esse modelo foi aplicado apenas para os poços de um dos cento e oitenta e cinco municípios do estado de Pernambuco, e o mesmo, segundo os colaboradores da Compesa demonstram grande utilidade, sobretudo neste período em que está sendo formulado o novo plano de manutenção para os poços. Consequentemente, esse modelo tende a proporcionar uma maior agilidade à correção de problemas nos 198 poços da RMR, tendo como viés a maior satisfação da comunidade, bem como alavancar a eficiência da companhia de saneamento em questão.

Para esse modelo I foi proposta a análise de sensibilidade, variando-se alguns parâmetros e ao fim, percebe-se que é bastante robusto. Analisando os resultados percebe-se um mecanismo de compensação entre as alternativas que apresentam uma maior capacidade de atendimento a população, garantindo não apenas sua satisfação, como lucratividade à companhia de saneamento, juntamente com as alternativas dominadas em termos de efetividade das pressões externas.

5 MODELO PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO (MODELO II)

A necessidade de gerenciar vazamentos nas redes de canalização tornou-se mais urgente nos últimos anos devido à escassez de água, que repercutiu em maiores pressões ambientais, sociais e políticas. Nesse sentido, Vilanova *et al.* (2015) afirma que as perdas de água representam o indicador mais relevante da ineficiência dos sistemas de distribuição.

O alto volume de água dissipada sem a geração de receita afeta seriamente a viabilidade financeira das companhias de saneamento, proporcionando aumento dos custos operacionais. No entanto, a perda física de água não é apenas um impasse econômico mais é também uma questão ambiental e de saúde coletiva (DIGHADE *et al.* 2014).

O modelo atual de decisão para esse problema, na maioria das companhias brasileiras, é pautado na informalidade, de modo que alguns dos fatores que poderiam contribuir na minimização dessa situação, acabam sendo ignorados, ou mesmo não ponderados corretamente. Portanto, surge à necessidade em desenvolver procedimentos operacionais que proporcione ao sistema ser operado de forma satisfatória, contínua e ao menor custo (DIGHADE *et al.* 2014).

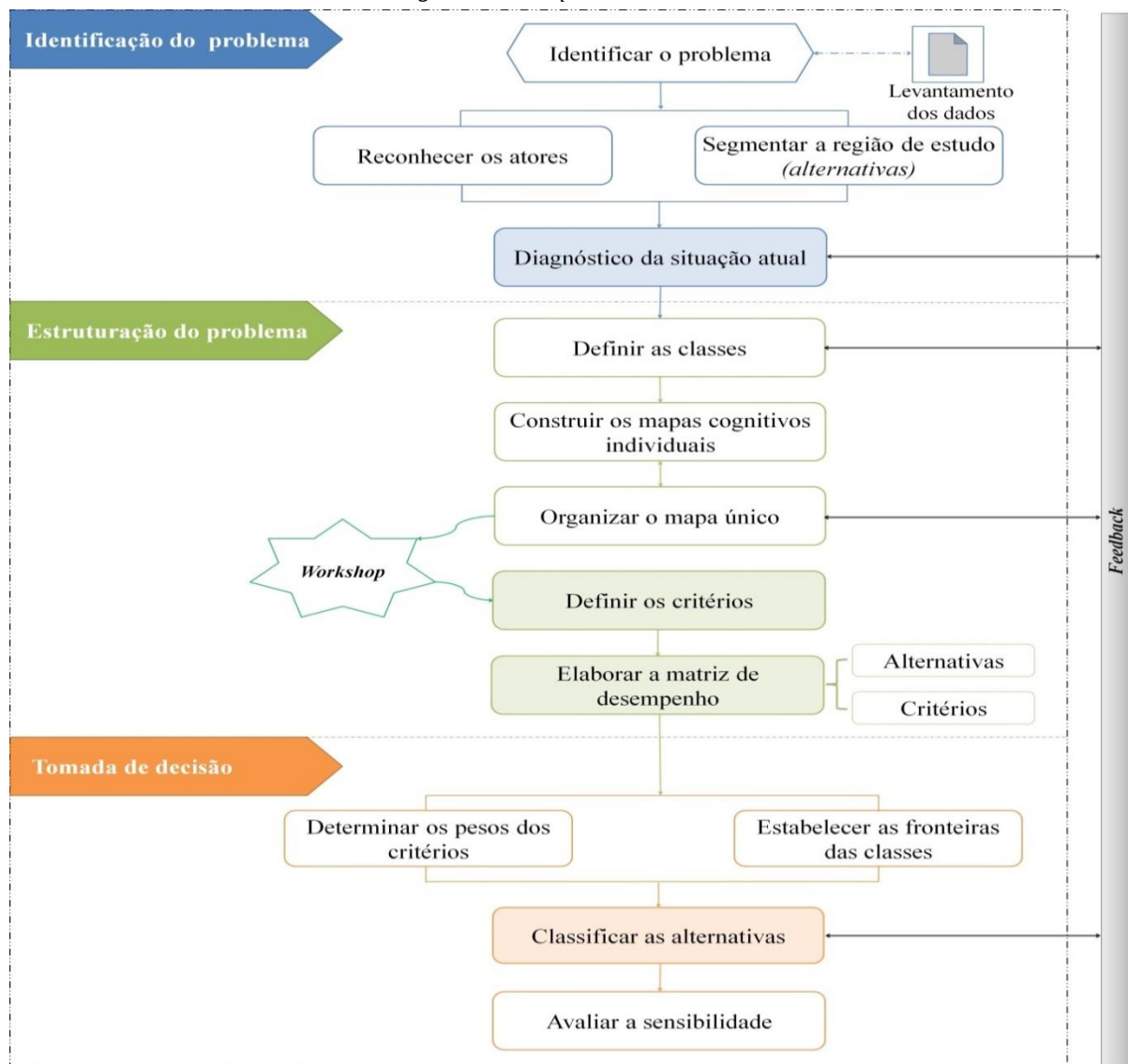
Atendendo a necessidade de auxiliar o processo de tomada de decisão no que tange o planejamento da manutenção nas redes de distribuição de água no estabelecimento de suas prioridades gerenciais/comerciais, é apresentado um modelo multicritério que permite segmentar a região de estudo em categorias por criticidade. Isto, pois a fragmentação possibilita conhecer mais amplamente os detalhes de um problema, podendo ser uma boa alternativa para resolvê-lo.

Dessa forma, o modelo proposto almeja que decisor detenha uma visão mais acurada de quais regiões são mais críticas para alocação das atividades de manutenção, considerando obter um maior benefício para a sociedade e elevar a eficiência da companhia de saneamento, a partir de parâmetros coletados dentro das próprias áreas.

5.1 Descrição do modelo II

O modelo é dinâmico e composto por três fases, cada qual com uma sequência de tarefas que devem ser rigorosamente cumpridas para que um resultado satisfatório seja obtido. Uma síntese do modelo proposto está representada na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Esquema do modelo II



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

A primeira etapa foca na identificação de dados que possam compor ou mesmo impactar o processo decisório. A estruturação do problema corresponde à segunda fase, sendo de início definidas as categorias para alocação das alternativas. Semelhantemente ao modelo I, é aconselhável o uso da abordagem SODA, por intermédio da técnica dos mapas cognitivos, para determinar os critérios de avaliação das alternativas.

Na última fase, além da definição de alguns parâmetros para o modelo, seu direcionamento consiste na aplicação do método multicritério de sobreclassificação do ELECTRE-TRI em busca de uma solução para a problemática de classificação, incluindo uma avaliação de sensibilidade dos resultados.

Nesse modelo, as setas mútuas proporcionam que os atores forneçam *feedbacks* no decorrer das etapas e também possibilita o retorno às atividades anteriores, em caso de

ajustes. Recomenda-se que o contato com tais agentes ocorram por meio de reuniões semiestruturadas, ou seja, que exista um roteiro pré-definido, mas flexível aos aspectos debatidos. A seguir, estão descritas cada etapa desse modelo.

5.1.1 Etapa 1 – Identificação do problema

Corresponde a fase inicial do processo e visa reunir elementos relevantes. Nessa etapa são identificados os atores, definidos os parâmetros para a segmentação da área e colhidos dados que permitam conhecer o contexto do problema.

– *Reconhecer os atores*

Em um processo de decisão existem diversas partes interessadas, denominadas de atores. Inicialmente, faz-se necessário identificar os agentes da companhia de saneamento que detêm influência sobre as decisões relacionadas às atividades de manutenção para as redes de distribuição. Dentre os atores, deve ser destacado o decisor, ou seja, o indivíduo ou grupo responsável pela tomada de decisão impondo seus julgamentos de valor e com poder de ratificar as diretrizes estabelecidas (BELTON & STEWART, 2002; VINCKE, 1992).

Em muitas situações também existem os “grupos de pressão” ou *stakeholders*, conforme nomenclatura de Roy (1996), que configuram as partes que mesmo sem responsabilidade formal conseguem influenciar na decisão. Além do grupo de terceiros, que correspondem às partes afetadas pelas decisões e, portanto, devem ter suas preferências consideradas, mas sem participar ativamente do processo.

Por fim, é necessário delimitar a atuação do facilitador, ou seja, o agente que coordena os pontos de vista do decisor, sem impor seus valores, e propicia aprendizado ao processo decisório (VINCKE, 1992; ROY, 1996).

– *Segmentar a região de estudo*

A região deve ser dividida de modo a compor as alternativas para análise no modelo. Essa segmentação pode ser fundamentada em aspectos diversos, como: características técnicas da rede (tipo de tubulação, idade, pressão), área de influência (doméstica, industrial ou comercial), por bairros, aglomerações de setores comerciais, ou qualquer outra propriedade.

Conhecendo o melhor parâmetro para o fracionamento da área em estudo, deve ser empreendida a caracterização das áreas as quais se pretende classificar. Assim, são importantes atributos como:

- Informações administrativas, como o faturamento médio mensal;

- Número de ligações e economias ativas de água, em termos dos clientes residenciais e não residenciais;
- Nível de automação do sistema de abastecimento;
- Dados sobre a estrutura das tubulações predominantes em cada setor;
- Mapeamento da importância econômica e social de cada segmento.

Entretanto, outras informações podem ser acrescentadas a depender do ponto de vista dos atores envolvidos. Nessa caracterização dos setores, alguns conceitos devem ser nitidamente conhecidos:

1. **Ligação de água:** segundo o SNIS (2016), corresponde ao ramal predial conectado à rede de distribuição, podendo estar ativa ou inativa;
2. **Economia de água:** condiz a cada unidade consumidora, sendo concebida por um imóvel com único ofício, ou sua subdivisão com ocupação independente. Ou seja, correspondem as moradias, apartamentos, unidades comerciais, salas de escritório, indústrias, órgãos públicos e similares, existentes numa determinada edificação e atendidos pelos serviços de abastecimento de água. Exemplificando, um edifício com doze apartamentos tem uma ligação e doze economias (SNIS, 2016);
3. **Grandes consumidores ou pessoas jurídicas:** são representados pelos clientes de natureza comercial, industrial ou agrícola; diferindo das pessoas físicas, que englobam as residências.

– Diagnóstico da situação atual

Esta atividade é necessária para a compreensão do contexto do problema, ao analisar suas possíveis causas e caracterizar o ambiente em que está inserido. Dessa forma, deve identificar aspectos que permitam:

- Compreender o funcionamento global do sistema de distribuição de água;
- Evidenciar os subsistemas ligados às redes de abastecimento;
- Realizar um levantamento, em percentuais, das taxas de perdas existentes na região de estudo;
- Acompanhar evolutivamente a expansão do sistema de distribuição de água.

Os dados devem ter qualidade, serem fidedignos e atualizados, de forma a transmitir o panorama da realidade do problema, e consequentemente possibilitar que sejam encontradas soluções úteis.

5.1.2 Etapa 2 – Estruturação do problema

Essa etapa preza pela geração de ideias por parte dos atores, estando apoiada na captura e na representação de vários pontos de vista como forma de incrementar o entendimento sobre determinado problema (ACKERMANN, 2012).

Considerando a necessidade de aferir as percepções individuais de modo agregado, permitindo que os atores envolvidos no processo possam compreender o ponto de vista uns dos outros, optou-se pelo uso da abordagem SODA, para a identificação dos critérios de avaliação das alternativas no processo decisório. Compõem as atividades dessa fase:

- *Definir as classes*

O ELECTRE TRI realiza análises de classificação mediante a alocação das alternativas em categorias pré-definidas (MOUSSEAU & DIAS, 2004). A importância de conhecer tais classes previamente facilita o direcionamento para identificar critérios válidos e coerentes.

Estas definições devem prever qual o tipo de classes os atores desejam explicitar. Seguindo o objetivo da pesquisa, as classes devem ressaltar as alternativas críticas para o estabelecimento de prioridades a manutenção das redes de distribuição visando elevar o bem estar da população e propiciar maior eficiência para a companhia de saneamento. Cada classe está associada a um nível de ação, de modo que áreas com maior prioridade precisam ser tratadas em caráter emergencial, enquanto as demais podem receber projetos de médio prazo.

- *Construir os mapas cognitivos individuais*

Um mapa cognitivo SODA consiste em um instrumento que permite por diagrama analisar a estrutura dos problemas através da extração de ideias (EDEN, 1988).

O facilitador deve entrevistar individualmente cada ator, estimulando-o para que expresse todo o seu conhecimento sobre o problema. Dessa forma, as percepções dos participantes são capturadas, configurando nos EPAs, sendo estabelecidos entre si os relacionamentos. Para auxiliar na construção desses mapas é recomendado o uso do *Decision Explorer®* versão 3.4.0 da *Banxia Software Ltd*. Finalizado o mapeamento, o facilitador deve validar as informações alocadas em cada representação com os seus respectivos atores, concretizando as alterações, se necessário.

- *Organizar o mapa único*

Essa atividade compreende a agregação dos mapas individuais em uma única representação por intermédio do facilitador, devendo ser ponderados os fatores hierárquicos

entre os atores e os tipos de ligações entre os critérios. Nessa consolidação, também é recomendado o uso do *Decision Explorer*® versão 3.4.0 da *Banxia Software Ltd*.

Finalizada essa elaboração, o facilitador deve propiciar o *Workshop* permitindo que o mapa construído seja validado por todos os atores envolvidos no processo. Nesse momento, os participantes estão livres para exporem seus *feedbacks* e alterarem o mapa, caso convenha.

– **Definir os critérios**

Mediante a aprovação do mapa cognitivo único, são obtidos os critérios de julgamento para as alternativas. Nesse sentido, deve ser estabelecida uma definição clara de cada critério, para que o decisor no momento de expor suas preferências conheça os aspectos que estão sendo efetivamente considerados, para que possa conferir uma opinião concreta e objetiva.

– **Elaborar a matriz de desempenho**

Nessa atividade, é disposta uma matriz contendo todas as alternativas relacionadas aos critérios para que o decisor possa estabelecer suas preferências. A ponderação dos julgamentos deve seguir uma métrica única de escala, sendo recomendada a variação [0, 1.0].

O modo de avaliação do desempenho dos critérios depende das suas especificidades. Alguns são facilmente mensurados através de valores numéricos, não cabendo contestação por parte do decisor, como aspectos relacionados a custos, faturamento, entre outros. No entanto, determinados critérios não apresentam uma visualização clara de como devem ser julgados, consequentemente, sua análise deve ocorrer de forma subjetiva utilizando para comparação uma escala verbal. Concluída a elaboração da matriz de desempenho, é iniciada a etapa final do modelo correspondendo à tomada de decisão.

5.1.3 Etapa 3 – Tomada de decisão

Diante do problema adequadamente estruturado é possível iniciar a busca por sua solução através da abordagem multicritério. Considerando ser uma problemática de classificação, é aconselhável o uso método de sobreclassificação do ELECTRE TRI, uma vez que suas características que possibilitam ao modelo:

- Alocar as alternativas em categorias, identificando facilmente as regiões com maior criticidade para o recebimento das atividades de manutenção;
- Incluir critérios qualitativos e quantitativos, e abranger todos os tipos de relações de preferência: P (preferência estrita), Q (preferência fraca), I (indiferença) e J (incomparabilidade);

- Ponderar a imprecisão e as hesitações do decisor, expressas através dos limiares de preferência, indiferença e veto;
- Considerar as avaliações das alternativas sob duas perspectivas: otimista e a pessimista.

Nesta etapa de tomada de decisão, compreendem os passos necessários:

– ***Determinar os pesos dos critérios***

A elicitação dos pesos dos critérios deve tomar como suporte o procedimento revisto de Simos proposto por Figueira & Roy (2002).

As ações necessárias estão dispostas em detalhes no item 2.7 dessa pesquisa. No entanto, resumidamente, esse método denominado de “jogo de cartas” consiste em distribuir aleatoriamente cartões identificados com cada critério e, outro conjunto de cartões sem informações. O decisor deverá dispor os critérios por ordem crescente de importância, acrescentando os cartões brancos entre os critérios para simbolizar a diferença de peso entre os mesmos, quando julgar necessário. Caso dois ou mais critérios tenham uma importância equivalente, eles podem ser dispostos como um subconjunto de mesma ordem.

Finalizado dado procedimento, deve ser empreendido os cálculos para obter os pesos de cada critério. Para auxiliar a obtenção desses pesos, é recomendado o uso do *software Logiciel SRF* versão 2.2 da LAMSADE.

– ***Estabelecer as fronteiras das classes***

Neste momento faz-se necessário estabelecer os limites das classes para a disposição das alternativas identificadas na fase anterior. Cada limite (fronteira) exhibe valores de desempenho padrão para os critérios de avaliação, delimitando duas classes subsequentes.

– ***Classificar as alternativas***

De acordo com Roy (1985), Vincke (1992) e Mousseau & Slowinski (1998), para cada critério podem ser incorporados ao modelo de decisão os parâmetros de limite de indiferença (q) de preferência (p) e de veto (v). Para esse método também deve ser estabelecido o rigor das análises através do nível de corte (λ).

Resumidamente, o limite de indiferença $q_j[g(b_h)]$ obedece a maior diferença de $g_j(a) - g_j(b_h)$, preservando a indiferença entre a e b_h para o critério g_j . Por outro lado, o limite da preferência $p_j[g(b_h)]$ corresponde a menor diferença de $g_j(a) - g_j(b_h)$ para a preferência forte de a sobre b_h em relação ao critério g_j . A constituição desse limiar duplo é o que proporciona

existir uma zona de hesitação entre a indiferença e a preferência, justamente representada pela relação Q (DE ALMEIDA, 2013). As expressões (5.1) descrevem cada relação apresentada.

$$\begin{cases} a_k I_j b_h \leftrightarrow |g(a_k) - g(b_h)| \leq q_j \\ a_k Q_j b_h \leftrightarrow g(b_h) + p_j \geq g(a_k) > g(b_h) + q_j \\ a_k P_j b_h \leftrightarrow |g(a_k) - g(b_h)| > p_j \end{cases} \quad (5.1)$$

O ELECTRE TRI proporciona como solução a alocação das alternativas a dois distintos tipos de procedimentos: o pessimista e o otimista. No processo otimista a exigência é menor e tende a classificar as alternativas em classes mais altas. Enquanto o processo pessimista é mais exigente, tendendo a classificar as alternativas nas categorias mais baixas. A divergência entre os procedimentos existe quando a performance de uma alternativa é incomparável com um ou vários padrões de referência. Nesses casos, o decisor deve adotar uma das duas classificações segundo suas preferências (MOUSSEAU & SLOWINSKI, 1998).

Para a busca da solução a problemática em questão recomenda-se o uso do *software* ELECTRE TRI versão 2.0a, desenvolvido e disponibilizado pela LAMSADE. Finalizado os procedimentos, os resultados devem ser apresentados ao decisor.

– *Avaliar a sensibilidade*

A análise de sensibilidade deve ser realizada a fim de verificar a estabilidade do modelo. Hillier & Lieberman (2006) salientam a importância de verificar o comportamento da solução de um modelo mediante algumas variações nos parâmetros instituídos para outros valores plausíveis do processo decisório. No modelo proposto os parâmetros que podem ser modificados são: os níveis de corte (λ), que são admitidas variações no intervalo de 0,5 e 1,0; e, os limiares de preferência, indiferença e veto, caso esse tenha sido considerado.

5.2 Aplicação do modelo II

É conferida a aplicação numérica do modelo II a Ilha de Itamaracá, tendo em vista ressaltar as áreas mais críticas para receber ações do setor de manutenção, considerando obter um maior benefício social e proporcionar uma maior eficiência a Compesa.

5.2.1 Etapa 1 – Identificação do problema

– *Reconhecer os atores*

Para a etapa de estruturação de problemas, especificadamente no que tange a identificação dos critérios são identificados três atores:

- **D₁ - Coordenador de serviços:** programa diretamente todos os serviços diários de manutenção, considerando as habilidades de cada operador, bem como os insumos disponíveis. Está susceptível a fortes pressões externas e hierárquicas;
- **D₂ - Coordenador técnico:** acompanha diretamente a gestão do coordenador de serviços, fornecendo aconselhamentos técnicos. Recebe fortes pressões externas e atua também no plano de melhorias para o sistema de abastecimento como um todo;
- **D₃ - Coordenador financeiro:** responsável pelo controle dos setores comerciais da Compesa, tendo como forte gargalo qualquer impacto no faturamento.

Contudo, para a etapa da tomada de decisão serão consideradas apenas as preferências do decisor. Nesse caso, configura o Coordenador de serviços, por assumir responsabilidades no controle e alocação das atividades de manutenção sob as redes de distribuição.

Os órgãos acessórios como a CTTU impõem restrições na programação da manutenção, visto que algumas vias requer o apoio para controle do tráfego de transeuntes e veículos, com maior dependência nos períodos de feriados, festividades e férias escolares. O facilitador, por sua vez, deve se limitar a guiar os processos sem impor valor nos julgamentos.

– *Segmentar a região de estudo*

A segmentação da região de pesquisa na Ilha de Itamaracá foi baseada nos parâmetros comerciais da Compesa, totalizando onze setores. Esses parâmetros comerciais estão relacionados aos locos de fragmentação que a Compesa utiliza para mapear um município. Caracterizando cada alternativa (setor) estabelecida para o modelo II, diretamente identificadas na Figura 5.2, tem-se:

- **a₁** - É uma área de grande fluxo de visitantes e turistas, com comércio predominantemente informal. Compreende boa parte da costa litorânea de Jaguaribe. A rede de distribuição apresenta tubulações variando entre PVC com 50 e 100 mm de diâmetro, ferro fundido dúctil com 150 mm de diâmetro e tubos Defofo de 200 mm de diâmetro nas conexões diretas com o Reservatório apoiado de Jaguaribe. Possui 1.793 ligações ativas totais, sendo 114 ligações não residenciais; 2.291 economias totais, sendo 161 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 84.337,00;
- **a₂** – É uma região com forte concentração de atividades de comércio e serviços. As residências, em sua maioria são usufruídas pela população habitual, mas há a presença de unidades construídas para veraneio e lazer. Sua rede de distribuição

predomina os tubos de PVC com 50 e 85 mm de diâmetro. Possui 1.199 ligações ativas totais, sendo 37 ligações não residenciais; 1.415 economias totais, sendo 55 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 38.662,00;

- **a₃** - Constitui a porção intermediária da faixa de praia entre os dois núcleos principais: Pilar e Jaguaribe. É predominantemente residencial, e tem forte perfil de concentração das atividades de comércio e serviços, mas com parcela significativa de unidades edificadas para residência fixa, incluindo-se assentamentos informais e unidades construídas para veraneio e lazer. Abastecida por condutos de PVC com 50, 85 e 100 mm, tubos de cimento amianto com 50 mm e Defofo com 200 mm de diâmetro, engloba também dois reservatórios elevados. Nesta área localiza-se a Prefeitura Municipal e o ponto de atendimento aos consumidores da Compesa. Possui 2.234 ligações ativas totais, sendo 192 ligações não residenciais; 2.773 economias totais, sendo 252 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 135.038,00;
- **a₄** - Constitui a porção interior de topografia mais alta, em oposição às terras baixas da orla litorânea. Compreende uma vasta área de ocupação ainda rarefeita, assumindo padrões urbanos mais amenos que aqueles da faixa praiana. Em termos da distribuição de água, predomina os tubos de PVC com 75 mm de diâmetro. Possui 836 ligações ativas totais, sendo 39 ligações não residenciais; 1.046 economias totais, sendo 59 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 37.253,00;
- **a₅** – Constitui a porção interior de topografia mais alta, em oposição às terras baixas da orla litorânea. Predomina uma vasta área de ocupação ainda rarefeita, mas loteada. Assim, configura-se como uma área de transição entre o urbano e as áreas rurais e de proteção ambiental. A rede de abastecimento é formada por tubulações de PVC com 50 mm de diâmetro e Defofo de 150 mm de diâmetro. Possui 282 ligações ativas totais, sendo 42 ligações não residenciais; 339 economias totais, sendo 68 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 7.786,00;
- **a₆** - É uma área de uso predominante residencial e de moradias de uso temporário, com médio padrão construtivo. Concentra-se na ocupação litorânea do Rio Âmbar e parte do Forno da Cal, sendo uma área de planície de cotas muito baixas e sujeitas a alagamentos, agravados com a ocupação inadequada em relação à hidrografia natural. A rede de distribuição apresenta tubulações variando entre PVC com 50 e

85 mm de diâmetro, e ferro fundido dúctil com 150 mm de diâmetro. Possui 1.211 ligações ativas totais, sendo 63 ligações não residenciais; 1.544 economias totais, sendo 75 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 62.756,00;

- **a₇** – Corresponde a uma zona de média densidade populacional, a oeste da rodovia PE-001. A rede de abastecimento é composta por condutos de ferro fundido com 200 mm de diâmetro, PVC de 50 mm, tubos de cimento de amianto de 200 mm, e conectados ao reservatório apoiado tem-se os tubos de Defofo com 200 mm. Possui 975 ligações ativas totais, sendo 29 ligações não residenciais; 1.185 economias totais, sendo 39 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 38.945,00;
- **a₈** – Área localizada na zona que permeia a praia de São Paulo, sua ocupação é espaçada e com médio quantitativo populacional. Em termos dos condutos da rede de distribuição predomina os tubos de PVC com 85 mm de diâmetro. Possui 852 ligações ativas totais, sendo 19 ligações não residenciais; 1.035 economias totais, sendo 21 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 41.871,00;
- **a₉** – É uma área de uso predominante residencial e de veraneio de alto padrão. Concentra-se na porção interior, sem contato com a zona costeira. A rede de distribuição apresenta tubulações variando entre PVC com 50 e 100 mm de diâmetro, tubos Defofo de 200 e 300 mm, sendo estes últimos conectados diretamente ao reservatório apoiado. Possui 617 ligações ativas totais, sendo 6 ligações não residenciais; 739 economias totais, sendo 14 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 24.028,00;
- **a₁₀** – Compreende uma região litorânea com predominância de residências para veraneio. No entanto, na zona litorânea contempla acomodações como o Hotel Orange Praia. A rede é dominada pela tubulação de PVC 50 mm. Nessa região aloca-se o reservatório elevado do pôr do sol. Possui 605 ligações ativas totais, sendo 72 ligações não residenciais; 738 economias totais, sendo 85 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 19.572,00;
- **a₁₁** – Compreende a região litorânea da Praia do Forte. A rede de distribuição é composta, predominantemente, por tubos de PVC com 50 mm e 85 mm de diâmetro. Caracteriza-se como polo turístico de importância nacional e estadual, agregando referências de valor histórico-cultural e paisagístico como o Forte Orange, um marco colonial das disputas pelo território do período entre portugueses

e holandeses. São outros destaques: o Centro Nacional de Pesquisa, conservação e manejo de Mamíferos Aquáticos do IBAMA (Projeto Peixe Boi) e a Capela de São Paulo. Possui 963 ligações ativas totais, sendo 43 ligações não residenciais; 1.216 economias totais, sendo 55 economias não residenciais e, um faturamento médio de R\$ 45.373,00.

Figura 5.2 – Alternativas para o modelo II



Fonte: Adaptado GisComp(2016)

– Diagnóstico da situação atual

Conforme explanado no Capítulo 3, o adensamento urbano foi expressivo na Ilha de Itamaracá nas últimas décadas. Consequentemente, foi necessária a expansão das malhas das redes de distribuição de água e a construção de novos reservatórios e pontos de captação, considerando também o posicionamento estratégico das conexões e válvulas de manobra. A rede de distribuição na Ilha de Itamaracá apresenta como problemas operacionais:

- Por se tratar de uma área de veraneio, o município recebe um incremento considerável de turistas, desde o final do ano letivo até o período após o carnaval;

- O município é constituído em diferenças acentuadas de cota em seu relevo, fato que representa um entrave para o abastecimento, especialmente na região do Forte Orange, sobretudo no verão;
- Para garantir o abastecimento, na Ilha de Itamaracá são aplicadas diferentes pressões na rede de distribuição para abastecer áreas ao do nível do mar e locais com cota altimétrica superior aos 60 m. Esse fato propicia vazamentos nos condutos, principalmente nas áreas de cota mais baixa;
- Localidades com grande quantidade de ligações de água clandestinas.

Um dos grandes gargalos no sistema de distribuição da Ilha de Itamaracá são as perdas de água, que segundo o IPD tomando como referência o ano de 2014 atingiu 69,01%, um valor quase duas vezes maior que a média nacional (36,7%), conforme discutido no capítulo 3 (BRASIL, 2016).

Para a atual tomada de decisão nos sistemas de distribuição, a Compesa procede por meios informais tomando como base fatores relacionados às pressões externas, bem como o tempo de solicitação da ordem de serviço, numa espécie de fila temporal.

5.2.2 Etapa 2 – Estruturação do problema

– *Definir as classes*

Nesse caso foram estabelecidas três classes de criticidade, denominadas: Altíssima, Média e Baixa, dispostas na Tabela 5.1, que também retrata a necessidade de intervenção com um maior grau de urgência para a resolução do problema.

Tabela 5.1- Estabelecimento das prioridades de intervenções

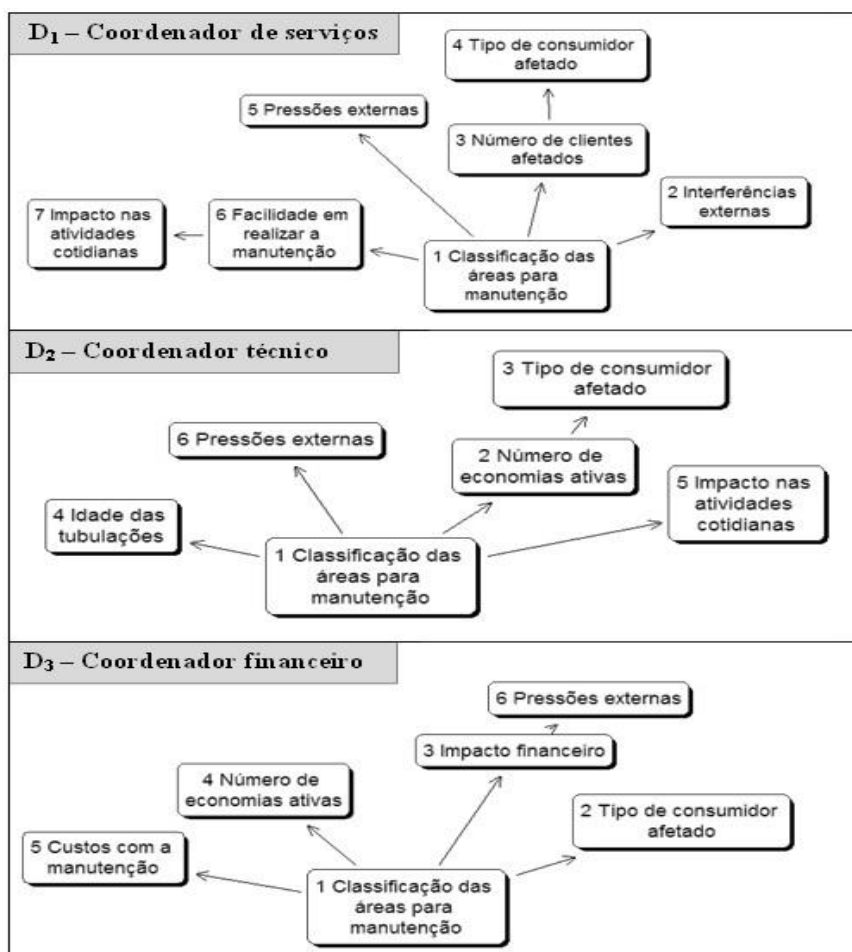
Classes	Criticidade	Necessidade de intervenção
C₁	Alto impacto	Imediata
C₂	Médio impacto	Moderada
C₃	Baixo impacto	Baixa

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– *Construir os mapas cognitivos individuais*

Em reuniões distintas, com os três atores, foi possível construir os respectivos mapas cognitivos individuais, em acordo com a Figura 5.3. Finalizada a elaboração dos mapas individuais, os mesmos foram apresentados aos respectivos atores para avaliação não sendo necessário promover ajustes.

Figura 5.3 – Mapas individuais dos atores para modelo II

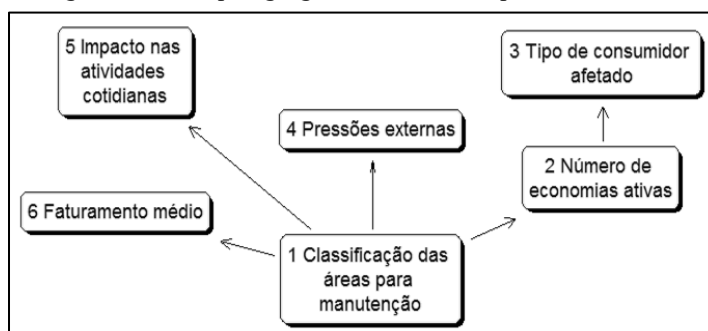


Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– Organizar o mapa único

Compilando os EPAs dos mapas individuais, tendo o facilitador como um indivíduo disposto a considerar as hierarquias entre os três atores e as ligações entre os conceitos elencados, foi construído o mapa único representando os critérios de avaliação para o problema em questão, conforme a Figura 5.4.

Figura 5.4 – Mapa agregado dos critérios para o modelo II



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Realizando o *Workshop* para a validação do mapa agregado, os atores concordaram com a representação, não sendo necessárias alterações. Os critérios identificados foram: número de economias ativas, tipo de consumidor afetado, pressões externas, impacto nas atividades cotidianas e faturamento médio.

– Definir os critérios

Explanando cada critério para a classificação das alternativas tendo em vista, manter uma coesão quanto a sua definição, tem-se:

- **g₁ – Número de economias ativas:** para este critério, as áreas com maior número de economias ativas são consideradas mais críticas no que diz respeito às paradas da oferta, pois mais consumidores podem ficar sem acesso à água e consequentemente gerar um maior grau de insatisfação. Sua ponderação tem como base o número de economias ativas em cada alternativa;
- **g₂ – Tipo de consumidor afetado:** na gestão da manutenção, os tipos de clientes devem ser conhecidos, uma vez que em caso de acidentes ou paralisações no fornecimento de água consequências mais graves podem ser acarretadas em termos sociais e econômicos. Esse critério é mensurado pelo número de economias de água dos consumidores não residenciais presentes em cada setor, dando preferência às alternativas que apresentam uma maior proporção dessa categoria;
- **g₃ – Pressões externas:** esse critério mensura o quanto as forças externas, sejam com viés político ou de liderança comunitária, interferem na priorização para manutenção de um determinado vazamento. Por ser um critério de natureza subjetiva adota-se uma escala de avaliação conforme a Tabela 5.2. A preferência versa sobre as alternativas com maior capacidade de influência externa;

Tabela 5.2 – Escala de avaliação para as pressões externas (g₃)

Nível	Descrição
Altíssima	A alternativa está numa região com uma expressiva representatividade política e comunitária.
Alta	A alternativa está localizada numa região de alto interesse político, mas com deficiência na articulação com a liderança comunitária.
Moderada	A alternativa encontra-se numa região com uma liderança comunitária atuante, mas desarticulada do meio político.
Baixa	A alternativa está numa região com uma liderança comunitária fracamente articulada.
Desprezível	A alternativa encontra-se numa região sem representatividade no campo político e comunitário.

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

- **g₄ – Impacto nas atividades cotidianas:** esse critério mensura o quanto a interrupção no fornecimento de água e a presença de vazamentos podem repercutir negativamente para uma localidade, em termos sociais e econômicos. Nesse critério, durante as avaliações também deve ser considerado a frequência no abastecimento. As alternativas com maior impacto no desenvolvimento das atividades diárias terão prioridade. Para sua mensuração considera-se a escala representada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Escala de avaliação para o impacto nas atividades cotidianas (g₄)

Nível	Descrição
Altíssimo	A alternativa concentra pontos comerciais e assistenciais, tais como hospitais e escolas, agregando também as principais vias de tráfego da cidade.
Alto	A alternativa concentra pontos comerciais e assistenciais, tais como hospitais e escolas, agregando também vias secundárias de tráfego da cidade.
Moderado	A alternativa está localizada numa região altamente povoada e concentra importantes vias primárias para a cidade.
Baixo	A alternativa está localizada numa região altamente povoada e concentra importantes vias secundárias para a cidade.
Desprezível	A alternativa corresponde a uma região de ocupação rarefeita e ausente de atividades econômicas.

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

- **g₅ – Faturamento médio:** esse critério retrata o volume monetário médio arrecadado para cada setor. Regiões com maior volume de faturamento são mais atraentes, visto que caso de interrupções no abastecimento tende a causar maiores impactos na arrecadação da Compesa. Trata-se de um critério com avaliação numérica pela ponderação do valor do faturamento médio em cada alternativa, sendo preferíveis as alternativas que apresentarem maior mensuração.

– Elaborar a matriz de desempenho

Diante da identificação das alternativas e dos critérios sendo conhecida sua forma de julgamento, deve-se construir a matriz de desempenho. Os critérios: “número de economias ativas”, “tipo de consumidor afetado” e “faturamento médio” possibilitam uma avaliação objetiva e direta por meio de valores numéricos e monetários. Porém, os critérios “pressões externas” e “impacto nas atividades cotidianas” apresentam uma natureza subjetiva. Assim, é adotada uma escala para julgamento que permita a conversão das avaliações de preferência em números, conforme a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Escala de julgamento

Escala verbal	Correspondente numérico
Altíssima	1,00
Alta	0,75
Moderada	0,50
Baixa	0,25
Desprezível	0,00

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Nessa perspectiva, além dos dados numéricos são considerados os conhecimentos do decisor para estabelecer a avaliação dos demais critérios, resultando na matriz da Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Dados do desempenho das alternativas (modelo II)

Alternativa	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅
a ₁	2291	161	Altíssimo	Altíssimo	84.337
a ₂	1415	55	Altíssimo	Alto	38.662
a ₃	2773	252	Altíssimo	Altíssimo	135.038
a ₄	1046	59	Desprezível	Baixo	37.253
a ₅	339	68	Baixo	Desprezível	7.786
a ₆	1544	75	Moderado	Moderado	62.756
a ₇	1185	39	Moderado	Alto	38.945
a ₈	1035	21	Alto	Moderado	41.871
a ₉	739	14	Altíssimo	Moderado	25.028
a ₁₀	738	85	Moderado	Altíssimo	19.572
a ₁₁	1216	55	Moderado	Moderado	45.373

Fonte: Esta Pesquisa (2016)

Analisando os dados da Tabela 5.5, percebe-se que as alternativas a₇, a₈ e a₉ mesmo apresentando um menor quantitativo de consumidores do tipo não residencial, quando comparado aos demais volumes, possuem um alto ou moderado impacto nas atividades cotidianas. Esse fato está relacionado a essas alternativas englobarem áreas que não receberem o fornecimento de água diariamente, especialmente por apresentarem altas cotas de relevo, conforme as descrições da Figura 3.6. Consequentemente, um vazamento pode prolongar o tempo entre os abastecimentos para essas regiões.

Ainda com relação à Tabela 5.5, deve-se observar que a alternativa a₅, mesmo apresentando um quantitativo razoável de clientes não residenciais, é enquadrado como um desprezível para o critério g₄. As razões para isto devem-se: ser uma área de subúrbio e com mínima ocupação, e em sua maioria sendo cadastradas em termos de arrecadação como “tarifa social”, comprovados pelo menor faturamento dentre as demais alternativas.

Por fim, confrontando as alternativas a₂ e a₄, os mesmos apresentam um equivalente quantitativo de clientes não residenciais, no entanto diferem na avaliação diante do critério g₄.

Isto, pois a alternativa a_2 abrange uma das regiões mais povoadas da Ilha de Itamaracá, concentrando, inclusive, as ocupações permanentes.

Como a métrica de análise recomendada obedece à variação [0 a 1.0], é necessário adequar os valores relativos aos critérios de natureza quantitativa. Dessa forma, para o cálculo do desempenho em cada alternativa, confronta seu valor em relação à média da série dos critérios considerados e quando o valor da alternativa ultrapassa a média é a ela atribuída a conotação de 1,0. A matriz de desempenho devidamente ponderada para todos os critérios está disposta na Tabela 5.6, logo é possível iniciar a busca por solução para o problema.

Tabela 5.6 – Matriz de desempenho (modelo II)

Alternativa	g_1	$g_1(\text{méd.})$	g_2	$g_2(\text{méd.})$	g_3	g_4	g_5	$g_5(\text{méd.})$
a_1	2.291	1,00	161	1,00	1,00	1,00	84.337	1,00
a_2	1.415	1,00	55	0,68	1,00	0,75	38.662	0,79
a_3	2.773	1,00	252	1,00	1,00	1,00	135.038	1,00
a_4	1.046	0,80	59	0,73	0,00	0,25	37.253	0,76
a_5	339	0,26	68	0,85	0,25	0,00	7.786	0,16
a_6	1.544	1,00	75	0,93	0,50	0,50	62.756	1,00
a_7	1.185	0,91	39	0,49	0,50	0,75	38.945	0,80
a_8	1.035	0,79	21	0,26	0,75	0,50	41.871	0,86
a_9	739	0,57	14	0,17	1,00	0,50	25.028	0,51
a_{10}	738	0,57	85	1,00	0,75	1,00	19.572	0,40
a_{11}	1.216	0,93	55	0,68	0,75	0,50	45.373	0,93
	1.302	-	80	-	-	-	48.784	-

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

5.2.3 Etapa 3 – Tomada de decisão

Corresponde à aplicação direta do método ELECTRE TRI tendo em vista uma análise e classificação do município da Ilha de Itamaracá em áreas por níveis de criticidade, em relação ao seu sistema de distribuição.

– *Determinar os pesos dos critérios*

A determinação dos pesos para cada critério do modelo II segue os procedimentos revistos de Simos, proposto por Figueira & Roy (2002). Assim, retratando as preferências do Coordenador de serviços, a ordenação dos critérios e a sua respectiva análise em termos de importância demonstrada pelos cartões brancos estão representadas na Tabela 5.7.

Interpretando a Tabela 5.7, o critério “número de economias ativas” apresenta a menor importância, enquanto a “pressão externa” detém maior importância. A razão entre o critério menos importante e o mais importante é outro aspecto a ser debatido e firmado com o decisor. Nesta aplicação, o valor ponderado foi quatro. Ou seja, as forças externas impactam quatro vezes mais que o número de economias na região de estudo.

Tabela 5.7 – Ordenação do conjunto de cartões (modelo II)

Ranking	Cartão	Número de cartões
1	Número de economias ativas	1
2	<u>Cartão branco</u>	1
3	Tipo de consumidor afetado	1
4	<u>Cartão branco</u>	0
5	Impacto nas atividades cotidianas	1
6	<u>Cartão branco</u>	2
7	Faturamento médio	1
8	<u>Cartão branco</u>	2
9	Pressões externas	1

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Com essas informações, e seguindo os passos descritos no item 2.7 dessa pesquisa foi possível calcular os pesos não normalizados e normalizados para cada critério. Os valores referentes à determinação desses parâmetros estão dispostos na Tabela 5.8.

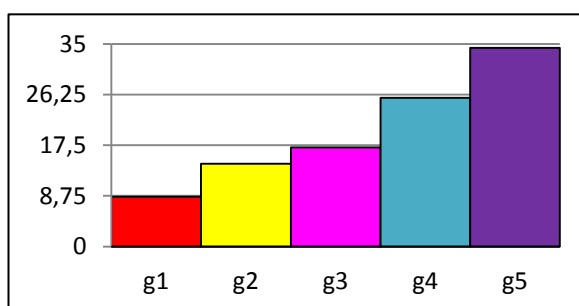
Tabela 5.8 – Convertendo os rankings em pesos para o modelo II

Ranking	Critério no ranking	Número de cartões brancos e_r	e_r	Pesos não normalizados $k(r)$	Pesos normalizados k_i
1	Número de economias ativas	1	2	1,00	8,60
2	Tipo de consumidor afetado	0	1	1,67	14,30
3	Impacto nas atividades cotidianas	2	3	2,00	17,10
4	Faturamento médio	2	3	3,00	25,70
5	Pressões externas	-	-	4,00	34,30
		5	9	11,67	100,00

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Finalizado os cálculos, os pesos dos critérios para a presente aplicação do modelo II estão expressos na representação gráfica da Figura 5.5.

Figura 5.5 – Representação dos pesos dos critérios



Fonte: Esta pesquisa (2017)

Os pesos normalizados expressos na Figura 5.5, para proporcionar uma equivalência de escalas devem ser submetidos a uma fatoração por 100 para cada critério. Quando

necessário, os valores foram arredondados para facilitar os cálculos, estando expressos na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Pesos dos critérios

Critério no ranking	Pesos
Número de economias ativas	0,086
Tipo de consumidor afetado	0,143
Impacto nas atividades cotidianas	0,171
Faturamento médio	0,257
Pressões externas	0,343

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– Estabelecer os limites das classes

Considerando as três classes pré-definidas, na fase anterior, para enquadramento das alternativas, faz-se necessário alocar os seus perfis segundo cada critério, como disposto na Tabela 5.10. Todos os valores foram estabelecidos em conjunto com o decisor com base em suas experiências. Tais valores servem de parâmetros limítrofes para cada categoria fixada.

Tabela 5.10 – Perfis para os limites entre as classes

Classes	Criticidade	Fronteira	g₁	g₂	g₃	g₄	g₅
C₁	Alto impacto	b ₁	0,80	0,85	0,80	0,80	0,82
C₂	Médio impacto	b ₂	0,45	0,65	0,50	0,50	0,60
C₃	Baixo impacto	-	-	-	-	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– Classificação das alternativas

O ELECTRE TRI também requer que sejam estabelecidos os limiares do modelo. Dessa forma, considera-se a Tabela 5.11 os respectivos valores adotados nesta aplicação para cada critério, no que tange os limiares de preferência, indiferença e veto.

Tabela 5.11 – Limiares para os critérios do modelo II

Limiares	g₁	g₂	g₃	g₄	g₅
Indiferença (q)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Preferência (p)	0,12	0,12	0,10	0,10	0,12
Veto v(b₁)	0,24	0,26	0,24	0,24	0,25
Veto v(b₂)	0,13	0,19	0,15	0,15	0,18

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Todos os valores determinados na Tabela 5.11 foram acordados com o decisor, tomando como base seus conhecimentos acerca da problemática e da Ilha de Itamaracá. Como o

modelo está considerando três classes para alocação das alternativas, existem duas fronteiras para separar cada classe, sendo elas denominadas de b_1 e b_2 .

Considerando uma breve ilustração das etapas de cálculos do método, considera-se o critério g_3 , a alternativa a_5 , o valor da fronteira b_2 , e os respectivos limiares p e q . Suportado pelas expressões (5.1) é possível obter a seguinte análise:

$$\begin{cases} a_5 I_3 b_2 = |0,25 - 0,50| \leq 0,05, \text{ Falso} \\ a_5 Q_3 b_2 = 0,50 + 0,10 \geq 0,25 > 0,50 + 0,05, \text{ Falso} \\ a_5 P_3 b_2 = |0,25 - 0,50| > 0,10, \text{ Verdadeiro} \end{cases} \quad (5.2)$$

Mediante as relações (5.2) é possível inferir que a alternativa a_5 mediante o critério g_3 apresenta uma preferência forte aos limites da classe b_2 . Esse procedimento pode ser efetuado aos demais parâmetros do modelo.

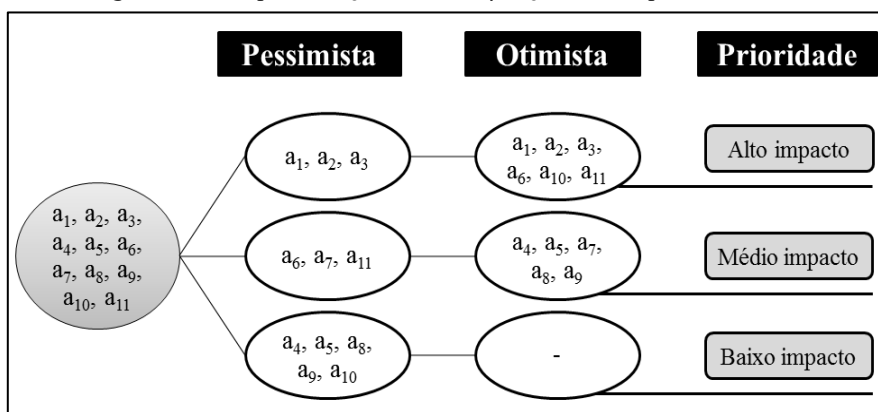
Com os dados devidamente tabulados e elicitados pode-se aplicar o método ELECTRE TRI para classificar as alternativas em estudo, sendo utilizado como suporte o *software* ELECTRE TRI 2.0a da LAMSADE. Para a alocação das alternativas em uma das categorias de classificação, foi considerado o nível de corte $\lambda = 0,76$, uma vez que proporciona um rigor intermediário na análise da credibilidade. Na Tabela 5.12 constam as performances das alternativas para cada critério. A Tabela 5.12 apresentam os resultados tabulados desta aplicação, que por sua vez, podem ser mais facilmente visualizados na Figura 5.6.

Tabela 5.12 – Resultados da classificação obtida pelo modelo II

Classes	Criticidade	Atribuição Pessimista	Atribuição Otimista
C_1	Alto impacto	a_1, a_2, a_3	$a_1, a_2, a_3, a_6, a_{10}, a_{11}$
C_2	Médio impacto	a_6, a_7, a_{11}	a_4, a_5, a_7, a_8, a_9
C_3	Baixo impacto	$a_4, a_5, a_8, a_9, a_{10}$	-

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

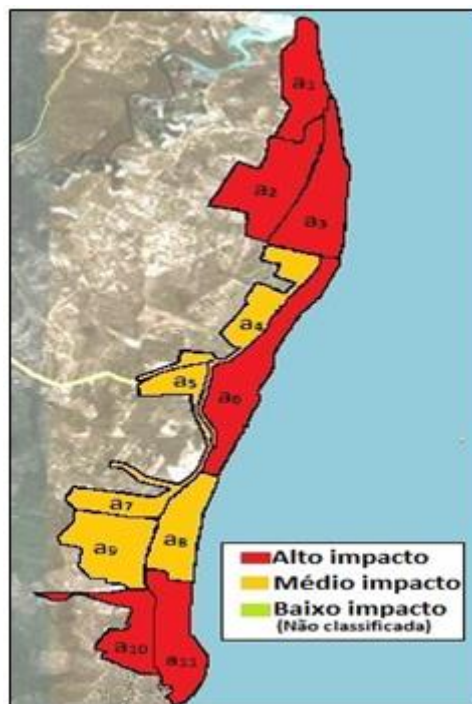
Figura 5.6 – Representação da classificação obtida pelo modelo II



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Diante dos resultados obtidos e demarcando as classificações nos respectivos setores da Ilha de Itamaracá adotados no modelo, é obtida a Figura 5.7.

Figura 5.7 – A Ilha de Itamaracá classificada por níveis de impacto



Fonte: Adaptado de GisComp (2016)

Os resumos das comparações entre as alternativas, tendo em vista perceber se há incomparabilidade para este procedimento apresentam-se na Tabela 5.13. Onde: P – Preferência estrita, Q – Preferência fraca, I – Indiferença e J – Incomparabilidade.

Tabela 5.13 – Comparações das alternativas do modelo II

Alternativas	b ₂	b ₁
a ₁	P	P
a ₂	P	P
a ₃	P	P
a ₄	J	Q
a ₅	J	Q
a ₆	P	J
a ₇	P	Q
a ₈	J	Q
a ₉	J	Q
a ₁₀	J	J
a ₁₁	P	J

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Para o nível de corte proposto ($\lambda = 0,76$) as alternativas a₁, a₂, a₃ e a₇ apresentam convergência. As demais alternativas enquadram-se como divergentes nas atribuições

pessimista e otimista. Nessas circunstâncias, o decisor pode optar por uma atribuição pessimista quando deseje um maior rigor, ou a atribuição otimista, caso prefira ser mais flexível. Nota-se ainda, que nesse caso não ocorreram incomparabilidades nas alternativas.

Finalizando a análise da aplicação, consideram-se seus resultados estatisticamente apresentados na forma de porcentagem, conforme a Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Estatística da aplicação do modelo II

Classe		Pessimista	Otimista
C₁	Alto impacto	27% (3 de 11)	55% (6 de 11)
C₂	Médio impacto	27% (3 de 11)	45% (5 de 11)
C₃	Baixo impacto	45% (5 de 11)	0% (0 de 11)

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

– Avaliar a sensibilidade

Pretendendo testar a estabilidade do modelo, bem como verificar a sensibilidade dos parâmetros promove-se uma análise de sensibilidade. Nesse contexto, podem ser variados os limiares de preferência, indiferença e veto, bem como o nível de corte. No entanto, para esta aplicação, a análise permeará apenas a variação no nível de corte (λ). Dessa forma, ponderando $\lambda = 0,5$, as atribuições para cada alternativa podem ser visualizadas na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Classificação das alternativas com $\lambda = 0,5$

Alternativas	Pessimista	Otimista	b₂	b₁
a₁	Alto Impacto	Alto Impacto	P	P
a₂	Alto Impacto	Alto Impacto	P	I
a₃	Alto Impacto	Alto Impacto	P	P
a₄	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a₅	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a₆	Médio Impacto	Alto Impacto	P	J
a₇	Médio Impacto	Médio Impacto	P	Q
a₈	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a₉	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a₁₀	Baixo Impacto	Alto Impacto	J	J
a₁₁	Médio Impacto	Médio Impacto	P	Q

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Analisando a Tabela 5.15 verifica-se que muitas alternativas continuaram apresentando divergências entre as atribuições pessimistas e otimistas, com exceção de **a₁**, **a₂**, **a₃**, **a₄**, **a₇** e **a₁₁**. Para este nível de corte, a alternativa **a₂** apresentou uma situação de incomparabilidade. Esse fato pode estar associado à baixa exigência quanto ao nível de corte.

Por outro lado, tendo em vista elevar o nível de credibilidade do modelo, foi proposto um nível de corte de $\lambda = 0,9$ e, os resultados são retratados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Classificação das alternativas com $\lambda = 0,9$

Alternativas	Pessimista	Otimista	b_2	b_1
a_1	Alto Impacto	Alto Impacto	P	P
a_2	Médio Impacto	Alto Impacto	P	J
a_3	Alto Impacto	Alto Impacto	P	P
a_4	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a_5	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a_6	Médio Impacto	Alto Impacto	P	J
a_7	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a_8	Baixo Impacto	Médio Impacto	J	Q
a_9	Baixo Impacto	Alto Impacto	J	J
a_{10}	Baixo Impacto	Alto Impacto	J	J
a_{11}	Médio Impacto	Alto Impacto	P	J

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Analisando a Tabela 5.16, verifica-se que as divergências entre as atribuições pessimista e otimista foram maiores. Somente as alternativas a_1 e a_3 não apresentaram essa característica. Com relação às preferências Q, estas sofreram uma redução em ocorrências a partir da elevação do nível de corte. Variando-se o nível de corte para seu valor máximo $\lambda = 1,0$, não foi possível notar diferenças significativas para os dados apresentados quando ao $\lambda = 0,9$. Esse elevado quantitativo de incomparabilidade reflete na dificuldade do decisor em ponderar suas preferências, aplicando-se um maior rigor ao modelo.

Para se uma visualização facilitada das alocações das alternativas nos três diferentes níveis de corte considerados foi construída a Tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Alocações das alternativas mediante a análise de sensibilidade

Categoria	Atribuição	Nível de corte		
		$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,76$	$\lambda = 0,9$
C_1	Pessimista	a_1, a_2, a_3	a_1, a_2, a_3	a_1, a_3
	Otimista	$a_1, a_2, a_3, a_6, a_{10}$	$a_1, a_2, a_3, a_6, a_{10}, a_{11}$	$a_1, a_2, a_3, a_6, a_9, a_{10}, a_{11}$
C_2	Pessimista	a_6, a_7, a_{11}	a_6, a_7, a_{11}	a_2, a_6, a_{11}
	Otimista	$a_4, a_5, a_7, a_8, a_9, a_{11}$	a_4, a_5, a_7, a_8, a_9	a_4, a_5, a_7, a_8
C_3	Pessimista	$a_4, a_5, a_8, a_9, a_{10}$	$a_4, a_5, a_8, a_9, a_{10}$	$a_4, a_5, a_7, a_8, a_9, a_{10}$
	Otimista	-	-	-

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Mediante a Tabela 5.17, verifica-se que as análises para os níveis de corte $\lambda = 0,5$ e $\lambda=0,76$ são praticamente iguais, e com relação ao nível $\lambda = 0,9$ apresenta semelhança com o nível de corte intermediário, diferindo apenas pela maior robustez com relação às alternativas a_2 , a_7 e a_9 .

Por fim, é possível comparar os resultados dessa análise de sensibilidade por meio de parâmetros estatísticos, conforme a Tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Parâmetros estatísticos variando na análise de sensibilidade

Categoria	Atribuição	Nível de corte		
		$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,76$	$\lambda = 0,9$
C ₁	Pessimista	27%	27%	18%
	Otimista	45%	55%	64%
C ₂	Pessimista	27%	27%	27%
	Otimista	55%	45%	36%
C ₃	Pessimista	45%	45%	55%
	Otimista	0%	0%	0%

Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Com relação aos dados descritos na Tabela 5.18, verifica-se que os resultados entre os níveis de corte $\lambda = 0,5$ e $\lambda = 0,76$ são iguais em termos percentuais, e variam apenas na ordem da alocação otimista das classes C₁ e C₂. Fato esse que não acontece para o $\lambda = 0,9$, onde as taxas são completamente diferentes. Consequentemente, tem-se a inferência que os níveis de corte mais baixos proporcionam classificações nas alternativas mais convergentes, no entanto minimiza o nível de credibilidade do modelo quanto às aplicações mais rigorosas.

5.3 Considerações finais do capítulo

O modelo proposto foi aplicado para a classificação do município pernambucano da Ilha de Itamaracá em segmentos baseados no nível de criticidade para a alocação das atividades de manutenção, com intuito de ser um instrumento útil na melhoria da eficiência da Compesa e para maximização da satisfação da população.

A aplicação do ELECTRE TRI foi viável por se tratar de um método próprio para a problemática de classificação, que admite o uso de critérios qualitativos e quantitativos, aceitando as relações de incomparabilidade.

Os resultados apresentados no estudo mostram um cenário com a maioria das áreas posicionadas nas classes mais críticas e as demais em um patamar mediano. Esse fato denota certo desequilíbrio no sistema de manutenção e exige um planejamento em curto prazo. Exemplificando, alternativas como a₁ e a₃ assumem desempenhos máximos em todos os critérios analisados no modelo, e consequentemente enfatizam sua presença na classe Altíssima. Em contrapartida, alternativas como a₅ por possuem menores desempenhos em critérios com maiores pesos, fortalecem sua classificação na classe Média.

Mediante a aplicação do modelo proposto, com o nível de corte $\lambda = 0,76$, percebe-se que algumas áreas foram posicionadas nas classes mais críticas e justamente incide nas localidades que o segmento da manutenção deve ter uma maior atenção, e mesmo conferir as prioridades na execução dos serviços, em casos de ocorrência.

Os resultados para essas áreas de maior impacto na face a_1 , a_2 , a_3 , a_6 , a_{10} e a_{11} estão alocadas justamente em áreas com representatividade capaz de exercer pressões em prol do benefício social, bem como constituem regiões que impactam significativamente no faturamento da Compesa. Salienta-se que as alternativas a_{10} e a_{11} envolvem uma das áreas com alto caráter turístico para o município, justamente configurando a região do Forte Orange. Todas essas informações quanto à priorização eram desconhecidas para a gestão da manutenção atual da Compesa, e uma maior preferência só eram conferidas as localidades abrangendo a região do Pilar e de Jaguaribe. No entanto, é de conotação comum a preocupação quanto aos problemas relacionados as localidades de maior altitude, fato esse que deve ser ressaltado a necessidade da Compesa inserir na rede de abastecimento válvulas controladoras de pressão.

Variando o índice de credibilidade nos extremos $[0,5; 0,9]$ foi possível realizar uma análise de sensibilidade, útil para verificar a consistência e robustez do modelo. O nível de corte (λ) elevado representa maior exigência por parte do decisor. Dessa forma, à medida que esse nível é aumentado, segue um efeito cascata para a quantidade de relações de incomparabilidade entre as alternativas. De toda forma, o modelo se mostrou robusto a pequenas mudanças, tornando-se eficiente para auxílio às questões de planejamento da manutenção.

Um ponto a ser considerado é a receptividade do decisor, um atributo de extrema importância para o processo. Os resultados obtidos foram apresentados ao agente que por sua vez, pode tomar ciência de quais as localidades mais críticas para o recebimento das atividades da manutenção.

Deve ser salientado que o modelo proposto foi aplicado apenas a um município, no entanto, sua aplicação desde que sejam feitas as devidas considerações podem englobar áreas mais extensas e possibilitar maior suporte ao processo decisório no setor de manutenção.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões decorrentes do desenvolvimento desse estudo, assim como algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

A preocupação com a gestão dos recursos hídricos é crescente e, conseqüentemente suas decisões que afetam todos os níveis sejam: governamentais, corporativos e sociais. Isto, pois a água é um elemento essencial para a sobrevivência dos seres vivos, bem como um fator fundamental no desenvolvimento social e econômico de qualquer localidade.

A água, em razão da sua multiplicidade de usos, vem tendo sua demanda crescente. Nesse sentido, os mananciais estão sendo cada vez mais explorados para satisfazer toda a demanda por água tratada. As fontes subterrâneas, até então consideradas como uma “reserva estratégica” da humanidade, vem tendo sua água explorada de forma desorganizada, fato que repercute na exaustão de diversos aquíferos no mundo.

Nos sistemas de abastecimento brasileiro são diversos os dilemas. Isto, pois as companhias, em sua maioria não apresentam processos decisórios com suporte em métodos formais, e conseqüentemente são pautadas em questões de subjetivismo e improvisação.

Um dos grandes gargalos nos sistemas brasileiros corresponde às perdas de água nos sistemas de distribuição. Altos percentuais de desperdícios são facilmente encontrados na maioria das cidades do país. Conseqüentemente prejuízos são gerados em diferentes escalas: em nível ambiental tem-se a perda do recurso não renovável; na perspectiva financeira, considera-se a elevação dos custos de produção para a companhia; e em termos sociais, a situação é bem crítica, pois enquanto há cidades com inúmeros casos de vazamentos e perdas, outras localidades detêm uma população sem acesso a água tratada, fato esse que dificulta qualquer forma de desenvolvimento.

Por outro lado, os problemas nos sistemas de abastecimento brasileiro também estão presentes nas fases de captação. Em se tratando de poços, é comum verificar condições de desabastecimento de água em razão do ponto de captação está inoperante a espera dos serviços de manutenção. Situações como essas, poderiam ser minimizadas caso houvesse um ranqueamento dos poços com maior importância, visando garantir eficiência a companhia e menores interferências na vida social.

Essas situações problemas podem ser resolvidas considerando o planejamento das atividades de manutenção como um aliado estratégico. E, mediante a resolução dos problemas de natureza corretiva, aspectos de prevenção e melhorias devem ser ponderados.

Mediante esse contexto, por meio da abordagem multicritério foram propostos modelos de decisão que versem sobre ambos os problemas discutidos. Esse enfoque proporciona a otimização do processo decisório, permitindo que análises com características subjetivas e quantitativas sejam realizadas simultaneamente, ponderando corretamente a influência dos atores envolvidos a partir de um processo estruturado.

Ponderando o estado de Pernambuco, especialmente os municípios da RMR, um maior destaque foi dado à cidade da Ilha de Itamaracá, pois suas circunstâncias encaixaram-se perfeitamente para a aplicação de ambos os modelos propostos, visto que além de ser uma área com abastecimento exclusivamente derivado de fontes subterrâneas, apresenta altos percentuais de perdas nas suas tubulações da distribuição.

Com relação ao modelo de ordenação (Modelo I), pode-se verificar que as áreas priorizadas atenderam as expectativas com algumas variações. Esse modelo proporciona a visualização imediata dos poços que apresentam um maior impacto para o sistema de abastecimento, ponderando simultaneamente os interesses da companhia de saneamento e da população consumidora. Consequentemente os serviços de manutenção devem ser alocados prioritariamente para as tais alternativas.

Em relação ao modelo proposto para a classificação (Modelo II) também se verifica que o modo de classificação de algumas localidades permeou as expectativas com algumas mínimas variações. Dado modelo, possibilita a identificação as áreas críticas e consequentemente o setor da manutenção pode utilizar esse tipo de informação para rapidamente atender as regiões com maiores prioridades.

As aplicações em situações reais para os modelos possibilitaram constatar a viabilidade de ambos. Os colaboradores da Compesa aceitaram e concordaram com os resultados obtidos e salientaram a riqueza de detalhes congregada.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para futuros trabalhos, recomenda-se:

- A aplicação do modelo desenvolvido para a priorização dos poços em outros tipos de estudo, por exemplo, realizando as devidas considerações para aplicação em sistemas de abastecimento mistos;

- Recorrer a outros meios de ponderação dos limiares (preferência, indiferença e veto) tanto do ELECTRE III quanto o ELECTRE TRI, uma vez que foram difíceis para o decisor expressar suas preferências;
- Incluir aspectos quanto às manutenções preventivas e preditivas nos dois modelos;
- Considerar outras informações para análise, tais como: idade das tubulações; índice de perdas na distribuição por área; confiabilidade dos sistemas, entre outras;
- Avaliar se as propriedades físico-químicas impactam nos resultados;
- Ambos os modelos propostos podem ser ajustados de forma a considerar outros métodos de decisão, especialmente na abordagem de decisão em grupo.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12218 – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Brasil, 1994a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia, Brasil, 1994b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12212 – Projeto de poço para captação de água subterrânea, Brasil, 1992a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12244 – Construção de poço para captação de água subterrânea. Brasil, 1992b.

ACKERMANN, F. Problem structuring methods 'in the Dock': arguing the case for soft OR. *European Journal of Operational Research*, 219(3): 652-658, 2012.

AGARWAL, R.; GARG, P.K. Remote Sensing and GIS based groundwater potential & recharge zones mapping using Multi-Criteria Decision Making technique. *Water Resources Management*, 30(1): 243-260, 2016.

AGUDELO-VERA, C.; BLOKKER, E.J.M.; VREEBURG, J.; VOGELAAR, H.; HILLEGERS, S.; VAN DER HOEK, J.P. Testing the robustness of two water distribution system layouts under changing drinking water demand. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(8): 050160003-1-05060003-11, 2016.

AGUDELO-VERA, C.; BLOKKER, E.J.M.; VREEBURG, J.; BONGARDM T.; HILLEGERS, S.; VAN DER HOEK, J.P. Robustness of the Drinking Water Distribution Network under Changing Future Demand. *Procedia Engineering*, 89: 339-446, 2014.

AIT MOKHTAR, E.H.; LAGGOUNE, R.; CHATEAUNEUF, A. Utility-based maintenance optimization for complex water-distribution systems using Bayesian networks. *Water Resources Management*, 30(12): 4153-4170, 2016.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J.M.; CABRERA, E.Jr.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. Performance Indicators for Water Supply Services, IWA Publishing, 2.ed., 2006.

ALLEY, R.B. Climate change. A heated mirror for future climate. *Science*, 352(6282): 151-152, 2016.

ALLEY, W.M.; HEALY, R.W.; LABAUGH, J.W.; REILLY, T.E. Flow and storage in groundwater systems. *Science*, 296(5575): 1985-1990, 2002.

ANA – Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos: Informe 2014. Brasília: ANA, 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2013. Brasília: ANA, 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água. Brasília: ANA, 2010.

ANTONAKOS, A.K.; VOUDOURIS, K.S.; LAMBRAKIS, N.I. Site selection for drinking-water pumping boreholes using a fuzzy spatial decision support system in the Korinthia prefecture, SE Greece. *Hydrogeology Journal*, 22(8): 1763-1776, 2014.

ARAZ, C.; OZKARAHAN, I. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. *International Journal of Production Economics*, 106: 585-606, 2007.

ATLAS BRASIL – Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Ranking: Pernambuco (2010). Disponível em: < <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking>>. Acesso em 19 out. 2016.

AUGUSTO, M.; LISBOA, J.; YASIN, M.; FIGUEIRA, J.R. Benchmarking in a multiple criteria performance context: an application and a conceptual framework. *European Journal of Operational Research*, 184(1): 244-254, 2008.

BANXIA SOFTWARE LTD. Decision Explorer Application, versão 3.4.0, 2014. Disponível em: <<http://banxia.com/dexplore/resources/demodownload/>>. Acesso em 15 mai. 2016.

BELTON, V.; STEWART, T.J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publisher, 2002.

BORGHETTI, N.R.B.; BORGHETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. *Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul*. Curitiba, Fundação Roberto Marinho, 2004, 214p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2013. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2015.

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde nº 518 de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://www.aeap.org.br/doc/portaria_518_de_25_de_marco_2004.pdf>. Acesso em 12 jun. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, de 8 de jan. de 1997. Disponível em: <<http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/104151/lei-9433-97>>. Acesso em 26 jan. 2016.

BUCHANAN, J.; SHEPPARD, P.; VANDERPOOTEN, D. Project ranking using Electre III. In: 33rd Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand. ORSNZ: 1998. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.493.6585&rep=rep1&type=pdf>>.

CAMBRAINHA, G.M.G.; FONTANA, M.E. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2): 983-994, 2015.

CARDOSO, M.A.; SILVA, M.S.; COELHO, S.T.; ALMEIDA, M. C.; COVAS, D.I.C. Urban water infrastructure asset management - a structured approach in four water utilities. *Water Science & Technology*, 66(12): 2702-2711, 2012.

CARVALHO, J.R.M.; CURI, W.F. Indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: uma proposta metodológica de construção e análise. *Revista Economia & Gestão*, 15(38): 4-28, 2015.

CARY, L.; PETELET-GIRAUD, E.; BERTRAND, G.; KLOPPMANN, W.; AQUILINA, L.; MARTINS, V.; HIRATA, R.; MONTENEGRO, S.; PAUWELS, H.; CHATTON, E.; FRANZEN, M.; AUROUET, A. Origins and processes of groundwater salinization in the urban coastal aquifers of Recife (Pernambuco, Brazil): A multi-isotope approach. *Science of the Total Environment*, 530-531: 411-429, 2015.

CESEC - CENTRO DE ESTUDOS EM ENGENHARIA CIVIL PROFESSOR INALDO AYRES VIEIRA. Epanet 2.0: simulações de comportamentos hidráulicos. Grupo do Programa de Educação Tutorial (PET). Engenharia Civil, UFPR, 2010.

CHECKLAND, P. Soft Systems Methodology. In: ROSENHEAD, J; MINGERS, J. (eds.). *Rational analysis for a problematic world revisited*. 2.ed. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2001.

CHECKLAND, P.; POULTER, J. Learning for action: a short definitive account of Soft Systems Methodology and its use for practitioners, teachers and students. Chichester, United Kingdom, Wiley, 2006.

CONEJO, J.G.L.; LOPES, A.R.G.; MARCKA, E. Panorama dos sistemas públicos de abastecimento no país: casos selecionados de estratégias de combate ao desperdício. PNCD - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, DTA – Documento Técnicos de Apoio C2, Brasília, 1999.

COSTA, C.A.B.; CARNERO, M.C.; OLIVEIRA, M.D. A multi-criteria model for auditing a Predictive Maintenance Programme. *European Journal of Operational Research*, 217(2): 381-393, 2012.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: < <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em 02 jan. 2017.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado de Pernambuco: diagnóstico do município de Ilha de Itamaracá. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CUNHA, A.A.R.; MORAIS, D.C. Drawing up a national plan for public sanitation: a participatory group decision approach. In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, p. 32-37, 2013.

- CURI, W.F.; CELESTE, A.B.; ALBUQUERQUE, A.A. Modelo de otimização combinado para a operação de sistemas de distribuição de água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(2): 69-86, 2012.
- DASH, J.P.; SARANGI, A.; SINGH, D.K. Spatial variability of groundwater depth and quality parameters in the national capital territory of Delhi. *Environmental Management*, 45(3): 640-650, 2010.
- DE ALMEIDA A.T., DE ALMEIDA J.A., COSTA A.P.C.S., DE ALMEIDA-FILHO A.T. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 250(1):179–191, 2016.
- DE ALMEIDA, A.T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo, Atlas, 2013, 231p.
- DE ALMEIDA, A.T.; MORAIS, D.C; COSTA, A.P.C.S.C.; ALENCAR, L.H; DAHER, S.F.D. *Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações*. Atlas, São Paulo, 2012, 227p.
- DE ALMEIDA-FILHO, A.T.; MONTE, M.B.S.; MORAIS, D.C. A voting approach applied to preventive maintenance management of a water supply system. *Group Decision and Negotiation*, 1-24, 2016.
- DIGHADE, R.R.; KADU, M.S.; PANDE, A.M. Challenges in water loss management of water distribution systems in developing countries. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(6): 13838-13846, 2014.
- DIAS, L.C.; CLIMACO, J.N. ELECTRE TRI for groups with imprecise information on parameter values. *Group Decision and Negotiation*, 9(5): 355-377, 2000.
- DINIZ, H.N.; MICHALUATE, W.J. *Interpretação de testes de vazão em poços tubulares profundos - dimensionamento e especificações de bombas submersas*. 1.ed. São Paulo, Instituto Geológico do Estado de São Paulo, 2002, 78p.
- DOLL, P.; HOFFMANN-DOBREVA, H.; PORTMANN, F.T.; SIEBERT, S.; EICKERC, A.; RODELLD, M.; STRASSBERGE, G.; SCANLON, B.R. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics*, 59-60: 143-156, 2012.
- EDEN, C. Cognitive mapping: a review. *European Journal of Operational Research*, 36(1): 1-13, 1988.
- EDEN, C.; ACKERMANN, F. SODA – The Principles. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*. 2ed. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2001.
- ESRI. ArcGIS for Desktop versão 10.4.1 – módulo ArcMap®. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>>. Acesso em 20 ago. 2016.
- FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 2. ed. Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE, 2000, 391p.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. *Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys*. Springer, New York. 2005.

FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139(2): 317-326, 2002.

FONTANA, M.E.; MORAIS, D.C. Decision model to control water losses in distribution networks. *Production*, 2016.

FONTANA, M.E.; MORAIS, D.C. Modelo para setorizar redes de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras. *Produção*, 25(1): 143-156, 2015.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; HOWARD, K. Groundwater use in developing cities: policy issues arising from current trends. *Hydrogeology Journal*, 19(2): 271-274, 2011.

FRANCO, L.A.; CRSHMAN, M.; ROSENHEAD, J. Project review and learning in the construction industry: embedding a problem structuring method within a partnership context. *European Journal of Operation Research*, 152(3): 586-601, 2004.

FRIEND, J.K. The Strategic Choice Approach. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). *Rational analysis for a problematic world revisited*. 2.ed. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2001.

FRIEND, J.K.; HICKLING, A. *Planning under pressure: the Strategic Choice Approach*, 3.ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2005.

GALVÃO, J.R.B. Avaliação da relação pressão x consumo, em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs). Estudo de caso: rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2007. 247p. (Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

GIAMPÁ, C.E.Q.; GONÇALVES, V.G. *Orientações para utilização de águas subterrâneas no estado de São Paulo*, São Paulo, 2005.

GOMES, A.S. (Org.). *Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água*. Brasília, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), 2007.

GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; DE ALMEIDA, A.T. *Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério*. Rio de Janeiro, Editora Atlas, 3.ed., 2009.

GOMES, R.; MARQUES, A.S.; SOUSA, J. Decision support system to divide a large network into suitable District Metered Areas. *Water Science & Technology*, IWA Publishing, 65(9): 1667-1675, 2012.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. A review of multiple criteria analysis for water resources planning and management. *Water Resources Management*, 21(9): 1553-1566, 2007.

HAMMOND, J.S.; KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. The hidden traps in decision making. *Harvard Business Review*, 76(5): 47-58, 1998.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L.P. *Abastecimento de Água para Consumo Humano*. 2.ed. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2010, 859p.

HENKES, S.L. As decisões político-jurídicas frente à crise hídrica e aos riscos: lições e contradições da transposição do rio São Francisco, 2008. 451p. (Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Direito / UFSC).

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. *Introdução à pesquisa operacional*. 8.ed. São Paulo, McGraw-Hill, 2006, 828p.

HIRATA, R.; CONICELLI, B.P. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(2): 297-312, 2012.

IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em 20 jun. 2016.

IBNET – International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities. Disponível em: <<https://www.ib-net.org/>>. Acesso em 03 fev. 2016.

ILHA DE ITAMARACÁ. Plano municipal de saúde: 2014-2017. Governo municipal, [2013?].

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Softwares*. Wiley, 2013.

JHA, M.K.; CHOWDARY, V.M.; CHOWDHURY, A. Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques. *Hydrogeology Journal*, 18(7): 1713-1728, 2010.

JI, G.; WU, W.; ZHANG, B.; SUN, H. Transient outage model considering corrective and preventive maintenance. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 4(4): 680-689, 2016.

JIAO, J.J.; LEUNG, C.; DING, G. Changes to the groundwater system, from 1888 to present in a highly-urbanized coastal area in Hong Kong, China. *Hydrogeology Journal*, 16(8): 1527-1539, 2008.

KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção: Função Estratégica*. 4.ed. Qualitymark, 2012, 440p.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. New York, John Wiley & Sons, 1976.

LAMSADE – Université Paris Dauphine. ELECTRE TRI Software – version 2.0. Disponível em: <<http://www.lamsade.dauphine.fr/spip.php?rubrique67&lang=fr>>. Acesso em 21 ago. 2016.

LAMSADE – Université Paris Dauphine. Logiciel SRF Software – version 2.2. Disponível em: <<http://www.lamsade.dauphine.fr/spip.php?rubrique68&lang=fr>>. Acesso em 21 ago. 2016.

LAMSADE – Université Paris Dauphine. ELECTRE III/IV Software – version 3.1a. Disponível em: <<http://www.lamsade.dauphine.fr/spip.php?rubrique66&lang=fr>>. Acesso em 21 ago. 2016.

LEVINO, N.A.; MORAIS, D.C. Applying Strategic Choice Approach for Decision Making of Watersheds Committees. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, p.38-43, 2013.

LEVINO, N.A.; MORAIS, D.C. A proposal for structuring and evaluating problems for participatory decision making in sanitation context. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, p.3173-3178, 2011.

LIMA FILHO, M.; MELO, N.A. Risco à poluição do aquífero Beberibe no stor norte da região metropolitana do Recife. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, 2004.

MARTINS, J.A. *Redes de distribuição de água*. Cap. 13. DE PEREIRA *et al.* Técnica de abastecimento e tratamento de água. vol.1, CETESB, São Paulo, 1987.

MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. *Méthodes multicritères ELECTRE*. 1.ed. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994, 323p.

MELLO, R.C.M.; ASSUNÇÃO, M. ZANATTA, L.C. Análise de equipamentos para captação de água em poços profundos para abastecimento público em Santa Catarina. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, São Luís/MA, 2010.

MELO, D.C.S. Manutenção e reabilitação em poços tubulares -a experiência da COPASA em MG. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006.

MELO, F.L.B.; SILVA, M.P; SILVA, R.R.; ARRUDA, V.S.A.. Análise do serviço de abastecimento de água no Rio Grande do Norte: uma abordagem multicritério. In: SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (XLVII SBPO), Porto de Galinhas/PE, 2015.

MINGERS, J. Soft OR comes of age—but not everywhere! *Omega*, 39(6): 729-741, 2011.

MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Problem structuring methods in action. *European Journal of Operational Research*, 152(3): 530-554, 2004.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Recursos Hídricos: Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil, Vol 1. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília/DF, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Rede de avaliação e capacitação para a implementação dos planos diretores participativos - Relatório Municipal PE. 2010. Disponível em <http://www.observatoriodasmetropoles.net/planosdiretores/produtos/pe/PE_Avalia%C3%A7%C3%A3o_PDP_Recife_mar_2010.pdf> Acesso em: 05 ago. 2016.

MIRANDA, E.C. Gerenciamento de perdas de água. Cap.17. In: *Abastecimento de água para consumo humano*. HELLER, L.; PÁDUA, V.L. (Org). Belo Horizonte, Editora UFMG, 2006.

- MIRANDA FILHO, A.N. Aplicação de um método Soft da investigação operacional no desenvolvimento de uma célula virtual para o processo de compra. In: Congresso Construção, 2007.
- MONTE, M.B.S.; DE ALMEIDA-FILHO, A.T. Multicriteria approach using MAUT to assist the maintenance of a water supply system located in a low-income community. *Water Resources Management*, 30(9): 3093-3106, 2016.
- MONTE, M.B.S.; DE ALMEIDA FILHO, A.T. A reliability-based approach to maximize availability in a water supply system. *Revista IEEE América Latina*, 13: 3807-3812, 2015.
- MORAIS, D.C.; CAVALCANTE, C.A.V.; DE ALMEIDA, A.T. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. *Pesquisa Operacional*, 30(1): 15-32, 2010.
- MORAIS, D.C.; DE ALMEIDA, A.T. Group decision making on water resources based on analysis of individual rankings. *Omega*, 40(1): 42-52, 2012.
- MORAIS, D.C.; DE ALMEIDA, A.T. Water network rehabilitation: a group decision-making approach. *Water SA*. 36(4): 487-493, 2010.
- MORAIS, D.C.; DE ALMEIDA, A.T.; FIGUEIRA, J.R. A sorting model for group decision making: a case study of water losses in Brazil. *Group Decision and Negotiation*, 23(5): 937-960, 2014.
- MORRISON, J.; TOOMS, S.; ROGERS, D; D.M.A. Management Guidance Notes. IWA Publishing, London, 2007.
- MOUSSEAU, V.; DIAS, L. Valued outranking relations in ELECTRE providing manageable disaggregation procedures. *European Journal of Operational Research*, 156: 467-482, 2004.
- MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J.; NAUX, J-Ph. Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: some experimental results. *European Journal of Operational Research*, 130(2): 263-275, 2001.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI Model from assignment examples. *Journal of Global Optimization*, 12(2): 157-174, 1998.
- MUTIKANGA H.E.; SHARMA S.K.; VAIRAVAMOORTHY K. Review of methods and tools for managing losses in water distribution systems. *Journal Water Resources Planning and Management*, 139(2): 166-174, 2013.
- MUTIKANGA H.E.; SHARMA S.K.; VAIRAVAMOORTHY K. Multi-criteria decision analysis: a strategic planning tool for water loss management. *Water Resources Management*, 25(14): 3947-3969, 2011.
- NAM, Y.; OOKA, R. Development of potential map for ground and groundwater heat pump systems and the application to Tokyo. *Energy and Buildings*, 43(2): 677-685, 2011.
- NETTO, O.C; PARENT, É.; DUCKSTEIN, L. Multicriterion design of long-term water supply in Southern France. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(6): 403-413, 1996.

OKEOLA, O.G; SULE, C.F. Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24(1): 19-24, 2012.

OLIVEIRA, C.M.; AMARANTE JUNIOR, O.P.; FIORILLO, C.A.P.; COLENCI, P.L. Regulação das águas doces superficiais e subterrâneas na integração regional do MERCOSUL. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11(2): 291-302, 2016.

PARDALOS, P.M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. (Org.). *Advances in multicriteria analysis*. Kluwer Academic Publishers, 1995.

PERNAMBUCO. Decreto nº 20.423, de 26 de março de 1998. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/legislacao/decreto_n_20423_de_26_de_marco_de_1998.pdf>. Acesso em 29 jul. 2016.

PERNAMBUCO. Lei nº 11.427, de 17 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/legislacao/lei%20%2011427_97_aguas_subterraneas.pdf>. Acesso em 25 jul. 2016.

PINTO F.S.; COSTA, A.S.; FIGUEIRA, J.R.; MARQUES, R.C. The quality of service: an overall performance assessment for water utilities. *Omega*, 2016.

PREFEITURA DO RECIFE. Atlas do desenvolvimento humano na região metropolitana do Recife, 2005. Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/pnud2005/>>. Acesso em 20 set. 2016.

REBOUÇAS, A.C. Águas Subterrâneas. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Orgs). *Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. 3.ed. São Paulo: Escrituras editora, 2006.

REBOUÇAS, A.C. *Águas Subterrâneas*. Escrituras Editora, São Paulo, 1999.

ROCHA, G.A.; JORBA, A.F. *Manual de Operação e Manutenção de Poços*, 3.ed., São Paulo, DAEE, 2007, 96p.

ROSAL, M.C.F.; ASFORA, M.C.; TORRES, A.S.C.G. Desafios e Ações para o Gerenciamento da Outorga de Água Subterrânea em Pernambuco. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, (SBRH, 2013), Bento Gonçalves-RS, 2013.

ROSENHEAD, J. What is the problem? An introduction to problem structuring methods. *Interfaces*, 26(6): 117-131, 1996.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, 1996.

ROY, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE Methods. *Theory and Decision*, 31(1): 49-73, 1991.

ROY, B. *Méthodologie Multicritère d'Aide à la décision*. Paris, France: Economica, 1985.

ROY, B. ELECTRE III: un algorithme de methode de classements fondé sur une representation floue des préférences en presence de critères multiples. *Cahieres de CERO*, 20(1): 3-24, 1978.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Paris: Econômica, 1993, 695p.

SAHOO, S.; JHA, M.K.; KUMAR, N.; CHOWDARY, V.M. Evaluation of GIS-based multicriteria decision analysis and probabilistic modeling for exploring groundwater prospects. *Environmental Earth Sciences*, 74(3): 2223-2246, 2015.

SALNER, M. Beyond Checkland and Scholes: Improving SSM. In: International Conference of the System Dynamics Society, Wellington: New Zealand, 1999.

SANESUL - Empresa de Saneamento e do Estado de Mato Grosso do Sul, Distribuição de Água, Disponível em: <<http://www.Sanesul.Ms.Gov.Br/Conteudos.Asp?Id=5>>. Acesso em 10 jun. 2016.

SANTOS, V.S.; CURI, W.F. Sustentabilidade do Uso dos Recursos Hídricos do Reservatório Epitácio Pessoa através de um Modelo de Otimização Multiobjetivo. *Reunir: Revista de Administração, Ciências Contábeis e Sustentabilidade*, 4(3): 95-112, 2014.

SARGAONKAR, A; KAMBLE, S; RAO, R. Model study for rehabilitation planning of water supply network. *Environment and Urban Systems*, 39: 172-181, 2013.

SCARF, P.A.; CAVALCANTE, C.A.V. Modelling quality in replacement and inspection maintenance. *International Journal of Production Economics*, 135(1): 372-381, 2012.

SCHOLTEN, L.; SCHEIDEGGER, A.; REICHERT, P.; MAUER, M. LIENERT, J. Strategic rehabilitation planning of piped water networks using multi-criteria decision analysis. *Water Research*, 49: 124-143, 2014.

SHIKLOMANOV, I.A.; RODDA, J.C. (Eds.). *World water resources at the be-ginning of the 21st century*. Cambridge: UK, UNESCO International Hydrology Series, 2003.

SILVA FILHO, M.T. Problem structuring methods recommendation for a public organization of the Rio de Janeiro state. *Procedia Computer Science* 55: 196-202, 2015.

SIMOS, J. L'évaluation environnementale: Un processus cognitif négocié. Lausanne, 1990. 216p. (Doutorado - École polytechnique fédérale de Lausanne/DGF-EPFL).

SINHA, P. Towards higher maintenance effectiveness: Integrating maintenance management with reliability engineering. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(7): 754-762, 2015.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre saneamento. Aplicação web Série Histórica. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>>. Acesso em: 15 out. 2016.

SRHE - Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. *Outorga de direito de recursos hídricos*. Disponível em:

<http://www.srhe.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=255:outorga&catid=42:documentos&Itemid=75>. Acesso em 15 jul. 2016.

TERRA, L.G.; BORBA, W.F.; FERNANDES, G.D.; TROMBETA, H.W.; SILVA, J.L.S. Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Ametista do Sul-RS. *Monografias Ambientais-REMOA*, 15(1): 94-104, 2016.

TRATA BRASIL. Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um esgotamento sanitário inadequado dos 100 maiores municípios brasileiros no período 2008-2011, 2011.

TROJAN, F.; MORAIS, D.C. Maintenance management decision model for reduction of losses in water distribution networks. *Water Resources Management*, 29(10): 3459-3479, 2015.

TROJAN, F.; MORAIS, D.C. Prioritizing alternatives for maintenance of water distribution networks: group decision approach. *Water S.A.*, 38(4): 555-564, 2012.

TSUTIYA, M.T. *Abastecimento de água*. 4.ed. São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006, 643p.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. Relatório mundial das nações unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos – Água e emprego: fatos e números. 2016.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. Relatório mundial das nações unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos – Água para um mundo sustentável. 2015.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. Groundwater resources of the world and their use. 2004.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Estimated use of water in the United States County-level data for 2005. Disponível em: <water.usgs.gov/watuse/data/2005/index.html>. Acesso em 06 nov. 2016.

VASCONCELOS, M.B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2014.

VILANOVA, M. R.N.; MAGALHÃES FILHO, P.; BALESTIERI, J.A.P. Performance measurement and indicators for water supply management: Review and international cases. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43: 1-12, 2015.

VILLAR, P.C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. *Ambiente & Sociedade*, 19(1): 85-102, 2016.

VINCKE, P. *Multicriteria decision aid*. Bruxelles, John Wiley & Sons, 1992, 174p.

WALSKI, T.M. Water distribution. Cap.18. DE MAYS, L.W., *Water: water resources handbook*, McGraw-Hill, New York, 1996, 1568p.

WANG, X-J.; ZHANG, J-Y.; SHAHID, S.; HE, R-M.; GUAN, E-H.; WU, Y-X.; GAO, J. Adaptation to climate change impacts on water demand. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 21(1): 81-99, 2016.

WHITE, L.; BURGER, K.; YEARWORTH, M. Understanding behaviour in problem structuring methods interventions with activity theory. *European Journal of Operational Research*, 249(3): 983-1004, 2016.

WORLD BANK, *Managing Urban Water Supply and Sanitation: Operation and Maintenance Department of Operations Evaluation*. Lessons & Practices, 2001.

YU, W. ELECTRE TRI – Aspects Méthodologiques et Guide d'Utilisation. Document du LAMSADE, 74, Université de Paris – Dauphine, 1992.

ZELENY, M. Optimal system design with multiple criteria: de novo programming approach. *Engineering Costs and Production Economics*, 10(2): 89-94, 1986.

ZOBY, J.L.G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

ZYOUD, S.H.; KAUFMANN, L.G.; SHAHEEN, H.; SAMHAN, S.; FUCHS-HANUSCH, D. A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: integration of fuzzy AHP with fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 61(1): 86-105, 2016.