

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

SORAIA TAVARES DE SOUZA GRADVOHL

**ANÁLISE DE RISCOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA SOB A
PERSPECTIVA DO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA - ESTUDO DE CASO:
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA NO ESTADO DO CEARÁ**

**FORTALEZA
2012**

SORAIA TAVARES DE SOUZA GRADVOHL

**ANÁLISE DE RISCOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA SOB A
PERSPECTIVA DO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA - ESTUDO DE CASO:
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA NO ESTADO DO CEARÁ**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento Ambiental, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Marisete Dantas de Aquino

**FORTALEZA
2012**

SORAIA TAVARES DE SOUZA GRADVOHL

**ANÁLISE DE RISCOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA SOB A
PERSPECTIVA DO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA - ESTUDO DE CASO:
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA NO ESTADO DO CEARÁ**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento Ambiental, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Saneamento Ambiental.

Aprovada em ___ / ___ / _____

BANCA EXAMINADORA

Prof.(a) Dr.(a) Marisete Dantas de Aquino (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof.. Dr. Raimundo Oliveira de Souza
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof.. Dr. Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof.(a). Dr.(a) Nájila Rejanne Alencar Julião Cabral
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Dr.(a) Filomena Kotaka
Coordenadora da Codet/Cgcot/Densp/Funasa/MS - DF

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo e qualquer coisa, por ter me dado força e coragem, e não ter permitido que fraquejasse nos momentos mais difíceis.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, que acolheu minha proposta do tema e deu respaldo ao mesmo, fornecendo o apoio financeiro por meio da manutenção da bolsa de estudos pelo menos no período do cumprimento dos créditos das disciplinas.

À Professora Marisete Dantas, pela orientação baseada na cooperação, na dedicação, na confiança, na paciência e amizade.

Ao meu marido, Paulo Gradvohl Junior, que me incentivou e encorajou a concluir o Curso de Doutorado, sendo sempre conselheiro e amigo, mas acima de tudo pela sua paciência e compreensão em tantos momentos difíceis, pelos quais passei durante o período do doutorado.

Aos meus pais, Paulo de Souza e Antônia Miranda de Souza, e meus irmãos, Leonardo e Paulo Filho, que também acreditaram no meu propósito e me estimularam de várias formas durante toda esta caminhada.

Às minhas cunhadas, Priscila Furtado e Ingrid Capistrano, pela torcida.

Aos meus queridos sobrinhos, Giovanna e Guilherme, por me proporcionarem tantos momentos de alegria nestes últimos anos.

Ao meu sogro, Paulo Gradvohl, pelo incentivo, mostrando a importância do doutorado para a minha vida profissional. E, especialmente, à minha sogra e amiga, Vanya Gradvohl, pelo apoio, incentivo, estímulo e amizade, em todos os momentos, dos mais fáceis aos mais difíceis.

À grande amiga Érika Rocha, pelos conselhos, atenção e amizade durante todo o período, com quem pude contar nos momentos mais difíceis, bem como, nos momentos de descontração.

Aos colegas de turma do doutorado, com quem cursei as disciplinas e com quem pude também aprender muito no decorrer dos trabalhos desenvolvidos.

Ao Professor Raimundo Oliveira de Souza, pelos conselhos, ensinamentos e disponibilidade.

Aos demais professores do doutorado, que direta ou indiretamente colaboraram com ensinamentos valiosos que formaram a base necessária ao

desenvolvimento do trabalho. É um agradecimento especial aos professores Francisco das Chagas Neto, Marco Aurélio Holanda de Castro e Ernesto da Silva Pitombeira, pela credibilidade sempre em mim depositada.

Aos membros das bancas de qualificação e da defesa, pelas valiosas contribuições.

Aos funcionários do DEHA da UFC, Junior, Shirley, Beth, Xavier, Joviene e, especialmente, ao Erivelton, pela dedicação e ajuda no Departamento para que a infraestrutura fosse sempre adequada.

À ARCE, pelo apoio na coleta de dados buscando, em sua memória, os relatórios de fiscalização referentes a anos anteriores que não mais se encontravam a disposição em seu sítio eletrônico.

À CAGECE, pela disponibilização de plantas e croquis, que enriqueceram o trabalho.

Ao IFCE – Instituto Federal do Ceará, em especial aos professores Adeildo Cabral e Nájila Cabral, pela receptividade, apoio e por ter me dado a preciosa oportunidade de adquirir um pouco de experiência acadêmica.

Aos meus colegas, Analistas de Infraestrutura, com os quais tive a oportunidade de ingressar no serviço público federal e também muito aprender. Especialmente, aos amigos que tive o prazer de conhecer: Ramille Soares, Nartacha Melo, Ricardo Ahmad, Aline Loureiro, Liege Castellani, Dayany Salati, entre outros, que tanto me apoiaram e incentivaram na continuação desta jornada.

À FUNASA – Fundação Nacional de Saúde, destacando a Divisão de Engenharia de Saúde Pública, especialmente nas pessoas dos Engenheiros Petrônio Soares, Joaquim Bastos Neto, Márcio Botto e Igor Ramos, como também o Setor de Educação e Saúde, principalmente na pessoa da Dolores Fernandes, que tanto incentivaram, apoiaram, colaboraram e torceram, cada um a sua maneira, para que esse momento se tornasse possível.

*“Para tudo há um tempo,
para cada coisa há um momento
debaixo dos céus.”*
Eclesiastes 3, 1.

RESUMO

A terceira edição dos Guias para a Qualidade de Água Potável da Organização Mundial de Saúde – OMS trouxe uma nova visão e preocupação com a saúde, cuja finalidade é a garantia da qualidade da água como instrumento de proteção à saúde pública. Para isso, o Plano de Segurança da Água (PSA) foi proposto como ferramenta para assegurar a qualidade da água proveniente de um sistema de abastecimento de água a partir de um planejamento integral de avaliação dos riscos e gestão, envolvendo todas as etapas do sistema de abastecimento, desde a bacia de captação até a sua distribuição ao consumidor final. O plano envolve algumas medidas essenciais para garantia da qualidade da água: a avaliação do sistema de abastecimento de água, o monitoramento operacional eficaz e a sua respectiva gestão. O desenvolvimento do plano também abrange algumas etapas essenciais e, dentre elas, inclui-se a avaliação dos fatores de perigo e caracterização dos riscos. Os métodos utilizados no PSA baseiam-se em muitos dos princípios e conceitos aplicados em outros sistemas de gestão de riscos, como o sistema de barreiras múltiplas e a análise de perigo e de pontos críticos de controle (APPCC). O presente trabalho traz uma proposta metodológica utilizando ferramentas baseadas na Lógica Fuzzy e metodologias de Análise Multicritério, com o intuito de auxiliar no processo decisório. Como estudo de caso, foram selecionados os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) que atendem 13 dos 15 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza, no Estado do Ceará. Utilizando a metodologia pode-se concluir que os sistemas estão com nível de pertinência mais preponderante, de maneira geral, em uma escala de Risco Baixo, fora o caso específico de apenas um deles, que ficou com maior nível de pertinência para a escala de Risco Moderado. Além de indicar os níveis de pertinência do risco em que se encontra cada SAA, a metodologia permitiu ainda classificá-los em função da escala de risco. Numa escala de risco e em nível relativo, os municípios puderam ser classificados em ordem, onde o de mais baixo risco evidenciado foi o município de Maracanaú e, o último, o de Cascavel. Ademais, a metodologia mostrou-se ser uma alternativa para fornecer subsídios para avaliação dos riscos e tomada de decisão em consonância com as diretrizes dos Planos de Segurança da Água.

Palavras-chave: Plano de Segurança da Água, Gestão de Riscos, Sistema de Abastecimento de Água, Qualidade da Água, Lógica Fuzzy.

ABSTRACT

The third edition of the Guidelines for Drinking Water Quality of the World Health Organization - WHO brought a new vision and concern for health, whose purpose is the guarantee of water quality as a tool for public health protection. For this, the Water Safety Plan (PSA) was proposed as a tool to ensure the quality of water from a water supply system from a comprehensive planning risk assessment and management, involving all stages of system supply, from catchment to distribution to final consumers. The plan involves some key measures to ensure the water quality evaluation system for water supply, operational monitoring and its effective administration thereof. The development plan also covers some essential steps, and among them include the assessment of risk factors and risk characterization. The methods used in the PSA are based on many of the principles and concepts applied in other systems of risk management, as the system of multiple barriers and Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP). This paper presents a methodology using fuzzy logic-based tools and Multicriteria Analysis methodologies in order to assist in decision making. As a case study, we selected the Water Supply Systems (WSS) that serve 13 of the 15 municipalities of the Metropolitan Region of Fortaleza, in Ceará. Using the methodology can be concluded that systems with a level of relevance with a Low Risk scale are more prevalent, in general, outside the specific case of only one, who took higher level of relevance in the Moderate Risk scale. Besides indicating the relevance of the levels of risk of each WSS, the methodology also allowed us to classify them according to the scale of risk. On a scale of risk and the relative level, the municipalities could be sorted, where the lowest risk was evident to Maracanaú and the last, to Cascavel. Furthermore, the methodology proved to be an alternative to providing subsidies for risk assessment and decision making in line with the guidelines of the Water Safety Plans.

Keywords: Water Safety Plan, Risk Management, Water System, Water Quality, Fuzzy Logic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Resumo das etapas fundamentais da elaboração de um PSA.	43
Figura 02 – Diagrama para definição dos possíveis PCCs.	48
Figura 03 – Diagrama conceitual das relações e abrangência da legislação sobre potabilidade da água.	54
Figura 04 – Modelo de abordagem de processos.	72
Figura 05 – O Ciclo PDCA.	73
Figura 06 – Processo de gestão de riscos.	74
Figura 07 – Relação: Fonte geradora de risco x Sujeito exposto.	86
Figura 08 – Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza, em 2011.	103
Gráfico 01 – NFTs para as escalas de probabilidade de risco, para PSA na RMF, em 2011.	135
Gráfico 02 – NFTs para as escalas de impactos, para os níveis de pertinência do PSA da RMF, em 2011.	136
Gráfico 03 – NFTs para as escalas de riscos, conforme a magnitude proposta no PSA da RMF, em 2011.	143
Gráfico 04 – NFT para o risco da Etapa 1 para simulação de situação mínima para o PSA da RMF, em 2011.	149
Gráfico 05 – NFT para o risco da Etapa 2 para simulação de situação mínima para o PSA da RMF, em 2011.	149
Gráfico 06 – NFT para o risco da Etapa 1 para simulação de situação intermediária para o PSA da RMF, em 2011.	150
Gráfico 07 – NFT para o risco da Etapa 2 para simulação de situação intermediária para o PSA da RMF, em 2011.	150
Gráfico 08 – NFT para o risco da Etapa 1 para simulação de situação máxima para o PSA da RMF, em 2011.	151
Gráfico 09 – NFT para o risco da Etapa 2 para simulação de situação máxima para o PSA da RMF, em 2011.	151
Gráfico 10 – Correlação entre Deficiências do SAA x Qualidade da Água.	154
Gráfico 11 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Aquiraz, em 2011.	155
Gráfico 12 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Aquiraz, em 2011.	156
Gráfico 13 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Cascavel, em 2011.	157
Gráfico 14 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Cascavel, em 2011.	158
Gráfico 15 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Caucaia, em 2011.	159
Gráfico 16 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Caucaia, em 2011.	160
Gráfico 17 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Chorozinho, em 2011.	161
Gráfico 18 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Chorozinho, em 2011.	162
Gráfico 19 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Eusébio, em 2011.	163
Gráfico 20 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Eusébio, em 2011.	164
Gráfico 21 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Guaiúba, em 2011.	165
Gráfico 22 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Guaiúba, em 2011.	166
Gráfico 23 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Horizonte, em 2011.	168
Gráfico 24 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Horizonte, em 2011.	168
Gráfico 25 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Itaitinga, em 2011.	170
Gráfico 26 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Itaitinga, em 2011.	171
Gráfico 27 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Maracanaú, em 2011.	172
Gráfico 28 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Maracanaú, em 2011.	173
Gráfico 29 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Maranguape, em 2011.	174

Gráfico 30 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Maranguape, em 2011.....	175
Gráfico 31 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Pacajus, em 2011.	176
Gráfico 32 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Pacajus, em 2011.	177
Gráfico 33 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Pacatuba, em 2011.....	178
Gráfico 34 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Pacatuba, em 2011.....	179
Gráfico 35 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de São Gonçalo do Amarante, em 2011.	180
Gráfico 36 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de São Gonçalo do Amarante, em 2011.	181
Gráfico 37 – Valores de Centróide e Níveis de Pertinência na Etapa 1.	186
Gráfico 38 – Valores de Centróide e Níveis de Pertinência na Etapa 2.	187
Figura 09 – Janela do Matlab ilustrando os NFTs referentes às probabilidades do PSA da RMF, em 2012.	190
Figura 10 – Janela do Matlab ilustrando os NFTs referentes aos impactos do PSA da RMF, em 2012.....	191
Figura 11 – Janela do Matlab ilustrando os NFTs referentes aos riscos do PSA da RMF, em 2012.....	191
Figura 12 – Matriz de Riscos do PSA da RMF, em 2011.	192
Figura 13 – Janela do Matlab ilustrando o Gráfico de Superfície gerado (Risco x Impacto x Probabilidade) para o PSA da RMF, em 2012.....	192
Figura 14 – Janela do Matlab ilustrando o Gráfico gerado (Risco x Probabilidade) para o PSA da RMF, em 2012.	193
Figura 15 – Janela do Matlab ilustrando o Gráfico gerado (Risco x Impacto) para o PSA da RMF, em 2012.	194

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 01 – Municípios com ocorrência de doenças associadas ao saneamento básico, em 2008.	24
Tabela 02 – Municípios com algum serviço de saneamento básico	25
Tabela 03 – Informação útil para avaliação de um SAA	45
Tabela 04 – Parâmetros microbiológicos de qualidade da água para o consumo humano, conforme Portaria MS 518/2004.....	58
Tabela 05 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, conforme Portaria MS 518/2004.	59
Tabela 06 – Padrão microbiológico da água para consumo humano, conforme Portaria MS 2.914/2011.	63
Tabela 07 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, conforme Portaria MS 2.914/2011.	64
Tabela 08 – Parâmetros para monitoramento operacional.	66
Tabela 09 – Escala Fundamental de Saaty.	97
Tabela 10 – Dados dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, em 2010.	103
Tabela 11 – Dados dos mananciais que abastecem os municípios da RMF.	111
Tabela 11 (Continuação) – Dados dos mananciais que abastecem os municípios da RMF.	112
Tabela 11 (Continuação) – Dados dos mananciais que abastecem os municípios da RMF.	113
Quadro 01 – Exemplo de uma Matriz Quadrada de ordem 4, gerada a partir do Método de Análise Hierárquica.	140
Tabela 12 - Valores de RI para Matrizes Quadradas de ordem n.....	141
Quadro 02 – Níveis de probabilidade e de impacto considerados para as simulações da metodologia proposta para o PSA da RMF, em 2011.	148
Tabela 13 – Níveis de pertinência para o risco de um SAA para simulação de situação mínima para o PSA da RMF, em 2011.	152
Tabela 14 – Níveis de pertinência para o risco de um SAA para simulação de situação intermediária para o PSA da RMF, em 2011.	152
Tabela 15 – Níveis de pertinência para o risco de um SAA para simulação de situação máxima para o PSA da RMF, em 2011.	152
Tabela 16 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Aquiraz, em 2011.....	156
Tabela 17 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Cascavel, em 2011.	158
Tabela 18 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Caucaia, em 2011.....	160
Tabela 19 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Chorozinho, em 2011..	162
Tabela 20 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Eusébio, em 2011.	165
Tabela 21 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Guaiúba, em 2011.	167
Tabela 22 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Horizonte, em 2011.....	169
Tabela 23 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Itaitinga, em 2011.....	171
Tabela 24 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Maracanaú, em 2011. .	173
Tabela 25 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Maranguape, em 2011.	175
Tabela 26 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Pacajus, em 2011.	177
Tabela 27 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Pacatuba, em 2011.....	179

Tabela 28 – Níveis de pertinência para o SAA de São Gonçalo do Amarante, em 2011.	182
Tabela 29 – Resumo dos resultados da Etapa 1 (do manancial até a ETA) do SAA: NFT-P, NFT-I, Centros de Massa, Níveis de Pertinência dos riscos..	183
Tabela 30 – Resumo dos resultados da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede) do SAA: NFT-P, NFT-I, Centros de Massa, Níveis de Pertinência dos riscos.....	184
Tabela 31 – Índices de correlação entre centros de massa e níveis de pertinência na Etapa 1.....	186
Tabela 32 – Índices de correlação entre centros de massa e níveis de pertinência na Etapa 2.....	187
Tabela 33 – Níveis de pertinência para cada escala de risco para 13 municípios da RMF, em 2011.	188
Tabela 34 – Classificação dos municípios pelo centro de massa e por escala de risco para 13 municípios da RMF, em 2011.....	189

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAB (ou AB) – Adutora de Água Bruta
AAT (ou AT) – Adutora de Água Tratada
ABCON - Associação Brasileira das Concessionárias Privadas dos Serviços Públicos de Água e Esgoto
ABES - Associação de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESBE - Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
AHP – *Analytic Hierarchy Process*
ANA - Agência Nacional de Águas
APPCC – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
ARCE – Agência Reguladora dos Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará
CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CF – Coliformes fecais
CGVAM - Coordenação Geral de Vigilância Ambiental
CIPP - Complexo Industrial e Portuário do Pecém
CNRH - Conselho Nacional dos Recursos Hídricos
COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONJUR - Consultoria Jurídica do Ministério da Saúde
CT – Coliformes totais
EEB – Estação Elevatória de Bombeamento
ETA – Estação de Tratamento de Água
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
GDWQ - *Guidelines for Drinking-water Quality*
HACCP - *Hazard analysis and critical control points*
IC – Índice de Consistência
MMA - Ministério do Meio Ambiente
NFT - Número Fuzzy Triangular
OD - Oxigênio Dissolvido
OMS – Organização Mundial de Saúde
PCC – Pontos Críticos de Controle
PNA - Procedimentos Normalizados de Atuação
PON - Procedimentos Operacionais Normalizados
PSA – Plano de Segurança da Água
RAP – Reservatório Apoiado
RC - Resultado da Consistência
REL – Reservatório Elevado
RMF – Região Metropolitana de Fortaleza
SAA – Sistema de Abastecimento de Água
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
SGA - Sistema de Gestão Ambiental
SISAGUA - Sistema de Informação em Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
USDA – *United States Department of Agriculture* (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)
VMP - Valores Máximos Permitidos
WHO – *World Health Organization*

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Sistemas de Abastecimento de Água	22
2.1.1 SAA e saúde pública	22
2.1.2 Perigos e Riscos associados ao Sistema de Abastecimento de Água	25
2.2 Plano de Segurança da Água	34
2.2.1 Definição	34
2.2.2 Marco regulamentar – Guias/OMS	37
2.2.3 Metas de proteção à saúde	39
2.2.4 Etapas de um PSA	41
2.3 Qualidade da água para consumo humano	52
2.3.1 Histórico	52
2.3.2 Regulamentação	55
2.3.3 Revisão da Portaria	60
2.3.4 Monitoramento operacional da qualidade da água	64
2.4 Gestão de Qualidade e de Riscos	67
2.4.1 Definição	67
2.4.2 Normativos aplicados	68
2.4.2.1 ISO 9000	69
2.4.2.2 ISO 31000	73
2.4.3 Aplicação em SAA	78
2.4.4 Procedimentos de Gestão para SAA	80
2.5 Avaliação de Riscos	85
2.5.1 Definições	85
2.5.2 Histórico	87
2.5.3 Análise e Avaliação de Riscos	88
2.5.4 Metodologias aplicadas à Análise e Avaliação de Riscos	92
2.5.4.1 HACCP - Hazard analysis and critical control points (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle)	92
2.5.4.2 Análise de Decisão Multicritério	95
2.5.4.2.1 AHP – Analytic Hierarchy Process (Método de Análise Hierárquica)	96
2.5.4.2.3 Lógica Fuzzy	98
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – SAA/RMF	102
3.1 Dados da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)	102
3.2 Dados dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) da RMF	104
3.2.1 Sistema Integrado	104
3.2.2 Sistemas individualizados	114
3.2.2.1 Aquiraz	114
3.2.2.2 Cascavel	115

3.2.2.3 Caucaia	116
3.2.2.4 Chorozinho	117
3.2.2.5 Eusébio.....	118
3.2.2.6 Fortaleza.....	118
3.2.2.7 Guaiuba	119
3.2.2.8 Horizonte	120
3.2.2.9 Itaitinga	122
3.2.2.10 Maracanaú.....	123
3.2.2.11 Maranguape.....	124
3.2.2.12 Pacajus.....	125
3.2.2.13 Pacatuba	126
3.2.2.14 Pindoretama	128
3.2.2.15 São Gonçalo do Amarante	128
4 MATERIAL E MÉTODOS	131
4.1 Caracterização do Objeto de Estudo	131
4.2 Aspectos Metodológicos	131
4.2.1 Definição do problema	132
4.2.2 Metodologia para definição dos valores de critérios	133
4.2.2.1 Possibilidades de risco	134
4.2.2.2 Importância das consequências resultantes da ocorrência do risco.....	135
4.2.2.3 Metodologia para ponderações	138
4.2.3 Procedimento para Análise de Riscos	142
4.3 Estudo de caso	145
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	148
5.1 Simulação da metodologia para a Análise de Riscos aplicando lógica fuzzy.....	148
5.2 Análise de riscos dos Sistemas de Abastecimento de Água da RMF aplicando lógica fuzzy.....	153
5.2.1 Município de Aquiraz.....	155
5.2.2 Município de Cascavel	157
5.2.3 Município de Caucaia	159
5.2.4 Município de Chorozinho	161
5.2.5 Município de Eusébio	163
5.2.6 Município de Guaiúba.....	165
5.2.7 Município de Horizonte.....	167
5.2.8 Município de Itaitinga	169
5.2.9 Município de Maracanaú	172
5.2.10 Município de Maranguape	174
5.2.11 Município de Pacajus	176
5.2.12 Município de Pacatuba	178
5.2.13 Município de São Gonçalo do Amarante	180
5.3 Comparativo entre os Sistemas de Abastecimento de Água da RMF.....	182
5.4 Análise de riscos com Lógica Fuzzy – Exemplo Geral utilizando Matlab e Simulink Fuzzy Logic Toolbox	189
6 CONCLUSÕES	196
7 RECOMENDAÇÕES.....	198
8 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	201

Introdução

1 INTRODUÇÃO

O Ministério da Saúde expõe que as metas de saúde podem ser estabelecidas por meio de um ou mais critérios ou recursos, como por exemplo, a partir de evidências epidemiológicas, tendo como base a avaliação quantitativa de risco químico e microbiológico, tendo em vista o estabelecimento de nível de risco ou carga de doença tolerável, considerando a avaliação da qualidade da água ou o desempenho do sistema de tratamento.

Esses critérios permitem identificar, ou até mesmo quantificar, medidas de proteção da fonte de abastecimento, tipo de tratamento necessário para o alcance de determinado nível de risco definido como tolerável ou a avaliação do impacto de medidas de controle. Quanto aos critérios, objetivando o alcance da saúde pública, devem ser destacados alguns aspectos essenciais:

- Devem fazer parte de políticas de saúde pública e seu propósito é estabelecer bases para garantir a segurança da qualidade da água;
- Determinados pelas autoridades de saúde pública em conjunto com os prestadores de serviços, órgãos ambientais, entre outros;
- Leva em consideração a situação da saúde pública associada aos riscos microbiológicos e químicos e às fontes e sistemas de abastecimento de água;
- Procuram garantir água com maior segurança.

A terceira edição dos Guias para a Qualidade de Água Potável da Organização Mundial de Saúde – OMS trouxe uma preocupação mais contundente com a saúde, cuja finalidade é exatamente a garantia da qualidade da água como instrumento de proteção à saúde pública.

Nesse contexto, foi definido o Plano de Segurança da Água – PSA como garantia sistemática da segurança de um sistema de abastecimento de água para consumo humano a partir de um planejamento integral de avaliação dos riscos e gestão dos riscos envolvendo todas as etapas do sistema de abastecimento, desde

a bacia de captação até a sua distribuição ao consumidor final. O enfoque do PSA está no desenvolvimento da organização e sistematização das práticas de gestão da água para consumo humano aplicadas durante um período de tempo, como forma de avaliar e garantir que estas práticas são de fato aptas à gestão da qualidade de água para consumo humano.

Para enfatizar o contexto aqui exposto, cabe um destaque à Declaração de Foz Iguaçu, lavrada na Segunda Conferência Latino-americana de Saneamento, realizada em março de 2010 em Foz do Iguaçu, no Brasil, que ratifica os compromissos e a vontade política para atender as metas de saneamento básico propostas nos Objetivos para o Desenvolvimento do Milênio, onde os países ali presentes comprometeram-se a intensificar as ações necessárias para alcançar a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico entre outros compromissos, bem como, especificamente, a intensificar as ações de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano, assim como incorporar os conceitos de avaliação e gestão de riscos à saúde, presentes na metodologia dos “Planos de Segurança da Água”, com a finalidade de estruturar um enfoque baseado na gestão de segurança de todo o processo, desde a captação até a distribuição da água para o consumidor.

O referido plano envolve algumas medidas essenciais para garantia da qualidade da água, como: a avaliação do sistema de abastecimento de água, o monitoramento operacional eficaz e a sua respectiva gestão.

O desenvolvimento do plano também abrange as seguintes principais etapas: formação de equipe responsável para elaboração; documentar e descrever o sistema; realizar a avaliação dos fatores de perigo e uma caracterização dos riscos; avaliar o sistema existente ou proposto; determinar as medidas de controle; definir o monitoramento das medidas de controle; estabelecer os procedimentos para comprovar que o plano de segurança funciona eficazmente; desenvolver programas complementares; elaborar procedimentos de gestão para funcionamento normal e em ocasião de incidentes; e, estabelecer os procedimentos de documentação e comunicação. Além disso, deve-se prever o processo cíclico para garantia de

melhoria contínua do processo e atendimento da garantia efetiva da qualidade da água.

O objetivo principal do PSA é assegurar a qualidade de água para consumo humano segura do ponto de vista de saúde pública, através de boas práticas de gestão dos sistemas de água. Diante deste contexto, alguns aspectos primordiais devem ser envolvidos, como por exemplo: potenciais ocorrências problemáticas e risco associado; como pode cada ocorrência ser controlada; que meios de controle serão monitorados; como poderá o operador identificar falhas no controle; que ações deverão ser desenvolvidas para repor o controle; e, como pode ser verificada a eficiência global do sistema.

Os métodos utilizados baseiam-se em muitos dos princípios e conceitos aplicados em outros sistemas de gestão de riscos, como o sistema de barreiras múltiplas e a análise de perigo e de pontos críticos de controle (APPCC).

Porém, é fato que avaliação dos riscos é uma problemática em si só para o tomador de decisão. Para tal, propõe-se a utilização da ferramenta de Lógica Fuzzy, que pode fornecer objetividade e racionalidade e auxiliar na tomada de decisão.

Para uma completa abordagem do tema em questão, o trabalho foi dividido em etapas, sendo a primeira delas indicada no capítulo 2, que corresponde à revisão de literatura, onde está ilustrado todo o levantamento teórico dos temas envolvidos. Na revisão bibliográfica, foram incluídos os conceitos envolvidos no plano de segurança da água, dando ênfase às etapas importantes e pertinentes à sua aplicação, bem como a interface com a qualidade da água proveniente de um sistema de abastecimento de água, com os conceitos de gestão da qualidade e, por fim, com a avaliação de riscos.

O capítulo 3 aborda a região selecionada como Estudo de Caso, apresentando a caracterização e descrição dos Sistemas de Abastecimento de Água dos municípios a serem estudados.

No capítulo 4 é apresentado o detalhamento da metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. É ainda neste capítulo onde será identificado e caracterizado o procedimento selecionado como método para a avaliação de riscos a partir de ferramentas como Análise Multicritério e Lógica Fuzzy.

No capítulo 5 estão apresentados todos os resultados obtidos durante a pesquisa, procurando-se discuti-los tendo como base o estudo teórico apresentado no capítulo 2.

Por fim, nos capítulos 6 e 7, estão as conclusões e as recomendações, respectivamente. Nas conclusões estão os comentários finais a respeito da análise obtida dos resultados. Já as recomendações sugeridas, são baseadas nas conclusões, e têm o intuito de apresentar novas perspectivas de estudos e pesquisas que possam aprofundar ou complementar os estudos aqui desenvolvidos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem o objetivo de propor metodologia aplicando Análise Multicritério e Lógica Fuzzy na avaliação de riscos, para utilização nos Planos de Segurança da Água, ampliando as opções da utilização desse instrumento de gestão visando à garantia de qualidade da água para todos os consumidores.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a serem alcançados pelo trabalho são:

- Efetuar levantamento dos conceitos e etapas envolvidos na elaboração e na implantação de um Plano de Segurança da Água, demonstrando a sua importância para a garantia da qualidade da água para consumo

humano, visando à proteção da saúde da população e consequente qualidade de vida;

- Propor uma metodologia, como ferramenta de análise de risco, em conformidade com os conceitos inerentes ao Plano de Segurança da Água (PSA) proposto pela Organização Mundial de Saúde;
- Aplicar a metodologia proposta em Sistemas de Abastecimento de Água para parte dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza como Estudo de Caso, em escala real, compatibilizando a proposta aos dados existentes;
- Classificar relativamente os municípios a partir da escala de riscos proposta e os respectivos níveis de pertinência, levando em consideração as correlações existentes;
- Aplicar o pacote de simulação do Matlab (*Simulink Fuzzy Logic Toolbox*) para escalas selecionadas de probabilidade, impacto e risco, com vistas a obter a relação entre os três aspectos a partir de regras estabelecidas e gráficos de superfície, visando otimizar a utilização da metodologia ora proposta.

***Revisão de
Literatura***

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)

2.1.1 SAA e saúde pública

Entenda-se por saúde pública a ciência e a arte de prevenir a enfermidade, prolongar a vida, melhorar, proteger e proporcionar a saúde e o bem-estar mediante os esforços organizados da sociedade. Estes esforços devem abordar tanto as políticas de saúde, as causas da saúde e da enfermidade como a provisão de serviços sanitários efetivos (OLIVER, 2005).

As mudanças ocorridas nos padrões epidemiológicos em todas as sociedades foram marcadas pela redução das taxas de mortalidade por doenças infecciosas e pelo aumento das doenças crônico-degenerativas. As primeiras possuem como principal vetor de transmissão a água. Uma das causas dessa mudança foi a melhoria do saneamento ambiental, além, claro, do estado nutricional da população e da redução das taxas de natalidade (TSUTIYA, 2006).

Berry *et al.* (2006) indicam que o suprimento de água segura para consumo humano é o maior, e relativamente recente, desafio em saúde pública.

Os sistemas de abastecimento de água provocam um grande impacto para a redução dessas doenças infecciosas. O enorme benefício à saúde da população em todos os estratos sociais, proporcionando oportunidades de higiene, conforto e bem-estar, tem um reflexo imediato na redução da demanda por serviço de saúde (TSUTIYA, 2006).

Gamper-Rabindran *et al.* (2010), em um artigo que toma o Brasil como estudo de caso, mostram que a execução de redes de distribuição de água em áreas com maiores índices de mortalidade infantil, quando acompanhado de outros enfoques em saúde pública, podem aumentar significativamente as reduções de mortalidade infantil na região contemplada.

Um cenário mundial da relação entre a água e a saúde pode ser evidenciado por algumas condições mostradas no documento “*CELEBRATING WATER FOR LIFE: The International Decade for Action 2005-2015*” (WHO, 2005a):

- 1,8 milhão de pessoas morrem todo ano por doenças diarreicas (incluindo cólera); 90% são crianças abaixo de 5 anos, a maioria em países em desenvolvimento;
- 88% das doenças diarreicas são atribuídas a suprimento de água inseguro, saneamento e higiene inadequados;
- Melhoria de suprimento de água reduz morbidade por diarreia entre 6 a 25%, incluindo resultados severos. Melhoria em saneamento reduz morbidade por diarreia em até 32%;
- Intervenções de higiene, incluindo intervenções educacionais com relação na higiene e incentivo na lavagem das mãos, podem ocasionar uma redução de casos de diarreia em mais de 45%;
- Melhorias na qualidade da água para consumo através de tratamentos domésticos, como cloração no ponto de consumo, podem ocasionar uma redução de ocorrência de diarreia entre 35 a 39%;
- Melhoria do acesso a fontes seguras de água e práticas de higiene melhores podem reduzir morbidade por tracoma em 27%;
- 1,3 milhão de pessoas morrem por malária cada ano, sendo 90% crianças abaixo de 5 anos; melhor gerenciamento de recursos hídricos reduz a transmissão da malária e outros vetores de doenças.

Mas, o que é mostrado na publicação da WHO/UNICEF (2010) é que, apesar de haver um avanço nas melhorias das fontes de água para consumo mundialmente, com um aumento de 10 pontos percentuais em 18 anos, alcançando a marca de 87% da população mundial e 84% da população de regiões em desenvolvimento, tendo acesso a fontes de água para consumo, ainda existem 884 milhões de pessoas no mundo sem acesso à água. Quase todas residem em regiões em desenvolvimento.

Com relação aos contaminantes emergentes que têm ocasionado surtos de doenças envolvendo água tratada, podem ser citados como microrganismos

causadores os protozoários *Giardia spp.* e *Cryptosporidium spp.* E, algumas outras questões emergentes também merecem destaque como a ocorrência de floração de cianobactérias, com consequente liberação de cianotoxinas, como também, de desreguladores endócrinos¹ em mananciais de abastecimento (PÁDUA, 2009).

A Tabela 01 apresenta dados a respeito da ocorrência de doenças associadas ao saneamento básico nos municípios no Brasil, na região Nordeste, no Estado do Ceará e na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), em 2008, quando se iniciou a pesquisa aqui apresentada. Ressalta-se que, atualmente, 15 municípios compõem a RMF.

Tabela 01 – Municípios com ocorrência de doenças associadas ao saneamento básico, em 2008.

Número de municípios com ocorrência de doenças associadas ao saneamento básico (Unidades) - Ano = 2008				
Tipo de doença	Brasil	Nordeste	Ceará	RMF-CE
Total geral de municípios	5.564	1.793	184	13
Nº Total de municípios com ocorrência	2.245	1.096	99	11
Diarréia	1.517	753	66	7
Leptospirose	197	84	12	2
Verminoses	1.394	701	58	6
Cólera	54	35	-	-
Difteria	65	30	2	-
Dengue	1.547	879	86	11
Tifo	26	8	-	-
Malária	159	30	-	-
Hepatite	527	239	22	4
Febre amarela	46	14	-	-
Dermatite	452	227	19	3
Doença do aparelho respiratório	655	356	35	3
Outra	164	77	5	-

Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008).

¹ O Programa Internacional de Segurança Química (IPCS) da OMS define como “substância química ou mistura exógena que altera funções do sistema endócrino e, conseqüentemente, causa efeitos adversos na saúde de um organismo intacto, seus descendentes, ou (sub) populações.” Sinônimos: perturbadores endócrinos, disruptores endócrinos, interferentes endócrinos e agentes hormonalmente ativos. (PÁDUA, 2009, p. 46).

A Tabela 02 apresenta dados sobre a existência de algum serviço de saneamento básico nos municípios no Brasil, na região Nordeste, no Estado do Ceará e na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), para os anos de 2000 e 2008.

Tabela 02 – Municípios com algum serviço de saneamento básico

Número de municípios com algum serviço de saneamento básico (Unidades)								
Tipo de serviço	Brasil		Nordeste		Ceará		RMF-CE	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008	2000	2008
Total geral de municípios	5.507	5.564	1.787	1.793	184	184	-	13
Total com algum serviço de saneamento básico	5.497	5.564	1.782	1.793	184	184	-	13
Rede geral de distribuição de água	5.391	5.531	1.722	1.772	183	184	-	13
Rede coletora de esgoto	2.877	3.069	767	819	90	128	-	11
Manejo de resíduos sólidos	5.475	5.562	1.769	1.792	184	184	-	13
Manejo de águas pluviais	4.327	5.256	1.227	1.615	124	183	-	13

Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008).

2.1.2 Perigos e Riscos associados ao Sistema de Abastecimento de Água

Uma vez que estejam determinados os fatores de perigo potenciais e suas fontes, deverão comparar-se os riscos associados a cada fator de perigo ou evento perigoso, de modo que possam se estabelecer e documentar as prioridades da gestão de riscos. Ainda que existam numerosos contaminantes que podem ocasionar perigo à qualidade da água para consumo, não será necessário dar o mesmo nível de atenção a todos os fatores de perigo. O objetivo deve ser distinguir entre os fatores de perigo ou eventos perigosos importantes e os que são menos (OMS, 2006).

A aplicação de um enfoque integral à avaliação e à gestão dos riscos dos sistemas de abastecimento de água para consumo aumenta a confiança na inocuidade da água. Este enfoque leva à avaliação sistemática dos riscos na totalidade de um sistema – desde a água de origem e a bacia de captação ao consumidor final – e a determinação das medidas que podem ser aplicadas para gerenciar esses riscos, assim como métodos para garantir o funcionamento eficaz das medidas de controle. Incorpora estratégias para abordar a gestão cotidiana da qualidade da água e faz frente às alterações e avarias (WHO/OECD, 2003).

A gestão preventiva é o melhor sistema para garantir a segurança da água para consumo e deve-se ter em consideração as características do sistema de abastecimento de água, desde a bacia de captação e a fonte até a sua utilização pelos consumidores. Tendo em vista que muitos aspectos da gestão da qualidade de água para consumo não são responsabilidade direta do prestador de serviço da água, é fundamental adotar um sistema de colaboração entre os múltiplos organismos que têm responsabilidades em aspectos específicos do ciclo da água, para garantir sua participação na gestão da qualidade da água (OMS, 2006).

Wright *et al.* (2006) mostram a importância, inclusive, do próprio consumidor final no contexto de segurança e inocuidade da água. Os dados contidos em seu artigo ilustram a importância da informação para uso da água, ou seja, da própria educação sanitária do usuário final, como forma de minimizar a exposição a contaminantes diversos.

A avaliação de riscos é um marco para a segurança da água para consumo, e não é um objetivo em si mesmo, mas faz parte de um ciclo interativo no qual a avaliação de risco é utilizada para adotar decisões de gestão que, uma vez aplicadas, traduzem-se em melhorias na qualidade da água, principalmente sobre o aspecto da saúde (OMS, 2006).

A avaliação de riscos ambientais é um instrumento que muitas vezes apresenta-se inserido em Estudos de Impactos Ambientais e respectivos Relatórios de Impacto, preconizados pela Política Nacional de Meio Ambiente, a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (SILVA, 2004).

Estudos como os de Hunter; Fewtrell (2001) e os de Havelaar; Melse (2003) trazem uma abordagem concisa a respeito da influência da qualidade da água na saúde da população, além dos riscos associados ao consumo de uma água com má qualidade.

Os sistemas de abastecimento e água, quando são construídos e operados inadequadamente, não são garantias de saúde para a população. Mesmo nos países desenvolvidos há vários exemplos de surtos de doenças

transmitidas pela água, que ocorreram por falhas na operação ou na construção dos sistemas [...] (TSUTIYA, 2006)

A qualidade da água pode ser comprometida em qualquer etapa ou mesmo algum componente de um sistema de abastecimento de água. Porém, no caso de uma falha na rede de distribuição, pode-se tornar extremamente crítico por causa da sua proximidade com o ponto de entrega ao consumidor final e, portanto, caso não haja alguma medida preventiva que seja tomada pelo próprio consumidor, não há mais barreiras que possam protegê-lo antes do consumo de uma água contaminada (SADIQ; RODRIGUEZ, 2005).

O impacto da implantação de uma rede de distribuição é determinado, em grande parte, em como as conexões das tubulações de água encontram-se distribuídas (GAMPER-RABINDRAN *et al.*, 2010).

Uma gestão eficaz da bacia de captação apresenta inúmeras vantagens, pois, ao reduzir a contaminação da água de origem, são reduzidas as necessidades de tratamento, que permite reduzir ao mínimo os custos operacionais e a geração de subprodutos de tratamento (WHO, 2008).

Para isso, é importante conhecer a origem das variações da qualidade da água bruta, já que influenciará nas necessidades do tratamento, na eficácia do mesmo e, conseqüentemente, no risco para a saúde associado à água tratada. Em geral, na qualidade da água bruta influem fatores tanto naturais como derivados do uso humano. São fatores naturais importantes a fauna e flora, o clima, a topografia e a geologia. Entre os fatores do uso humano podem ser considerados: as fontes de contaminação pontuais (descargas residuais municipais e industriais) e as fontes difusas (escoamento urbano e agrícola, gado ou uso recreativo) (WHO, 2008).

Tanto se a água é obtida de fontes superficiais como subterrâneas, é importante conhecer as características da bacia de captação ou aquífero local, bem como determinar e controlar as situações que podem corroborar com a contaminação da água. A proteção dos recursos hídricos e da fonte constitui as primeiras barreiras na proteção de qualidade da água para consumo humano.

Destaca-se que é possível aplicar medidas corretas de prevenção de perigos sem restringir substancialmente as atividades, e a colaboração entre todos os interessados pode ser um potente instrumento para reduzir a contaminação (OMS, 2006).

Cummins *et al.* (2010) destacam a importância da qualidade da água bruta e a conservação dos mananciais para evitar a contaminação por *Cryptosporidium spp.*², além das etapas tradicionais do tratamento convencional, como adequada coagulação/floculação. Alerta ainda que a maior causa de aumento de risco humano para este parâmetro é a própria falha do processo de tratamento.

Em uma avaliação dos perigos devem-se observar os seguintes fatores e eventos perigosos que podem afetar as bacias de captação (OMS, 2006):

- Variações rápidas da qualidade da água bruta;
- Descargas de redes de esgoto e fossas sépticas;
- Descargas industriais;
- Uso de substâncias químicas em zonas de captação (fertilizantes e praguicidas agrícolas);
- Grandes despejos (incluídos os associados a vias públicas e rotas de transporte), tanto acidentais como intencionais;
- Acesso de pessoas (por exemplo, atividades recreativas);
- Fauna e gado;
- Usos do solo (pecuária, agricultura, silvicultura, indústria, eliminação de resíduos, minério) e mudanças em tais usos;
- Zonas de amortização e vegetação inadequadas, erosão do solo e rupturas de valas de sedimentos;
- Escoamento e descarga de águas pluviais;
- Aterros ou minas, em uso ou fechados / lugares contaminados / resíduos perigosos;

² Protozoário responsável por parasitose de caráter emergente, devido à sua distribuição cosmopolita e à ocorrência de diversos surtos registrados em diferentes países, associados ao consumo de água. Destaca-se pela persistência por longos períodos no ambiente e a resistência aos processos usuais de tratamento de água (PÁDUA, 2009).

- Fatores geológicos (substâncias químicas de origem natural);
- Aquífero confinado e poço profundo (incluindo as águas subterrâneas em contato direto com águas superficiais);
- Poços sem revestimento ou com revestimento inadequado, com boca protegida inadequadamente ou utilizados em condições anti-higiênicas;
- Variações climáticas e sazonais (chuvas extremas, secas) e catástrofes naturais.

Apesar de aspectos de qualidade bem consolidados, no que diz respeito ao índice de qualidade das águas (IQA) e parâmetros a serem considerados para a água bruta, estudos ainda mostram evolução no processo, com indicativo de novas metodologias também nesta abordagem. É o caso do artigo que trata de um novo índice de qualidade da água, proposto por RAMESH *et al.* (2010).

Estudos têm sido desenvolvidos inclusive sobre parâmetros de qualidade de água e procedimentos que possam evidenciar as fontes potenciais de contaminação, ao invés de somente quantificar ou indicar que há contaminação. É o caso do monitoramento proposto por PLUMMER; LONG (2007).

Com relação aos reservatórios de armazenamento e tomadas de água, devem ser observados os seguintes fatores e eventos perigosos (OMS, 2006):

- Acesso de pessoas / ausência de zonas de exclusão;
- Geração de curtos-circuitos no reservatório;
- Descarga das reservas do reservatório;
- Retirada da água não seletiva;
- Ausência de fontes de água alternativas;
- Localização inadequada da tomada de água;
- Florações de cianobactérias;
- Estratificação; e,
- Avarias dos alarmes e dos equipamentos de monitoramento.

Após a proteção da água bruta, as barreiras seguintes contra a contaminação do SAA são as operações de tratamento de água, incluídas a desinfecção e a eliminação de contaminantes por meios físicos (WHO, 2005).

O tratamento ou somente o seu rendimento também podem ser afetados por alguns fatores de perigo ou eventos perigosos, tais como (LE CHEVALLIER; AU, 2004):

- Variações de vazão que superam limites de projeto;
- Operações de tratamento, incluindo a desinfecção, inadequadas ou insuficientes;
- Meios insuficientes (infraestruturas, pessoal);
- Avarias e funcionamento deficiente dos sistemas de controle das operações ou confiabilidade baixa dos equipamentos;
- Uso de substâncias e materiais para o tratamento da água não autorizados ou contaminados;
- Erros de dosagem de substâncias químicas;
- Mistura insuficiente;
- Avarias de alarmes ou dos equipamentos de monitoramento;
- Cortes de fornecimento elétrico;
- Contaminação acidental ou deliberada;
- Catástrofes naturais;
- Formação de subprodutos de desinfecção; e,
- Conexões cruzadas com águas contaminadas ou residuais, curtos-circuitos internos.

A proteção do sistema de distribuição também é fundamental para proporcionar água para consumo inócua. Considerando a natureza do sistema de distribuição, que pode compreender muitos quilômetros de tubulações, depósitos de armazenamento e conexões com indústrias usuárias, além da possibilidade de manipulação e vandalismo, é possível que haja contaminação microbiológica e química do sistema. Tal contaminação pode ser introduzida por diversos meios, como (AINSWORTH, 2004):

- Pela entrada de água contaminada procedente do subsolo e, sobretudo, de bueiros em torno do sistema de distribuição, devido a uma baixa pressão no interior dos tubos ou por efeito de uma onda de pressão no sistema (infiltração);
- Através da sucção de água contaminada na rede ou no reservatório de armazenamento ocasionada por refluxo devido a uma subpressão na tubulação e pela existência de uma conexão indevida entre uma fonte de água contaminada e o sistema;
- Por meio de adutoras e reservatórios de água tratada abertos ou não protegidos contra atos de vandalismo e manipulação, que estão potencialmente expostos a fontes de contaminação fecal como a água de escoamento superficial e as fezes de aves aquáticas e outros animais;
- Por rupturas de tubulações ao reparar ou substituir tubulações existentes ou ao instalar tubulações de águas residuais ou pluviais com o sistema de distribuição, ou por conexões ilegais ou não autorizadas;
- Devido à dissolução de substâncias químicas e metais pesados procedentes de materiais como tubulações, soldas e juntas, torneiras e substâncias químicas utilizadas na limpeza e desinfecção dos sistemas de distribuição; e,
- Através da difusão de combustível ou óleo através de tubulações de plástico.

Estudos específicos têm sido desenvolvidos em todo o mundo, inclusive no Brasil, para desenvolver metodologias de mapeamento de perigos em redes de distribuição, como é o caso de SOARES (2009).

Berry *et al.* (2006), em seu artigo, alertam sobre o controle do crescimento microbiano em redes de distribuição de água, por exemplo, que é essencial para limitar índices de doenças, principalmente em populações imunodeficientes. Muitas pesquisas indicam haver diferenciação entre resistência à desinfecção de espécies de biofilmes de bactérias. Como solução, indicam-se serem necessárias inovações e

estratégias de controle efetivas para garantir a segurança e a qualidade da água para consumo.

Segundo Mustonen *et al.* (2008), biofilmes e depósitos de substâncias ocorrem comumente no interior das tubulações das redes de distribuição. Havendo algum fator de perturbação os biofilmes e/ou depósitos podem se destacar das paredes e ocasionar comprometimento da qualidade desta água a ser consumida. Em seus ensaios, foram aumentados os níveis de partículas suspensas, turbidez e condutividade elétrica, temporariamente, devido à ocorrência de choques de pressão momentâneos.

Srinivasan; Harrington (2007) ressaltam a habilidade de desenvolvimento de microrganismos em redes de distribuição e comenta a respeito da sua dependência com relação à concentração do desinfetante residual e da concentração do substrato requerido para o crescimento adequado desses microrganismos.

Vários estudos mostram a relação entre água contaminada e doenças diarreicas. Abu Amr; Yassin (2008) comentam, por exemplo, sobre a forte correlação entre um alto índice de coliformes fecais na água detectados na rede de distribuição e doenças diarreicas. As causas apontadas para a não-segurança da água no sistema estudado foram: fonte de origem da água, suprimento intermitente, cloração insuficiente, contaminação por passagem cruzada com esgotos e idade das tubulações das redes.

Água contaminada por microrganismos é o indicativo de grande risco à saúde humana. Para isso, a desinfecção é utilizada. Para prevenir que haja o desenvolvimento bacteriano na própria rede de distribuição é necessário uma dosagem de cloro suficiente para garantir um residual até o fim da rede. Porém, em caso excessivo, os usuários podem reclamar do gosto ou odor gerado, além de serem causados danos à própria rede: corrosão, dependendo do material, e ainda formação de subprodutos carcinogênicos (GIBBS *et al.*, 2006).

Em complemento a essa abordagem, Srinivasan *et al.* (2008) relatam que seus estudos conduzem a uma situação de que uma baixa dosagem de cloro residual pode ocasionar um aumento de níveis bacteriológicos na água em redes de distribuição, não somente na forma de biofilmes, em determinadas situações.

Com relação à geração de subprodutos, Hrudey (2009) retrata um cenário evolutivo de entendimentos a respeito dessa questão, através de um histórico envolvendo aspectos de saúde pública e gerenciamento de riscos.

Cerrato *et al.* (2006) alertam sobre a influência na qualidade da água do material da tubulação, seja de PVC ou de ferro. Em seu trabalho, estudou a deposição de manganês em redes de distribuição de água com ambos os materiais.

Pode-se salientar ainda um caso específico de sistemas de abastecimento de água comunitários e domésticos sem distribuição por tubulações, que também podem ter fatores potenciais de perigo, conforme a fonte de abastecimento de água selecionada, como (OMS, 2006):

- Poço tubular equipado com bomba manual:
 - Entrada direta no poço de água contaminada;
 - Entrada de contaminantes devido à construção deficiente do poço ou com seu recobrimento danificado;
 - Infiltração de contaminantes microbiológicos no aquífero.
- Manancial protegido simples:
 - Contaminação direta através da zona de “cheia”;
 - Recarga rápida por água superficial contaminada.
- Poço escavado simples:
 - Entrada de contaminantes devido à construção deficiente do poço ou seu recobrimento danificado;
 - Contaminação introduzida pelo uso de baldes.
- Captação de água de chuva:
 - Presença de excrementos de aves ou de outros animais no telhado ou nas canaletas;

- Possível entrada no reservatório de armazenamento de água do expurgo inicial.

Além dos perigos usuais e de conhecimento público, ou pelo menos acadêmico, deve-se alertar sobre compostos que nem sequer estão contemplados nas normas vigentes, cujos níveis de detecção ou de impacto na saúde humana ainda são desconhecidos (SCHRICKS *et al.*, 2010).

2.2 Plano de Segurança da Água

2.2.1 Definição

Na última década, tem-se iniciado um reconhecimento das limitações em se monitorar somente o produto final da água como garantia de segurança para o consumidor. Para a garantia e segurança da qualidade da água têm-se adotado estratégias preventivas onde os riscos devem ser identificados de forma proativa, além de devidamente avaliados e gerenciados. Este conceito tem se proliferado a partir do desenvolvimento dos planos de segurança da água: gerenciamento dos riscos para o suprimento de água, da captação ao consumidor final (HAMILTON *et al.*, 2006).

O controle da qualidade microbiológica e química da água para consumo humano requer o desenvolvimento de planos de gestão cuja aplicação constitua a base para a proteção do sistema e o controle dos processos com a finalidade de garantir que as concentrações de agentes patogênicos e substâncias químicas existentes ocasionem riscos insignificantes para a saúde pública e que a água seja aceitável para os consumidores. A denominação trazida pelos Guias da Organização Mundial da Saúde (OMS) para esses planos de gestão a serem desenvolvidos pelos prestadores de serviços de água é “Plano de Segurança da Água” (PSA) (OMS, 2006).

Um PSA engloba a avaliação e o desenho do sistema, os planos de gestão e o monitoramento operacional, incluindo ainda a documentação e a

comunicação pertinentes. Os componentes de um PSA se baseiam no princípio das barreiras múltiplas, os princípios de análises de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) e outros métodos de gestão sistemáticos. Os planos devem contemplar todos os aspectos do sistema de abastecimento de água para consumo, centrado-se no controle da extração, do tratamento e da distribuição da água (WHO/IWA, 2009).

Os PSAs correspondem à tradução e à sistematização dos conceitos e fundamentos que caracterizam a análise de risco aplicada ao abastecimento de água para consumo humano. São definidos como “instrumento que identifica e prioriza perigos e riscos em um sistema de abastecimento de água, desde o manancial até o consumidor, visando estabelecer processos para verificação da eficiência da gestão dos sistemas de controle e da qualidade da água produzida” (PÁDUA, 2009).

Nesse contexto, pode-se observar a interface existente entre o PSA e os diversos instrumentos já bastante difundidos e de amplo conhecimento das áreas de Recursos Hídricos, de Gestão e de Saúde Ambiental, como: avaliação de impactos ambientais, avaliação ambiental estratégica, planos de manejo, planos de gestão e planos de bacias, entre outros.

As principais vantagens do desenvolvimento e aplicação de um PSA em sistemas que já proporcionam uma água inócua e de qualidade são: a avaliação e a classificação, de forma sistemática e detalhada, do grau de prioridade dos perigos, assim como o monitoramento operacional das barreiras ou medidas de controle. Ademais, um PSA compreende um sistema organizado e estruturado que reduz a probabilidade de falhas devido a descuidos ou omissões da gestão, assim como planos de contingência para responder a falhas do sistema ou a eventos perigosos imprevistos (WHO/FAO, 2003).

Os objetivos principais de um PSA para garantir a aplicação de práticas adequadas no abastecimento de água potável são: a redução ao mínimo da contaminação da água bruta; a redução ou eliminação dos contaminantes mediante

operações de tratamento; e, a prevenção da contaminação durante o armazenamento, a distribuição e a manipulação da água potável (OMS, 2006).

Estes objetivos tornam-se alcançáveis a partir de algumas medidas necessárias, tais como (WHO, 2008):

- Conhecimento do sistema e sua capacidade de distribuir água que cumpra as metas de proteção à saúde;
- Determinação das possíveis fontes de contaminação e do modo como se pode controlar;
- Validação das medidas de controle empregadas para combater os fatores de perigo;
- Aplicação de um sistema de monitoramento das medidas de controle adotadas no sistema de abastecimento de água;
- Adoção de um prazo suficiente de medidas corretivas para garantir a distribuição contínua de água inócua; e,
- Verificação da qualidade da água potável, a fim de comprovar a correta execução do PSA e que sua eficácia é a necessária para cumprir as normas ou objetivos da qualidade da água pertinentes de âmbito nacional, regional e local.

Visando à segurança da água para consumo humano, os PSAs são inseridos numa visão mais ampla, incluindo, de forma interativa, componentes diversificados, como a definição de metas de saúde a serem alcançadas ou resguardadas em um contexto socioeconômico, e conseqüentemente, em um perfil epidemiológico, além da abordagem de controle externo (auditoria, regulação e vigilância) (PÁDUA, 2009).

Segundo a OMS (2006), a elaboração e aplicação de um PSA deve ser uma das responsabilidades de toda entidade que gerencie um sistema de abastecimento de água potável. Este plano deve normalmente ser examinado e aprovado pela autoridade responsável pela proteção da saúde pública, para garantir que a qualidade da água distribuída cumpra as metas de proteção de saúde estabelecidas.

Quando não exista um prestador formal do serviço, a autoridade competente, nacional ou regional, deverá atuar como fonte de informação e orientação acerca da forma adequada de gerenciar as fontes de abastecimento de água para consumo, sejam comunitárias ou individuais. Sua responsabilidade incluirá a definição de requisitos relativos ao monitoramento operacional e à gestão. Em tais circunstâncias, os meios de verificação dependerão da capacidade das autoridades e comunidades locais e deverão estar definidos na política nacional pertinente, como de Saúde Ambiental, por exemplo.

2.2.2 Marco regulamentar – Guias/OMS

As enfermidades relacionadas à contaminação da água destinada ao consumo humano têm grande repercussão na saúde das pessoas. As medidas destinadas a melhorar a qualidade da água para consumo proporcionam benefícios significativos para a saúde. Diante deste desafio, a principal finalidade dos Guias para a Qualidade da Água Potável (*Guidelines for Drinking-water Quality - GDWQ*), que foram editadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), é a proteção da saúde pública. (OMS, 2006).

A primeira publicação da OMS tratando especificamente sobre qualidade da água para consumo foi publicada em 1958 com o título “Padrões Internacionais para Água Potável”. Posteriormente foi revisado em 1963 e 1971 mantendo o mesmo título. Em 1984-85, a primeira edição dos Guias para Qualidade da Água Potável da OMS foi publicada em três volumes: Vol. 1 – Recomendações; Vol. 2 – Critérios de Saúde e outras informações de apoio; e o Vol. 3 – Vigilância e Controle do Abastecimento de Comunidades. A segunda edição dos três volumes dos Guias foi publicada em 1993, 1996 e 1997, respectivamente. Adendo aos volumes 1 e 2 foram publicados em 1998 e 1999 (referindo-se a químicos selecionados apenas) e um adendo com agentes microbiológicos em água potável em 2002. Em 2004, a terceira edição do Volume 1 dos Guias foi publicada, e o primeiro adendo a esta edição em 2006 (WHO/IWA, 2009a). Em 2008, foi publicado o segundo adendo desta mesma edição e sua respectiva atualização.

O objetivo dos Guias é apoiar o desenvolvimento e a execução de estratégias de gestão de riscos que garantam a inocuidade do abastecimento de água por meio do controle dos componentes perigosos da água. Neles estão descritos os requisitos mínimos razoáveis que devem ser cumpridos pelas práticas seguras para proteger a saúde dos consumidores, e determinam os chamados “valores de referência” numéricos dos componentes da água ou os indicadores da qualidade da água.

Os Guias descrevem um marco para a gestão preventiva da segurança da água para consumo que consta de cinco componentes (OMS, 2006):

- Metas de proteção de saúde baseadas em uma avaliação dos perigos para a saúde;
- Avaliação do sistema de abastecimento de água para determinar se pode, em seu conjunto (da origem da água ao ponto de consumo, incluindo o tratamento), distribuir água que cumpra com as metas de proteção da saúde;
- Monitoramento operacional das medidas de controle do sistema de abastecimento de água que tenham uma importância especial para garantir sua inocuidade;
- Planos de gestão que documentem a avaliação do sistema e os planos de monitoramento, que descrevam as medidas que devem ser adotadas durante o funcionamento normal e quando se produzam incidentes, incluídas as ampliações e melhorias, a documentação e a comunicação; e,
- Um sistema de vigilância independente que verifique o funcionamento correto dos componentes anteriores.

Além da terceira edição dos Guias e uma série de documentação complementar publicada pela OMS no decorrer dos últimos 07 (sete) anos, no ano de 2009 foi publicado um “Manual para o Desenvolvimento de Planos de Segurança da Água - Metodologia de Gestão de Riscos para Prestadores de Serviço de Água para Consumo Humano”, cuja finalidade é proporcionar um guia prático para facilitar a elaboração de PSA centralizado particularmente em sistemas de abastecimento de

água organizados e geridos por um prestador de serviço ou entidade similar (WHO/IWA, 2009).

Heller *et al.* (2005) fazem algumas indagações relativas à sua eventual incorporação à legislação e às práticas brasileiras em relação a este novo instrumento proposto pela OMS, a saber:

- Caberia implantar a exigência de PSAs no Brasil, ainda que inicialmente para os maiores sistemas – ou aqueles com maior risco – e com processo gradual de implementação?
- Caberia expedir recomendações – não compulsórias – para a elaboração de tais planos?
- Seria mais apropriado iniciar o processo com medidas alternativas, como a regulamentação do Art. 9º, inciso III, que indica que “ao(s) responsável(is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe [...] manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída”?
- Concomitantemente com a medida anterior, caberia pensar em se elaborarem PSAs piloto, visando desenvolver um protocolo apropriado à realidade brasileira?

2.2.3 Metas de proteção à saúde

As metas de proteção à saúde constituem um componente fundamental do marco para a segurança da água para consumo. Devem ser estabelecidas por uma autoridade de alto nível responsável pela saúde, para serem consultadas por outros interessados, como os prestadores de serviço e comunidades. Devem levar em consideração a situação geral da saúde pública e a contribuição da qualidade da água na transmissão de enfermidades devido a microrganismos e substâncias químicas presentes na água, como parte da política geral sanitária e hidrológica. Também devem considerar a importância de garantir o acesso à água, sobretudo

aos que carecem de suprimento. As metas servem de base para a aplicação dos Guias a todos os tipos de SAA, e podem ser classificadas em quatro tipos principais (OMS, 2006):

- Metas sanitárias: são aplicáveis quando os efeitos adversos se apresentam pouco depois da exposição e quando pode se determinar de forma rápida e confiável tanto os efeitos como as mudanças de exposição. Podem servir também de base para avaliação dos resultados mediante modelos quantitativos de avaliação de risco, onde os resultados sanitários são calculados baseando-se na informação sobre a exposição e as relações entre a dose e a resposta;
- Metas relativas à qualidade da água: são estabelecidas para componentes da água que constituem um risco à saúde quando se produz uma exposição prolongada e cuja concentração flutua pouco ou, quando não o faz, trata-se de um processo de longo prazo;
- Metas relativas à eficácia: são empregadas para componentes que constituem um risco para a saúde pública no caso de exposição breve ou cuja concentração pode sofrer grandes variações em pouco tempo com consequências significativas para a saúde;
- Metas relativas a técnicas específicas: relativas à aplicação de medidas concretas em SAA de menor porte, municipais, comunitários ou domésticos, estabelecidas por organismos nacionais de regulamentação.

Metas de saúde podem ser estabelecidas por meio de um ou mais critérios ou recursos, tais como: (i) evidências epidemiológicas; (ii) avaliação quantitativa de risco químico e microbiológico; (iii) estabelecimento de nível de risco ou carga de doença tolerável; (iv) avaliação da qualidade da água; e/ou (v) avaliação de desempenho do sistema de tratamento. A conjugação de alguns desses critérios permite identificar, por vezes, quantificar, medidas de proteção da fonte de abastecimento e o tipo de tratamento necessário para o alcance de determinado nível de risco definido como tolerável, além de permitir a avaliação do impacto de medidas de controle (PÁDUA, 2009, p. 331-332).

Thompson *et al.* (2007) salientam ainda que as metas de proteção à saúde devem ser realistas, conforme as condições locais, e que sua finalidade seja proteger e melhorar a saúde pública. As metas servem como base para o desenvolvimento dos PSAs, proporcionando informação com a qual se avalia a idoneidade das instalações existentes e ajudam a determinar o nível e tipo de inspeção e as verificações analíticas pertinentes.

Portanto, a definição das metas deve fazer parte de políticas de saúde pública, incluindo a definição do que seja um risco tolerável, respeitando aspectos econômicos, ambientais, sociais e culturais, recursos financeiros técnicos e institucionais em determinada realidade, levando em consideração a situação geral da saúde pública e a contribuição do abastecimento de água para consumo humano em termos de risco químico e microbiológico em um perfil epidemiológico (PÁDUA, 2009).

Hamilton *et al.* (2006) indicam que o processo inicial sugerido para os planos foram introduzidos por uma abordagem presente na indústria. O mesmo era dividido em quatro seções principais:

- Um compromisso no gerenciamento da qualidade da água potável;
- Análise e gerenciamento sistêmico;
- Ferramentas de suporte (treinamento de empregados, envolvimento da comunidade, pesquisa e desenvolvimento, sistemas para documentações e relatos, etc.); e,
- Revisões.

2.2.4 Etapas de um PSA

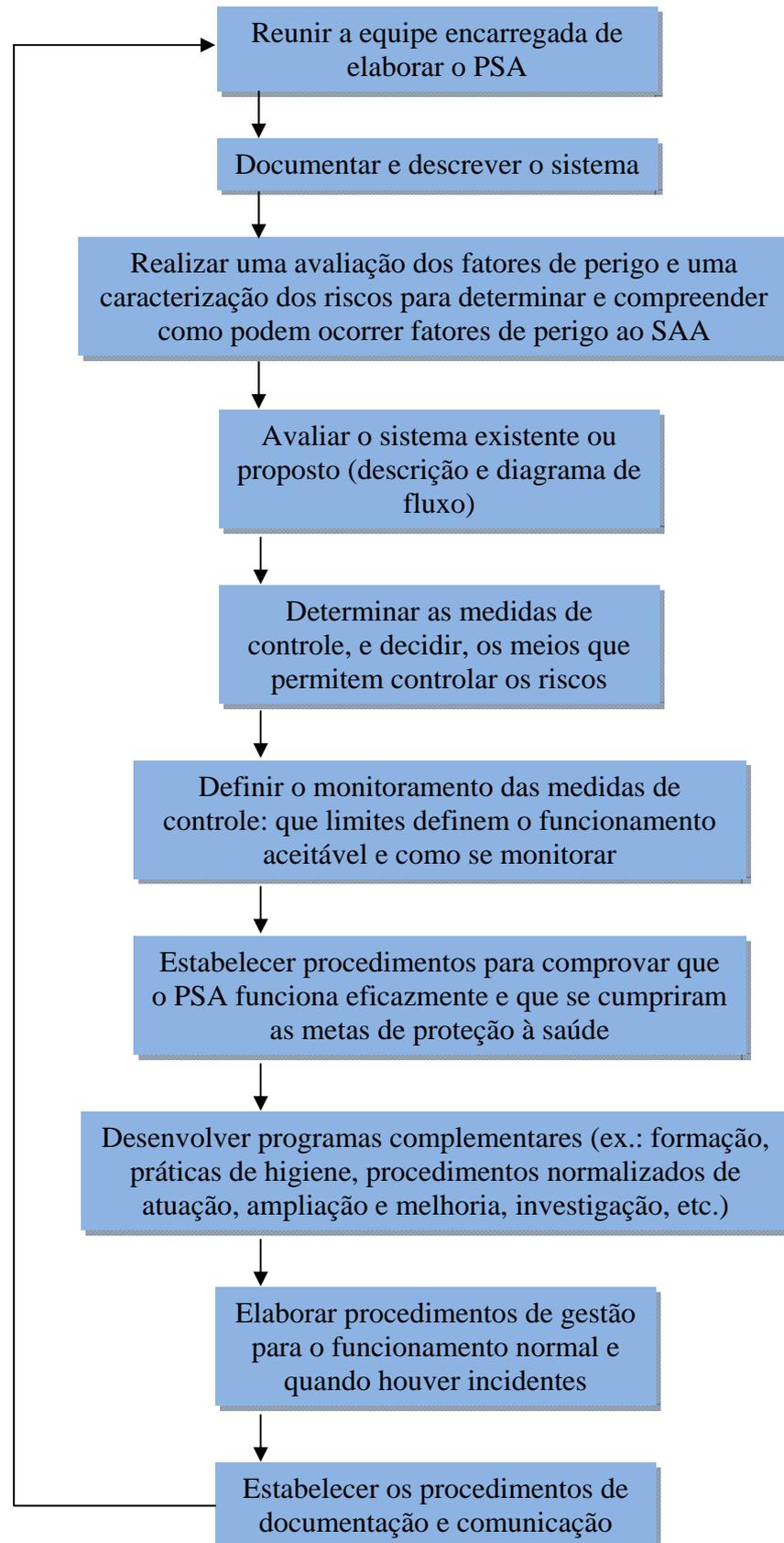
Um PSA compreende, no mínimo, três medidas essenciais, guiados por metas de proteção à saúde e supervisionados mediante a vigilância do abastecimento de água potável, para garantir a segurança da água para consumo que são apontadas como responsabilidade do prestador de serviço de água, que são: avaliação do sistema; monitoramento operacional eficaz; e, gestão (OMS, 2006).

O planejamento para a elaboração e aplicação de um PSA para cada sistema de abastecimento de água para consumo é o seguinte (WHO/IWA, 2009):

- Reunir uma equipe e adotar uma metodologia para o desenvolvimento de um PSA;
- Determinar todos os perigos e eventos perigosos que podem afetar a segurança do sistema de abastecimento de água, desde a bacia de captação, o tratamento e a distribuição, até o ponto de consumo;
- Avaliar o risco associado a cada perigo e evento perigoso;
- Considerar se existem controles ou barreiras para cada risco significativo;
- Validar a eficácia dos controles e barreiras;
- Determinar em que casos há necessidade de novos controles ou melhorias;
- Aplicar um plano de melhoria, caso necessário;
- Demonstrar que a segurança do sistema se mantém de forma permanente;
- Reexaminar periodicamente os perigos, os riscos e os controles;
- Manter registros fidedignos para oferecer transparência e justificar os resultados.

Pode-se observar que dentre as etapas apresentadas, aquelas englobadas desde a determinação dos perigos e eventos perigosos até a proposta de aplicação de um plano de melhoria, contemplam exatamente o processo de avaliação de riscos. Percebe-se, portanto, a importância deste instrumento para a implantação do PSA.

As etapas fundamentais para a elaboração de um plano de segurança da água (PSA) são apresentadas na Figura 01.

Figura 01 – Resumo das etapas fundamentais da elaboração de um PSA.

Fonte: Adaptado de OMS, 2006, p. 50.

Estabelecer uma equipe qualificada e dedicada é um requisito para garantir que se conte com conhecimentos técnicos necessários para elaborar um plano de segurança da água (PSA). A equipe será responsável pelo desenvolvimento, execução e manutenção do PSA como parte fundamental de suas funções cotidianas. É fundamental que todos os envolvidos apoiem a metodologia de PSA e desempenhem uma função ativa em seu desenvolvimento. É importante que a equipe do PSA conte com experiência e conhecimentos suficientes para compreender a extração, tratamento e distribuição de água e os perigos que podem afetar a segurança da água em todo o sistema de abastecimento, da bacia de captação ao ponto de consumo (WHO/IWA, 2009).

A primeira tarefa da equipe de PSA é descrever completamente o sistema de abastecimento de água. Se o serviço de abastecimento não dispõe já de documentação sobre o sistema de abastecimento de água, é fundamental documentá-lo. O objetivo é garantir a exatidão da documentação subsequente sobre a natureza da qualidade da água bruta (água sem tratar), semitratada e tratada, e do sistema utilizado para produzir água com a respectiva qualidade, para permitir a avaliação e gestão adequadas dos riscos (WHO/IWA, 2009).

A elaboração de diagrama de fluxo facilita o exame e a avaliação de um sistema de abastecimento de água potável. Os diagramas proporcionam uma descrição resumida do sistema, incluindo a caracterização da fonte, a determinação das fontes de contaminação potenciais na bacia de captação, as medidas de proteção dos recursos hídricos e da fonte de abastecimento, as operações de tratamento, e as infraestruturas de armazenamento e distribuição (OMS, 2006).

Na Tabela 03 indicam-se exemplos de informação útil para avaliação de um sistema de abastecimento de água, ou seja, aquela informação que deve ser levada em consideração ao avaliar o componente do SAA.

Tabela 03 – Informação útil para avaliação de um SAA

Componente do SAA	Informação
Bacias de captação	<ul style="list-style-type: none"> • Geologia e hidrologia • Dados meteorológicos e climáticos • Situação geral da bacia de captação e rio(s) • Fauna e flora • Outros usos da água • Tipo e intensidade do manejo e uso das terras • Outras atividades realizadas na bacia que podem liberar contaminantes na água • Atividades futuras previstas
Águas superficiais	<ul style="list-style-type: none"> • Descrição do tipo (rio, reservatório, barragem) • Características físicas (tamanho, profundidade, estratificação térmica, altitude) • Vazão e confiabilidade da água de origem • Tempos de retenção • Constituintes da água (físicos, químicos, microbiológicos) • Proteção (cercas, acessos) • Atividades recreativas e outras atividades humanas • Transporte de água a granel
Águas subterrâneas	<ul style="list-style-type: none"> • Aquíferos confinados ou não • Características hidrogeológicas do aquífero • Vazão e direção • Capacidade de diluição • Zona de recarga • Proteção da boca do poço • Profundidade de revestimento • Transporte de água a granel
Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> • Operações de tratamento (inclusive as opcionais) • Desenho dos equipamentos • Equipamentos de monitoramento e de operação automática • Substâncias químicas utilizadas • Rendimentos do tratamento • Eliminação de agentes patogênicos mediante desinfecção • Resíduo de desinfetante / tempo e contato
Reservatórios de serviço e de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> • Desenho dos reservatórios • Tempos de retenção • Variações sazonais • Proteção (cobertura, cerca, acessos) • Desenho do sistema de distribuição • Condições hidráulicas (pressões, vazões) • Proteção contra refluxo • Resíduos de desinfetante

A equipe de PSA deverá determinar, para cada etapa do diagrama de fluxo do processo validado, o que poderia falhar nesse ponto do sistema de abastecimento de água; ou seja, que perigos ou eventos perigosos poderiam se produzir. A determinação dos perigos se realiza mediante visitas na área além de análises da documentação.

A inspeção visual de aspectos como a zona adjacente aos pontos de extração e os componentes do tratamento podem revelar perigos que não seriam detectados unicamente mediante análise da documentação. A determinação dos perigos também exige a avaliação de acontecimentos e informação do passado, assim como de prognósticos baseados na informação e conhecimentos do serviço de abastecimento de água sobre aspectos particulares dos sistemas de tratamento e abastecimento (WHO/IWA, 2009).

O risco associado a cada perigo pode ser descrito determinando a probabilidade de que o mesmo aconteça (por exemplo, “seguro”, “possível” ou “excepcional”) e avaliando-se a gravidade das consequências geradas (por exemplo, “insignificantes”, “graves” ou “catastróficas”). A consideração mais importante é o possível efeito na saúde pública, mas também se devem considerar outros fatores como os efeitos organolépticos, a continuidade e suficiência do abastecimento, e a reputação do serviço de abastecimento de água. O objetivo deve ser distinguir entre riscos significativos e riscos menos significativos (WHO, 2005).

Hunter; Fewtrell (2001) indicam que um nível de risco pode ser considerado tolerável em algumas situações, tais quando:

- Encontra-se abaixo de um limite definido arbitrariamente (quando não há valores de tolerância);
- Encontra-se abaixo de um limite já existente ou tolerado;
- Encontra-se abaixo de uma fração arbitrária do total da carga de doença na comunidade;
- O custo de redução do risco excederia o valor economizado;

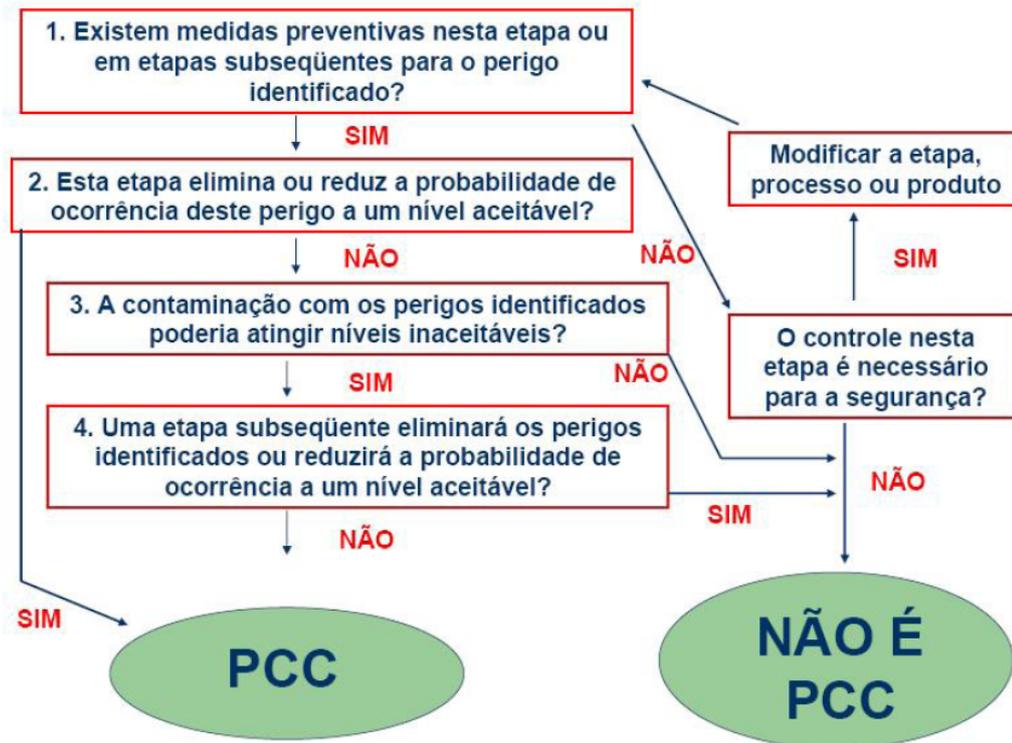
- O custo de oportunidade da prevenção do risco seria mais bem gasto em outras ações de promoção de saúde pública (merece avaliação pontual, pois nem sempre o custo está acima do benefício);
- Profissionais de saúde dizem que é aceitável;
- Responsáveis por formulação de políticas públicas dizem que é aceitável; e/ou,
- O público em geral diz que é aceitável (ou não diz que não o é).

Ao mesmo tempo em que se determinam os perigos e avaliam os riscos, a equipe de PSA deve documentar as medidas de controle existentes e potenciais. Neste sentido, a equipe deveria considerar se as medidas de controle existentes são eficazes.

Em função do tipo de medida de controle, sua eficácia pode ser determinada mediante inspeção das instalações, das especificações do fabricante, ou dos dados de monitoramento. Em continuação, devem-se recalcular os riscos em termos de probabilidade e consequência, tendo em vista todas as medidas de controle existentes. A redução do risco alcançada por cada medida de controle será uma indicação de sua eficácia (WHO/IWA, 2009).

A Figura 02 contempla um diagrama para definição dos possíveis PCCs (pontos críticos de controle).

Figura 02 – Diagrama para definição dos possíveis PCCs.



Fonte: KLAFKE, 2009, p. 17.

Se na etapa anterior determina-se que há riscos significativos para a segurança da água e se demonstra que não há medidas de controle ou não são eficazes, deve-se desenhar um plano de melhoria ou modernização. Deve assinar-se a cada melhoria definida uma data de execução e um “responsável” que se ocupe da execução. A avaliação nem sempre determina a necessidade de realizar investimentos novos, sendo que, em alguns casos, pode bastar examinar, documentar e formalizar as práticas que não funcionam e realizar as melhorias pertinentes; em outros casos, pode ser necessário aplicar medidas de controle novas ou melhorar as existentes, ou pode também ser necessária uma grande modificação de alguma infraestrutura (WHO/IWA, 2009).

Os planos de melhoria ou modernização podem incluir programas a curto, médio ou longo prazos. Pode também serem necessários recursos consideráveis e, por conseguinte, deve-se realizar uma análise pormenorizada e uma classificação cuidadosa dos riscos em conformidade com a avaliação do sistema. Pode ser

oportuno estabelecer uma ordem de prioridade das melhorias e realizá-las em várias fases (WHO, 2008).

O monitoramento operacional inclui a definição e validação do monitoramento das medidas de controle e o estabelecimento de procedimentos para demonstrar que os controles utilizados continuam funcionando. Estas medidas devem se documentar nos procedimentos de gestão. A definição do monitoramento das medidas de controle requer também a inclusão das medidas corretivas necessárias quando não se alcançam as metas operacionais (WHO/IWA, 2009).

A validação é uma atividade de investigação cuja finalidade é determinar a eficácia de uma medida de controle. Normalmente, é uma atividade intensiva durante a construção inicial de um sistema ou durante sua reabilitação. Proporciona informação acerca dos procedimentos de melhorias ou manutenção da qualidade que são realizados de forma confiável para uso na avaliação de um sistema e também para definir os critérios operacionais necessários de forma a garantir que a medida de controle previne eficazmente os perigos (OMS, 2006).

A aplicação de um procedimento formal de verificação e auditoria do PSA garante seu funcionamento correto. A verificação compreende três atividades que se realizam simultaneamente para demonstrar que o PSA funciona eficazmente. São as seguintes (WHO/IWA, 2009):

- Monitoramento do cumprimento;
- Auditoria interna e externa das atividades operacionais;
- Satisfação dos consumidores.

Um PSA deve incorporar, como componente integral, procedimentos de gestão claros que documentem as medidas que devem se tomar quando o sistema funciona em condições normais (procedimentos operacionais normalizados, ou PON), e quando se foi produzido um “incidente” (medidas corretivas). Os procedimentos devem estar relatados por empregados experientes e devem se atualizar, quando for necessário, sobretudo quando se aplique o plano de melhoria

ou modernização e como resultado do exame de incidentes, situações de emergência e quase emergências (WHO, 2005).

Os programas complementares são atividades que fomentam o desenvolvimento das capacidades e conhecimentos das pessoas, seu compromisso com a metodologia de PSA, e sua capacidade de gerir os sistemas para distribuir água potável. Estes programas podem estar relacionados com a formação, e a investigação e desenvolvimento. Podem compreender também atividades que apoiam indiretamente a segurança da água; por exemplo, as que conduzem à otimização de processos, como a melhoria do controle da qualidade em um laboratório (WHO/IWA, 2009).

A equipe de PSA deveria reunir-se periodicamente para examinar o plano em seu conjunto e aprender das experiências e procedimentos novos (além de examinar periodicamente o PSA mediante análise dos dados obtidos no monitoramento). O processo de exame é crítico para a aplicação geral do PSA e serve de base para avaliações futuras. Mas em uma emergência, incidente ou quase emergência, deve se reavaliar o risco, o que pode levar à necessidade de modificar o plano de melhoria ou modernização (WHO/IWA, 2009).

Segundo se havia explicado previamente, para assegurar-se de que um PSA leva em conta perigos e problemas novos, a equipe de PSA deve revisá-lo periodicamente. Uma vantagem particular da aplicação da metodologia de PSA é uma provável redução do número e a gravidade dos incidentes, situações de emergência ou quase emergências que afetam o que puderam afetar a qualidade da água para consumo. Não obstante, este tipo de evento pode continuar ocorrendo (WHO, 2005).

Além do exame periódico, é importante que o PSA seja examinado após cada emergência, incidente ou evento imprevisto, independente de se detectar perigos novos, para garantir que, se possível, a situação não se repita, e determinar se a resposta foi suficiente ou se podia ter respondido melhor. Um exame posterior a um incidente sempre detectará provavelmente aspectos suscetíveis de melhoria,

seja um perigo novo ou a modificação do grau de risco na avaliação de riscos, uma modificação de um procedimento operacional, algum aspecto relativo à formação, ou uma questão de comunicação (WHO/IWA, 2009).

Além das etapas previstas no plano, a vigilância possui a responsabilidade de realizar um exame independente (externo) e periódico de todos os aspectos relativos à segurança. A vigilância ajuda a proteger a saúde pública mediante a avaliação da conformidade dos PSA e o incentivo da melhoria da qualidade da água, da quantidade, da acessibilidade, da cobertura, e da continuidade dos sistemas de abastecimento de água para consumo (OMS, 2006).

A vigilância requer um programa sistemático de estudos, que podem incluir auditorias, análises, inspeções sanitárias e, se for o caso, aspectos institucionais e comunitários. Deve contemplar a totalidade do sistema de água para consumo, incluídas as fontes e as atividades na bacia de captação, as infraestruturas de condução, as estações de tratamento, os reservatórios de armazenamento e os sistemas de distribuição, sejam com ou sem tubulações (OMS, 2006).

Entretanto, Heller *et al.* (2005) trazem também algumas indagações bastante pertinentes a esse respeito, alegando que com a implementação do Plano de Segurança da Água, as auditorias poderão ser mais específicas e minuciosas, dado o maior acúmulo de informações gerenciais, de monitoramento e operação que este plano proporcionará:

- Quanto à conveniência de se aprofundar mais na discussão e mecanismos de vigilância que privilegiem incentivos (e.g.: instrumentos econômicos) à adoção das “boas práticas” (inclusive os planos de segurança da água) em oposição às práticas comando/controle, próprias da tradição cultural da vigilância; e,
- Se a efetiva participação da sociedade na vigilância da qualidade da água para consumo humano está prevista e tem sido adequadamente praticada, ou se há necessidade de instrumentos mais eficazes.

Destaca-se, porém, que a aplicação de um PSA deve ter como objetivo principal a prevenção de contaminação nas fontes naturais de água, a redução ou remoção de contaminação durante o processo de tratamento e a prevenção de contaminação durante o transporte, a reserva e a distribuição da água, garantindo boas práticas no abastecimento público de água (VIEIRA *et al.*, 2008).

2.3 Qualidade da água para consumo humano

2.3.1 Histórico

Até fins do século XIX, a qualidade da água para consumo humano era, em geral, aferida pela aparência física. A partir do século XX, após a ocorrência de diversos surtos de doença de veiculação hídrica e com o avanço do conhecimento científico, tornou-se necessário o desenvolvimento de recursos técnicos, e mais tarde legais, que, de modo objetivo, traduzissem as características que a água deveria apresentar para ser considerada potável. Assim, a qualidade da água para consumo humano passou a ser estabelecida, como a é até hoje, com base em valores máximos permitidos (VMP) para diversos contaminantes, ou indicadores da qualidade da água, reunidos em normas e critérios de qualidade da água, ou padrões de potabilidade (PÁDUA, 2009, p. 26).

Os padrões de potabilidade são elaborados de forma a atender a, pelo menos, dois aspectos fundamentais e um terceiro considerado complementar, tendo em vista a forma como são concebidos e implantados os sistemas distribuidores no Brasil (VIANNA, 2002):

- Permitir que se ofereça à população uma água límpida, de sabor agradável e inodora;
- Impedir que a água distribuída contenha substâncias e/ou microrganismos patogênicos capazes de afetar a saúde humana;
- Torná-la adequada para lavagem de roupas e utensílios, e não agressiva aos componentes dos sistemas abastecedores e das instalações hidráulicas prediais e não incrustante, especialmente em instalações de água quente.

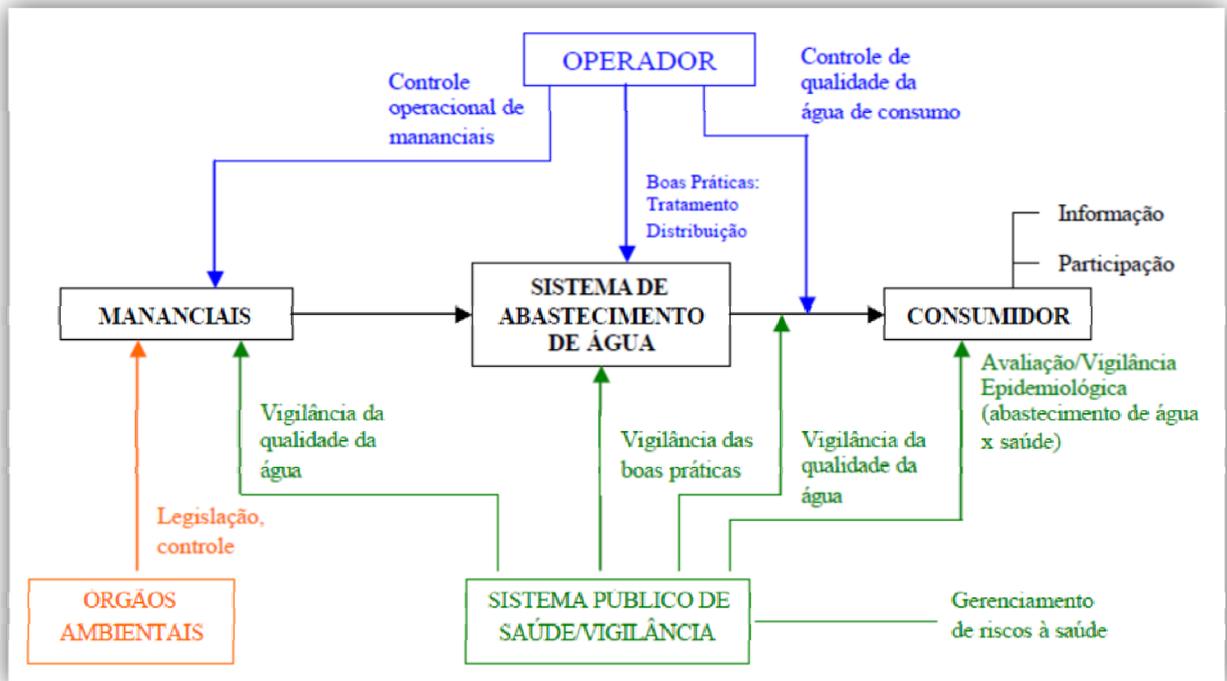
As primeiras iniciativas de diretrizes relacionadas à potabilidade da água foram promovidas pela OMS na década de 1950, nomeadas: *International Standards for Drinking-Water*; e, *Standards of Drinking-Water Quality and Methods of Examination Applicable to European Countries*. As diretrizes internacionais traziam padrões mínimos que poderiam ser alcançados por todos os países. Já os padrões europeus eram mais rigorosos, considerando a posição econômica e tecnológica privilegiada dos mesmos (WHO, 1970).

A primeira legislação brasileira sobre potabilidade de água foi a Portaria 56/BSB, de 1977, enquanto que a primeira edição dos Guias para a Qualidade da Água para Consumo Humano data de 1983-1984. Esta primeira edição norteou fortemente a revisão da Portaria 56, resultando na publicação, pelo Ministério da Saúde, das novas Normas e o Padrão de Potabilidade de água para consumo humano, a Portaria 36 GM, de 10 de janeiro de 1990.

Posteriormente, em 1993, a OMS publica a segunda edição de seus guias, suscitando o processo de discussão a respeito da revisão da legislação brasileira, resultando na publicação da Portaria MS 1469/2000 em dezembro de 2000, republicada com pequenas alterações em março de 2004 como a Portaria 518/2004 (HELLER *et al.*, 2005).

Na Figura 03 apresenta-se um diagrama conceitual das relações e abrangência da legislação sobre potabilidade da água, marcada pela interação entre prestadores de serviço de abastecimento de água, vigilância da qualidade da água e consumidores (PINTO, 2006).

Figura 03 – Diagrama conceitual das relações e abrangência da legislação sobre potabilidade da água.



Fonte: PINTO, 2006.

É importante lembrar que a Portaria 518/2004, publicada em 25 de março de 2004, previa que a Secretaria de Vigilância em Saúde deveria promover a revisão das Normas de Qualidade da Água para Consumo Humano no prazo de cinco anos ou a qualquer tempo, ou seja, o prazo máximo seria até março de 2009 (HELLER *et al.*, 2005). Este processo de revisão ocorreu após o prazo previsto, e alguns detalhes estão indicados no item subsequente.

Como consequência do processo evolutivo, foi desenvolvido pelo Ministério da Saúde o Sistema de Informação em Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA), objetivando produzir, analisar e disseminar dados sobre a qualidade da água para consumo humano. O SISAGUA é um instrumento importante para a tomada de decisão no processo de promoção e prevenção de doenças de transmissão hídrica, sendo gerenciado pela Coordenação de Vigilância Ambiental em Saúde e aplicado pelas Secretarias Municipais e Estaduais de Saúde, em cumprimento à Portaria MS nº. 518/2004. Sua estruturação visa fornecer informações sobre a qualidade e a quantidade da água proveniente

dos sistemas e fornecer soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento de água (BEZERRA *et al.*, 2005).

A utilização do SISAGUA ocorre mediante cadastramento dos usuários e liberação de senha, com acesso restrito, em função dos níveis municipal, estadual e federal. A implantação do sistema foi concebida, inicialmente, como projeto piloto em cinco estados da federação, o qual foi avaliado e validado. Esse sistema, quando bem operado, permite aos gestores do setor saúde desencadear as ações de vigilância, com vistas a contribuir na redução dos índices da morbimortalidade das doenças de transmissão hídrica (BEZERRA *et al.*, 2005).

2.3.2 Regulamentação

As normas sobre a água para consumo podem diferir, em sua natureza e forma, de uns países ou regiões para outros. Não há um método único de aplicação de forma universal. Na elaboração e na aplicação de normas, é fundamental ter em consideração as leis vigentes e no projeto relativo à água, a saúde e o governo local, assim como, deve-se avaliar a capacidade de desenvolver e aplicar regulamentos de cada país. Os métodos que podem funcionar em um país ou região não necessariamente poderão transferir-se a outros países ou regiões. Para desenvolver um marco regulamentar, é fundamental que cada país examine suas necessidades e capacidades (OMS, 2006).

Para compreender a situação de abastecimento da água para consumo no âmbito nacional, a autoridade nacional de saúde pública deve elaborar informes periódicos que descrevam a qualidade da água em nível nacional e que destaque as preocupações e prioridades em matéria de saúde pública no contexto das prioridades gerais de saúde pública. Para isso, é preciso um intercâmbio eficaz de informação entre os organismos locais, regionais e nacionais (WHO, 2005). Por exemplo, no Brasil, o SISAGUA, anteriormente citado, fornece relatórios mensais com este propósito.

O princípio básico norteador da última atualização da legislação brasileira de potabilidade foi de que esta deveria constituir um instrumento efetivo de proteção à saúde, tendo, portanto, como premissas básicas (BASTOS *et al.*, 2001):

- Universalidade de aplicação, abrangendo as diversas formas e situações de abastecimento coletivo de água;
- Funcionalidade, definindo atribuições e responsabilidades das diversas instituições envolvidas no Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (CVQACH), de forma harmônica e integrada;
- Atualidade, incorporando o que havia de mais recente no conhecimento científico;
- Aceitação, compatibilizando as diversas visões das instituições envolvidas no CVQACH, sem prejuízo da visão maior de proteção à saúde;
- Aplicabilidade, adequando a legislação à realidade nacional;
- Função de fomento às boas práticas além de instrumento normalizador, fiscalizador e punitivo;
- Equidade, assegurando direitos dos consumidores.

Além das premissas citadas, um princípio extremamente importante norteou a elaboração da legislação brasileira de qualidade da água para consumo humano, bem como seu processo evolutivo: *“a adoção de limites de presença de substâncias e organismos potencialmente nocivos à saúde humana na água consumida, embora necessária, não é suficiente para garantir a desejável proteção à saúde”* (PINTO, 2006).

Porém, “o desconhecimento da qualidade da água bruta pode conduzir a muitos erros de projeto em estações de tratamento”. Além disso, “os custos e riscos envolvidos no tratamento de águas muito contaminadas podem ser extremamente elevados” (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A título de normatização com relação à água bruta, pode-se citar a Resolução 357, de 17 de março de 2005, que classifica as águas doces (classes especial, I, II, III e IV), salobras e salinas do Brasil, estabelecendo os valores

máximos dos parâmetros de qualidade para cada classe e tornando obrigatória a determinação de parâmetros de qualidade, incluindo compostos orgânicos complexos. Em seu artigo 4º, indica-se a classificação das águas doces:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- e) a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) a aquicultura e a atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) a pesca amadora;
- d) a recreação de contato secundário; e
- e) a dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) a navegação; e
- b) a harmonia paisagística.

Ressalta-se que a determinação dos parâmetros é, muitas vezes, inexecutável em algumas regiões do país, devido à falta de recursos humanos,

materiais e financeiros dos órgãos federais, estaduais e municipais. O cumprimento dessa resolução é bastante recomendado, “pois somente com o conhecimento das características da água destinada ao abastecimento público é que se pode selecionar apropriadamente as possíveis tecnologias de tratamento que garantam a produção de água” cumprindo a portaria de potabilidade (MS Nº 518/2004) (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A Tabela 04 apresenta os principais parâmetros microbiológicos de qualidade da água para o consumo humano da Portaria MS nº 518/2004.

Tabela 04 – Parâmetros microbiológicos de qualidade da água para o consumo humano, conforme Portaria MS 518/2004.

Parâmetro	Valor Máximo Permitido (VMP)
Água para consumo humano <i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100mL
Água na saída do tratamento Coliformes totais	Ausência em 100mL
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede) <i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100mL
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: ausência em 100mL em 95% das amostras examinadas no mês; Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 mL

Fonte: BRASIL, 2004.

Complementando os indicadores microbiológicos, o padrão de turbidez também deve ser observado, conforme definido na Tabela 05:

Tabela 05 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, conforme Portaria MS 518/2004.

Tratamento da água	VMP
Desinfecção (água subterrânea)	1 UT ¹ em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1 UT
Filtração lenta	2 UT em 95% das amostras

¹ Unidade de Turbidez
Fonte: BRASIL, 2004.

Além disso, Tsutiya (2006) ilustra as seguintes recomendações em resumo constantes na Portaria:

- Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede;
- A cloração deve ser realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos;
- O pH da água deve ser mantido na faixa de 6,0 a 9,5;
- O teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema, deve ser de 2 mg/L;
- Devem ser realizados testes de detecção de odor e gosto em amostras de água coletas na saída do tratamento e na rede de distribuição.

Pádua (2009) afirma que, mesmo antecedendo a terceira edição dos Guias da OMS, em essência, muito dos fundamentos dos PSA podem ser encontrados no inciso terceiro do artigo 9º da Portaria MS Nº 518/2004, a saber:

Ao(s) responsável(is) pela operação do sistema de abastecimento de água incumbe: [...] manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída; (BRASIL, 2004, p.5).

Desta maneira, pode ser percebida uma antecipação na abordagem preventiva de efetivação de múltiplas barreiras, da promoção das boas práticas e de permanente avaliação de riscos em todos os componentes do SAA, que são exatamente os princípios inerentes aos PSA (PÁDUA, 2009).

2.3.3 Revisão da Portaria

Os guias para a qualidade da água para consumo humano da Organização Mundial da Saúde (*Guidelines for Drinking-water Quality - GDWQ*) têm sido a principal referência mundial para orientar os padrões e as legislações nacionais relativos à qualidade da água para consumo humano. Particularmente no Brasil, os guias têm exercido grande influência na periódica elaboração e atualização da legislação específica (HELLER *et al.*, 2005).

O processo de revisão da Portaria MS n.º 518/2004 que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências, foi iniciado em julho de 2009, o qual foi coordenado pelo Ministério da Saúde e teve a participação de Grupo de Trabalho (GT) e três subgrupos de especialistas. Esse processo atende ao artigo 4º da portaria, que determina sua revisão em um prazo máximo de cinco anos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

O GT foi criado em junho de 2009 pelo Ministro da Saúde no período, José Gomes Temporão, e conta com a participação de representantes do Ministério das Cidades, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), da Agência Nacional de Águas (ANA), da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), da Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (Aesbe), da Associação Brasileira das Concessionárias Privadas dos Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON), do Conass, do Conassem, do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH), do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), do Conselho das Cidades e da Consultoria Jurídica do Ministério da Saúde (Conjur) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

A Coordenação Geral de Vigilância Ambiental (CGVAM) do Ministério da Saúde contratou também instituições, especialistas e pesquisadores para a realização de estudos científicos para subsidiar as possíveis alterações no texto, pois são mais de 80 parâmetros de potabilidade e, para cada um, foram criados subgrupos de trabalho (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

O processo de revisão objetivou ser participativo e democrático. A sociedade civil podia enviar sugestões para o grupo de trabalho por meio de site específico como também por e-mail. Foi aberto inclusive um processo de consulta pública para revisão da Portaria MS nº 518/2004, cujas contribuições puderam ser enviadas até o dia 30 de novembro de 2010, por meio de endereço eletrônico disponibilizado para esse fim.

Este mecanismo tem sido o instrumento legal mais utilizado na legislação brasileira, como forma de atender a preceitos legais. O objetivo da consulta pública foi receber contribuições para concluir o processo de revisão, bem como, contribuir para a transparência e participação da sociedade e auxiliar o Ministério da Saúde na elaboração do texto final da Portaria, garantindo a participação da sociedade civil neste processo.

A nova Portaria nº 2.914/2011 foi publicada no dia 14 de dezembro de 2011, dispondo sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, bem como, revogando a Portaria 518/2004, em seu Art. 53.

Nesse contexto, merece um destaque especial o que está disposto no Art. 13 (BRASIL, 2011):

Art. 13. Compete ao responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano:

I - exercer o controle da qualidade da água;

II - garantir a operação e a manutenção das instalações destinadas ao abastecimento de água potável em conformidade com as normas técnicas

da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e das demais normas pertinentes;

III - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, nos termos desta Portaria, por meio de:

- a) controle operacional do(s) ponto(s) de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição, quando aplicável;
- b) exigência, junto aos fornecedores, do laudo de atendimento dos requisitos de saúde estabelecidos em norma técnica da ABNT para o controle de qualidade dos produtos químicos utilizados no tratamento de água;
- c) exigência, junto aos fornecedores, do laudo de inocuidade dos materiais utilizados na produção e distribuição que tenham contato com a água;
- d) capacitação e atualização técnica de todos os profissionais que atuam de forma direta no fornecimento e controle da qualidade da água para consumo humano; e
- e) análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes dos sistemas e das soluções alternativas coletivas, conforme plano de amostragem estabelecido nesta Portaria;

IV - manter avaliação sistemática do sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base nos seguintes critérios:

- a) ocupação da bacia contribuinte ao manancial;
- b) histórico das características das águas;
- c) características físicas do sistema;
- d) práticas operacionais; e
- e) na qualidade da água distribuída, conforme os princípios dos Planos de Segurança da Água (PSA) recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) ou definidos em diretrizes vigentes no País;

[...]

IX - contribuir com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, por meio de ações cabíveis para proteção do(s) manancial(ais) de abastecimento(s) e das bacia(s) hidrográfica(s);

X - proporcionar mecanismos para recebimento de reclamações e manter registros atualizados sobre a qualidade da água distribuída, sistematizando-os de forma compreensível aos consumidores e disponibilizando-os para pronto acesso e consulta pública, em atendimento às legislações específicas de defesa do consumidor;

XI - comunicar imediatamente à autoridade de saúde pública municipal e informar adequadamente à população a detecção de qualquer risco à saúde, ocasionado por anomalia operacional no sistema e solução

alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano ou por não conformidade na qualidade da água tratada, adotando-se as medidas previstas no art. 44 desta Portaria; e

XII - assegurar pontos de coleta de água na saída de tratamento e na rede de distribuição, para o controle e a vigilância da qualidade da água. (grifo nosso)

A Tabela 06 apresenta o padrão microbiológico da água para o consumo humano da Portaria MS nº 2.914/2011:

Tabela 06 – Padrão microbiológico da água para consumo humano, conforme Portaria MS 2.914/2011.

Tipo de Água	Parâmetro	VMP⁽¹⁾
Água para consumo humano	<i>Escherichia coli</i> ⁽²⁾	Ausência em 100mL
Água tratada Na saída do tratamento	Coliformes totais ⁽³⁾	Ausência em 100mL
Água tratada No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	<i>Escherichia coli</i>	Ausência em 100mL
	Coliformes totais ⁽⁴⁾	- Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes: Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo; - Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes: Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês

NOTAS: (1) Valor máximo permitido.

(2) Indicador de contaminação fecal.

(3) Indicador de eficiência de tratamento.

(4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2011.

Complementando, tem-se o padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção que também deve ser observado, conforme definido na Tabela 07:

Tabela 07 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, conforme Portaria MS 2.914/2011.

Tratamento da água	VMP⁽¹⁾
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 uT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 ⁽³⁾ uT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 ⁽³⁾ uT ⁽²⁾ em 95% das amostras

NOTAS: (1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade de Turbidez.

(3) Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º do art. 30 (ou seja, atingidos conforme as metas progressivas definidas no Anexo III à Portaria).

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2011.

Ademais, ressalta-se ainda a Portaria Nº 177, de 21 de março de 2011, da FUNASA, que estabelece as diretrizes, competências e atribuições do Programa Nacional de Apoio ao Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano e, em seu Art. 10, indica que esse Programa Nacional tem elencada entre suas ações estratégicas e prioritárias: “VII - apoiar tecnicamente os prestadores de serviços na implementação dos Planos de Segurança da Água - PSA, conforme os princípios recomendados pela Organização Mundial de Saúde – OMS ou diretriz vigente” (FUNASA, 2011).

Tudo isso mostra o fortalecimento do PSA como uma ferramenta importante, bem como, a tendência da sua utilização como instrumento a ser adotado e regulamentado nos próximos anos, não somente no Brasil.

2.3.4 Monitoramento operacional da qualidade da água

A água distribuída às populações deve, sempre que possível, atender às duas classes de padrões: padrões de natureza estética e econômica; e, padrões de natureza sanitária. Obviamente que, havendo necessidade de opção, a última tem um grau de preocupação maior (VIANNA, 2002).

A inobservância dos padrões de natureza estética e econômica normalmente não constitui, em si só, causa de malefícios à saúde, mas pode levar à

rejeição da água por parte da população servida, que pode buscar uma água de pior qualidade sanitária, além de prejudicar as instalações de água potável e a qualidade dos serviços. Dentre as características limitadas por esses padrões incluem-se: cor, turbidez, ferro, manganês, alcalinidade, dureza, pH, cloretos, sulfatos, cloro residual e flúor. Ressalta-se que alguns destes quando em concentrações elevadas podem se enquadrar em outros padrões (VIANNA, 2002).

Os padrões de natureza sanitária constituem os itens da maioria dos padrões de potabilidade e essa quantidade tende a aumentar cada vez mais, tendo em vista a evolução das técnicas laboratoriais e o número e volume crescentes de poluentes lançados no meio ambiente.

O monitoramento operacional, apresentado nos Guias como etapa integrante do PSA, tem o objetivo de avaliar a eficácia das medidas de controle, em uma periodicidade adequada. Permite, portanto, a vigilância em tempo oportuno de cada medida de controle pelo prestador de serviço de água potável para permitir uma gestão eficaz do sistema e garantir que sejam alcançadas as metas de proteção à saúde (OMS, 2006).

Os parâmetros selecionados para o monitoramento operacional devem refletir a eficácia de cada medida de controle, proporcionar uma indicação oportuna de funcionamento, ser facilmente mensuráveis e permitir que possa ser adotada uma resposta adequada. São exemplos de tais parâmetros variáveis mensuráveis como o resíduo de cloro, o pH e a turbidez, ou ainda fatores observáveis, como a integridades das grades que impedem a entrada de animais. A utilização de patógenos entéricos e das bactérias indicadoras para esta etapa é limitada, pois a duração do processo e análise das amostras de água não permitem realizar ajustes das operações antes que a mesma seja distribuída (AINSWORTH, 2004).

Para o monitoramento operacional, diversos parâmetros são propostos para cada etapa de um SAA pela OMS (2006), como por exemplo, os que estão ilustrados na Tabela 08:

Tabela 08 – Parâmetros para monitoramento operacional.

Etapa	Parâmetros	Observação
Água bruta	Turbidez, absorvância de UV, proliferação de algas, vazão e tempo de retenção, cor, condutividade, eventos meteorológicos locais.	-
Tratamento	Concentração e tempo de contato do desinfetante, intensidade de radiação UV, pH, absorvância da luz, integridade das membranas, turbidez e cor.	-
Redes de distribuição	Monitoramento do cloro residual	Proporciona rápida indicação da existência de problemas que determinará a medição de parâmetros. A diminuição repentina do residual que normalmente é estável pode indicar a entrada de contaminantes. A dificuldade para manter as concentrações residuais em determinados pontos de uma rede de distribuição ou sua diminuição gradual pode indicar a existência de uma elevada demanda de oxigênio na água ou na tubulação devida à proliferação de bactérias.
	Potencial redox (oxidação-redução)	Monitoramento da eficácia da desinfecção. Pode-se definir um potencial redox mínimo para garantir uma desinfecção eficaz. Este valor deve ser determinado caso a caso e não podem ser tomados valores universais.
	Presença ou ausência de bactérias indicadoras de contaminação fecal	Como existem agentes patógenos que são mais resistentes à desinfecção com cloro que os indicadores utilizados com maior frequência (<i>E. coli</i> ou termotolerantes), em determinadas circunstâncias pode ser mais oportuno utilizar a presença de bactérias indicadoras de contaminação fecal mais resistentes (enterococos intestinais), esporas de <i>Clostridium perfringens</i> ou colifagos.
	Presença de bactérias heterótrofas	Pode ser um indicador útil de alterações como o aumento do potencial de proliferação microbiana, aumento da formação de biopelículas, aumento dos tempos de retenção ou estancamento ou interrupção da integridade do sistema. Pode refletir a presença de grandes superfícies de contato no tratamento, como filtros em série, e pode ser um indicador direto do estado do sistema de distribuição e seu conjunto.
	Pressão e turbidez	-

Fonte³: Adaptado de OMS, 2006.

³ Tabela criada pela autora com informações obtidas do documento citado.

Para aplicar medidas de controle é preciso contar com limites definidos de aceitabilidade da eficácia das operações, denominados “limites operacionais”, que podem ser aplicados aos parâmetros de monitoramento operacional, para os quais deverão ser aplicadas medidas corretivas caso haja superação dos mesmos. Para algumas medidas de controle, pode-se definir uma segunda série de “limites críticos” indicadores, que em caso de serem superados, já não se pode mais confiar na inocuidade da água e cuja superação exigiria adoção de medidas urgentes, inclusive com notificação imediata à autoridade de saúde (OMS, 2006).

2.4 Gestão de Qualidade e de Riscos

2.4.1 Definição

A qualidade é uma vantagem competitiva que diferencia uma empresa de outra, pois os consumidores estão cada vez mais exigentes em relação à sua expectativa no momento de adquirir um determinado produto. Logo, as empresas que não estão preocupadas com esta busca pela qualidade já estão ficando à margem do mercado consumidor (FIGUEIREDO; COSTA NETO, 2001).

Nos conceitos de gestão, qualidade pode ser considerada como um conjunto de propriedades e características de um produto ou serviço que possui aptidão para satisfazer necessidades expressas ou implícitas. Outro conceito pertinente corresponde ao grau em que o produto cumpre com as especificações técnicas estabelecidas quando foi projetado. Desta maneira, qualidade implica em ter conhecimento das necessidades, presença de um modelo de referência com que se comparar a realidade e, a partir desta, o alcance da satisfação das necessidades e expectativas do cliente (OLIVER, 2005).

Dentro do conceito de qualidade alguns atributos característicos de empresas ou serviços podem ser definidos como valoráveis para um cliente como: a efetividade, a eficiência, a adequação, a qualidade técnico-científica, a satisfação, a continuidade, a capacidade de resposta, a flexibilidade, a aceitabilidade, a participação, a ética, a credibilidade, a segurança e a confiança. A partir de uma

análise, Zeithaml *et al.* (1993) reduziram estes atributos a cinco considerados como fundamentais, com grande capacidade de influência na satisfação dos clientes: alcance das estruturas de prestação de serviços, confiabilidade, resposta, segurança e empatia.

A implantação de gestão de qualidade ou ambiental utiliza um instrumento que merece destaque neste momento porque seu conceito torna-se abrangente e sua metodologia aplicada independente do tipo de gestão a ser implantada. Trata-se do conceito de auditoria que se define como:

“[...] exame e/ou avaliação independente, relacionada a um determinado assunto, realizada por um especialista no objeto exame, que faça uso de julgamento profissional e comunique o resultado aos interessados (clientes). Pode ser restrita aos resultados de um dado domínio, ou mais ampla, abrangendo os aspectos operacionais, de decisão e de controle.” (BRITTO, 2007, p. 22)

Mas, é muito importante ressaltar que a auditoria não deve ser confundida com uma avaliação ou fiscalização. Pois, a independência entre os auditores e o setor auditado faz exigir um conhecimento de método e aplicação para que o resultado esperado seja obtido com um grau de percepção suficientemente acurado (BRITTO, 2007).

2.4.2 Normativos aplicados

O PSA traz conceitualmente um forte traço de qualidade e gestão de riscos. Nestes conceitos, é importante elencar as séries ISO, desde a 9000, que trabalha efetivamente a qualidade do produto e a satisfação do cliente, a 14000, cuja proposta de revisão encontra-se abordada na ISO 19011, além da 31000, que aborda a área mais específica de gestão de riscos. Este histórico traz inclusive um entendimento evolutivo na área de gestão (qualidade, ambiental, de riscos). Mas, alguns especialistas possuem algumas preocupações no sentido de tratar a água para consumo como um produto, já que o foco principal do PSA deve ser o alcance

da qualidade da água para garantia da saúde pública e, não somente, satisfação do cliente. Isto pode ser observado na publicação de HAMILTON (2006).

2.4.2.1 ISO 9000

As normas de sistema de gestão fornecem à organização um modelo a ser seguido para preparar e operar seu sistema de gestão, incorporando características que especialistas julgaram pertinentes (MELLO *et al.*, 2009).

A série ISO 9000 corresponde a um conjunto de normas e diretrizes internacionais para sistemas de gestão da qualidade. Sendo sistema de gestão tudo o que a organização faz para gerenciar seus processos ou atividades. Salienta-se que tanto a norma ISO 9000 como a 14000, são consideradas como normas genéricas de sistemas de gestão, pois a maioria de normas ISO refere-se a algum produto, material ou processo particular ou específico (MELLO *et al.*, 2009).

Após revisão pelo comitê técnico TC 176 da ISO (*International Organization for Standardization*), foi lançada a versão de 2008 que corrigiu alguns termos e tentou esclarecer o sentido da descrição de alguns requisitos, mas mantendo as quatro normas primárias de 2000, que estão listadas e caracterizadas resumidamente abaixo (MELLO *et al.*, 2009):

- ISO 9000 (Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário): descreve os fundamentos subjacentes, através de uma abordagem lógica e sistemática na formulação das definições, com a intenção de gerar uma terminologia amigável ao usuário;
- ISO 9001 (Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos): especifica os requisitos para um sistema de gestão da qualidade que podem ser utilizados para aplicação interna pelas organizações, seja para certificação ou para fins contratuais, com foco na eficácia do sistema em atender aos requisitos do cliente. Requer que a organização planeje e gerencie os processos necessários para a melhoria contínua do seu sistema de gestão;

- ISO 9004 (Sistemas de gestão da qualidade – Diretrizes para melhoria do desempenho): fornece orientação necessária para que qualquer organização em um ambiente complexo, exigente e de constante mudança, alcance o sucesso sustentado. Contempla as necessidades e expectativas de todas as partes interessadas e sua satisfação, através da melhoria contínua e sistemática do desempenho da organização. Possui um foco mais amplo que a ISO 9001, mas não se destina ao uso para certificação, regulamentar ou contratual. Fornece informação que será útil para ir além, no que se refere à melhoria da eficiência das operações;
- ISO 19011 (Diretrizes para auditoria de sistemas de gestão da qualidade e/ou ambiental): revisão das normas ISO 10011, partes 1, 2 e 3, e das normas 14010, 14011 e 14012, servindo como diretriz para auditorias de gestão da qualidade e/ou ambiental.

A certificação ISO 9000 verifica se uma empresa, produto ou serviço cumpre com os requisitos de uma norma ou especificação técnica concreta, com uma validade específica e é emitida por um organismo certificador reconhecido internacionalmente. Possui incumbência ainda de dar soluções a situações repetitivas e sistemáticas, e consiste na elaboração, difusão e aplicação de normas padronizadas (OLIVER, 2005).

O modelo ISO é focado na garantia da qualidade e toma como ponto de partida, para o projeto e a elaboração do serviço, as demandas do consumidor. Baseia-se em um modelo de organização por processos e se sustenta na documentação de todas as ações realizadas em uma organização dirigidas para elaboração de um produto ou serviço determinado, e está constituído por uma estrutura que inclui quatro requisitos: responsabilidade da direção, gestão dos recursos, realização do produto ou serviço, e medida, análise e melhoria (OLIVER, 2005).

A maioria dos usuários obtém logo benefícios mensuráveis no processo de desdobramento dos requisitos da norma em suas operações. Esses benefícios iniciais são geralmente devidos a melhorias na organização e na

comunicação interna. Os benefícios devem ser reforçados por meio de auditoria interna eficaz e análise crítica pela direção do desempenho do sistema. [...] A melhoria contínua é um processo de aumento da eficiência da organização para cumprir a política e os objetivos da qualidade (MELLO *et al.*, 2009, p. 4).

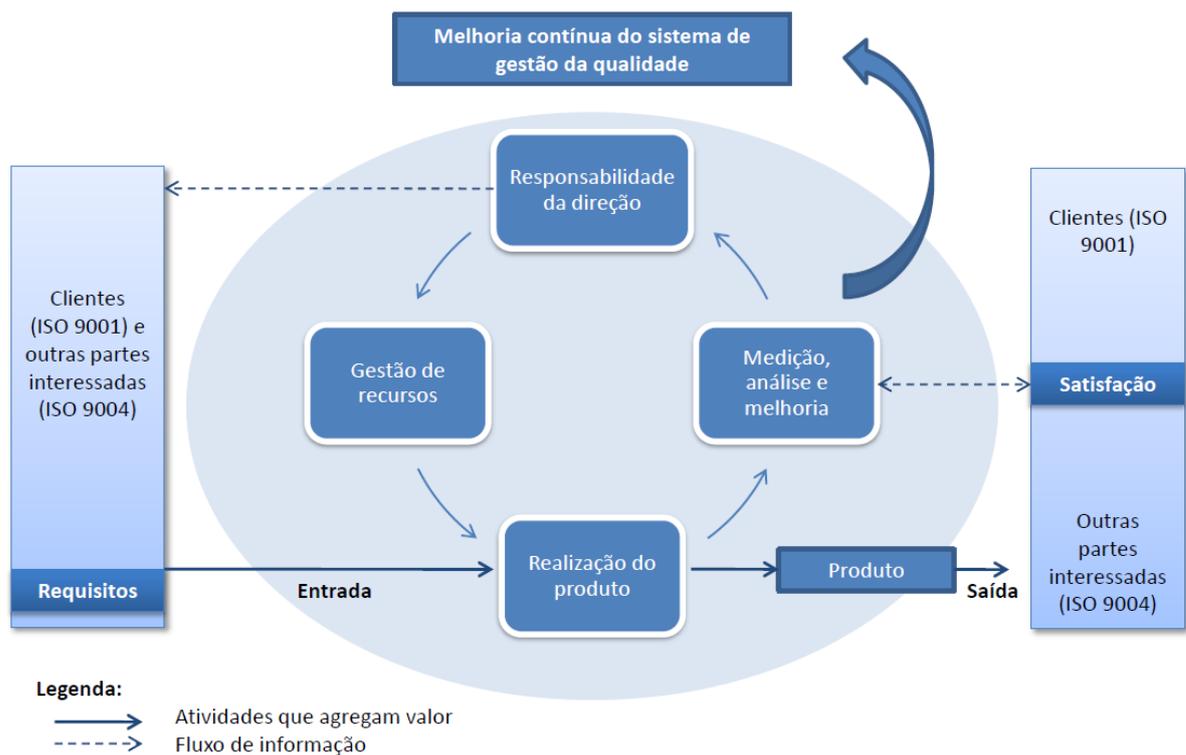
Mello *et al.* (2009) ilustram os oito princípios da qualidade que a norma ISO 9000 possui e apresenta-se aqui um resumo de cada um deles:

- Foco no cliente: as organizações dependem dos seus clientes, logo, recomenda-se que suas necessidades atuais e futuras sejam atendidas, procurando exceder suas expectativas;
- Liderança: os líderes é que são capazes de criar e manter um ambiente interno no qual as pessoas envolvidas tenham o propósito de atingir os objetivos determinados, a partir do estabelecimento da unidade de propósitos e do rumo da organização;
- Envolvimento das pessoas: a essência da organização é formada a partir de pessoas de todos os níveis e o envolvimento total destas possibilita que as habilidades pessoais sejam usadas para o benefício da organização;
- Abordagem do processo: quando as atividades e os recursos são gerenciados como um processo alcança-se o resultado desejado com maior eficiência;
- Abordagem sistêmica para a gestão: identificar, compreender e gerenciar os processos interrelacionados como um sistema contribui para que organização possua eficiência e eficácia no atendimento dos seus objetivos;
- Melhoria contínua: deve ser vista como objetivo permanente da organização, com foco no desempenho global da mesma;
- Abordagem factual para a tomada de decisão: decisões mais eficazes devem ser tomadas a partir da análise de dados e informações substanciadas;
- Benefícios mútuos nas relações com os fornecedores: considerando a interdependência existente entre uma organização e os seus

fornecedores, uma relação de benefícios mútuos gera capacidade de agregar valor para ambos.

De maneira geral, as organizações devem desenvolver seus processos visando satisfazer às necessidades de todas as suas partes interessadas: colaboradores, clientes, acionistas e comunidade. E, por sua vez, essas necessidades traduzem-se nas cinco dimensões da qualidade total: qualidade intrínseca, entrega, custo, moral e segurança. Para obter esse alcance trabalha-se com o conceito de abordagem de processo, para que possam ser identificados e gerenciados os processos interrelacionados e interativos, conforme ilustrado na Figura 04.

Figura 04 – Modelo de abordagem de processos.



Fonte: Adaptado de MELLO *et al.*, 2009, p. 36.

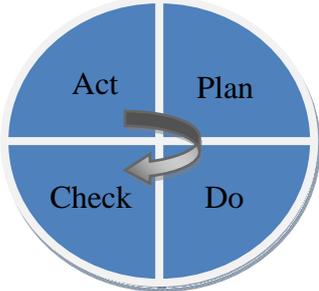
O Ciclo PDCA tem como objetivo exercer o controle dos processos, podendo ser usado de forma contínua para seu gerenciamento em uma organização, por meio do estabelecimento de uma diretriz de controle (planejamento

da qualidade), do monitoramento do nível de controle a partir de padrões e da manutenção da diretriz atualizada, resguardando as necessidades do público alvo.

Também conhecido como Ciclo de Shewhart, Ciclo da Qualidade ou Ciclo de Deming, é uma metodologia que tem como função básica o auxílio no diagnóstico, análise e prognóstico de problemas organizacionais, sendo extremamente útil para a solução de problemas (PACHECO *et al.*, 2007).

Essa abordagem utiliza os princípios do Ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), também indicado na Figura 05 (MELLO *et al.*, 2009).

Figura 05 – O Ciclo PDCA.

	Plan: Planejar	Estabelecer os objetivos e processos necessários para alcançar os resultados de acordo com os requisitos dos clientes e com as políticas da organização.
	Do: Executar	Implementar os processos.
	Check: Verificar	Monitorar e medir os processos e produtos em relação às políticas, objetivos e requisitos para o produto e registrar os resultados.
	Act: Atuar corretivamente	Tomar ações para continuamente melhorar o desempenho do processo.

Fonte: Adaptado de MELLO *et al.*, 2009, p. 38.

2.4.2.2 ISO 31000

A ISO 31000:2009 é uma norma geral de Gestão de Riscos, que independe da área ou segmento de atuação. Fornece diretrizes e princípios para a implementação eficaz da Gestão de Riscos (DE CICCIO, 2009).

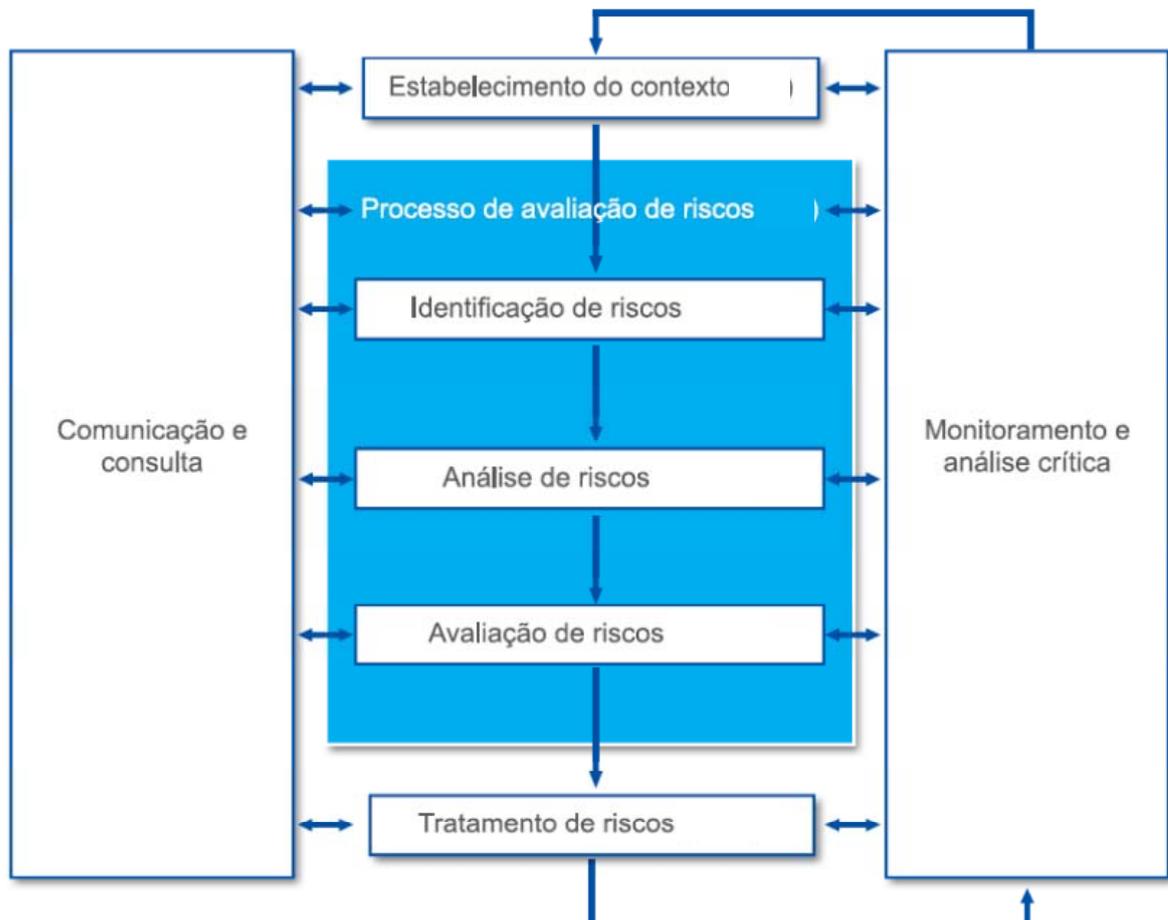
No Brasil, foi lançada em 30 de novembro de 2009, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), intitulada NBR ISO 31000 - Gestão de Riscos, Princípios e Diretrizes. Especialistas da área a tem considerado uma boa referência para quem quer começar a implantar um processo de Gestão de Riscos. Não tem finalidade de certificação, porém é uma ferramenta que pode trazer maiores

diferenciais competitivos para as empresas que utilizarem os seus conceitos (TOTAL QUALIDADE, 2010).

O processo de gestão de riscos pode ser aplicado a decisões em todas as organizações, em todos os níveis, bem como a uma atividade ou função específica. Deve ser aplicado durante a etapa de planejamento e a tomada de decisões sobre importantes questões, como: mudanças de política, introdução de novas estratégias ou procedimentos, gerenciamento de projetos, entre outros (DE CICCIO, 2009).

O processo de gestão de riscos encontra-se representado na Figura 06, que ilustra todas as etapas inerentes ao mesmo. Destaca-se a parte em azul que aborda a avaliação de riscos propriamente dita.

Figura 06 – Processo de gestão de riscos.



Fonte: BRASILIANO, 2009, p. 9.

A gestão de riscos pode ser aplicada sob uma variedade de ações, tais como: planejamento estratégico, operacional e de negócios; gestão de ativos e planejamento de recursos; interrupção e continuidade de negócios; mudança organizacional, tecnológica ou política; projeto e responsabilidade pelo produto; responsabilidade civil de diretores e gerentes; desenvolvimento de políticas públicas; questões ambientais; questões relativas à ética, fraude, segurança patrimonial e probidade; alocação de recursos; risco público e responsabilidade civil geral; estudos de viabilidade; conformidade; saúde e segurança; operações e sistemas de manutenção; gestão de projetos; e, gestão de compras e contratos (DE CICCIO, 2009).

A gestão de riscos não é somente uma tarefa técnica, mas também um conjunto de ações e decisões que acontecem em um contexto social. A comunicação e a consulta são partes integrantes do processo de gestão de riscos e devem sempre ser consideradas de maneira explícita. A gestão de riscos será aprimorada através do entendimento das perspectivas de cada uma das partes interessadas e, quando possível, através de sua participação ativa na tomada de decisões (DE CICCIO, 2009).

”Genericamente o processo estruturado sugerido possui sete fases claramente identificadas, sendo um processo retroalimentativo. Ou seja, segue os princípios do ciclo da qualidade, PDCA - Plan – Do – Check – Action.” (BRASILIANO, 2009, p. 9.)

A etapa de comunicação engloba um processo interativo de troca de informações e opiniões, a partir de múltiplas mensagens sobre a natureza dos riscos e a gestão dos mesmos. Já a consulta consiste em um processo de comunicação informativa entre a organização (responsável pelo processo) e as partes interessadas, seja para ser definido um posicionamento em relação a uma questão específica, seja para uma tomada de decisão. Esta etapa pode trazer alguns benefícios, como (DE CICCIO, 2009):

- Garantir uma gestão de riscos explícita e pertinente;
- Obter valor agregado à organização;
- Integrar múltiplas perspectivas;

- Gerar confiança;
- Melhorar o processo de avaliação de riscos; e,
- Tratar os riscos com maior eficácia.

O estabelecimento do contexto engloba o entendimento histórico da organização ou do processo e de seus riscos, a partir da definição do escopo das atividades de gestão de riscos que estão sendo realizadas e do desenvolvimento de uma estrutura para as tarefas de gestão de riscos subsequentes. Visa dar uma visão abrangente de todos os fatores que podem influenciar a capacidade da organização ou do processo de atingir seus resultados esperados. O resultado esperado desta etapa é a relação dos objetivos e critérios necessários para o alcance do êxito, os objetivos e o escopo da gestão de riscos, bem como, os elementos-chave componentes da atividade (DE CICCIO, 2009).

Segundo De Cicco (2009), o processo de avaliação de riscos envolve três etapas:

- Identificação de riscos: desenvolvimento de uma lista abrangente de fontes de riscos e eventos que podem ter um impacto na consecução de cada objetivo (ou elemento-chave) identificado no contexto;
- Análise de riscos: entendimento do nível de risco e de sua natureza, através da combinação das consequências e da probabilidade;
- Avaliação dos riscos: engloba a compreensão dos riscos, e até mesmo reavaliação dos critérios definidos anteriormente, para a tomada de decisões sobre as futuras ações (ex.: se um risco necessita de tratamento; se uma atividade deve ser realizada; e, as prioridades do tratamento).

A fase de Tratamento de Riscos envolve um processo cíclico composto por (BRASILIANO, 2009):

- Avaliação do tratamento já realizado;
- Decisão se os níveis de risco residual são toleráveis;
- Definição e implementação de um novo tratamento, caso não sejam toleráveis;

- Avaliação e eficácia do tratamento.

E, com relação às opções de tratamento, Brasiliano (2009) afirma que são universais, tais como:

- Ação de evitar o risco;
- Tomada ou aumento do risco (caso o risco seja positivo);
- Remoção da fonte de riscos;
- Alteração da probabilidade;
- Alteração das consequências;
- Compartilhamento do risco; e,
- Retenção do risco por uma decisão consistente e bem embasada.

A última etapa, monitoramento e análise crítica, é parte integrante e essencial da gestão dos riscos, podendo ser considerada uma das mais importantes. Pois, o monitoramento proporciona o acompanhamento de rotina do desempenho real, para comparar com o esperado ou requerido. E, a análise crítica corresponde à investigação periódica da situação atual, geralmente, com um enfoque específico (DE CICCO, 2009).

Além das etapas, fazem-se necessários os registros do processo de gestão de riscos de forma adequada. Apesar de auditorias independentes poderem solicitar padrões específicos de documentação, de uma maneira geral a documentação pode contemplar: declaração de conformidade e diligência; cadastro de riscos; plano de ação e programação do tratamento de riscos; documentos de monitoramento e auditoria; base de dados de incidentes e acidentes; e, plano de gestão de riscos (DE CICCO, 2009).

Ressalta-se que as etapas pertinentes à avaliação de riscos são semelhantes às utilizadas em implantação de Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Logo, os conceitos abordados são os mesmos, mas o foco principal torna-se o risco e os eventos perigosos e, a partir destes, são estabelecidas as demais premissas de gestão.

2.4.3 Aplicação em SAA

A área relacionada ao abastecimento da água para consumo humano tem incorporado recentemente conceitos e ferramentas já adotados há algum tempo em outros setores produtivos, como alternativa ou complementação da abordagem centrada na avaliação do produto final, a partir do entendimento da utilização de ferramentas de avaliação e gerenciamento de risco e sua aplicação de modo abrangente e integrado, desde a captação até o consumo, como garantia da segurança da qualidade da água (PÁDUA, 2009).

Um serviço de prestação de abastecimento de água pode ser considerado como um de saúde pública, como organizações de serviços públicos, que realizam uma prestação de serviço como resposta a uma necessidade pública que deve ser satisfeita (OLIVER, 2005).

Para se desenvolver um processo de auditoria em unidades de saneamento, Britto (2007) indica que devem ser cumpridas as seguintes etapas:

- Entendimento pleno da unidade a ser auditada;
- Avaliação da unidade de forma semelhante a uma indústria;
- Conhecimentos dos produtos, subprodutos e matérias primas envolvidos no processo;
- Conhecimento de cada fase do processo de transformação que ocorre na instalação;
- Conhecimento dos processos mais utilizados para o fim a que se destina a instalação;
- Conhecimento do compromisso e do relacionamento da administração da unidade com o ambiente a sua volta, com a comunidade por ela atendida e com a comunidade do entorno;
- Conhecimento da questão da gestão ambiental da unidade, avaliando a situação organizacional desta em relação à empresa a que ela pertence e as decorrências destas situações em aspectos ambientais;
- Avaliação dos riscos ambientais e do tecnológico dos sistemas e das fases do processo da unidade.

Segundo Hamilton *et al.* (2006), um sistema de qualidade total em sistemas de abastecimento de água pode ser baseado em:

- Adoção de boas práticas e melhoria contínua;
- Controle de processos em tempo real, se possível (ex.: monitoramento contínuo de turbidez, cloro residual, e tempo de contato de desinfetante);
- Operação efetiva com múltiplas barreiras com robustez de tal forma que garanta a proteção da saúde pública;
- Estratégias preventivas e expectativas para identificar e gerenciar os riscos à saúde pública; e,
- Liderança efetiva.

No caso de um sistema de abastecimento de água, a auditoria deve começar na averiguação da adequabilidade das unidades, tanto no aspecto técnico como com relação aos custos de investimento. Desta maneira, deve-se iniciar pela captação, a partir da análise da disponibilidade de água da fonte de abastecimento, qualitativa e quantitativamente, visando o atendimento da população alvo (BRITTO, 2007).

Christodoulou; Deligianni (2010) apontam acerca da dificuldade sobre a importância de alguns componentes para garantir a sustentabilidade de um sistema de abastecimento de água como, por exemplo, a junção entre a análise de riscos e o gerenciamento e suporte a decisões, incorporando ainda uma análise financeira e parâmetros sociopolíticos, tendo em vista a influência dos consumidores na prestação de serviço adequada.

Para a etapa de adução, a auditoria deve verificar as conformidades do projeto com as reais necessidades da população beneficiada, e ainda a qualidade das tubulações, visando garantir os serviços sem interrupções prejudiciais à garantia da água às comunidades (BRITTO, 2007).

Já para a etapa de tratamento, indicam-se auditorias separadas para cada unidade existente (floculação, decantação, filtração e desinfecção), verificando

inclusive as conformidades entre cada etapa, para que não haja incompatibilidades que ocasionem diminuição na eficiência do processo. Para tal, deve contemplar adequabilidade dos projetos; obediência dos parâmetros pelos métodos construtivos; qualidade dos materiais e equipamentos empregados; qualidade e formas de uso e de estocagem dos produtos químicos empregados; alcance da eficiência projetada; instrumentos de controle dessa eficiência, entre outros (BRITTO, 2007).

Na reservação, deve-se atentar ao uso de tecnologia e materiais que não sofram desgaste com o tempo para evitar vazamentos e perda de sua capacidade. E, na distribuição, observa-se principalmente a verificação das conformidades das pressões de projeto com a realidade operacional (BRITTO, 2007).

2.4.4 Procedimentos de Gestão para SAA

A OMS (2006) indica que uma gestão de risco eficaz deve contemplar as seguintes ações: as medidas que deverão ser adotadas em resposta às variações que são produzidas em condições operacionais normais, as medidas que deverão ser adotadas caso haja “incidentes” específicos que poderiam ocasionar a perda do controle do sistema, e os procedimentos que devem ser aplicados em situações imprevistas ou de emergência. Os procedimentos de gestão deverão ser documentados, da mesma forma que a avaliação do sistema, os planos de monitoramento, os programas complementares e a estratégia de comunicação, que são necessários para garantir o funcionamento seguro do sistema.

A gestão de riscos em um plano de segurança requer mais do que uma identificação de riscos e seus pontos de controle críticos. Requer uma visão completa e integrada das vulnerabilidades do sistema desde a captação até o consumidor final (HAMILTON *et al.*, 2006).

Como parte de um PSA, devem ser definidos procedimentos de gestão para responder aos incidentes previsíveis, assim como os imprevisíveis e as

situações de emergência. As situações abaixo podem provocar incidentes (OMS, 2006):

- Não cumprimento dos critérios de monitoramento operacional;
- Mau funcionamento de uma estação de tratamento de águas residuais cujas descargas são feitas em locais fontes da água bruta;
- Derramamento de uma substância perigosa em locais fontes da água bruta;
- Corte do fornecimento elétrico para uma medida de controle fundamental;
- Pluviosidade extrema em uma bacia de captação;
- Detecção de uma turbidez mais alta que a habitual (na água bruta ou tratada);
- Sabor, odor ou aspectos anormais da água;
- Detecção de concentrações mais elevadas que o normal de microrganismos indicadores, como de contaminação fecal (na água bruta ou tratada) e patógenos (na água bruta); e,
- Valores anormais de indicadores de saúde pública ou surtos de enfermidades cujo vetor possível seja a água.

Os planos de resposta a incidentes podem contemplar diversos níveis de alerta e habitualmente compreendem (WHO, 2005):

- Responsabilidades e informação de contato de pessoal chave, às vezes até pessoas pertencentes a várias organizações;
- Lista de indicadores mensuráveis e valores ou estados limítrofes que desencadeariam os incidentes, e os níveis de alerta pertinentes;
- Uma descrição clara das medidas que devem ser adotadas em resposta aos alertas;
- Localização e identificação dos procedimentos normalizados de atuação (PNA) e equipamentos necessários;
- Localização de equipamentos de reserva;
- Informação logística e técnica de interesse; e,
- Listas de controle e guias de consulta rápida.

Os planos de resposta a incidentes ou situações de emergência devem ser revisados e ensaiados periodicamente, para melhorar a sua eficácia antes de ocorrer de fato uma situação de emergência. Além disso, após qualquer incidente ou situação de emergência, deve-se realizar uma investigação, com a colaboração de todas as pessoas envolvidas, respondendo a perguntas estratégicas, tais como (OMS, 2006):

- O que ocasionou o problema?
- Como se detectou ou se reconheceu o problema originalmente?
- Que medidas foram mais necessárias?
- Que problemas de comunicação surgiram e como se resolveram?
- Que consequências tiveram o problema, imediatas e em longo prazo?
- Como funcionou o plano de resposta à situação de emergência?

Ademais, devem ser elaborados documentos e informes pertinentes ao incidente ou situação de emergência, visando que seja assimilado tudo o que for possível sobre o ocorrido para melhorar a preparação e o planejamento para futuros incidentes, inclusive analisar se mudanças nos procedimentos seriam necessários (OMS, 2006).

Jalba *et al.* (2010) mostram o desenvolvimento de ferramentas sob uma outra ótica que são necessárias e emergenciais na área de água potável e saúde pública, como parte da cultura de gerenciamento de risco. Para isso, mostra uma pesquisa qualitativa realizada para entender problemas existentes institucionais nas agências responsáveis por esses serviços, que acabaram por ocasionar incidentes de saúde, apontando para isso aspectos gerenciais, como: proatividade, comunicação, treinamento, compartilhamento de experiências, confiança e regulação.

Para promover de fato uma água boa e segura, que tenha a confiança do consumidor, os prestadores de serviço precisam adotar uma abordagem integrada de gestão que inclui não somente o PSA propriamente dito, mas também uma série de outros monitoramentos, controles e outras iniciativas de avaliação de riscos,

englobando inclusive as fontes de captação da água, por exemplo (HAMILTON *et al.*, 2006).

Lara (2003) explicita que um plano de manejo e gestão é um instrumento importante, que corresponde à apresentação das diretrizes para o manejo de áreas que podem compor a zona de influência da bacia onde possa haver uma captação, por exemplo. Trata-se da análise dos recursos naturais e fatores antrópicos que as afetam, visando à proteção dos recursos naturais, englobando os recursos hídricos. Utiliza ferramentas como: zoneamento da área, caracterização das zonas e proposta de desenvolvimento físico conforme suas finalidades, através de programas específicos.

Assim, um plano de manejo e gestão é um instrumento de dupla função, diante do entendimento de que tanto o ordenamento quanto o controle do uso dos recursos naturais de uma bacia são necessidades fundamentais. Para a bacia de um manancial que se encontre numa unidade de conservação, por exemplo, o principal objetivo do plano é estabelecer as condições sociais, ambientais e econômicas necessárias à manutenção do estoque e da qualidade da água destinada ao abastecimento público de uma comunidade, como uma condição básica da vida. Portanto, esses planos podem estabelecer medidas que visem à manutenção da qualidade e da quantidade da água para o abastecimento (LARA, 2003).

Salienta-se ainda que algumas medidas podem ser importantes para garantir a segurança da água, sem afetar diretamente sua qualidade e, não são vistas, portanto, como medidas de controle. São conhecidos como “programas complementares”, podendo compreender (OMS, 2006):

- Controle do acesso a estações de tratamento, bacias de captação e reservatórios, e a adoção de medidas de segurança necessárias para impedir a transferência de fatores de perigo das pessoas para água bruta, no caso de acesso;
- Elaboração de protocolos de verificação relativos ao uso de substâncias e materiais no SAA, por exemplo, para garantir que os fornecedores participam de programas de garantia de qualidade;

- Uso de equipamentos apropriados para atender incidentes como rupturas de tubulações;
- Programas de formação e educativos para o pessoal que participa de atividades que poderiam influenciar na segurança da água potável, incluindo programas de iniciação e atualização frequentes.

Os códigos de práticas corretas de operação e gestão, e de práticas higiênicas de trabalho são componentes fundamentais dos programas complementares. Frequentemente, os códigos fazem parte dos PNA e incluem, entre outras, algumas medidas (OMS, 2006):

- Práticas higiênicas de trabalho documentadas nos PNA de manutenção;
- Atenção à higiene pessoal;
- Formação e atitudes de pessoal relacionado com o SAA;
- Instrumentos para a gestão das atividades de pessoal, como sistemas de garantia de qualidade;
- Obtenção do compromisso das partes interessadas, em todos os âmbitos, com a distribuição da água para consumo inócuo;
- Educação das comunidades cujas atividades poderiam afetar a qualidade da água para consumo;
- Calibração dos equipamentos de monitoramento; e,
- Manutenção de registros.

A comparação, por especialistas externos, de um conjunto de programas complementares com os de outros prestadores, a comparação com programas de referência, bem como o intercâmbio de pessoal ou documentos podem estimular ideias para melhorar as práticas utilizadas (WHO, 2005).

2.5 Avaliação de Riscos

2.5.1 Definições

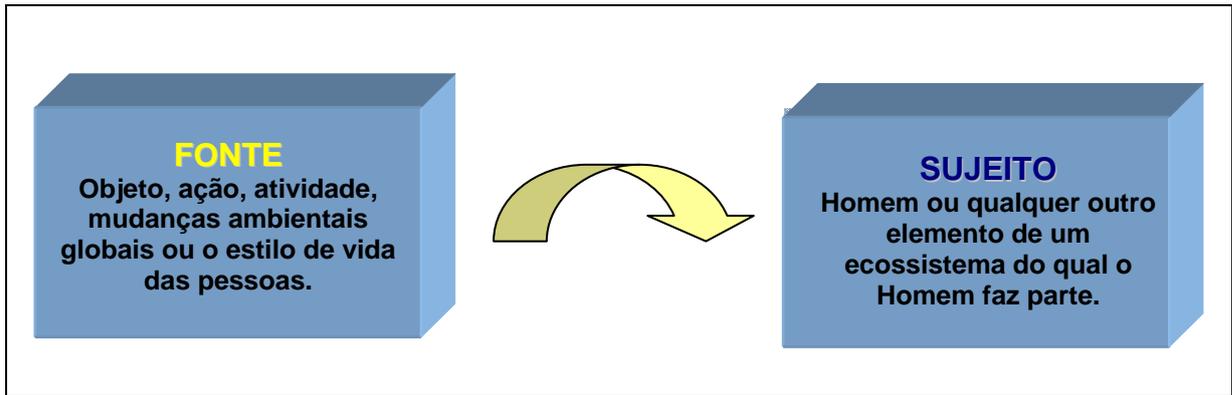
Nardocci (2003) afirma que risco é a probabilidade de que algum efeito adverso aconteça, sendo o efeito adverso definido como um julgamento de valor, podendo se constituir de mortes, doenças, diminuição da qualidade de vida, prejuízos econômicos, danos ambientais e outros. Mas, o risco também pode ser expresso através da comparação com doses calculadas com valores de referência determinados por gestores responsáveis.

É importante salientar a diferença entre risco e incerteza, onde esta última não é quantificada e não se apresenta como função de probabilidades. São classificadas em dois tipos: imprecisão, que se associa à dificuldade na distinção de coisas e limites, e ambiguidade, referente à multiplicidade de relacionamentos e não especificação de alternativas (VIEIRA, 2005).

Os riscos podem ser classificados em objetivos e subjetivos, onde os primeiros são estimados com base em cálculos estatísticos e metodologias quantitativas, enquanto os últimos são avaliados com base em julgamentos intuitivos (NARDOCCI, 2003).

Entre os riscos objetivos, existem algumas designações, tais como: riscos para a saúde humana, riscos ambientais, tecnológicos, epidemiológicos, industriais, acidentais, ecológicos, nucleares, etc., onde a nomeação refere-se à fonte geradora do risco ou ao sujeito exposto a ele. Para a caracterização de um risco, é necessária a existência simultânea desses dois elementos: uma fonte (perigo) e a exposição de um sujeito, conforme ilustrado na Figura 07 (NARDOCCI, 2003).

Figura 07 – Relação: Fonte geradora de risco x Sujeito exposto.



Fonte: NARDOCCI, 2003, p. 404.

Segundo Nardocci (2003), baseando-se nas metodologias de avaliação quantitativa de riscos existentes, os riscos para a saúde humana podem ser classificados em:

- Riscos tecnológicos: causados por eventos acidentais não naturais e caracterizados essencialmente por efeitos imediatos, como mortes ou efeitos irreversíveis à saúde humana, sendo analisados principalmente na área de segurança industrial;
- Riscos ambientais: decorrentes de fatores ou mudanças ambientais induzidas por atividades antropogênicas e associados a efeitos imediatos ou de longo prazo, possuindo, geralmente, um enfoque epidemiológico;
- Riscos naturais: provenientes de fenômenos naturais como enchentes, terremotos e vulcões, gerando efeitos imediatos ou de longo prazo.

Na verdade, pode-se afirmar que os riscos têm apenas duas origens: a natureza, a partir dos fenômenos naturais, ou o próprio Homem, com atos, atividades ou obras que geram riscos artificiais específicos (VIEIRA, 2005).

Com relação à avaliação dos riscos subjetivos, procura-se abranger a percepção e os julgamentos individuais ou sociais e como estes influenciam e/ou determinam as escolhas relacionadas ao risco e à sua aceitabilidade social. Já os chamados riscos ecológicos procuram avaliar os efeitos adversos para outros elementos de um ecossistema, e não para a saúde humana (NARDOCCI, 2003).

2.5.2 Histórico

Nos anos 30, técnicas semelhantes à avaliação de risco começaram a ser utilizadas com o objetivo de definir limites permissíveis de exposição a agentes químicos em ambiente de trabalho. Desde esta época e mais particularmente a partir dos anos 80, a avaliação de risco ambiental tem se desenvolvido e superado desafios estabelecendo-se no campo da ciência (EDULJEE, 2000).

A avaliação de riscos evoluiu nos anos 50 como instrumento para estudar o desempenho tecnológico e evitar falhas em indústrias químicas e nucleares após a II Guerra Mundial (DEMIDOVA; CHERP, 2005).

A metodologia da Análise de Riscos Ambientais foi primeiramente desenvolvida e testada por Bachfisher, em 1978, no desenvolvimento de sua tese de doutorado, em Munique, na Alemanha (SANKOH, 1996).

Em 1983, o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos, fundamentou o processo de identificação e avaliação de riscos para a saúde pública a partir da divisão do mesmo em quatro etapas: identificação do perigo, avaliação da exposição, avaliação da toxicidade e a caracterização do risco (EDULJEE, 2000).

Dos anos 80 aos anos 90, muitas ferramentas foram desenvolvidas para serem aplicadas em cada etapa criada, como por exemplo, os modelos de dose de extrapolação para elucidar as características de dose-resposta de substâncias químicas. Houve ainda o desenvolvimento de modelos e técnicas de análise de dados devido ao advento dos computadores e que trouxe um fundamental crescimento na área de avaliação quantitativa de riscos ambientais e à saúde humana (EDULJEE, 2000).

A aplicação da avaliação de riscos para proteger a saúde humana tem se desenvolvido nos últimos 60 anos, mas somente nos últimos 25 anos é que a avaliação de riscos ambientais tem sido mais profundamente utilizada (SOLOMON; SIBLEY, 2002).

2.5.3 Análise e Avaliação de Riscos

A análise de riscos é uma metodologia que visa avaliar e determinar a probabilidade de um efeito adverso provocado por um agente, seja físico, químico ou outro qualquer. Divide-se em duas fases distintas: qualificação ou identificação dos riscos, onde é realizado o levantamento dos riscos, de suas causas e tipos de ocorrência, bem como das incertezas existentes; e, a quantificação ou avaliação dos riscos, que objetiva quantificar a partir de números as probabilidades ou possibilidades da ocorrência de falhas ou eventos indesejáveis (VIEIRA, 2005).

Além da identificação propriamente dita, para se obter maior racionalidade no processo decisório, podem ser adotadas escalas de valores de acordo com o impacto gerado e, com isso, obter o conceito de severidade do risco, que corresponde ao produto da probabilidade de ocorrência pelo impacto e indica o valor do risco (VIEIRA, 2005).

É importante ressaltar que, para a opinião pública, a avaliação das consequências dos eventos indesejáveis tem maior significado prático no que se refere à percepção do risco e às tomadas de decisão, do que a probabilidade de sua ocorrência (Vieira, 2005). Mas, o uso de métodos matemáticos fornece objetividade e racionalidade e auxilia na tomada de decisão (BRILHANTE; CALDAS, 1999).

A análise de risco pode ser caracterizada como uma metodologia flexível e passível de ser aplicada em diferentes áreas do conhecimento e adaptada a situações diversas, tendo em vista, inclusive, vários desfechos possíveis que se deseja prevenir ou controlar (PÁDUA, 2009).

Metcalf; Eddy (2003) indicam que a análise de riscos é subdividida em duas etapas:

- Avaliação de riscos: estuda e analisa o efeito potencial de certos perigos para a saúde humana, atuando como uma ferramenta ao utilizar informações estatísticas de causa e efeito;

- Gerenciamento de riscos: processo que indica possibilidades de redução de riscos que são determinados como inaceitáveis. Deve ser realizado com uma abordagem sistêmica, selecionando alternativas, otimizando opções ou minimizando riscos detectados (VIEIRA, 2005).

Já Pádua (2009) afirma que a Análise de Risco envolve três procedimentos, que são normalmente desenvolvidos de forma sequencial e integrada e são, por ele, assim definidos:

- Avaliação de riscos: conhecimento e descrição de fatores, agentes ou situações diversas, considerando, inclusive, vários possíveis desfechos/eventos, que se deseja prevenir ou controlar;
- Gerenciamento de riscos: estabelecimento de medidas e intervenções corretivas ou preventivas de modo a minimizar ou evitar os impactos relacionados aos eventos indesejáveis;
- Comunicação de risco: etapa de informação da população ou grupo exposto aos fatores, agentes ou situações, de forma a garantir o direito à informação e ainda o estabelecimento de medidas de proteção individual, entre outras.

A avaliação de riscos pode ser entendida como o conjunto de metodologias que calculam e avaliam a probabilidade de um efeito adverso ser provocado por um agente (químico, físico ou biológico), por um processo industrial, por uma tecnologia ou até mesmo por um processo natural, que possa prejudicar a saúde humana ou o ambiente (Nardocci, 2003). É uma metodologia indicada para procedimentos com alto grau de incertezas e com impactos de significância potencialmente elevada (DEMIDOVA; CHERP, 2005).

Para a avaliação do risco de um evento são utilizados dois componentes básicos: a probabilidade de ocorrência e a dimensão das consequências, onde a estimativa da probabilidade de ocorrência é feita a partir de uma análise estatística, tendo como base, caso haja, dados históricos e, caso contrário, é feito por estimativa com técnicas de análises apropriadas (TOMMASI, 1993).

A avaliação de risco tem se apresentado com uma ferramenta importante e possível de ser utilizada para auxiliar e orientar o processo decisório para o controle e a prevenção da exposição de populações e indivíduos a diversos agentes ou situações perigosas à saúde. No campo da Saúde Ambiental, tem sido amplamente utilizada, pois permite a abordagem dos fatores, agentes ou situações, relacionados às exposições humanas e a ambientes adversos (PÁDUA, 2009).

Uma avaliação de risco pode fornecer expressões numéricas de risco ou mesmo a separação e listagem de riscos em categorias descritivas. A aplicação desta metodologia fornece consistência, objetividade e confiança obtendo uma melhoria eficaz no âmbito da saúde pública (GIANNOULIS *et al.*, 2005).

Uma avaliação microbiológica, por exemplo, pode identificar as ameaças à saúde humana e ainda partir de uma abordagem teórica para um plano prático, inserindo-se em uma estrutura de gerenciamento de risco e, a partir daí, os possíveis riscos à saúde podem ser controlados com eficácia (WESTRELL *et al.*, 2004).

A gestão de riscos eficaz exige a determinação dos perigos potenciais e de suas fontes, assim como os possíveis eventos perigosos, e uma avaliação do nível de risco que apresenta cada um. Neste contexto cabe definir três conceitos importantes (OMS, 2006):

- Um perigo é um agente biológico, químico, físico ou radiológico com capacidade para ocasionar danos;
- Um evento perigoso é um incidente ou situação que pode conduzir à presença de um perigo (ou que pode ocorrer tal qual); e,
- Risco é a probabilidade de que os perigos identificados ocasionem danos às populações expostas em um prazo temporal especificado, incluindo a magnitude do dano ou de suas consequências.

Na área de abastecimento de água para consumo humano, o evento exposição é o consumo da água; os fatores, agentes ou situações mais tradicionais são os contaminantes biológicos (microrganismos patogênicos) e químicos (produtos

tóxicos); os eventos adversos, objeto de controle e prevenção, são os agravos à saúde relacionados ao consumo de água (doenças infectocontagiosas e doenças crônicas não-transmissíveis) (PÁDUA, 2009).

Tuhovcak *et al.* (2006) apresentam, em seu trabalho, os métodos mais frequentemente usados em análises de riscos para sistemas de distribuição de água, considerando que a análise de risco é uma abordagem para determinar o alcance dos serviços de água para consumo e a segurança do sistema de abastecimento como um todo.

Nesse contexto, é importante citar a metodologia proposta pela OMS, FPEEEA (Forças Motrizes, Pressões, Estados, Exposições, Efeitos e Ações). Este modelo “busca explicar a maneira como várias forças condutores geram pressões que afetam o estado do meio ambiente e expõe a população a riscos e afetam a saúde humana” (Borja; Moraes, 2000, p. 3). Ele surgiu de uma adaptação da estrutura Pressão-Estado-Resposta utilizada na construção de sistemas de indicadores da OECD, que foi baseada em um trabalho desenvolvido pelo governo canadense (BORJA; MORAES, 2000).

A matriz de causa e efeito proposta pela OMS é representada por uma cadeia intitulada Desenvolvimento - Meio Ambiente - Saúde, que revela o entendimento de que a saúde é o resultado da interação entre desenvolvimento e meio ambiente. Assim, por exemplo, as forças motrizes do desenvolvimento, representado pela urbanização e a industrialização, geram pressões sobre o meio ambiente que deterioram o seu estado e expõe a população à riscos, que podem gerar efeitos negativos para a saúde humana. (MS/OPAS, 2004, p. 25)

Apesar da sua relevância para a saúde pública, este modelo não é objeto de estudo nesta pesquisa por trabalhar com foco em indicadores de saúde, e neste caso, não foi contemplado. Pode inclusive ser foco de futuras pesquisas como forma de aprofundar o estudo aqui desenvolvido.

2.5.4 Metodologias aplicadas à Análise e Avaliação de Riscos

2.5.4.1 HACCP - Hazard analysis and critical control points (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle)

Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) é uma abordagem sistemática preventiva para garantir segurança contra possíveis riscos físicos, químicos e biológicos. É utilizada na indústria alimentícia para identificar riscos potenciais, para que ações chamadas de Pontos Críticos de Controle possam ser tomadas para reduzir ou eliminar os riscos (TADIC *et al.*, 2007).

Esta metodologia teve início na sua utilização desde 1950/55 na Europa com foco na prevenção de acidentes industriais em plantas químicas. Na década de 60 a NASA implementou-a para alimentos inócuos para o programa espacial a partir do Sistema FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha). Em 1973, Pillsbury Co. lançou o primeiro documento descrevendo a metodologia APPCC. Em 1985, a Academia Nacional de Ciências/EUA iniciou a recomendação do seu uso em indústrias de alimentos (KLAFKE, 2009).

Em 1997, a Comissão de Códigos Alimentares lançou seu guia para aplicação desta metodologia dentro da indústria alimentícia. O objetivo era promover um gerenciamento proativo de riscos através da identificação de pontos de controle críticos de forma que os mesmos pudessem ser monitorados e reduzidos (HAMILTON *et al.*, 2006).

Segundo USDA (1999), um plano baseado em APPCC deve possuir, no mínimo:

- Lista de riscos identificados que deve ser controlado para cada processo;
- Pontos críticos de controle que são designados para controlar os riscos;
- Lista de limites críticos que podem ser detectados para cada ponto crítico;

- Lista de procedimentos e a frequência com que os quais são realizados, para monitorar os pontos críticos de controle, garantindo o atendimento dos limites críticos;
- Inclusão de ações corretivas quando ocorrer desvios dos pontos críticos para além dos limites críticos;
- Documentação do monitoramento dos PCC;
- Lista de verificação de procedimentos, incluindo frequência de atuação.

Em 1993, a metodologia de APPCC passou a ser utilizada em estabelecimentos de pescado e derivados e, então, foi lançada a Portaria 1428/MS que regulamenta tecnicamente a Inspeção Sanitária de Alimentos. Em 1998, foi editada a Portaria 40/MAPA a respeito do Manual de procedimentos no controle da produção de bebidas e a Portaria 46/MAPA que contemplava o Manual Genérico de Procedimentos para Elaboração do Plano APPCC em Indústrias de Produtos de Origem animal. E, em 2003, a APPCC foi contemplada no anexo 7 da série documental da OMS (*WHO Technical Report Series*) (KLAFKE, 2009).

Como pode ser observado, esta metodologia tem sido bastante utilizada na indústria alimentícia. Para garantir o controle dos processos da indústria de alimentos, Profeta; Silva (2005) indicam que é necessário identificar as etapas críticas, controlando-as e monitorando-as. Etapas críticas são aquelas em que a falta de controle resulta em risco inaceitável à saúde e/ou integridade do consumidor. As investigações a serem feitas têm o propósito de identificar, através do exame de matérias-primas e de todas as etapas pertinentes da cadeia de produção, incluindo até a utilização pelo cliente ou consumidor final, a presença ou a possibilidade de ocorrência de perigos a saúde e integridade do consumidor, tais como:

- Alimentos microbiologicamente sensíveis são propícios ao desenvolvimento microbiano ou à produção de toxinas;
- Organismos patogênicos ou substâncias tóxicas;
- Tratamento térmico insuficiente, ou seja, combinações de tempo e temperaturas inadequadas;
- Procedimentos inadequados usados após tratamento térmico;

- Condições ambientais que permitem a transferência de microrganismos patogênicos ou substâncias tóxicas para o alimento pelo ar, pela água ou outros vetores.

A análise de pontos críticos é uma ferramenta que oferece um gerenciamento preventivo e uma qualidade garantida no monitoramento de produtos finais. Envolve a identificação de pontos críticos para controlar perigos e manter as melhores práticas de gerenciamento. Os critérios são estabelecidos para cada ponto de controle, que são monitorados e quando ultrapassam limites críticos definidos, as ações corretivas são estabelecidas (WESTRELL *et al.*, 2004).

O APPCC tem como base sete princípios que foram definidos pela Comissão de Manuscrito Alimentar, organização internacional que estabelece os padrões na indústria de alimentos, a saber (TADIC *et al.*, 2007):

- Princípio 1 - Conduzir uma análise de risco;
- Princípio 2 - Identificar pontos críticos de controle;
- Princípio 3 - Estabelecer limites críticos para cada ponto crítico de controle;
- Princípio 4 - Estabelecer requerimentos de monitoramento de ponto crítico de controle;
- Princípio 5 - Estabelecer ações corretivas;
- Princípio 6 - Estabelecer registro de procedimentos estabelecidos;
- Princípio 7 - Estabelecer procedimentos para verificar se o sistema de APPCC está trabalhando como pretendia.

“A implantação do APPCC tem como desdobramento um maior controle do processo e maior autocontrole, ou seja, controle feito pelos próprios operadores responsáveis pela produção. É um processo contínuo, que permite a detecção de problemas antes ou logo após sua ocorrência, permitindo ação corretiva imediata” (PROFETA; SILVA, 2005).

Esta ferramenta apresenta algumas vantagens que a tornam mais vantajosa, tais como (KLAFKE, 2009):

- Análise de produto final acarreta um alcance limitado;
- Análises laboratoriais geralmente demoradas, com custo elevado, e ainda há possibilidade de destruição de amostras;
- Caráter preventivo;
- Enfoque dinâmico na cadeia produtiva;
- Racionaliza recursos / otimiza processos;
- Qualidade (padronização);
- Baixo custo de implementação;
- Produtividade e competitividade;
- Condiz com os preceitos da política de segurança e qualidade.

Além disso, é importante destacar a importância da proposta de APPCC ser revisada, em intervalos planejados, que não devem ser mais do que 12 meses, para garantir a continuidade, qualidade, adequabilidade e efetividade (SAC, 2005).

2.5.4.2 Análise de Decisão Multicritério

O processo de tomada de decisão usualmente pode tornar-se muito complexo. A análise de decisão multicritério auxilia o tomador de decisão a resolver problemas nos quais vários são os objetivos a serem alcançados de forma simultânea e o processo consiste das seguintes etapas: definir as alternativas; definir os critérios relevantes para o problema de decisão; avaliar as alternativas em relação aos critérios; avaliar a importância relativa de cada critério; e, determinar a avaliação global de cada alternativa.

Soares (2004) afirma que o apoio à decisão tem por base modelos explicitados claramente e ajuda na obtenção de elementos de resposta aos questionamentos que permeiam a tomada de decisão. Os resultados obtidos pela análise multicritério dependem do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, dos valores de ponderação atribuídos a cada critério, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes atores.

A ponderação de critérios pode ser feita a partir da utilização de diversas técnicas, como: hierarquização de critérios, notação, distribuição de pesos, taxa de substituição, regressão múltipla, atratividade (como AHP – Análise Hierárquica de Processos e MacBeth) (SOARES, 2004).

2.5.4.2.1 AHP – Analytic Hierarchy Process (Método de Análise Hierárquica)

Entre os métodos desenvolvidos no ambiente das decisões multicritério, o mais conhecido é o Método de Análise Hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*) desenvolvido por Thomas Saaty. Nesse método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação (SILVA; BELDERRAIN, 2005).

O AHP é um método eficaz para a tomada de decisão, pois ele identifica a melhor opção dentro das alternativas possíveis e ajuda na determinação de prioridades, considerando aspectos quantitativos e qualitativos. Através da redução de decisões complexas a decisões comparativas par a par. O AHP se divide em estruturação, julgamentos e síntese dos resultados (SALOMON *et al.*, 2009).

Segundo Silva; Belderrain (2005), o método de análise hierárquica baseia-se em sete pilares:

- Escalas de razão, proporcionalidade e escalas de razão normalizadas;
- Comparações recíprocas par a par;
- Sensibilidade do principal autovetor direito;
- Homogeneidade e clusterização;
- Síntese que pode ser estendida para dependência e feedback;
- Preservação e reversibilidade de ordem;
- Decisões em grupo.

O Método AHP, após a divisão do problema em níveis hierárquicos, determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao final do método. Depois de construir a hierarquia, cada tomador de decisão deve fazer uma

comparação, par a par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz, o tomador de decisão representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque do nível imediatamente superior (SILVA; BELDERRAIN, 2005).

Dessa maneira será gerada uma matriz quadrada recíproca positiva conhecida como Matriz Dominante. Assim, a Matriz Dominante é aquela que expressa o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, onde as alternativas são comparadas par a par. A comparação par a par das alternativas é utilizada realizando uma escala linear própria, que varia de 1 a 9, a qual é denominada Escala Fundamental de Saaty, também apresentada por Silva; Belderrain (2005), conforme Tabela 09.

Tabela 09 – Escala Fundamental de Saaty.

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de COYLE, 2004.

Este método é caracterizado pela habilidade de ajudar aos tomadores de decisão não somente em agregar informação, mas também para elaboração da solução de um problema decisório (JOERIN *et al.*, 2010).

2.5.4.3 Lógica Fuzzy

A palavra fuzzy foi introduzida por Zadeh, em 1965, no artigo “Fuzzy Sets”. Ele usou esta palavra para generalizar o conceito matemático de conjunto para um dos conjuntos fuzzy ou subconjunto fuzzy, onde no mesmo, uma função membro é definida por cada elemento do conjunto referencial (na álgebra Booleana este conceito é usualmente chamado de função característica). A função membro toma o valor do intervalo $[0,1] \subset \mathbb{R}^+$ ao invés de $\{0,1\}$, como na álgebra Booleana (KAUFMAN; GUPTA, 1991).

O conceito de números fuzzy pode ser apresentado de várias formas. Mas, Kaufman; Gupta (1991) consideram que um número fuzzy é a extensão do conceito de intervalo de confiança, que é familiar para quem trabalha com dados imprecisos em sistemas complexos e simples. Só que ao invés de considerar um intervalo de confiança em único nível, consideram-se vários níveis e, mais geralmente, todos os níveis possíveis entre 0 e 1. Considera-se que o valor máximo de pertinência seria no nível 1 e o valor mínimo no nível 0.

Um intervalo de confiança é uma forma de reduzir a incerteza usando limites acima e abaixo. É um processo prático e lógico de tratar incertezas com qualquer informação que esteja disponível. Esta informação pode ser objetiva (certeza de valor de uma medida entre outras duas medidas conhecidas) ou subjetiva (obtida da experiência ou da opinião de especialistas) (KAUFMAN; GUPTA, 1991).

O número incerto ou número fuzzy pode ser definido por dois conceitos associados: o nível de pertinência (α) e o intervalo de confiança no nível (α). Esta associação corresponde ao mecanismo natural de pensamento humano na estimativa subjetiva de valor para uma determinada dimensão (KAUFMAN; GUPTA, 1991).

Kaufman; Gupta (1991) afirmam também que um número fuzzy pode ser considerado como uma generalização do intervalo de confiança. Mas, não se trata

de uma variável aleatória. Esta é definida em termos da teoria de probabilidade, desenvolvida da teoria de mensuração. Uma variável aleatória é um dado objetivo, enquanto um número fuzzy é um dado subjetivo.

Um Número Difuso Triangular ou Número Fuzzy Triangular (NFT) é o número difuso correspondente quando uma função $\mu_A(x)$ assume forma triangular. A ele podem associar situações que se caracterizam através de três valores: mínimo, máximo e mais provável. Variáveis difusas correspondem a variáveis linguísticas que assumiram valores difusos e, geralmente, são representados por números difusos. O resultado final, na forma difusa, é obtido através de operadores de união e interseção, a partir da aplicação de regras de decisão a um conjunto de valores na entrada e a consolidação dos efeitos nas variáveis de saída. Este resultado pode ser transformado em valor determinístico (“desfuzificado”) a partir de métodos apropriados, visando uma maior objetividade ao resultado, ou mesmo, obtendo uma automação no processo (VIEIRA, 2005).

O mais simples número fuzzy é o da forma triangular, que possui uma função membro linear para cada lado do seu máximo (pico). Um número fuzzy triangular (NFT) pode ser caracterizado por três números reais: dois valores de x (x_1 e x_2), onde o nível de pertinência é zero, e outro valor x_3 , que recebe o valor de 1 (GANOULIS, 2006).

O fato é que em problemas reais existe uma grande quantidade de dados imprecisos. De forma que os modelos fuzzy conseguem ter vantagens sobre outras técnicas por diversas razões (TÜRK SEN; ZARANDI, 1999):

- São conceitualmente fáceis de entender;
- São flexíveis, e com qualquer sistema, é fácil manuseá-los com modelos de sistemas ou com camadas mais funcionais sobre ele, sem começar de novo do zero;
- Podem captar funções não-lineares de complexidade arbitrária;
- São tolerantes a dados imprecisos;
- Podem ser construídos em cima da experiência de especialistas;
- Podem ser combinados com técnicas de controle convencionais;

- São baseados na linguagem natural;
- Acarreta melhor comunicação entre especialistas e gerenciadores.

Duckstein; Bogardi (1991) afirmaram que uma abordagem fuzzy-probabilística de risco e análise de confiança trouxe um outro ponto de vista muito útil para analisar o efeito de incertezas em problemas quantitativos e qualitativos de água.

Ademais, a lógica fuzzy possui outras vantagens como a possibilidade de uma abordagem linguística, uma boa trabalhabilidade e ainda a sua diferenciação de desenvolvimento de análise em níveis de pertinência diversos.

Deng *et al.* (2011) propõem uma abordagem linguística baseada na teoria da lógica fuzzy na teoria da evidência Dempster-Shafer, onde os componentes principais do risco (probabilidade x consequências) podem ser descritas linguisticamente.

***Caracterização da Área de
Estudo – SAA / RMF***

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – SAA/RMF

3.1 Dados da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), também conhecida como Grande Fortaleza, foi criada pela Lei Complementar Federal nº 14, de 8 de junho de 1973, que instituía, também, outras regiões metropolitanas no país. Foi formada inicialmente por apenas cinco cidades: Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Pacatuba e Aquiraz, aglomerando uma massa populacional de aproximadamente 1 milhão de habitantes. Em 1986, Maracanaú, também por lei federal, passou a fazer parte da RMF. Em 1991 foram adicionados mais dois municípios, Eusébio e Guaiúba. A partir de 1999, mais cinco cidades passaram a integrar a região metropolitana: Itaitinga, Chorozinho, Pacajus, Horizonte e São Gonçalo do Amarante. Em 2009⁴, o Governo Estadual incluiu mais duas cidades à RMF: Pindoretama e Cascavel.

Desta forma, a RMF é atualmente formada por 15 (quinze) municípios (Aquiraz, Cascavel, Caucaia, Chorozinho, Eusébio, Fortaleza, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Pacatuba, Pindoretama e São Gonçalo do Amarante), contemplando uma população da ordem de 3,06 milhões de habitantes, distribuídas numa região com 5.783,6 km² (IBGE, 2010).

Sua população equivale a, aproximadamente, 36% da população do Estado do Ceará, ocupando 3,9% da área do Estado, que indica uma densidade demográfica de 528,52 hab./km² e uma taxa de urbanização média de 81%. Com relação à taxa de cobertura de água, a região possui um valor médio de 72,6%, com menor taxa encontrada no município de Pacatuba (28,5%) e maior na capital, Fortaleza (97,6%) (IBGE, 2010).

Os dados encontram-se apresentados na Tabela 10 e o mapa da Figura 08 ilustra a região com os 15 (quinze) municípios atuais.

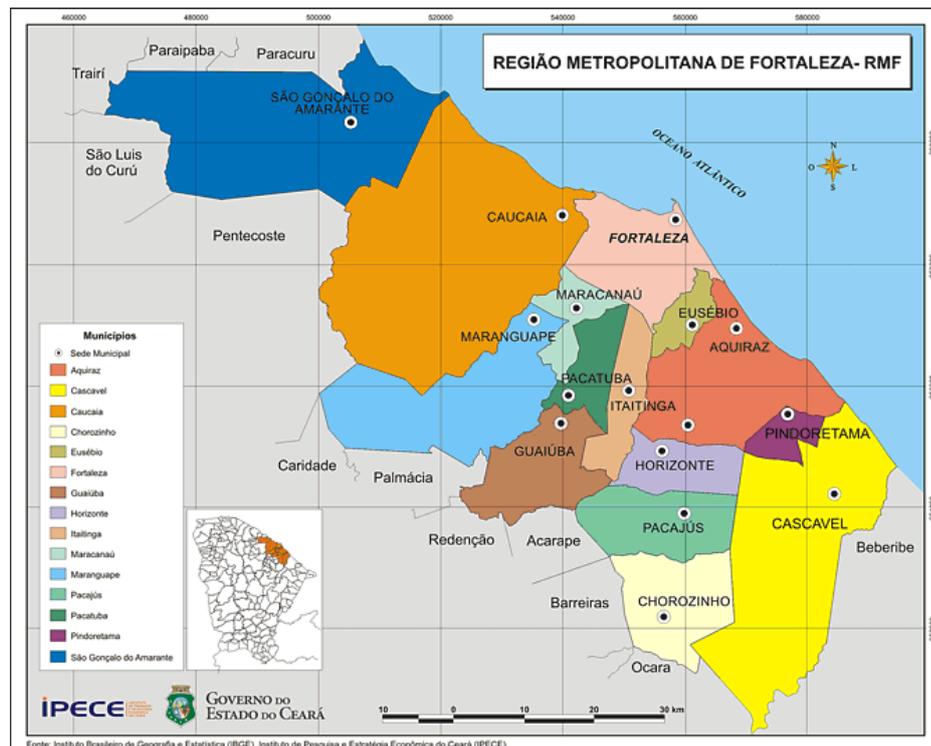
⁴ Diário Oficial do Estado do Ceará nº 121, ano I, série 3 (03 de julho de 2009).

Tabela 10 – Dados dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, em 2010.

Macrorregião de Planejamento	População Residente	Área (km ²)	Ligações reais	Ligações ativas	Taxa de cobertura d'água (%)
Aquiraz	60.469	481	3.550	3.094	47,2
Cascavel	57.129	838	8.950	8.307	72,1
Caucaia	250.479	1.227,90	29.638	27.323	93
Chorozinho	18.707	278,4	2.288	2.096	59,4
Eusébio	31.500	76,6	5.378	4.678	84,2
Fortaleza	2.141.402	313,1	665.221	618.374	97,6
Guaiúba	19.884	267,2	3.911	3.592	77,9
Horizonte	33.790	160	10.124	8.970	84
Itaitinga	29.217	150,8	10.335	9.513	92,1
Maracanaú	179.732	105,7	8.955	8.308	77,8
Maranguape	88.135	590,8	20.121	19.162	77,3
Pacajus	44.070	254,4	10.334	9.410	89,8
Pacatuba	51.696	132,4	6.787	6.030	28,5
Pindoretama	14.951	72,9	-	-	32,4
São Gonçalo do Amarante	35.608	834,4	6.316	5.320	75,6

Fonte: IBGE, 2010.

Figura 08 – Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza, em 2011.



Fonte: IPECE, 2011.

Para este estudo, foram selecionados 13 dos 15 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza. Os que não foram objeto de estudo foram: Fortaleza e Pindoretama. O SAA de Fortaleza não foi incluído por se tratar de um sistema bastante complexo e, portanto, apresentar um porte que diverge fortemente dos demais sistemas a serem contemplados, e ainda por não haver relatórios de fiscalização por parte da Agência Reguladora, que serviram como base dos dados aqui utilizados. No caso de Pindoretama, não foram obtidos dados a respeito do sistema de abastecimento de água do município, pois, não é operado pela Cagece e, conseqüentemente, não regulado pela Arce. Seu serviço de água é prestado por autarquia municipal (SAAE). Além disso, foi um dos últimos municípios a integrar a RMF.

3.2 Dados dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) da RMF

3.2.1 Sistema Integrado

A Operação e Manutenção da Infraestrutura Hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF fica a cargo de uma das oito gerências regionais da COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará), a Gerência Metropolitana – GEMET, que são responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos em todo o Estado do Ceará (COGERH, 2008).

Todas as gerências regionais têm as mesmas atribuições junto à Diretoria de Operações, dentre elas (COGERH, 2008):

- Elaborar e coordenar o programa anual de operação de reservatórios;
- Monitorar quantitativo e qualitativamente os diversos sistemas hídricos de sua bacia ou sub-bacias;
- Coordenar o programa de manutenção de estruturas hidráulicas; e,
- Apoiar as ações de organização de usuários e dos comitês de bacias.

A infraestrutura hídrica da RMF guarda uma especificidade especial em relação principalmente à concentração populacional, onde somente na capital cearense esse número chega aos 2,9 milhões de pessoas e nas Bacias

Metropolitanas como um todo tem aproximadamente 3,4 milhões de pessoas. Essa grande concentração populacional aumenta a pressão sobre a demanda hídrica nesta região hidrográfica. Soma-se a isso a existência dos dois maiores distritos industriais do Estado do Ceará. O primeiro está localizado no município de Maracanaú, com aproximadamente 60 indústrias atendidas com água bruta. O outro DI (distrito industrial) está localizado entre os municípios de Pacajus e Horizonte, com 10 indústrias atendidas (COGERH, 2008).

O abastecimento de água da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) é garantido por meio dos Açudes Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião. A água para abastecimento de Fortaleza, Caucaia e Maracanaú é captada na Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião, localizada a jusante do açude de mesmo nome. O açude Gavião é abastecido por sua bacia de contribuição e por um conjunto de obras de transposição de bacias constituídas por barramentos, estações elevatórias, canais e túneis, implantados com o propósito de garantir o suprimento de água para a RMF (FUNASA, 2006).

O sistema de obras que garante suprimento de água à RMF iniciou-se com a perenização do Rio Jaguaribe pelo Açude Orós. Em 1993, este sistema foi reforçado por intermédio da construção do Canal do Trabalhador, que se inicia no Município de Itaiçaba, onde existe uma barragem vertedoura no rio Jaguaribe, de onde é feita a captação para uma estação elevatória de água bruta (FUNASA, 2006).

O Canal do trabalhador tem uma extensão de 115 km, intercalados por 3 (três) sifões desde a captação em Itaiçaba até o Açude Pacajus. Do Açude Pacajus, a água é recalçada para o Sistema Integrado Pacoti/Riachão/Gavião da seguinte forma: No Açude Pacajus, existe uma estação elevatória denominada EEAB-1-Pacajus. Desta elevatória sai um trecho de canal, com 4 km de extensão, até a estação elevatória EAB-2-Pacajus. Da EEAB-2 sai outro trecho de 8 km de canal até o açude Pacoti, que é formado por um barramento no Rio Pacoti. Depois do Açude Pacoti, o rio é barrado mais uma vez, formando o açude Riachão. A interligação do Açude Riachão ao Açude Gavião é através de um túnel e canal, de onde é captada

a água para a ETA do macrossistema de Fortaleza. O açude Gavião é formado pelo barramento das águas do riacho de mesmo nome (FUNASA, 2006).

A montante do Açude Pacoti, o rio Pacoti é barrado formando o Açude Acarape do Meio (cujo nome oficial é Açude Eugênio Gudín). Deste açude também é captada água para o abastecimento das sedes municipais Guaiúba, Pacatuba e Maranguape, além do 1º Distrito Industrial, que tem preferência por esta água por apresentar salinidade menor que a da água que vem do Açude Pacajus. No período de chuvas, algumas indústrias não aceitam receber a água do Açude Acarape, em virtude do aumento da turbidez. Então, estas são abastecidas, durante este período, com água do sistema Pacoti/Riachão/Gavião (FUNASA, 2006).

Porém, salienta-se que até o ano 2000 o Sistema Pacoti-Riachão-Pacajus importava água da bacia do Jaguaribe, através do Canal do Trabalhador, para suprir a demanda da região metropolitana. Mas, a partir do ano de 2001, as bacias Metropolitanas não mais necessitaram desta importação, por apresentar aporte de água favorável, especialmente quando da finalização do açude Aracoiaba em 2002, hoje considerado um açude estratégico para esta Bacia. Assim, o Canal do Trabalhador passou a atender, prioritariamente, as populações dos diversos distritos ao longo do seu traçado, algumas sedes municipais e assentamentos de trabalhadores rurais, bem como a possibilitar o incremento da agricultura familiar e das áreas irrigadas (COGERH/ANA, 2010).

O sistema que atende a RMF é composto pelo açude Pacajus, com vazão bombeada pelo Canal Ererê para o açude Pacoti-Riachão, que, mantido em cota conveniente, alimenta o açude Gavião através de um túnel que se liga a um canal. Imediatamente a jusante desse reservatório localiza-se a Estação de Tratamento de Água (ETA) responsável pelo suprimento de água tratada à RMF (COGERH/ANA, 2010).

A partir da ETA Gavião inicia-se o sistema adutor que alimenta, por recalque, o reservatório apoiado do Ancuri. A partir do Reservatório do Ancuri, iniciam-se as linhas do Macrossistema de distribuição que alimentam os diversos

setores de distribuição do município de Fortaleza (exceto o setor de distribuição Mucuripe), Maracanaú e parte dos municípios de Pacatuba, Caucaia e Eusébio (FUNASA, 2006).

Um segundo sistema adutor (Estação Elevatória do Gavião Velho), alimenta diretamente os reservatórios enterrados dos setores de distribuição do Pici e Floresta, utilizando, para tal, parte da antiga adutora do Açude Acarape que alimentava a ETA do Pici, atualmente desativada. A linha adutora do Sistema Acarape, no seu trecho de montante, continua a aduzir água bruta, sendo que parte é enviada ao 1º Distrito Industrial e o restante às ETAs das cidades de Guaiúba, Maranguape e Pacatuba, implantadas conforme diretrizes do Plano Diretor (FUNASA, 2006).

O sistema semi-integrado que tem como mananciais as represas Pacoti, Riachão, Gavião e Acarape é responsável pelo abastecimento de seis municípios da RMF, sendo Fortaleza a maior beneficiária do sistema, com índice de atendimento superior a 90% da população municipal (Funasa, 2006). Segundo o IBGE (2010) esse índice chegou a 97,6%, em 2010.

As cidades de Aquiraz e Itaitinga possuem sistemas independentes: Aquiraz tem como manancial a Lagoa Catú e Itaitinga, o açude Riachão (FUNASA, 2006).

As Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza compreendem um conjunto de 16 bacias independentes, onde se situa o mais importante centro consumidor de água do Estado, formado pela Região Metropolitana de Fortaleza, cuja disponibilidade hídrica tem sido insuficiente para o atendimento dos usos humanos e para as atividades econômicas, necessitando de importar água de outras bacias hidrográficas, especialmente, da Bacia do Jaguaribe através do Canal do Trabalhador, e do Eixão das Águas, por onde receberá água também do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) (CEARÁ, 2009a).

Alguns reservatórios são interligados por canais, auxiliados por estações de bombeamento, capazes de transportar a água entre diferentes sub-bacias. Também há outros reservatórios dentro de uma mesma sub-bacia, que têm a função de garantir a reserva hídrica, como é o caso do açude Aracoíaba que auxilia o açude Pacajus, ambos localizados na sub-bacia do rio Choró. Além disso, há o aporte de água proveniente do Castanhão através dos trechos 3 e 4 do Eixão das Águas (COGERH, 2008).

Para auxiliar a chegada de água bruta para os múltiplos usuários, lança-se mão de 08 adutoras com uma extensão total de 129 km, além de uma rede de distribuição de aproximadamente 150 km. As principais adutoras operadas são (COGERH, 2008):

- Adutora do Acarape: Inicia-se no açude Acarape do Meio, localizado no município de Redenção e estende-se por 56 km, abastecendo 07 municípios até chegar ao Distrito Industrial de Maracanaú;
- Adutora Pacajus/Horizonte: Inicia-se no açude Pacajus, localizado no município homônimo e estendendo-se por 15 km abastecendo exclusivamente o parque industrial dos municípios de Pacajus e Horizonte;
- Adutora Catuana - Termoelétrica Fortaleza e Termo Ceará: Saindo do Canal Sítios Novos-Pecém, a adutora atende às unidades de geração de energia que, instaladas na área do CIPP (Complexo Industrial e Portuário do Pecém), já produzem energia elétrica. Ainda atende as indústrias que estão se instalando na área;
- Rap do Pecém - Pecém: Adutora projetada para atender a maior usina de geração de energia do Ceará (em execução).

Outro sistema hídrico que compõe a matriz que garante a segurança hídrica da RMF são os canais de adução, num total de 04 (quatro) canais com uma extensão total de 160 km (COGERH, 2008):

- Canal do Trabalhador: Com uma extensão de 102 km, mais 03 km de canal de aproximação. Inicia-se no município de Itaiçaba até alcançar o açude Pacajus, seu destino final. Atende uma população de 24.000

pessoas nos distritos ao longo do canal, além de atender uma área irrigada em torno de 1.500 ha e pequenas propriedades com agricultura familiar;

- Canal do Ererê: Esse canal tem a função de interligar o açude Pacajus ao sistema Pacoti-Riachão-Gavião, os reservatórios responsáveis pelo abastecimento da RMF. O canal tem uma extensão de 11 km;
- Canal Riachão-Gavião: Esse canal leva a água transferida do sistema Pacoti – Riachão para o seu destino final que é o açude Gavião, onde a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE tem sua estação de tratamento de água - ETA. O canal foi todo escavado em rocha, com uma extensão de 5,6 km e apresenta um túnel de 1,2 km. Um novo canal/Túnel foi construído ao lado do existente como parte do novo canal de transferência, o Eixão das Águas;
- Canal do Pecém: Foi construído para atender o complexo portuário do Pecém e a população ao longo do mesmo. Possui extensão de 26 km. Inicia-se no açude Sítios Novos, localizado no município de Caucaia, terminando na Estação de Bombeamento do Pecém.

Além destes, acrescenta-se o Eixão das Águas. Este canal não somente garantirá a transferência de água do açude Castanhão para as Bacias Metropolitanas, bem como mostra que o Estado do Ceará já se encontra pronto para receber a transferência de água do Rio São Francisco. O canal apresenta 05 trechos bem distintos, dos quais 03 estarão sob a gerência das Bacias Metropolitanas, ou seja, os trechos 03, 04 e 05, este último todo em tubos de aço, com 04 estações elevatórias, que garantirá água para alguns municípios da RMF, bem como para todo o CIPP (COGERH, 2008).

O Eixão é formado por conjuntos de estação de bombeamento, canais, sifões, adutoras e túneis, que realizarão a transposição das águas do Açude Castanhão, numa extensão total de 255 km, para reforçar o abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza indo até o CIPP, além de fazer a integração das bacias hidrográficas da região do Jaguaribe com outros rios e reservatórios.

Os quatro primeiros trechos do eixão aduzirão água bruta do açude Castanhão até o sistema Pacajus/Pacoti/Gavião para garantir nesses açudes uma disponibilidade hídrica capaz de atender as demandas da RMF até o ano de 2030. O quinto trecho, também denominado de trecho Oeste e Sistema Adutor Gavião/Pecém, tem a finalidade de levar água bruta do sistema de reservatórios Pacajus/Pacoti/Gavião até os centros de consumo localizados entre a cidade de Fortaleza e o CIPP – Complexo Industrial e Portuário do Pecém (FUNASA, 2006).

Para de fato suprir as necessidades de consumo de água, o Eixão das Águas está em construção, levando água até o Complexo Industrial e Portuário do Pecém, cujo trecho V (Açude Gavião – Pecém) está em andamento, e os quatro primeiros trechos estão concluídos (CEARÁ, 2009a).

Em suma, o Relatório Final que revisou o Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas reportou o seguinte cenário (COGERH/ANA, 2010):

A oferta de água superficial é feita por um sistema de reservatórios monitorados pela COGERH destacando-se os principais: Pacoti com 380hm³; Pacajus com 240hm³; Pompeu Sobrinho (Choró) com 143hm³; Riachão com 46,9hm³; Gavião com 29,5hm³; Acarape do Meio com 31,5hm³; Sítios Novos com 123,2hm³ e Aracoiaba com 170,7hm³. Todo o sistema regulariza uma vazão da ordem de 14,50m³/s com 90% de garantia. O conjunto de Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) representa um dos sistemas hídricos mais importantes do Estado do Ceará, em virtude do seu parque industrial e por concentrar uma população de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes, além de conter a maioria dos órgãos administrativos do Estado e da União, das universidades, a maior parte da produção urbana e industrial e as sedes dos principais movimentos sociais.

Para o estudo de caso proposto é importante levantar alguns aspectos relacionados à situação dos mananciais que atendem aos municípios da RMF. Para tal foram elencados alguns dados, os quais se encontram na Tabela 11:

Tabela 11 – Dados dos mananciais que abastecem os municípios da RMF.

Manancial	Descrições relevantes
Lagoa do Catu ¹	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Especulação imobiliária ◦ Sua vegetação está altamente degradada ◦ Cultivo da mangueira, cajueiro e coqueiro ◦ Além do uso doméstico (consumo humano, cozinhar, lavagem de roupa e banho) dos moradores locais: a) aqüicultura; b) manancial de abastecimento humano para o município de Aquiraz e população ribeirinha; c) lazer e d) irrigação ◦ Margens alteradas por construções ◦ Desmatada por um empreendimento de avicultura ◦ A lagoa é utilizada para atividades turísticas, sendo estas utilizadas pelos nativos que montam suas barracas onde de venda de serviços como alimentos e bebidas
Rio Choró ²	<ul style="list-style-type: none"> ◦ As nascentes com cobertura vegetal relativamente preservada ◦ Atividades hidroagrícolas desenvolvidas pela iniciativa privada (bacias do Choró - 932 ha) ◦ A presença de salinas, algumas, ainda, em operação (grande maioria desativada) ◦ Erradicação da cobertura vegetal de extensas áreas de mangue e à interrupção do fluxo natural das águas no estuário, resultando em aumento da salinidade hídrica ◦ 72,7% da área de mangue correspondem a unidades de conservação ◦ Extração de areia vermelha (abandonadas áreas de lavras clandestinas) ◦ Extrações de areia grossa são realizadas de modo informal, sem obedecer a legislações mineral e ambiental ◦ As bacias do Pacoti e Choró apresentam como unidade de preservação comum a APA da Serra de Baturité
Açude Gavião ²	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Município: Pacatuba / Ano de Construção: 1973 ◦ Capacidade: 32.900.000 m³ ◦ Estado de eutrofização: Eutrófico ◦ Sua grande APA (Área de Preservação Ambiental) se inicia na sua foz e se prolonga até o fim do terço inferior do seu percurso. ◦ Principal finalidade é o suprimento de água da Região Metropolitana de Fortaleza. ◦ A faixa de proteção do açude Gavião apresenta-se composta em sua quase totalidade por vegetação arbórea, estando as áreas antropizadas restritas a uma pequena mancha na sua margem direita, e a área imediatamente a jusante do reservatório. <p style="text-align: center;">(Continua)</p>

Tabela 11 (Continuação) – Dados dos mananciais que abastecem os municípios da RMF.

Manancial	Descrições relevantes
Açude Pacoti ²	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Município: Horizonte / Ano de Construção 1981 ◦ Capacidade: 380.000.000 m³ ◦ Estado de eutrofização: Eutrófico ◦ Riscos de salinização das águas represadas, com base no tipo de solo, índices de evaporação elevados aliado à proximidade do litoral. ◦ A cana-de-açúcar praticamente ocupa toda a área de aluvião localizada às margens do Rio Pacoti ◦ Na região de alto curso, sua mata ciliar relativamente preservada ◦ Pequenas áreas antropizadas e uma com irrigação difusa imediatamente a jusante do açude Engenheiro Gudim (Acarape do Meio) ◦ Substituição da mata ciliar por cultivos agrícolas irrigados ◦ Pequenas manchas esparsas de área antropizadas ◦ Faixa de proteção do Sistema Pacoti/Riachão apresenta-se preservada ◦ As áreas degradadas são menores que as áreas preservadas ◦ A jusante do açude Pacoti observa-se uma mancha de área antropizada ◦ Atividades hidroagrícolas desenvolvidas pela iniciativa privada (Pacoti - 747 ha) ◦ Nas áreas de manguezais, presença de salinas, algumas, ainda, em operação, apesar de a grande maioria estar desativada ◦ Intervenções antrópicas provocadas pelo acelerado processo de urbanização (desmatamentos, aterramentos, lançamentos de resíduos sólidos e líquidos, etc.) ◦ A grande maioria das extrações são realizadas de modo informal, sem obedecer às legislações mineral e ambiental ◦ Área de manguezais: 72,7% desta área correspondem a unidades de conservação ◦ Nos limites da Bacia do Cocó com as bacias do Ceará e do Pacoti, tem-se localizada a APA da Serra da Aratanha ◦ As bacias do Pacoti e Choró apresentam como unidade de preservação comum a APA da Serra de Baturité ◦ Na bacia do Pacoti, na serra de Baturité tem ainda o Sítio do Olho d'água, considerada Reserva Particular ◦ Em Guaiúba também tem uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), chamada Chanceler Edson Queiroz ◦ Todos os cursos d'água da bacia são intermitentes; no seu baixo curso, sofre a influência das marés, apresentando um estuário composto por 160 ha de manguezais ◦ Extensos carnaubais explorados economicamente pela população local ◦ Exploração de pequenos cultivos de subsistência <p>(Continua)</p>

Tabela 11 (Continuação) – Dados dos mananciais que abastecem os municípios da RMF.

Manancial	Descrições relevantes
Acarape do Meio ²	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Município: Redenção / Ano de Construção: 1924 ◦ Capacidade: 31.500.000 m³ ◦ Estado de eutrofização: Eutrófico ◦ O rio Pacoti apresenta na região de alto curso sua mata ciliar relativamente preservada ◦ Pequenas áreas antropizadas e uma com irrigação difusa imediatamente a jusante do açude Engenheiro Gudim (Acarape do Meio) ◦ Inúmeras residências no entorno do açude com fossas rudimentares, o mesmo ocorrendo à montante ◦ Cemitérios contaminando o lençol freático ◦ Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) de Pacoti vão para o rio sem tratamento adequado e em Palmácia parte do esgoto que é coletado retorna ao manancial e os efluentes de lavagens dos filtros nas Estações de Tratamento de Água (ETA) de Pacoti e Palmácia vão para os rios ◦ Comissão Gestora do açude: conter os barramentos clandestinos ao longo do rio, além da preservação ambiental nas margens do açude, impedindo o uso indevido de agrotóxicos e criação de gado
Açude Sítios Novos ²	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Município: Caucaia / Ano de Construção: 1999 ◦ Capacidade: 126.000.000 m³ ◦ Estado de eutrofização: Eutrófico ◦ Nascentes com cobertura vegetal preservada ◦ Presença de grandes manchas de áreas antropizadas a montante do açude Sítios Novos ◦ A faixa de proteção do açude Sítios Novos apresenta-se preservada ◦ As áreas degradadas mais significativas são observadas no trecho final do reservatório. ◦ A jusante do açude Sítios Novos a mata ciliar do rio São Gonçalo apresenta-se substituída por cultivos agrícolas e áreas antropizadas por cerca de 13 km ◦ Abastece o distrito de Sítios Novos, e Catuana e a agrovila do açude e termelétricas (Termoceará e Endesa), além da aqüicultura

¹Fonte⁵: PINHEIRO; CABRAL, 2007; NOGUEIRA, 2009.

²Fonte: COGERH/ANA, 2010.

⁵ Tabela criada pela autora com informações das fontes citadas. Os índices sobrescritos indicam as Fontes 1 e 2 utilizadas. Para a primeira linha da Tabela, Fontes 1: PINHEIRO; CABRAL, 2007; NOGUEIRA, 2009; e, as demais linhas da Tabela, Fonte 2: COGERH/ANA, 2010.

3.2.2 Sistemas individualizados

3.2.2.1 Aquiraz/CE

O abastecimento de Aquiraz é feito por meio de captação flutuante na lagoa do Catú. O sistema dispõe de duas adutoras de 150 mm e extensão de 3.140 m e de 200 mm com extensão de 3.400 m (FUNASA, 2006).

A cidade de Aquiraz possui, além do sistema principal em operação, outro sistema alternativo constituído de captação, adutora de água bruta, estação de tratamento (2 filtros de concreto de fluxo ascendente), um reservatório apoiado e um elevado, de distribuição, ambos localizados na ETA. Este sistema encontra-se atualmente desativado e segundo informação, entrará em operação, com a implantação da rede de abastecimento de água do Distrito de Prainha, em andamento (ARCE, jul. 2011a).

A ETA do sistema principal, que está em operação, é constituída por 2 (dois) pré-filtros de pressão, filtração direta através de 3 (três) filtros de fibra, de fluxo ascendente, aplicação de sulfato de alumínio, polímero catiônico e desinfecção com hipoclorito de sódio e, tendo a desinfecção reserva com hipocal, com capacidade de 200 m³/h (ARCE, jul. 2011a).

O sistema conta também com dois reservatórios apoiados de 250 m³ e de 300 m³, quatro reservatórios elevados, sendo um de 120 m³, um de 150 m³ e dois de 300 m³. Na área da ETA existem dois sistemas de tratamento independentes que recebem a água das duas adutoras de água bruta. Após o tratamento, a água é armazenada nos reservatórios apoiados que bombeiam para os reservatórios elevados e estes alimentam as redes de distribuição (FUNASA, 2006).

É composto também por 03 (três) estações elevatórias, sendo uma que recalca água bruta do manancial para a ETA e outras duas que recalcam água tratada (EEAT-02 do RAP-02 para o REL-03 e EEAT-03 do RAP-02 para o REL-04)

Para a água tratada há ainda uma linha de adução de 1.000 m entre a EEAT-03 e o REL-04 (ARCE, jul. 2011a).

A rede de distribuição possui extensão total de 68.790 metros, sendo 5.302 metros em DEFOFO⁶ e 63.488 metros em PVC, com 3.099 ligações ativas (Arce, jul. 2011a). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 1-A).

3.2.2.2 Cascavel/CE

O abastecimento de Cascavel tem como manancial de captação o poço amazonas no Rio Choró. Para captação existe uma elevatória às margens do Rio Choró, com sucção no poço. O tratamento é realizado através de 6 (seis) filtros, com aplicação de cloreto de polialumínio, cloro gasoso e hipoclorito de cálcio (ARCE, mai. 2011).

Existem ainda 05 (cinco) estações elevatórias compondo o sistema, com as seguintes funções (ARCE, mai. 2011):

- Estação elevatória de água bruta: recalca água da captação para a ETA;
- Estação elevatória de água tratada (EEAT-01): recalca água tratada do reservatório apoiado o reservatório elevado da área do escritório;
- Estação elevatória de água tratada (EEAT-02): recalca água tratada do reservatório apoiado para a rede de Cascavel;
- Estação elevatória para lavagem de filtros;
- Estação elevatória que recalca água tratada da rede de Cascavel para o reservatório elevado localizado no bairro Alto Luminoso.

No que se refere às linhas de adução, a de água bruta possui 7.440 m e faz a adução da captação até a ETA. Já a de água tratada, possui 1.440 m e é responsável pela adução entre a EEAT-01 e o REL-01 (ARCE, mai. 2011).

⁶ Os Tubos e conexões DEFOFO, são fabricados de acordo com a norma NBR 7665/99. Destina-se à aplicação em sistemas de adução e distribuição de água potável à temperatura ambiente, em redes de abastecimento. São perfeitamente intercambiáveis com os tubos e conexões de ferro fundido.

Existem 03 (três) reservatórios compondo o sistema (ARCE, mai. 2011):

- RAP-01 (reservatório apoiado): Com volume de 2.074 m³, recebe água tratada dos filtros, fornece água para a lavagem dos mesmos e abastece a rede e o REL-01;
- REL-01 (reservatório elevado): Localizado na área do escritório, com volume de 200 m³. Recebe água tratada do RAP-01 e abastece a rede;
- REL-02 (reservatório elevado): Localizado no bairro Alto Luminoso. Também possui 200 m³. Recebe água tratada da rede principal e abastece a rede do bairro Alto Luminoso.

Já com relação à rede de distribuição, possui tubulação em PVC e DEFOFO, com extensão total de 93.040 m e 8.169 ligações ativas (Arce, mai. 2011). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 2-A).

3.2.2.3 Caucaia/CE

O abastecimento de água do município de Caucaia é garantido pelo macrossistema de Fortaleza, com tomada através de Válvula Redutora de Pressão (VRP) localizada no bairro Siqueira (Arce, ago. 2010a). A sub-adutora em ferro fundido com diâmetro de 600 e 500 mm alimenta o sistema denominado Toco/Taquara, constituído por dois reservatórios apoiados de 1.250 m³, uma estação elevatória e um reservatório elevado de 700 m³. O sistema de Caucaia dispõe ainda de dois reservatórios elevados funcionando como compensação e um reservatório apoiado desativado (FUNASA, 2006).

Desta maneira, o município é atendido pelo sistema Integrado, cujo manancial é o Açude Gavião, com captação: superficial por meio das estações elevatórias de água tratada Gavião Velho e Gavião Novo e o tratamento realizado pela ETA Gavião que contempla sistema de filtração (10 unidades) – concreto – escoamento descendente de alta taxa, com aplicação de ácido fluossilícico, cloreto de polialumínio (PAC 23 - Gavião), cloro gasoso, dióxido de cloro, fluossilicato de sódio, polímero catiônico líquido e hipoclorito de cálcio (ARCE, ago. 2010a).

Possui 06 (seis) estações elevatórias desativadas e dois booster's, um que pressuriza parte do bairro Soligem e outro que pressuriza parte do bairro Novo São Miguel. Além de 06 (seis) RAPs e 06 (seis) RELs, nas praias do Icaraí, Iparana e Pacheco, mas todos desativados (ARCE, ago. 2010a).

A rede de distribuição do Sistema de Abastecimento de Caucaia é subdividida em três setores operacionais: Caucaia, Capuã e Toco. A rede de distribuição é composta por tubos de diversos materiais, variando nos diâmetros de 50 a 400 mm (Funasa, 2006), com extensão total de 296.300 m, sendo 254.049 m em PVC, 11.610 m em cimento amianto, 10.625 m em ferro fundido e 20.016 m em DEFOFO (ARCE, ago. 2010a).

O Sistema de Abastecimento de Água de Caucaia conta com 25.095 ligações reais de água (Arce, ago. 2010a). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 3-A).

3.2.2.4 Chorozinho/CE

O abastecimento de água de Chorozinho é proveniente de um sistema integrado para Horizonte, Pacajus e Chorozinho. A captação é realizada no Açude Pacoti, através de quatro bombas flutuantes, das quais três recalcam para um reservatório apoiado de 200 m³ e um para um reservatório apoiado de 48 m³ (FUNASA, 2006).

Dos reservatórios, a água segue para a Estação de Tratamento que é composta por dois sistemas de filtros independentes. Depois de tratada a água segue para um reservatório apoiado de 1.115 m³. Deste reservatório saem duas adutoras, sendo uma em FOFO⁷ DN⁸ 400 mm que conduz a água tratada até um ponto de derivação onde o diâmetro é reduzido para 300 mm, depois para 150 mm

⁷ Tubo em ferro fundido para água, classe K7 ou K9, dentro das normas brasileiras de fabricação (NBR 7675 - Tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água - Requisitos).

⁸ DN - Diâmetro nominal: número que serve como medida de referência para classificação dos tubos, sendo uma referência comercial e que corresponde aproximadamente ao diâmetro interno dos tubos, em milímetros

(Funasa, 2006), chegando até um reservatório elevado (REL-04) de 250 m³ que alimenta a rede de distribuição de Chorozinho (ARCE, abr. 2011).

O sistema de abastecimento de água de Chorozinho conta com uma rede de distribuição com tubulação em PVC (26.842 m) e DEFOFO (1.445 m), extensão total de 28.287 m e 2.219 ligações ativas (Arce, abr. 2011). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 6-A).

3.2.2.5 Eusébio/CE

O município de Eusébio faz parte do sistema de abastecimento d'água integrado da Região Metropolitana de Fortaleza, sendo atendido, em parte, por unidades operacionais integradas (manancial/captação, ETA e parte da adução) (ARCE, fev. 2011).

O sistema de abastecimento da cidade do Eusébio é realizado através do macrossistema de Fortaleza, por uma linha de adução com diâmetro de 350 mm, que parte da ETA do Gavião, passando pelo reservatório do Ancuri (Funasa, 2006), indo até o reservatório elevado (250 m³) de Eusébio através de uma linha de adução de 8.926 m (FOFO DN 500 e 350 mm). A partir daí alimenta-se a rede de distribuição (ARCE, fev. 2011).

A região de Pedras também é abastecida a partir do reservatório Ancuri, através de uma derivação com válvula redutora de pressão (FUNASA, 2006).

A rede de distribuição possui tubulações em PVC, com diâmetros variando entre 50 a 150 mm, com extensão total de 94.785 m e 5.633 ligações ativas (Arce, fev. 2011). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 4-A).

3.2.2.6 Fortaleza/CE

O Sistema de abastecimento de água de Fortaleza é basicamente constituído do sistema de produção, captação, estação de tratamento, estação

elevatória e adutora. A captação e o tratamento localizam-se no município de Pacatuba; a adução e reservação passam pelos municípios de Itaitinga e Fortaleza e pelo sistema de adução do Gavião Velho, que transfere água para os setores Pici e Floresta. Completam o sistema a macrodistribuição, compreendida pelas sub-adutoras até os reservatórios setoriais, elevatórias setoriais, redes de distribuição e ligações prediais (FUNASA, 2006).

A rede de distribuição do Sistema de Abastecimento de Fortaleza é subdividida por diversos setores operacionais, a fim de proporcionar melhores condições de operação e manutenção, quais sejam: Água Fria, Benfica, Bom Jardim, Conjunto Ceará, Castelão, Cocorote, expedicionários, Floresta, Messejana, Mondubim, Mucuripe, Pici e Vila Brasil. Apesar de cada setor funcionar de forma independente, existem interligações comandadas por registros que são mantidos normalmente fechados, permitindo assim uma maior flexibilidade de operação em caso de emergência (FUNASA, 2006).

O sistema Abastecimento de Água de Fortaleza conta com 595.541 ligações reais, sendo que 552.622 são ligações ativas, das quais 549.930 possuem hidrômetros (FUNASA, 2006).

Por se tratar de um sistema bastante complexo e, portanto, apresentar um porte que diverge fortemente dos demais sistemas a serem contemplados neste estudo, e ainda por não haver relatórios de fiscalização por parte da Agência Reguladora, este município não será contemplado na análise de risco e, conseqüentemente, na proposta de análise de risco aqui prevista.

3.2.2.7 Guaiúba/CE

O abastecimento de Guaiúba é feito através da adutora do açude Acarape do Meio. A interligação da adutora até a Estação de Tratamento é feita em tubos de FOFO DN 200, com uma extensão de 70 m. A ETA é uma estação compacta, constituída por dois conjuntos de filtros com capacidade nominal de 70 m³/h (Funasa, 2006), contendo 04 (quatro) filtros em fibra de vidro, de fluxo ascendente,

com aplicação de cloreto de polialumínio, hipoclorito de cálcio, polímero catiônico líquido e sulfato de alumínio (ARCE, dez. 2010).

A partir da ETA a água é encaminhada por gravidade para o reservatório apoiado com capacidade de 237 m³, denominado RAP 01. Este reservatório além de alimentar a rede de distribuição serve de poço de sucção da elevatória de água de lavagem dos filtros e da elevatória de água tratada que recalca para a zona alta da cidade (Funasa, 2006) para um REL de 300 m³, a partir de uma adutora de água tratada de 68 m (ARCE, dez. 2010).

O sistema abastecimento de água de Guaiúba conta com tubulações em PVC, com diâmetros variando entre 50 e 100 mm, com extensão total de 30.489 m e 3.001 ligações ativas (Arce, dez. 2010). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 5-A).

3.2.2.8 Horizonte/CE

O abastecimento de água de Horizonte é proveniente de um sistema integrado para Horizonte, Pacajus e Chorozinho. A captação é realizada no Açude Pacoti, através de quatro flutuantes, dos quais três recalcam para um reservatório apoiado de 200 m³ e um para um reservatório apoiado de 48 m³ (FUNASA, 2006).

Dos reservatórios a água segue para a Estação de Tratamento que é composta por dois sistemas de filtros independentes. O tratamento é feito através de 07 (sete) filtros em fibra de vidro, de fluxo ascendente, com aplicação de cloreto de polialumínio, hipoclorito de cálcio e polímero catiônico líquido, além de desinfecção realizada com cloro gasoso (ARCE, ago. 2010b).

Depois de tratada a água segue para um reservatório apoiado de 1.115 m³. Deste reservatório saem duas adutoras, uma em aço DN 250 mm que se encontra desativada e outra em FOFO DN 400 mm que após uma derivação o diâmetro é reduzido para 300 mm, depois para 250 mm de onde sai um trecho para

abastecimento da cidade de Horizonte após válvula redutora de pressão (FUNASA, 2006).

Possui 05 (cinco) estações elevatórias (ARCE, ago. 2010b):

- EECS-01: recalca água bruta do Açude Pacoti para o RAP-01;
- EECS-02: recalca água bruta do Açude Pacoti para o RAP-02;
- EEAB-01: recalca água bruta do RAP-01 para os filtros;
- EEAB-02: recalca água bruta do RAP-02 para os filtros;
- EEAT-01: recalca água tratada do RAP-03 para o REL-01.

A linha de adução de água bruta possui 2.019 m de extensão, indo das elevatórias de água bruta na captação até a ETA (PEAD DN 100 mm e FOFO DN 200 mm e 400 mm). Já a de água tratada possui 12.400 m, e interliga a elevatória de água tratada (na ETA) ao REL-01 e, do RAP-03 para a rede (FOFO DN 200 mm e DN 400 mm) (ARCE, ago. 2010b).

São, ao todo, 04 (quatro) reservatórios com as seguintes funções (ARCE, ago. 2010b):

- RAP-01: reservatório de reunião (recebe água do Açude Pacoti);
- RAP-02: reservatório de reunião (recebe água do Açude Pacoti);
- RAP-03: reservatório de reunião e distribuição (recebe água dos filtros);
- REL-01: reservatório de lavagem dos filtros (recebe água do RAP-03).

A rede de distribuição apresenta tubulações em PVC e DEFOFO, com diâmetros variando entre 50 a 150 mm, com extensão total de 133.934m e 11.392 ligações reais (Arce, ago. 2010b). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 6-A).

3.2.2.9 Itaitinga/CE

A fonte de abastecimento da cidade de Itaitinga é o açude Riachão, com tomada d'água no canal de acesso ao túnel de interligação dos açudes Riachão/Gavião. A captação é direta, com bombas instaladas sobre flutuadores, alimentando o sistema de tratamento (FUNASA, 2006).

A linha adutora de água bruta é constituída por uma tubulação com 914 metros de extensão, DN 150 mm. A estação de tratamento é constituída por dois conjuntos de filtros com capacidade nominal de 6 L/s (Funasa, 2006), a partir de filtração direta ascendente, composta por 4 (quatro) filtros em fibra de vidro, com aplicação de cloreto de polialumínio, cloro gasoso, hipoclorito de cálcio, polímero catiônico líquido e sulfato de alumínio (ARCE, nov. 2010a).

Depois de tratada, a água é aduzida por gravidade até os reservatórios apoiados de 400 m³ e 800 m³, ambos localizados na área da ETA. Depois a água é recalçada para o reservatório elevado de 200 m³, que alimenta a rede de distribuição (FUNASA, 2006).

As linhas de adução podem ser assim caracterizadas (ARCE, nov. 2010a):

- Água Bruta: 1.112 m e interliga a elevatória de água bruta (EECS) aos filtros (RPVC DN 350 mm).
- Água Tratada: 3.047 m e interliga as elevatórias de água tratada (EEAT-01 e EEAT-02) e a rede de distribuição (FOFO DN 150 e 75 mm).

Possui 03 (três) elevatórias, a saber (ARCE, nov. 2010a):

- EECS-0: recalca água bruta do Canal Riachão para a ETA;
- EEAT-01: recalca água tratada do RAP-01 para o REL-01;
- EEAT-02: recalca água tratada dos RAP-01 e RAP-02 para a rede de distribuição, que atende aos bairros Carapió, Ocupação e Lagoa de Dentro.

A rede de distribuição possui tubulações em PVC, com diâmetros variando entre 50 a 100 mm, com extensão total de 76.052 m e 4.964 ligações ativas (Arce, nov. 2010a). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 7-A).

3.2.2.10 Maracanaú/CE

O município de Maracanaú faz parte do sistema integrado de abastecimento de água de Fortaleza, constituído de captações superficiais nos açudes Pacajus, Gavião e Pacoti, e estação de tratamento de água denominada ETA Gavião, que abastece os municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú, Eusébio, parte de Itaitinga e parte de Pacatuba, portanto, é atendido, em parte, por unidades operacionais integradas (ARCE, nov. 2010b).

O abastecimento de água do núcleo central de Maracanaú é realizado pelo macrossistema de Fortaleza, através da derivação do setor Mondubim. O restante da cidade é abastecido pela estação elevatória do Conjunto Jereissati e o Distrito Industrial é abastecido com água bruta através da adutora do Acarape do Meio. O núcleo central da cidade de Maracanaú é alimentado com água tratada pela antiga adutora de 380 mm em ferro fundido, que é conectada ao sistema de sub-adutoras de Fortaleza através da derivação de 800 mm que sai para o setor Mondubim. O restante da cidade é abastecido pela estação elevatória do Conjunto Jereissati (FUNASA, 2006).

Existe um REL localizado no Conjunto Jereissati com 600 m³, que recebe água tratada da rede de distribuição, funcionando como reservatório de compensação. A rede de distribuição possui tubulação com extensão total de 503.531 m e 54.501 ligações ativas (ARCE, nov. 2010b).

O abastecimento do Distrito Industrial, com água bruta, é feito através da adutora do Acarape do Meio, que alimenta o reservatório apoiado e daí a água é transferida para o reservatório elevado através de uma elevatória (FUNASA, 2006).

3.2.2.11 Maranguape/CE

O açude Penedo, uma pequena fonte na encosta da Serra de Maranguape e um poço Amazonas eram responsáveis pelo suprimento de água da cidade de Maranguape. Durante as estiagens prolongadas, o açude Penedo seca, representando um sério problema para o abastecimento da cidade. Em vista disto, foi implantado um novo sistema, cuja fonte de produção é o Açude Acarape do meio. Assim, o sistema antigo funciona atualmente como complemento e/ou reserva técnica (FUNASA, 2006).

A linha de adução entre a captação no Açude Acarape do Meio em tubo de aço de 800 mm com derivações para Água Verde, Guaiúba, Pacatuba, Pavuna até o Açude Gavião. Esta adutora pode funcionar em ambos os sentidos, aduzindo água do Acarape do Meio ou do Açude Gavião. Após a derivação para Maranguape, a água passa por uma estação elevatória, de responsabilidade da COGERH, e desta é bombeada para a ETA de Maranguape. O fornecimento de água bruta, desde a captação, seja do açude Acarape do Meio ou do açude Gavião, até a entrada da ETA de Maranguape é de responsabilidade da COGERH (ARCE, dez. 2011).

O sistema de tratamento é constituído por uma bateria de clarificadores de contato, com vazão nominal de 30 L/s e uma casa de química para dosagem e aplicação de cal e cloro gasoso. Para aplicação de cloro são utilizados recipientes cilíndricos de 1 tonelada (FUNASA, 2006).

Segundo a Arce (dez. 2011), a água bruta que abastece a ETA de Maranguape é de responsabilidade da COGERH e proveniente dos açudes Acarape do Meio e Gavião. Pequena parcela da rede de distribuição de Maranguape é atendida por uma fonte localizada na serra de mesmo nome, onde a Cagece aplica hipoclorito de sódio. A ETA é composta por 5 (cinco) filtros de fluxo ascendente em fibra de vidro, com capacidade para 470 m³/h, aplicação de polialumínio e polímero como coagulantes, pré-desinfecção com hipocal e pós-desinfecção com hipoclorito de sódio.

Os reservatórios existentes são (ARCE, dez. 2011):

- RAP-01: localizado na ETA, com 1.000 m³ e recebe água tratada dos filtros e abastece a rede e lavagens dos filtros;
- REN-01: localizado no Bairro Planalto dos Cajueiros, com 10 m³. Recebe água tratada da rede e abastece parte da rede do Bairro Planalto dos Cajueiros;
- REN-02: localizado no Bairro Santos Dumont, com 10 m³. Recebe água tratada da rede e abastece parte da rede do Bairro Santos Dumont;
- REL-01: no Bairro Centro, com 227 m³, mas atualmente está desativado.
- REL-02: no Bairro Novo Maranguape, com 300 m³ e função de compensação.

Com relação à rede de distribuição, possui uma extensão total de 129.187 metros, sendo 9.869 em cimento amianto, 6.083m de FOFO, 2.513 metros em tubos PEAD, 10.093 metros em DEFOFO e 100.629 metros em PVC, com 14.821 ligações ativas (Arce, dez. 2011). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 8-A).

3.2.2.12 Pacajus/CE

O município de Pacajus faz parte do sistema integrado de abastecimento de água de Pacajus/Horizonte/Chorozinho, portanto ele é atendido por unidades operacionais integradas (ARCE, out. 2010).

A captação para o abastecimento de água da cidade de Pacajus é feita no Açude Pacoti, através de quatro bombas flutuantes, das quais três recalcam para um reservatório apoiado de 200 m³ e um para um reservatório apoiado de 48 m³ (FUNASA, 2006).

Dos reservatórios, a água segue para a Estação de Tratamento, que é composta por dois sistemas de filtros independentes. O tratamento é feito através de 07 (sete) filtros em fibra de vidro, de fluxo ascendente, com capacidade para 460 m³

e aplicação de cloreto de polialumínio, hipoclorito de cálcio e polímero catiônico líquido, além de desinfecção realizada com cloro gasoso (ARCE, out. 2010).

Depois de tratada, a água segue para um reservatório apoiado de 1.115 m³. Deste reservatório, saem duas adutoras, uma em aço DN 250 mm, que se encontra desativada, e outra em FOFO DN 400 mm que, após uma derivação, o diâmetro é reduzido para 300 mm, e alimenta um reservatório apoiado de 1.150 m³. A partir deste a água é recalçada para um reservatório elevado de 350 m³, que alimenta a rede de distribuição (FUNASA, 2006).

A linha de adução de água bruta, entre as elevatórias de água bruta na captação e a ETA (PEAD DN 100 mm e FOFO DN 200 mm e DN 400 mm) possui 2.019 m de extensão. A linha de adução da água tratada, entre a ETA e o REL-01 e, do RAP-03 para a Rede (FOFO DN 200 mm e DN 400 mm), tem 12.400 m (ARCE, out. 2010).

O sistema de abastecimento de água de Pacajus conta com 114.161 metros de rede de distribuição e 10.545 ligações ativas (Funasa, 2006). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 6-A).

3.2.2.13 Pacatuba/CE

Os mananciais que abastecem o sistema são os açudes Acarape do Meio e Gavião, situados, respectivamente, nos municípios de Redenção e Itaitinga/Pacatuba. O SAA de Pacatuba é abastecido através de uma adutora de água bruta da COGERH, a qual fornece água, de forma alternada, dos sistemas integrados dos açudes Acarape do Meio e Gavião (ARCE, jul. 2011b).

O sistema de Pacatuba é alimentado através da adutora de aço de 800 mm que vem do Açude Acarape do Meio. A adutora do Açude Acarape do Meio está ligada ao macrossistema de Fortaleza através de um registro de manobra. Em caso de emergência o macrossistema de Fortaleza poderá atender o município de Pacatuba pela abertura deste registro (FUNASA, 2006).

Segundo a Arce (jul. 2011b), a ETA está constituída pelas seguintes unidades:

- 01 (um) decantador, 04 (quatro) filtros de pressão de fluxo descendente. Aplicação de cloreto de polialumínio (PAC18), polímero catiônico líquido e hipoclorito de cálcio;
- 02 (duas) unidades de tratamento independentes: a primeira possui 01 (um) filtro de pressão de fluxo descendente (Filtro 01) e desinfecção com hipoclorito de cálcio, e a segunda possui 01 (um) floccodecantador com aplicação de policloreto de alumínio, polímero catiônico líquido, 03 (três) filtros de pressão de fluxo descendente (Filtros 02, 03 e 04) e desinfecção com hipoclorito de cálcio. A alimentação da primeira unidade de tratamento possui by-pass para a segunda unidade.

Depois de tratada, a água segue por uma tubulação de FOFO DN 300 mm que, após derivação, reduz para DN 110 mm, seguindo até o reservatório elevado de 80 m³, que alimenta a rede de distribuição de Pacatuba (FUNASA, 2006).

As estações elevatórias existentes são (ARCE, jul. 2011b):

- EEAB-01: recebe água da adutora de água bruta e recalca para o floccodecantador;
- EEAT-01 (Booster): pressuriza a rede de distribuição dos bairros São Luiz e São Bento;
- EEAT-02 (Booster): pressuriza a rede de distribuição do bairro Quandú.

Assim, o Município de Pacatuba é abastecido a partir de uma adutora do Acarape até uma ETA compacta e a alimentação através do Reservatório do Ancuri fica como reserva ou emergência (FUNASA, 2006).

O sistema de abastecimento de água de Pacatuba conta com rede de distribuição com extensão total de 59.686 metros, sendo 4.600 metros em DEFOFO,

52.709 metros em PVC e 2.377 metros em cimento amianto, com 4.545 ligações ativas (Arce, jul. 2011b). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 9-A).

3.2.2.14 Pindoretama/CE

Não foram obtidos dados a respeito do sistema desse município, porque, além de ser um dos últimos municípios a integrar a RMF, ele não é operado pela Cagece e, conseqüentemente, não regulado pela Arce. Seu serviço de água é prestado por autarquia municipal (SAAE). Por esses motivos, o mesmo não foi objeto de estudo.

3.2.2.15 São Gonçalo do Amarante/CE

Em São Gonçalo do Amarante, a água é captada no Açude Sítios Novos por tomada direta de um canal de derivação do açude, seguindo para um reservatório semi-enterrado, de onde é bombeada para o sistema de tratamento com filtros (FUNASA, 2006).

A ETA é composta de torre de nível e 3 (três) filtros em fibra de fluxo ascendente, capacidade de 120,00 m³/h, aplicação de cloreto de polialumínio (PAC 18), sulfato de alumínio e desinfecção com cloro gasoso no reservatório de contato (ARCE, set. 2010).

Após tratada, a água segue para outro reservatório semi-enterrado, de onde é bombeada através de uma adutora de FOFO de 250 mm que, após derivação, reduz para 200 mm e segue até um centro de reservação composto por dois reservatórios apoiados, do qual é recalçada para um reservatório elevado, que alimenta a rede de distribuição (FUNASA, 2006).

Com relação às linhas de adução existentes, tem-se que (ARCE, set. 2010):

- Água Bruta: 40 m e faz a adução entre a EEAB-01 e a Torre de Nível na ETA;

- Água Tratada: 30 m e faz a adução entre a Torre de Nível na ETA e o RSE;
- Água Tratada: 55 m, fazendo a adução entre a EEAT-01 e o Reservatório REL-01;
- Água Tratada: 12.970 m, fazendo a adução entre a EEAT-02 e o Reservatório RAP-01;
- Água Tratada: com 50 m e faz a adução entre a EEAT-03 e o Reservatório REL-02.

Já no que diz respeito aos reservatórios, o sistema pode ser caracterizado (ARCE, set. 2010):

- REN: 68 m³, localizado na área da ETA e com a função de armazenar água bruta do canal de derivação;
- RSE: com 200 m³, também na área da ETA e armazena água tratada oriunda dos filtros;
- RAP-01: 400 m³, localizado na área do escritório e com função de armazenar água tratada oriunda do RSE;
- RAP-02: com volume de 100 m³, na área do escritório, porém desativado;
- REL-01: 150 m³, na área da ETA e utilizado para a lavagem dos filtros;
- REL-02: 100 m³, localizado na área do escritório e com função de distribuir água aos usuários.

A rede de distribuição possui tubulação em DEFOFO (1.897 m) e PVC (40.499 m), com extensão total de 42.396 m, contando, em 2006, com 2.306 ligações reais, das quais 1.792 são ativas (Funasa, 2006; Arce, set. 2010). O croqui do sistema encontra-se no anexo A (Figura 10-A).

Material e Métodos

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do Objeto de Estudo

Após um estudo e conhecimento dos conceitos e etapas inerentes ao desenvolvimento de Planos de Segurança da Água, em conformidade com as orientações disponibilizadas pela OMS no contexto de garantia de saúde a partir da qualidade da água ofertada à população, a presente pesquisa destina-se fundamentalmente a delinear proposta metodológica para a etapa de análise de riscos nos moldes do PSA e aplicar esta metodologia em municípios da Região Metropolitana de Fortaleza no Estado do Ceará (RMF).

Além disso, pretende-se aplicar a proposta para a etapa de análise de riscos em Planos de Segurança da Água a partir da utilização de Lógica Fuzzy, utilizando o software Matlab, tendo em vista que esta etapa se apresenta como um desafio para a tomada de decisão após a indicação dos pontos críticos e indicação de fatores que podem ser fonte de perigos inerentes ao processo de abastecimento e distribuição de água potável à população.

4.2 Aspectos Metodológicos

A metodologia teve como base propostas desenvolvidas na Indústria Alimentícia, pois o gerenciamento de risco proposto pela OMS para o PSA baseia-se na ferramenta de APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle), que corresponde a uma sistemática de gerenciamento preventivo de risco e tem sido utilizada por décadas pela indústria de produção de alimentos com base nos termos de segurança de alimentos. São desenvolvidos a partir do entendimento do sistema de produção, priorizando os riscos e garantindo que as medidas de controle apropriadas sejam tomadas para reduzir os riscos a níveis aceitáveis.

Esse também é o objetivo do PSA aplicado ao abastecimento de água potável para garantia de qualidade da mesma ao alcance do consumidor final (WHO, 2005).

A metodologia pretendeu adequar os procedimentos já realizados e os dados existentes no Estado do Ceará às diretrizes elencadas pela OMS, no ponto de vista dos Planos de Segurança da Água.

Além do desenvolvimento da metodologia propriamente dita, foi selecionado o programa MATLAB⁹, para geração de referência geral para análise de riscos, relacionando as três variáveis inerentes: probabilidade, impacto e risco. Ele foi selecionado devido à sua interface de cálculos matemáticos e seu aplicativo específico para Lógica Fuzzy (*Fuzzy Logic Toolbox™*) que fornece funções MATLAB, ferramentas gráficas e um bloco de simulação (*Simulink block*) para análise, desenho e simulação de sistemas baseados em lógica fuzzy.

4.2.1 Definição do problema

A metodologia para análise de risco em consonância com o Plano de Segurança da Água foi desenvolvida sob alguns aspectos:

1. Cada sistema de abastecimento de água consiste de um número de unidades (ex.: captação, tratamento, adução, reservação, distribuição). Número e tipo de unidades são definidos de acordo com o tipo de sistema. Pode ser considerado que estas unidades não sofrem alterações durante um determinado período de tempo.
2. Em cada unidade, um ou mais pontos críticos de controle (PCC) podem ser evidenciados e podem ainda produzir efeitos diferentes.
3. Cada PCC pode conter um ou mais diferentes riscos. É quase impossível examinar a influência de cada risco no total de riscos e pontos críticos, logo a influência é observada como a soma ponderada dos mesmos.

⁹ O MATLAB® e o *Simulink Fuzzy Logic Toolbox (Student Version – R2011a)* foram adquiridos pela autora diretamente do seu fabricante *MathWorks*, com sede nos EUA. Logo, foi utilizado a partir de uma licença individual.

4. As unidades foram agrupadas em duas macro-etapas do sistema, onde a primeira etapa engloba o manancial propriamente dito; a captação; a adução, caso exista; e a ETA (estação de tratamento de água). Ou seja, a primeira etapa envolve a água bruta até ser transformada em água tratada. A segunda etapa envolve as demais unidades após a saída da água tratada da ETA até a chegada no consumidor final através da rede de distribuição, passando por adutora e reservatório, caso haja.
5. Neste caso, para garantia de segurança da água são estimados dois critérios: um critério é definido pela possibilidade do risco e o segundo, é o impacto como resultado ou consequência do risco existente.
6. A determinação do peso de cada critério apresenta um nível de dificuldade que se resume a um problema específico. Assim, para este estudo, assume-se que ambos os critérios (possibilidade e impacto) possuem o mesmo grau de importância.

4.2.2 Metodologia para definição dos valores de critérios

Os modelos de PSA apresentados na Documentação Complementar da Organização Mundial de Saúde sobre PSA (OMS, 2006) indicam que para a garantia de segurança da água são considerados dois critérios: um critério é definido pela possibilidade do risco e o segundo, é o impacto como resultado ou consequência do risco existente.

Os valores para ambos os critérios são baseados na teoria dos grupos fuzzy, ou seja, os valores assumidos são descritos por números fuzzy triangulares (NFT). Este fato baseia-se na aplicação do princípio utilizado, onde quase todos os valores a serem considerados são provenientes de problemas gerenciais.

Nos itens seguintes são explicados os procedimentos metodológicos de cada critério considerado.

4.2.2.1 Possibilidades de risco

Caso haja quantidade suficiente de dados existentes que funcionem como dados base, é possível calcular a possibilidade de ocorrência do risco. Todavia, se não há dados suficientes acerca dos tipos de risco, bem como da frequência com que os mesmos acontecem, então, os tipos de riscos e a possibilidade de ocorrência de cada risco podem ser estimados.

Para esta pesquisa, tendo em vista os modelos de PSA apresentados na Documentação Complementar da Organização Mundial de Saúde sobre PSA (OMS, 2006), o valor considerado para este critério é descrito por três expressões linguísticas: “improvável”, “moderado” e “provável”. Estas expressões são representadas por três números fuzzy triangulares (NFT).

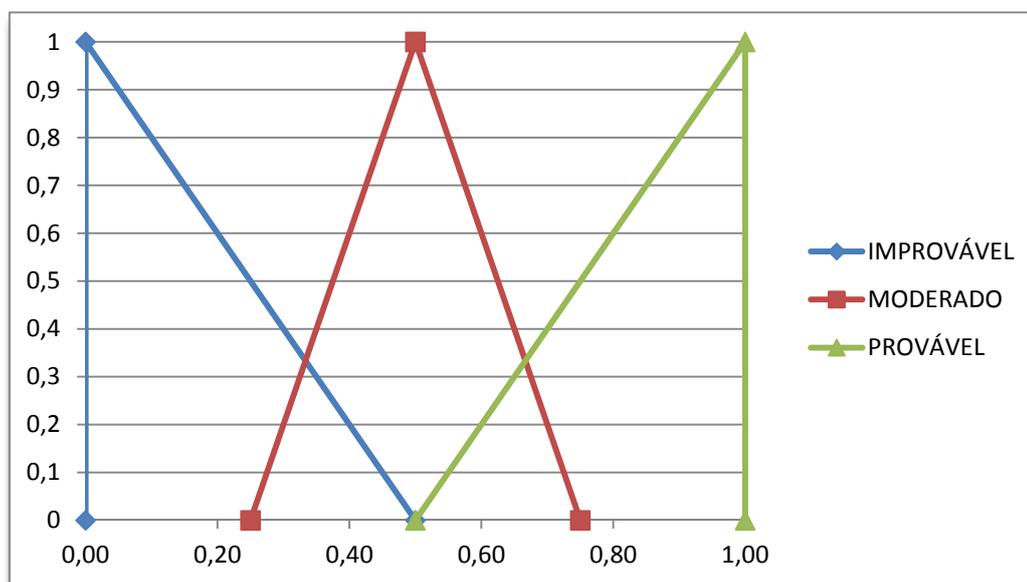
Petrovic; Petrovic (2001), Tadic (2005), Deng *et al.* (2011), por exemplo, adotam números fuzzy discretos para expressar numericamente variáveis linguísticas, onde importâncias relativas ou pesos são dados a estas expressões linguísticas.

A escala obtida foi baseada na disponibilidade de dados existentes obtidos a partir dos relatórios de fiscalização da Arce, do ano de 2006 a 2011, tendo em vista que as fiscalizações são realizadas por amostragem e por sorteio anual. Ou seja, foi considerada um período que incluísse pelo menos dois anos de fiscalização da Arce para cada município, para comparação da frequência observada para os problemas detectados. Subdividindo este período, a partir da escala de intervalo de [0 1], obtiveram-se os valores relativos para cada frequência, onde os três NFTs com valores máximos, médios e mínimos para os níveis de pertinência de 0 a 1 (ou 0 a 100%) são:

- Improvável: NFT = [0,00 0,00 0,50];
- Moderado: NFT = [0,25 0,50 0,75];
- Provável: NFT = [0,50 1,00 1,00].

O Gráfico 01 ilustra os NFTs referentes às possibilidades.

Gráfico 01 – NFTs para as escalas de probabilidade de risco, para PSA na RMF, em 2011.



Fonte: Autor¹⁰, 2011.

Essa frequência pode ser obtida diretamente de dados existentes, estimada a partir de históricos ou mesmo a partir de possibilidades de ocorrência.

Com relação aos dados reais de frequência, bem como aos dados e informações a respeito dos problemas que são observados nos sistemas de abastecimento de água, propõe-se o agrupamento destes para que haja concordância com as diretrizes da OMS. Ou seja, os problemas reais devem ser agrupados e alocados em grupos de fatores que foram definidos pelos pontos críticos de controle elencados pela OMS. Após este agrupamento é que se verifica a frequência dos pontos críticos de cada unidade do SAA.

4.2.2.2 Importância das consequências resultantes da ocorrência do risco

Para esta pesquisa, tendo em vista os modelos de PSA apresentados na Documentação Complementar da Organização Mundial de Saúde sobre PSA (OMS, 2006), o valor considerado para este critério também é descrito por expressões

¹⁰ Ilustração ou tabela criada pela autora no desenvolvimento do presente trabalho, a partir dos dados obtidos na pesquisa.

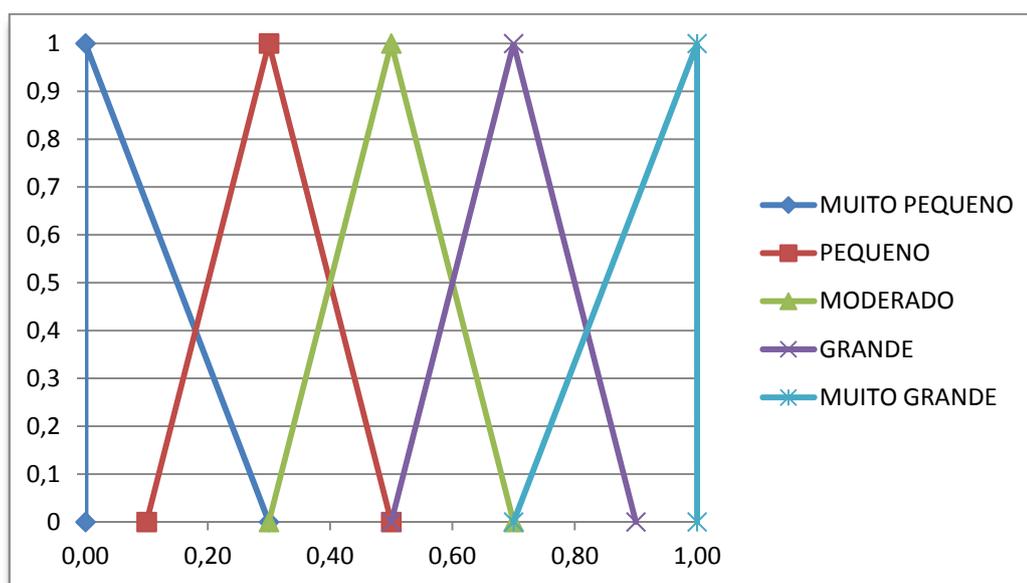
linguísticas. São cinco expressões: “muito pequeno”, “pequeno”, “moderado”, “grande” e “muito grande”. A própria OMS indica pesos para estas expressões linguísticas em sua metodologia (OMS, 2006).

Para este caso, propõe-se que estas expressões linguísticas também sejam representadas por números fuzzy triangulares (NFT). De maneira geral, conforme a própria OMS (OMS, 2006; WHO/IWA, 2009), bem como outros estudos realizados (Berry *et al.*, 2006; Vieira, 2008; Christodoulou; Deligianni, 2010; Deng *et al.*, 2011), os impactos podem receber valores máximos, médios e mínimos, subdividindo a escala de 0 a 1 em intervalos iguais, para os níveis de pertinência de 0 a 1 (ou 0 a 100%). Nesta caso, foram subdivididos em cinco intervalos, a saber:

- Muito pequeno: NFT = [0,00 0,00 0,30];
- Pequeno: NFT = [0,10 0,30 0,50];
- Moderado: NFT = [0,30 0,50 0,70];
- Grande: NFT = [0,50 0,70 0,90];
- Muito grande: NFT = [0,70 1,00 1,00].

O Gráfico 02 apresenta os NFTs referentes aos impactos.

Gráfico 02 – NFTs para as escalas de impactos, para os níveis de pertinência do PSA da RMF, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Sadiq; Rodriguez (2005) comentam que interpretar dados de qualidade da água gerados rotineiramente para o controle e monitoramento de sistemas de distribuição de água é uma tarefa complicada para os gerenciadores e/ou fiscalizadores dos mesmos, devido à diversidade de parâmetros e, ainda, porque os dados são gerados em locais e em períodos diferentes. Para simplificar o entendimento e a interpretação destes, são necessárias técnicas de agregação de dados.

Para aplicação em escala real e, tendo em vista que os impactos à qualidade da água geram impactos à saúde da população que a consome, sugerem-se que os impactos sejam obtidos a partir do não atendimento às diretrizes e normas aplicáveis e em vigor com relação aos padrões de potabilidade da água.

Desta maneira, podem ser tomados como referência de impactos os NFTs gerados a partir das não-conformidades existentes com relação aos parâmetros da Portaria Nº 518/04, mesmo havendo sido revogada pela Portaria Nº 2.914/11, já que os dados existentes foram coletados em anos anteriores.

Porém, os parâmetros de qualidade da água possuem impactos diferenciados na saúde da população quando da ocorrência de sua não-conformidade. Considerando que as legislações homologadas têm como base aspectos diretamente relacionados com a saúde, seja na definição dos valores máximos permitidos (VMP), seja na frequência, seja no plano de amostragem, foi utilizada uma análise de multicritério para ponderar as não-conformidades ocorridas por parâmetro, obtendo-se, assim, o impacto ocorrido em cada etapa considerada do SAA.

Os critérios de referência estabelecidos foram: VMP, plano de amostragem, frequência de amostragem e, ainda, o nível de exigência dado ao parâmetro comparando-se a Portaria 518/04 à Portaria 2.914/11.

Assim, os NFTs referentes aos impactos foram obtidos por etapa do SAA a partir de uma soma ponderada e do desvio padrão de cada não-conformidade, denominando-se: NFT-I.

4.2.2.3 Metodologia para ponderações

Os fatores ou pontos críticos que podem ocasionar riscos ao sistema de abastecimento de água possuem pesos de influência diferenciados, pois cada fator interfere no sistema de forma diferenciada e, inclusive, ocasiona impactos que podem possuir maior ou menor intensidade. Considerando os estudos realizados, bem como as diretrizes recomendadas pela OMS, com relação aos pontos críticos de controle que devem ser monitorados para garantia da qualidade da água, foram estimados pesos para cada fator ou problema que pode ocorrer. Entre os diversos estudos desenvolvidos pela OMS podem-se citar: HUNTER; FEWTRELL, 2001; HAVELAAR; MELSE, 2003; HOWARD; BARTRAM, 2003; WHO/FAO, 2003; WHO/OECD, 2003; AINSWORTH, 2004; LE CHEVALLIER; AU, 2004; THOMPSON *et al.*, 2007.

Esta estimativa foi ainda comparada com uma pesquisa amostral desenvolvida a partir de uma pesquisa para indicativo de pesos, realizada junto a profissionais da área de Engenharia Sanitária e Saneamento de diversas áreas de atuação (ARCE, CAGECE, FUNASA) e em vários estados do Brasil e do Distrito Federal (Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Santa Catarina e Ceará). Esta pesquisa foi realizada no decorrer do mês de janeiro de 2012, e foi obtida resposta de 22 técnicos da área de saneamento. O modelo do questionário aplicado encontra-se no anexo (Quadro 1-A).

O objetivo deste questionário foi obter uma percepção técnica estadual e/ou nacional dos pesos adotados nos fatores que foram considerados nesta pesquisa, para verificação de que os fatores adotados estariam dentro de uma perspectiva mais próxima da realidade e de especificidades locais. Para comparar os resultados, foram obtidos os valores médios e modais (que mais aparecem na

amostra), bem como os respectivos desvios (indicados no Quadro 1-A). Logo, a pesquisa foi utilizada apenas para efeito comparativo do que estava sendo proposto.

Cheng (2004) mostra um método para representar opiniões de grupos utilizando números fuzzy triangulares, que são obtidos a partir de um processo de distribuição de pesos ou critérios.

Neste trabalho, foi adotada a proposta citada por Tadic (2005), cuja metodologia é a mais conhecida entre os métodos desenvolvidos no ambiente das decisões multicritério, o Método de Análise Hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*) desenvolvido por Thomas Saaty. Nesse método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação (SILVA; BELDERRAIN, 2005).

Os valores foram definidos no grupo dos números reais e pertence ao intervalo [1, 9], para utilização do método definido na escala Saaty (Tadic, 2005), onde os valores extremos indicam:

- Valor 1: consequência do risco específico é desprezível;
- Valor 9: consequência do risco é extremamente alta.

O método é baseado na construção subjetiva de uma matriz de comparação par a par do critério de importância, cujos valores são gerados a partir da Equação 1:

$$P = [p_i / p_{i'}]_{l \times l}. \quad (1)$$

Onde: os elementos da matriz, $p_i / p_{i'}$, para $(i = 1, \dots, l)$ e $(i' = 1, \dots, l)$, correspondem à importância do critério de otimização i ($i \in l$) no que diz respeito ao critério de otimização i' ($i' \in l$).

Como os valores estão dentro de um intervalo [1, 9], como citado anteriormente, sabe-se que o valor 1 indica que o critério de otimização i ($i \in l$) e i' ($i' \in l$) são igualmente importantes. Já o valor 9, evidencia que o critério i ($i \in l$) é

extremamente mais importante que o critério i' ($i' \in I$). Os elementos dessa matriz possuem ainda as seguintes propriedades (TADIC, 2005):

- Elementos da diagonal principal não são definidos;
- Valores fora da diagonal são recíprocos entre si;
- O índice de consistência funciona como um indicativo dos erros que existem quando são feitos os julgamentos (tomada de decisão);
- O vetor de pesos do critério de otimização é calculado aplicando o método do autovetor. Os respectivos pesos são números ordinais.

Um exemplo de uma matriz 4 x 4 gerada a partir do método citado pode ser visualizado no Quadro 01.

Quadro 01 – Exemplo de uma Matriz Quadrada de ordem 4, gerada a partir do Método de Análise Hierárquica.

CRITÉRIOS	P1	P2	P3	P4
P1	1	3	5	7
P2	1/3	1	1 2/5	2 1/3
P3	1/5	3/5	1	1 2/5
P4	1/7	3/7	3/5	1
P5	1/9	1/7	1/5	1/3

Fonte: Autor, 2011.

Salomon *et al.* (2009) definem detalhadamente o procedimento a ser seguido para o método AHP:

- Primeiramente devem-se definir os critérios que são comparados para auxiliar na escolha das alternativas. Com os critérios definidos, monta-se a Matriz de Prioridades de Critérios, tendo como base a regra sugerida por Saaty (1991): preenche-se a matriz comparando-se os critérios que aparecem na coluna da esquerda em relação às características que aparecem na linha superior;
- Um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio, isto é, onde a linha 1 encontra a coluna 1, na posição (1,1), coloca-se 1. Logo, a diagonal principal de uma matriz deve consistir em 1. Se os valores são obtidos comparando-se C_1 com

- C_2 , quando há a comparação de C_2 com C_1 na matriz os valores são, portanto, os recíprocos apropriados 1, 1/3, ..., ou 1/9 (SAATY, 1991);
- iii) A alteração dos pesos de cada critério é realizada dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (SAATY, 1991);
- iv) Para verificar a consistência da Matriz de Prioridades dos Critérios, multiplica-se a mesma pelo vetor peso e obtém-se a Matriz de Consistência, com os elementos w_1, w_2, w_3 e w_4 (SAATY, 1991);
- v) O Resultado da Consistência (RC) (Equação 2) é determinado pela divisão do índice de consistência (IC) pelo índice RI (Equação 3).

$$RC = IC / RI \quad (2)$$

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

onde:

RI é um índice tabelado em função de n (número de critérios), conforme Tabela 12.

$\lambda_{\text{máx}}$ é um índice que relaciona os critérios da Matriz de Consistência e os pesos dos critérios. A Equação 4 apresenta o cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$.

$$\lambda_{\text{máx}} = 1 / n \times \sum (\text{critério Matriz Consistência} / \text{peso do critério}) \quad (4)$$

Tabela 12 - Valores de RI para Matrizes Quadradas de ordem n .

n	1	2	3	4	5	6	7	
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	
n	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Adaptado de COLEY, 2004.

- vi) Se RC for inferior a 0,1 o grau de consistência é satisfatório, mas se RC for superior a 0,1 podem existir sérios problemas de inconsistência e o método AHP não deverá ser utilizado (SAATY, 1991).

As Matrizes de Prioridade para os Processos, após a verificação do grau de consistência, são determinadas da mesma maneira que a Matriz de Prioridade foi determinada. Os escores dos processos para cada critério, após a construção das Matrizes de Priorização para os Processos, são determinados dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização). Determina-se o escore total dos processos, com os escores para cada critério, multiplicando o escore médio dos critérios pelo peso de cada critério (SALOMON *et al.*, 2009).

4.2.3 Procedimento para Análise de Riscos

Observando mais uma vez os modelos de PSA apresentados na Documentação Complementar da Organização Mundial de Saúde sobre PSA (OMS, 2006), o valor considerado para o risco também é descrito por expressões linguísticas. Tanto a OMS, como outros estudos ou pesquisas desenvolvidos, a exemplo do Plano de Segurança das Águas desenvolvido pela Universidade do Minho (Vieira; Morais, 2005), indica pesos para estas expressões linguísticas em sua metodologia.

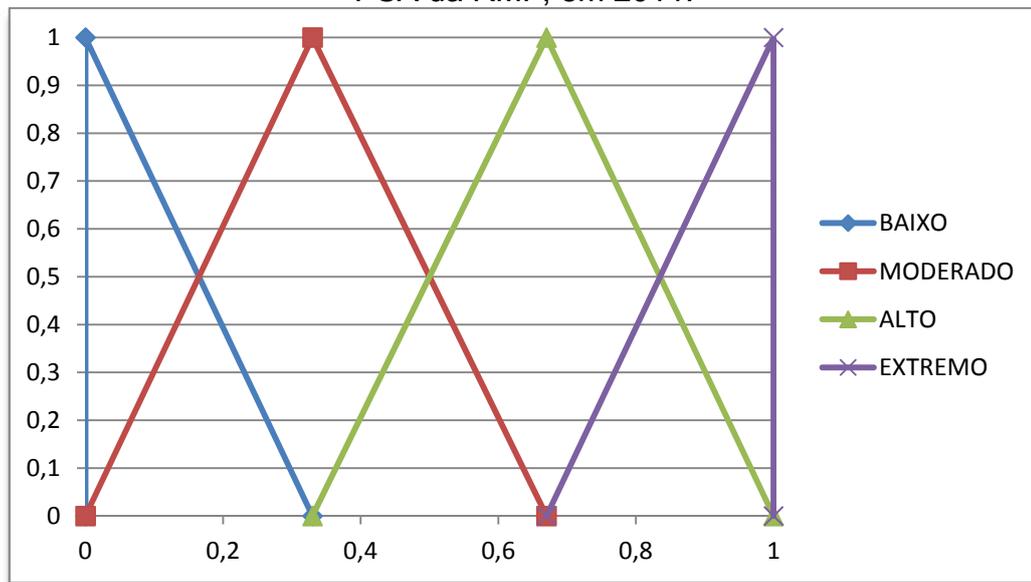
Para esta pesquisa, foram adotadas quatro expressões: “baixo”, “moderado”, “grande” e “extremo”.

Decidiu-se também que estas expressões linguísticas sejam representadas por números fuzzy triangulares (NFT). De maneira geral, conforme a própria OMS, bem como outros estudos realizados, todos já citados no item anterior (4.2.2.2), os impactos podem receber valores máximos, médios e mínimos, subdividindo a escala de 0 a 1 em quatro intervalos iguais, para os níveis de pertinência de 0 a 1 (ou 0 a 100%), a saber:

- Baixo: NFT = [0,00 0,00 0,33];
- Moderado: NFT = [0,00 0,33 0,67];
- Grande: NFT = [0,33 0,67 1,00];
- Extremo: NFT = [0,67 1,00 1,00].

O Gráfico 03 ilustra os NFTs referentes aos riscos.

Gráfico 03 – NFTs para as escalas de riscos, conforme a magnitude proposta no PSA da RMF, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

O procedimento para análise de cada etapa em um sistema de abastecimento de água é desenvolvido a partir de alguns passos:

- (1) Determinação das frequências de ocorrência dos fatores que podem ocasionar diminuição da qualidade da água (NFT): F_f
- (2) Determinação dos pesos dos fatores com relação a cada unidade do SAA: w_{i1}
Para: $i, \dots, n =$ unidade do SAA.
- (3) Ponderação das frequências por unidade do SAA (número fuzzy triangular): F_u
$$F_u = \frac{\sum F_f \times w_{i1}}{\sum w_{i1}} \quad (5)$$

- (4) Determinação dos pesos das unidades com relação a cada etapa do SAA: w_{j2}

$$w_{j2} = \sum w_{i1}, w_{i1} \in w_{j2} \quad (6)$$

Para: $i, \dots, n =$ unidade do SAA;

$j, \dots, m =$ etapa do SAA.

- (5) Ponderação das frequências ou possibilidades por etapa do SAA (número fuzzy triangular - possibilidades): NFT-P

$$\text{NFT-P} = \sum F_u \times w_{j2} / \sum w_{j2} \quad (7)$$

- (6) Obtenção dos impactos a partir das não-conformidades (número fuzzy triangular - impactos): NFT-I

- (7) Obtenção do risco através do produto (número fuzzy triangular - riscos):

$$\text{NFT-R} = \text{NFT-P} \times \text{NFT-I} \quad (8)$$

- (8) Comparação com os números fuzzy triangulares estabelecidos na escala de riscos (baixo, moderado, grande e extremo), para obtenção de valores de intersecção.

- (9) Normalização dos valores de intersecção. Sendo normalização o procedimento para designar o valor de cada critério em um grupo de números reais em um intervalo específico $[0, 1]$, para assim, compará-los entre si (TADIC, 2005).

- (10) Por fim, tem-se os níveis de pertinência para cada escala de riscos.

- (11) Usando a “desfuzificação” obtém-se uma representação escalar do número fuzzy triangular. Existe um número significativo de métodos

de “desfuzificação”, mas o adotado neste trabalho é o método do centro de massa (CM), definido para um triângulo por (COLLI, 2004):

$$CM = 2/3 (0,5P_1 + 0,5P_2) + 1/3 P_3 \quad (9)$$

Sendo P_i : vértices do triângulo; para $i = 1, 2$ e 3 .

Utilizando esta metodologia pode-se obter o nível de risco de cada etapa do sistema de abastecimento de água, para utilização em consonância com as diretrizes estabelecidas pela OMS para o Plano de Segurança da Água (OMS, 2006; WHO/IWA, 2009).

4.3 Estudo de caso

Para a aplicação da metodologia de análise de riscos são utilizados dados de Sistemas de Abastecimento de Água do Estado do Ceará, a partir da consulta aos arquivos disponibilizados pela Agência Reguladora dos Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará, em seu sítio eletrônico, que se referem aos relatórios de fiscalização dos sistemas que são operados pela Companhia Estadual de Água e Esgoto do Ceará e, portanto, regulados por este ente, conforme rege a Lei Nº 14.394, de 07 de julho de 2009 (ARCE, 2010; 2011).

Em complementação, foi consultado também o Plano de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Fortaleza, elaborado como fruto de um convênio entre o Governo do Estado do Ceará e a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2006).

Um resumo das características dos Sistemas de Abastecimento de Água contemplados neste estudo encontra-se no Quadro 2A (em anexo).

Para subsidiar as informações e dados a respeito dos recursos hídricos que são utilizados como fontes de água bruta, foram pesquisados documentos disponibilizados no sítio eletrônico da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

do Estado do Ceará, como o Plano de Gerenciamento da Bacia Metropolitana, que contempla Diagnóstico, Planejamento e Programa de Ações (Cogerh/Ana, 2010), Infraestrutura Hídrica Metropolitana (Cogerh, 2011) e ainda documentos gerados pelo Pacto das Águas, coordenado pelo Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, como o Caderno Regional das Bacias Metropolitanas e o Plano Estratégico dos Recursos Hídricos do Ceará (CEARÁ, 2009, 2009a).

A partir daí, considerando as diversas informações obtidas, puderam ser extraídos os dados necessários para descrição e entendimento do funcionamento do sistema e determinação dos possíveis pontos críticos. Após identificação dos pontos críticos, foram identificados os perigos e respectivos eventos perigosos que podem ocasionar riscos ao sistema e à garantia da qualidade da água para o consumidor, em cada etapa ou unidade dos SAAs. Estes riscos foram, então, caracterizados a partir da estimativa da sua frequência e da sua intensidade, tomando como base os modelos indicados pela OMS (OMS, 2006; WHO/IWA, 2009).

Resultados e Discussões

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Simulação da metodologia para a Análise de Riscos aplicando lógica fuzzy

Como primeiro passo, foi realizada a simulação da metodologia para as escalas estabelecidas para as probabilidades, para os impactos e para os riscos, de forma a compatibilizar com os resultados esperados. Para isso, foram testadas situações mínimas, máximas e intermediárias nas probabilidades e nos impactos, com vistas a obter e visualizar as escalas de resultados dos riscos. Para cada simulação foram inseridos os dados (*input*) de probabilidade e impacto indicados no Quadro 02:

Quadro 02 – Níveis de probabilidade e de impacto considerados para as simulações da metodologia proposta para o PSA da RMF, em 2011.

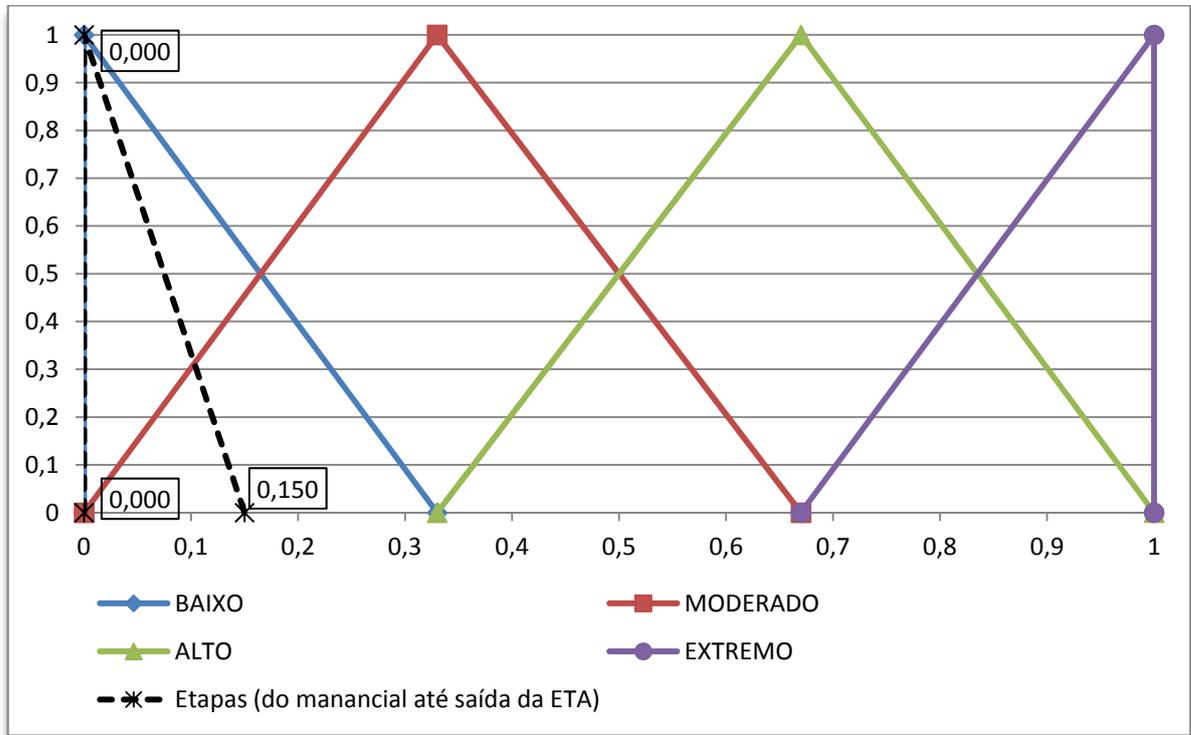
Tipo de Simulação	Probabilidade	Impacto
Situação mínima	Improvável	Pequeno
Situação intermediária	Moderada	Moderado
Situação máxima	Provável	Muito grande

Fonte: Autor, 2011.

É importante salientar que foram realizadas as simulações considerando a divisão proposta para o Sistema de Abastecimento em duas macro etapas: Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA); e, Etapa 2 (da saída da ETA à rede de distribuição). Após diversas simulações, as escalas estabelecidas podem ser descritas pelos respectivos NFTs representados nos Gráficos 01, 02 e 03, para as probabilidades, impactos e riscos, que foram apresentados nos itens 4.3.2.1, 4.3.2.2 e 4.3.3, respectivamente.

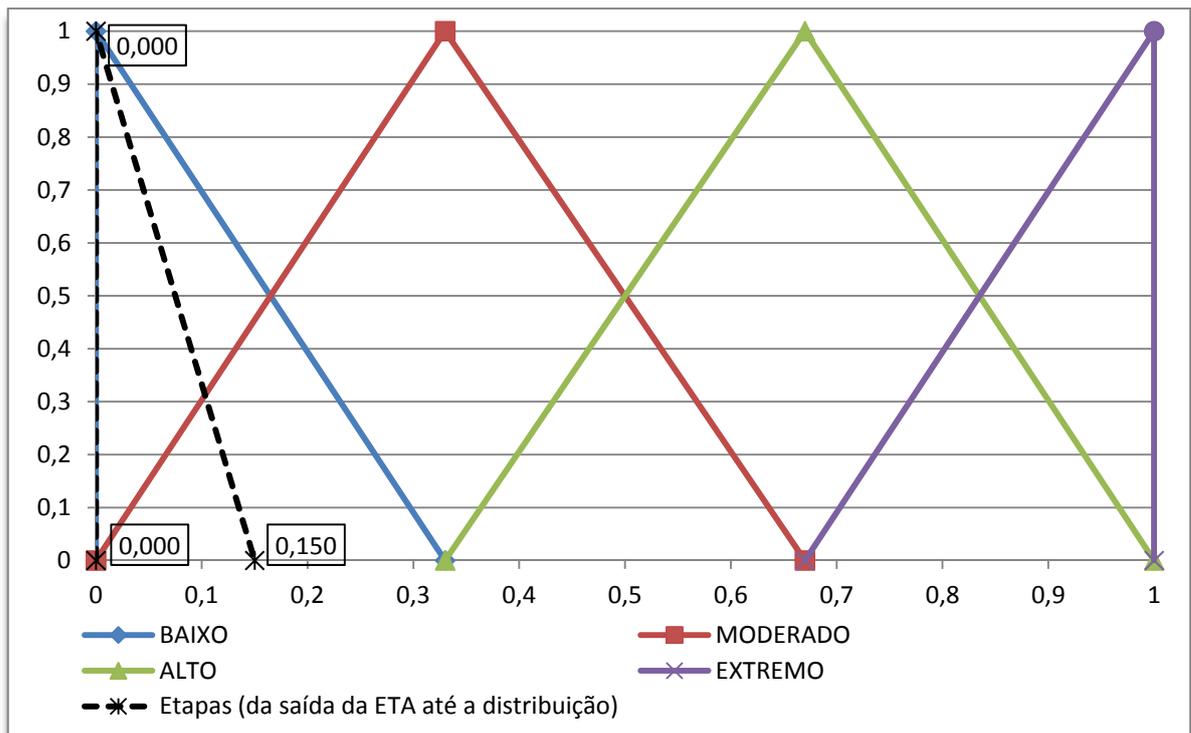
Os resultados obtidos para a escala do risco em ambas as etapas estão ilustrados nos Gráficos 04 a 09, respectivamente. Os níveis de pertinência obtidos nas simulações das situações de condições mínimas, intermediárias e máximas estão elencados nas Tabelas 13 a 15.

Gráfico 04 – NFT para o risco da Etapa 1 para simulação de situação mínima para o PSA da RMF, em 2011.



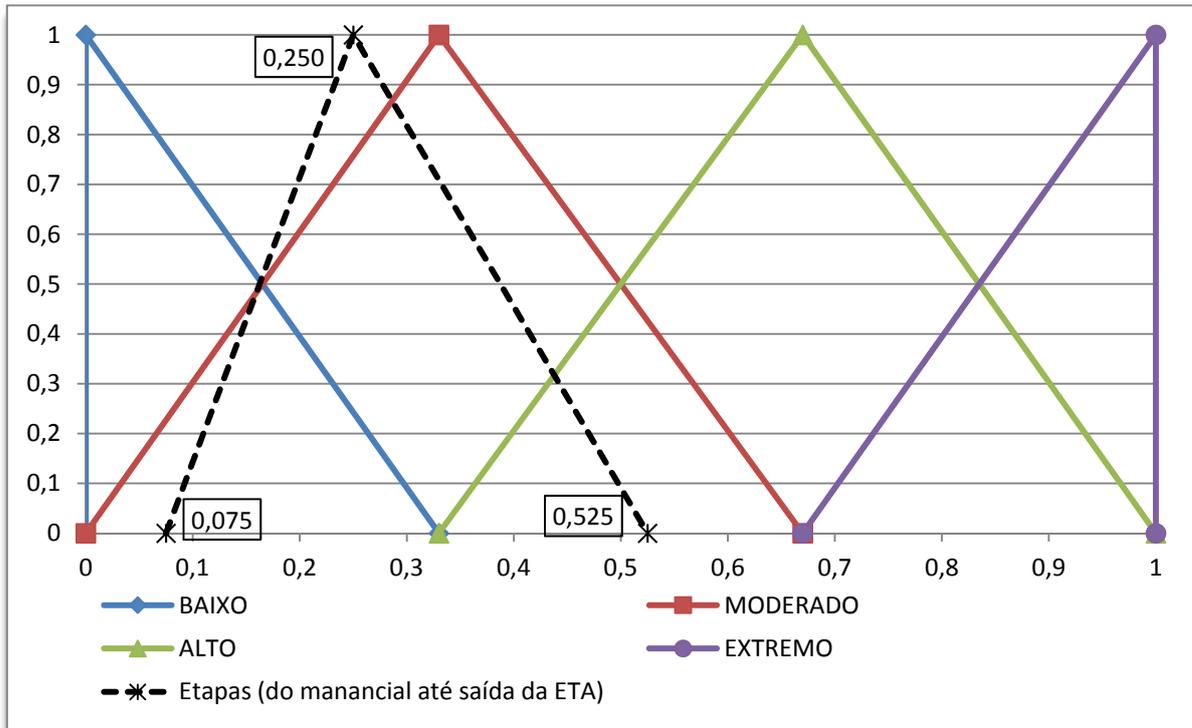
Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 05 – NFT para o risco da Etapa 2 para simulação de situação mínima para o PSA da RMF, em 2011.



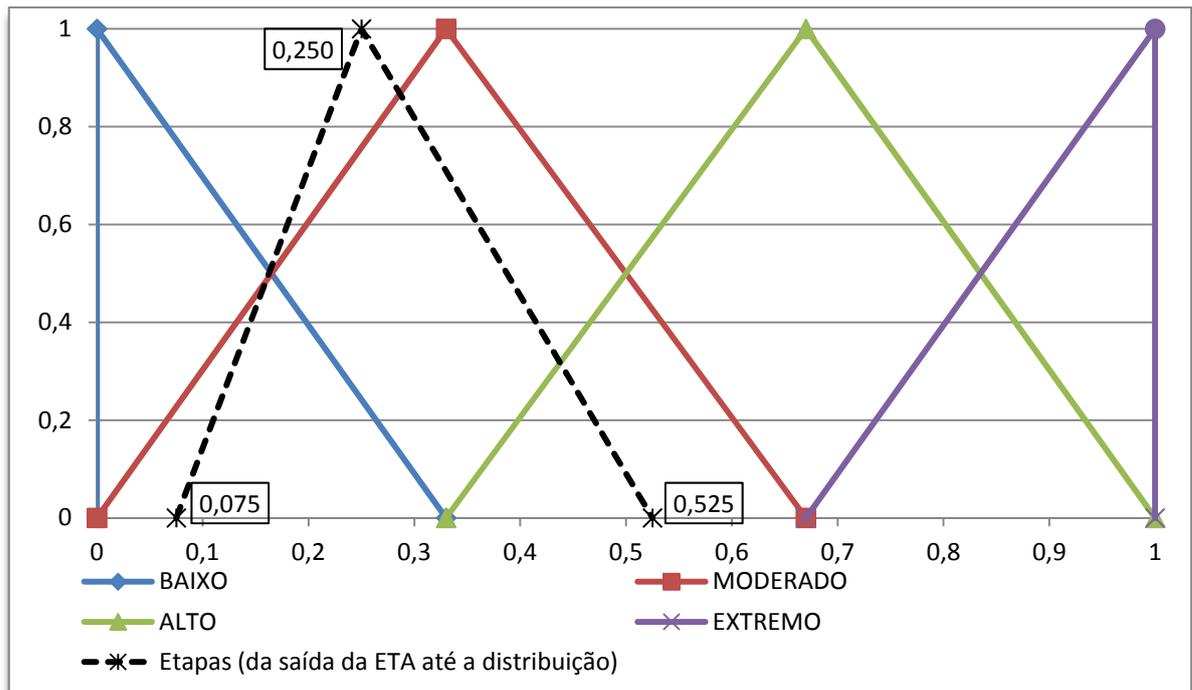
Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 06 – NFT para o risco da Etapa 1 para simulação de situação intermediária para o PSA da RMF, em 2011.



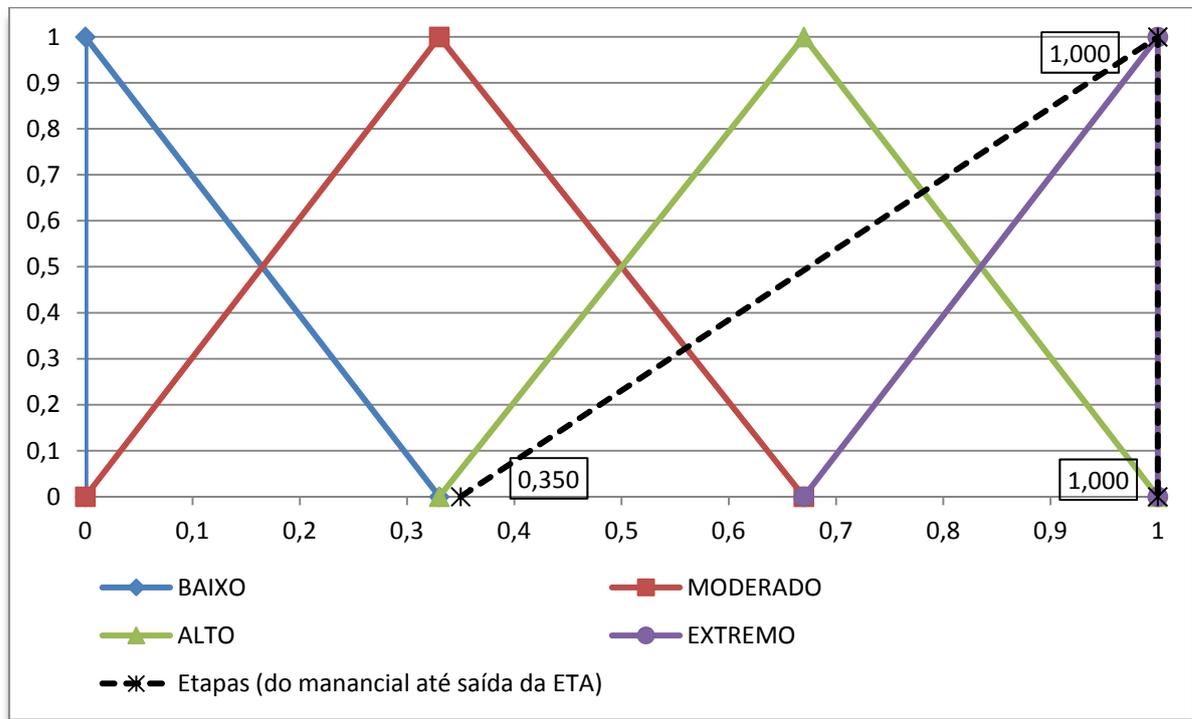
Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 07 – NFT para o risco da Etapa 2 para simulação de situação intermediária para o PSA da RMF, em 2011.



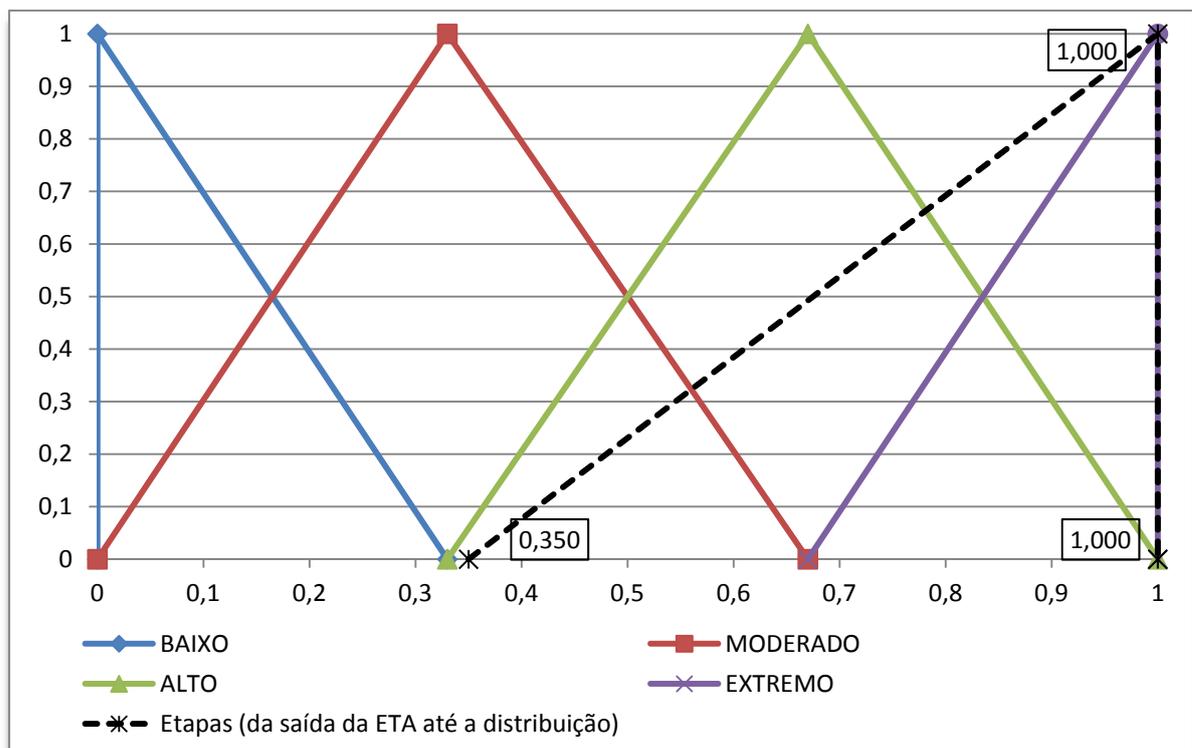
Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 08 – NFT para o risco da Etapa 1 para simulação de situação máxima para o PSA da RMF, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 09 – NFT para o risco da Etapa 2 para simulação de situação máxima para o PSA da RMF, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Tabela 13 – Níveis de pertinência para o risco de um SAA para simulação de situação mínima para o PSA da RMF, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	1,00	0,00	0,00	0,00
Etapa 2	1,00	0,00	0,00	0,00
Total	1,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2011.

Tabela 14 – Níveis de pertinência para o risco de um SAA para simulação de situação intermediária para o PSA da RMF, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,30	0,51	0,19	0,00
Etapa 2	0,30	0,51	0,19	0,00
Total	0,30	0,51	0,19	0,00

Fonte: Autor, 2011.

Tabela 15 – Níveis de pertinência para o risco de um SAA para simulação de situação máxima para o PSA da RMF, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,00	0,11	0,33	0,56
Etapa 2	0,00	0,11	0,33	0,56
Total	0,00	0,11	0,33	0,56

Fonte: Autor, 2011.

O primeiro aspecto que pode ser observado nas Tabelas 13 a 15, é que os níveis de pertinência para os riscos das etapas 1 e 2 foram os mesmos em todas as situações, demonstrando equilíbrio na metodologia.

Na Tabela 13, pode-se observar que, para a simulação de situação mínima, o nível de pertinência ficou em 100%.

No caso da simulação de situação intermediária (Tabela 14), os níveis de pertinência obtidos foram: 30% para o Risco Baixo, 51% para o Risco Moderado e 19% para o Risco Alto. Neste caso, observa-se uma preponderância para o Risco Moderado, mas permaneceu uma faixa tanto para o Risco Baixo como para o Alto.

As faixas retratam que uma situação absoluta na verdade não seria pertinente com a realidade.

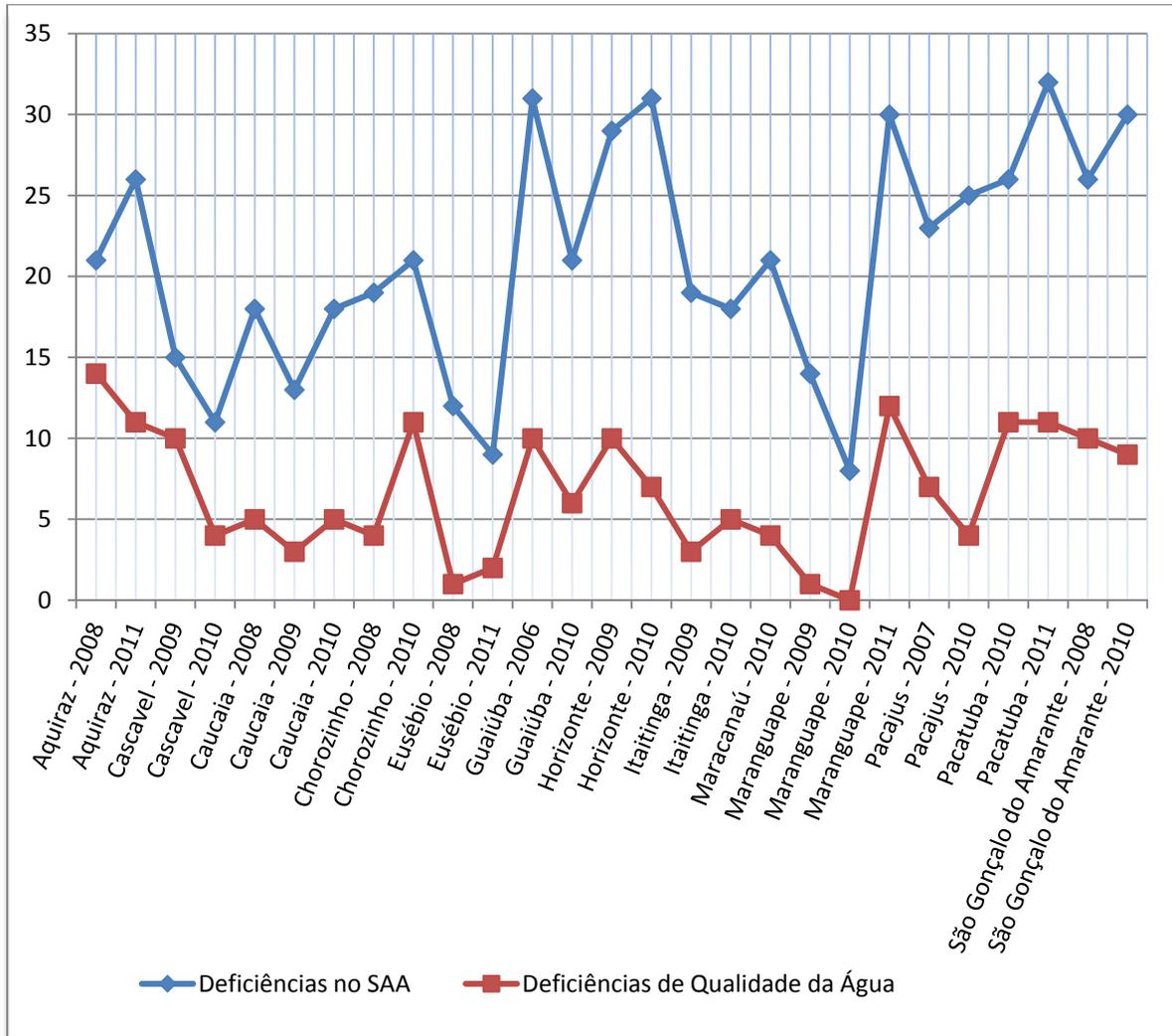
Para a simulação de situação máxima, observada na Tabela 15, as faixas obtidas foram: 11% no Risco Moderado, 33% no Risco Alto e 56% no Risco Extremo. Desta maneira, pode-se observar que em uma situação máxima, ter-se-ia 89% de nível de pertinência para o Risco Alto-Extremo. Isso seria de fato uma situação insustentável para um SAA.

5.2 Análise de riscos dos Sistemas de Abastecimento de Água da RMF/CE, em 2011, aplicando lógica fuzzy

A partir da metodologia proposta, bem como dos dados existentes, pode-se analisar a situação dos Sistemas de Abastecimento de Água dos municípios da RMF estudados nesta investigação, como forma de aplicação em escala real. Inicialmente, é importante ilustrar que os dados das deficiências no SAA ou fatores que podem acarretar a diminuição na qualidade da água e os dados de ocorrência das não-conformidades detectadas no sistema de abastecimento foram correlacionados.

O Gráfico 10 reúne o número de deficiências detectadas nos SAAs dos 13 municípios da RMF selecionados no estudo e os números de deficiências detectadas na qualidade da água a partir das não-conformidades de diversos parâmetros com relação ao normativo em vigência na época (Portaria MS 518/2004). As quantidades estão evidenciadas no eixo das ordenadas. O eixo das abscissas elenca os municípios e o respectivo ano da fiscalização.

É importante ressaltar que os dados coletados referem-se aos relatórios de fiscalização da Arce de cada município auditado. A fiscalização ocorre de forma amostral nos sistemas de abastecimento de água no Estado do Ceará, a partir de sorteios anuais. Foram selecionados pelo menos dois relatórios de cada município para que fosse possível observar um quadro evolutivo dos sistemas.

Gráfico 10 – Correlação entre Deficiências do SAA x Qualidade da Água.

Fonte: Autor, 2011.

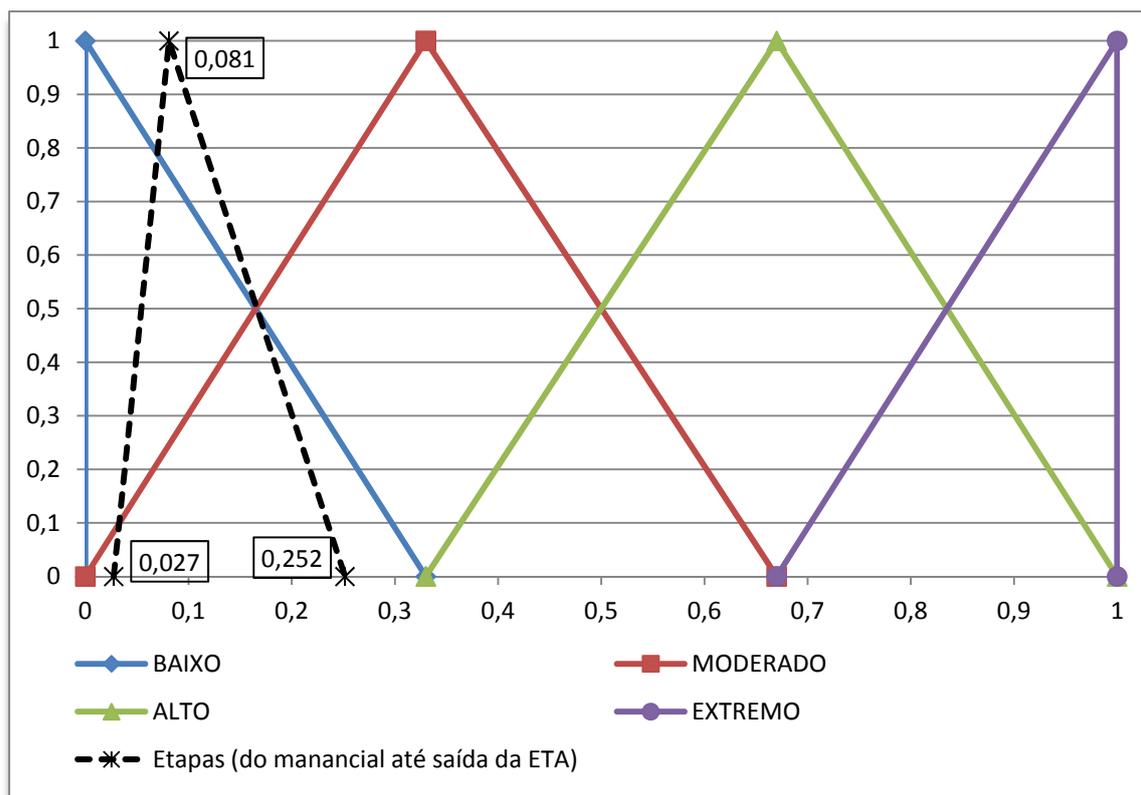
Pode-se evidenciar a correlação existente, tendo em vista ainda, que o índice de correlação apresentou um valor de 0,72, que estabelece uma forte correlação entre os dados.

Nos itens subsequentes, para cada município, encontram-se ilustrados os gráficos dos riscos para as duas etapas consideradas, sendo etapa 1, do manancial até a saída da ETA e a etapa 2, da saída da ETA até a rede de distribuição. Além disso, são apresentadas também tabelas que resumem a situação de cada etapa, como também do sistema como um todo, para cada nível de pertinência em cada nível de risco (baixo, moderado, alto e extremo).

5.2.1 Município de Aquiraz/CE

O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Aquiraz encontra-se ilustrado no Gráfico 11 (ver tracejado). O centro de massa do NFT para a Etapa 1 é de 0,120 no eixo das abscissas.

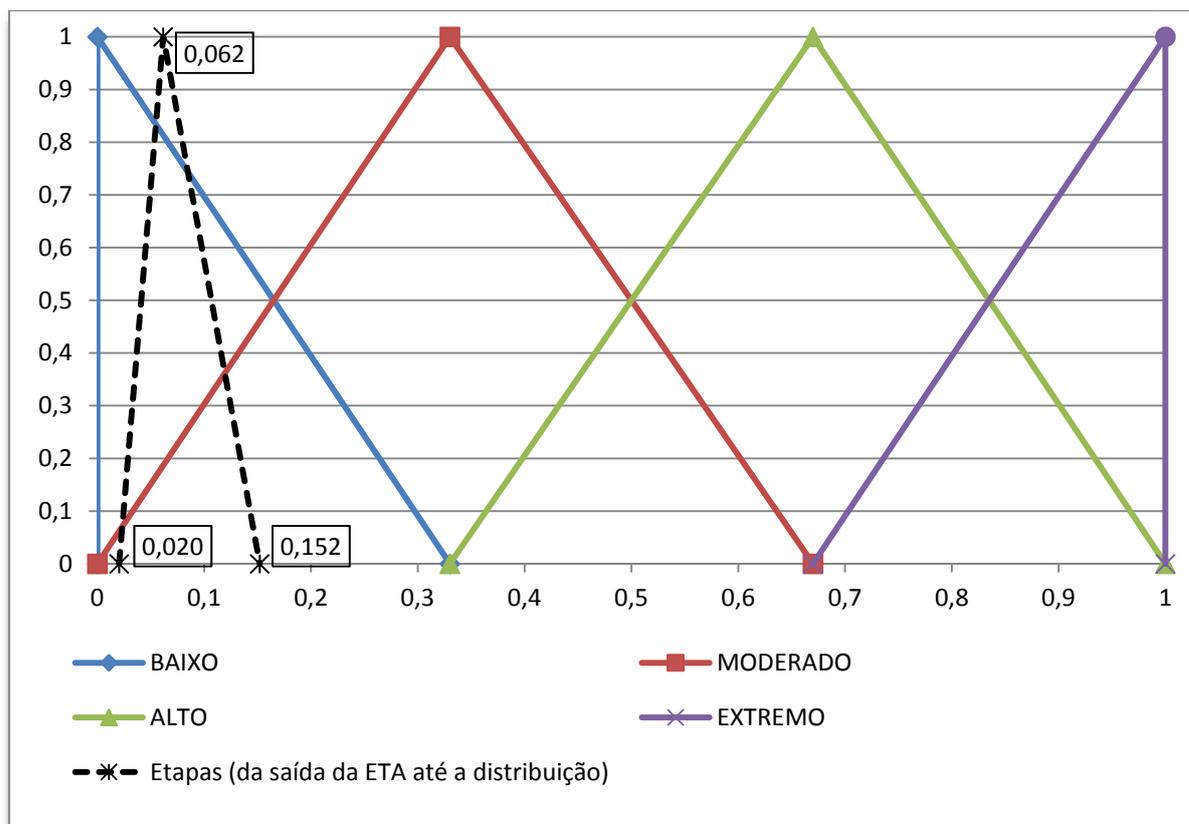
Gráfico 11 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Aquiraz, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

É importante frisar que os valores expostos junto ao NFT referem-se aos valores dos rótulos com os seus respectivos valores do eixo das abscissas, com o intuito de facilitar a visualização.

O Gráfico 12 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Aquiraz.

Gráfico 12 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Aquiraz, em 2011.

Fonte: Autor, 2011.

Observa-se nos Gráficos 11 e 12 que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas. Mas, para a Etapa 2, o centro de massa do NFT ficou em apenas 0,078.

A partir dos NFTs (número fuzzy triangular), da seleção das áreas de interseção e da normalização dos valores, obtêm-se os níveis de pertinência associados a cada escala de risco para o SAA do município de Aquiraz, conforme dados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Aquiraz, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,62	0,38	0,00	0,00
Etapa 2	0,70	0,30	0,00	0,00
Total	0,66	0,34	0,00	0,00

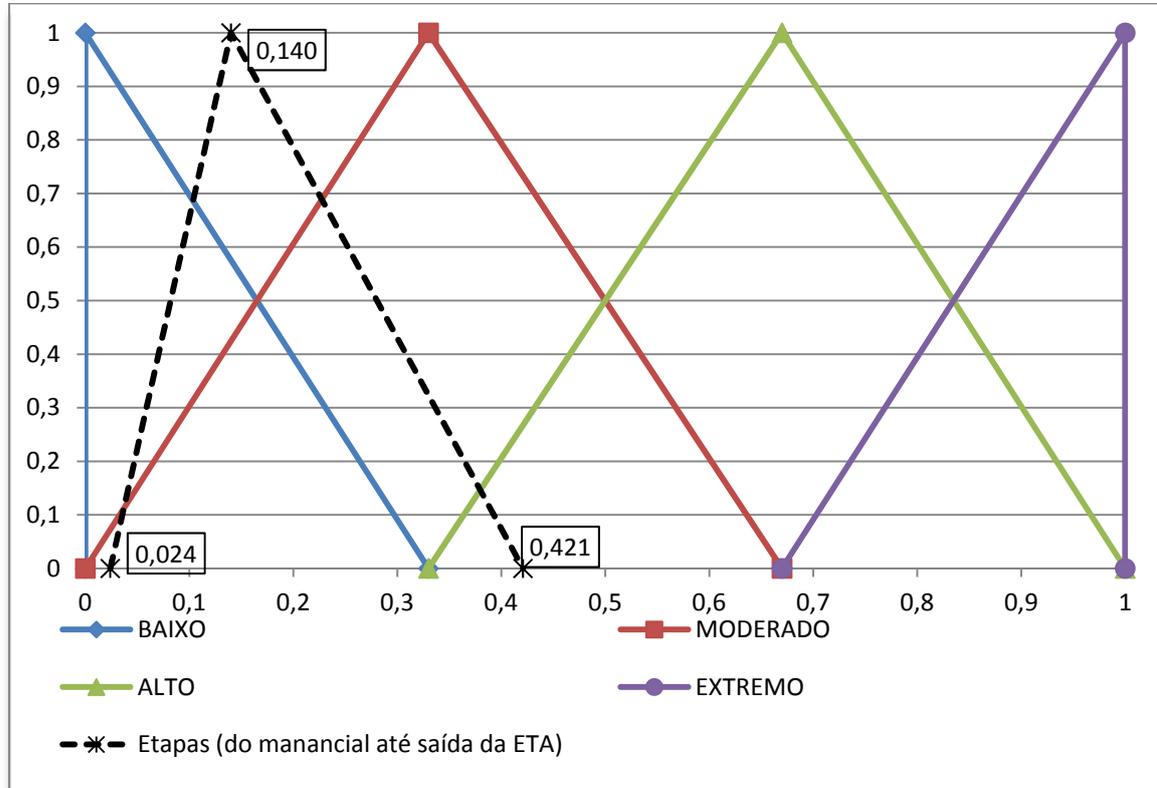
Fonte: Autor, 2011.

Desta maneira, tendo em vista a Tabela 16, pode-se ver que o SAA do município de Aquiraz encontra-se em uma escala de Risco Baixo, com 66% de nível de pertinência. Porém, encontra-se com 34% na escala de Risco Moderado. E, conforme análise por etapa, pode-se ver que para a Etapa 1 o nível de pertinência é de 38% para o Risco Moderado. Logo, as medidas de controle mais imediatas podem se focar onde o risco apresenta-se maior, ou seja, para a etapa do SAA que contempla o manancial até a ETA, considerada como Etapa 1.

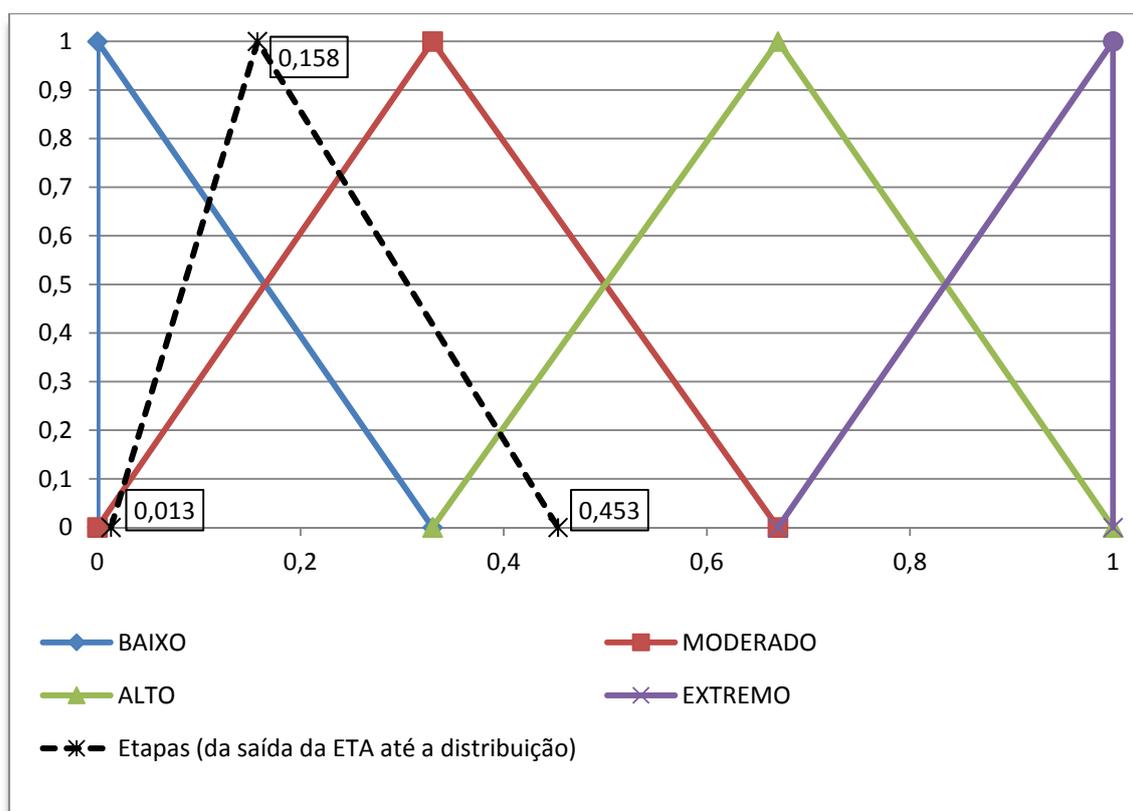
5.2.2 Município de Cascavel/CE

A Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Cascavel está com seu risco representado no Gráfico 13. E, o Gráfico 14 ilustra o risco inerente à Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do referido município.

Gráfico 13 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Cascavel, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 14 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Cascavel, em 2011.

Fonte: Autor, 2011.

Observa-se que, neste caso, o risco (tracejado) encontra-se com maior avanço para a escala de Risco Moderado do que para o Risco Baixo, inclusive adiantando-se até a escala de Risco Alto (em verde).

Após a “desfuzificação”, os centros de massa dos NFTs das Etapas 1 e 2 foram, respectivamente: 0,195 e 0,208. Foram obtidos, então, os níveis de pertinência associados a cada escala de risco para o SAA do município de Cascavel, conforme Tabela 17.

Tabela 17 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Cascavel, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,45	0,45	0,10	0,00
Etapa 2	0,43	0,46	0,12	0,00
Total	0,44	0,45	0,11	0,00

Fonte: Autor, 2011.

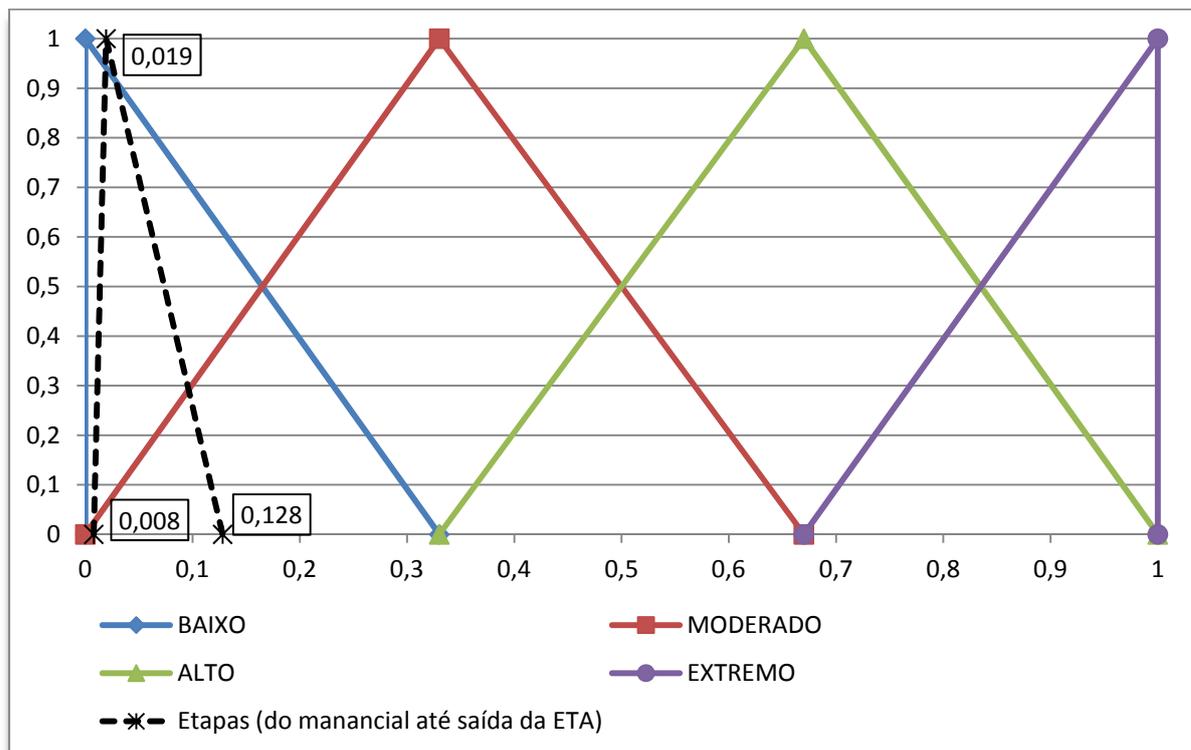
Os níveis de pertinência associados a cada escala de risco para o SAA do município de Cascavel, encontrados foram: 44% para o Risco Baixo, 45% para o Risco Moderado e 11% para o Risco Alto. Estes níveis de pertinência já refletem preocupação maior com este sistema de abastecimento, tendo em vista que o sistema ficou em um risco moderado (45%), e também com 11% de risco alto.

Neste caso, ressalta-se que não há diferença significativa entre os níveis de risco da Etapa 1 e da Etapa 2. Porém, pode ser visto que os níveis de pertinência da Etapa 2 encontram-se um pouco superiores (cerca de 2%), tanto para a escala de Risco Moderado como para o Risco Alto. Logo, a Etapa 2 reflete um maior risco à funcionalidade do SAA no que se refere à qualidade da água.

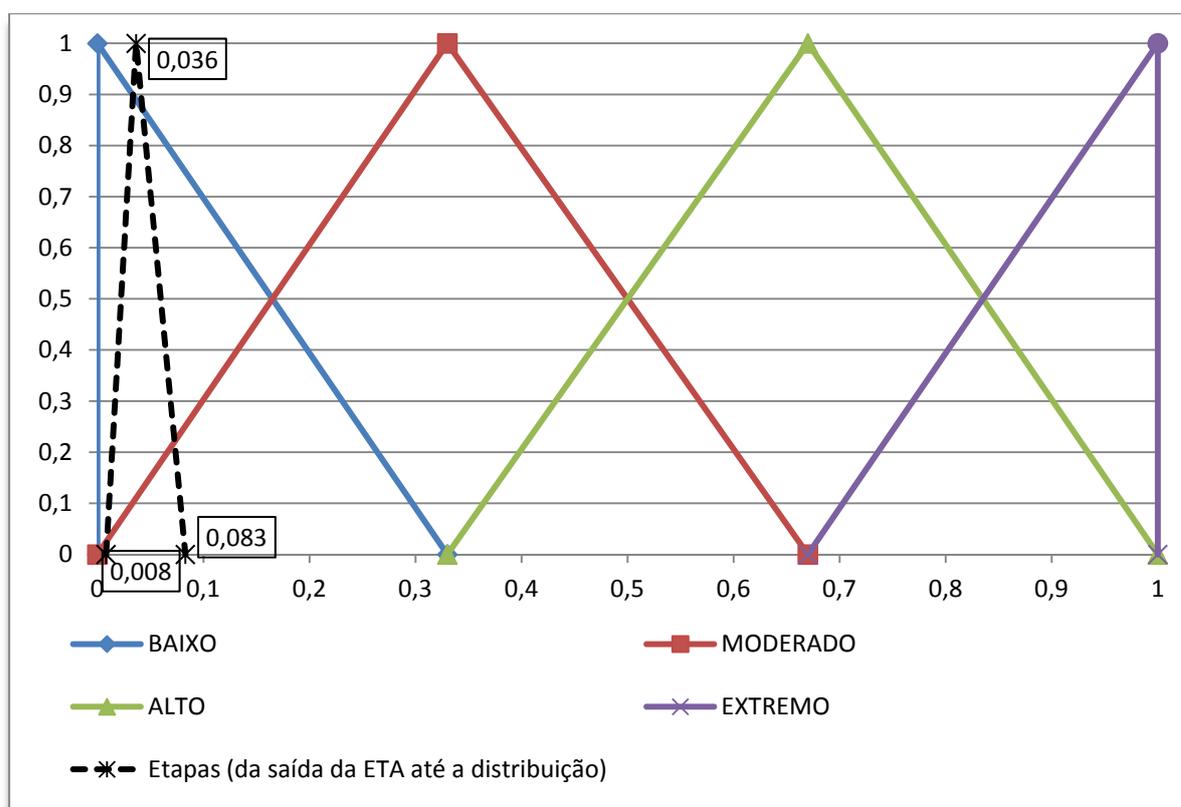
5.2.3 Município de Caucaia/CE

Para o município de Caucaia, os Gráficos 15 e 16 apresentam, respectivamente, o risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) e da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Caucaia.

Gráfico 15 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Caucaia, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 16 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Caucaia, em 2011.

Fonte: Autor, 2011.

Pode-se ver que, para este caso, o risco ficou com os seus NFTs bem perto do eixo das ordenadas, e, inclusive os seus valores máximos não ultrapassam sequer a escala de 0,1 de risco, no eixo das abscissas, e seus centros de massa ficaram com valores de 0,052 e 0,043, respectivamente, para as Etapas 1 e 2.

O resumo dos níveis de pertinência, para cada etapa e para o sistema de abastecimento, considerando cada escala de risco, encontra-se exposto na Tabela 18.

Tabela 18 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Caucaia, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,76	0,24	0,00	0,00
Etapa 2	0,80	0,20	0,00	0,00
Total	0,78	0,22	0,00	0,00

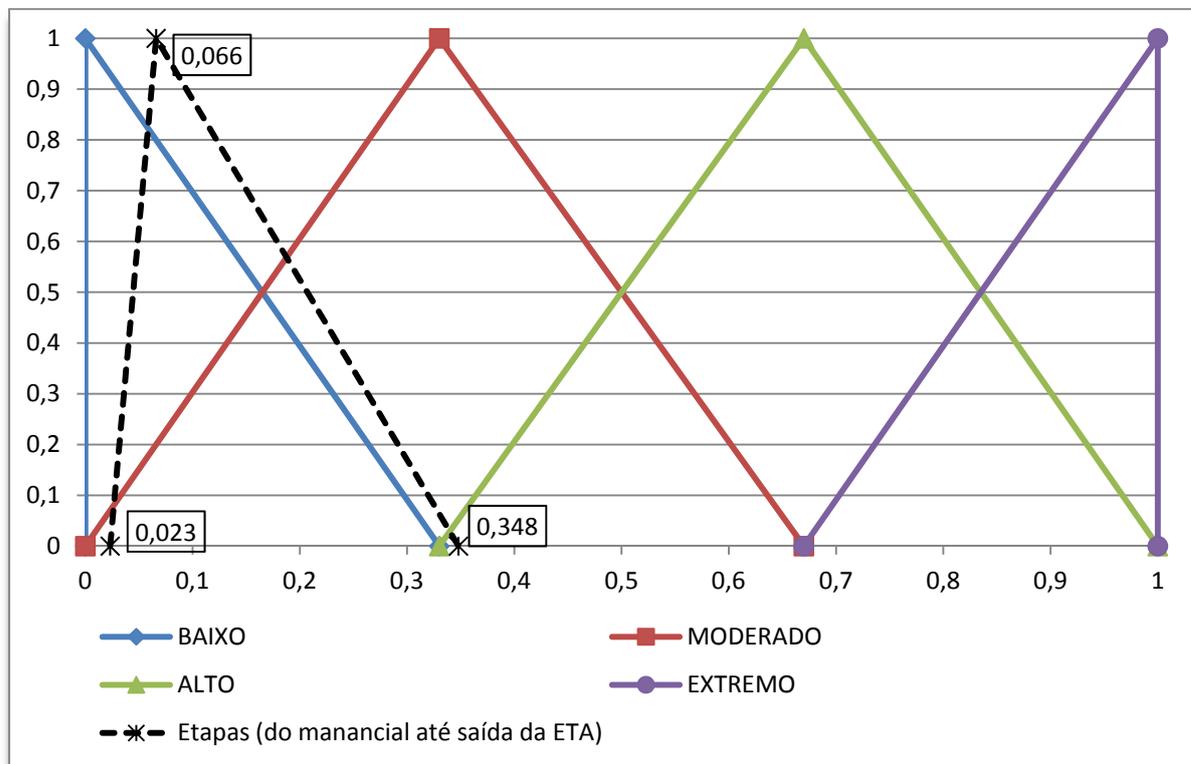
Fonte: Autor, 2011.

Para este município, o risco encontra-se como Baixo para um nível de pertinência de 78%. O que pode indicar situação mais favorável e segura para a população abastecida por este sistema. É importante, de qualquer forma, salientar que a Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) é que apresenta uma maior tendência para o nível de Risco Moderado, tendo em vista que apresenta quatro pontos a mais de pertinência (de 20 para 24%) para este risco. Logo, a maior preocupação neste sistema é a Etapa 1, para que a água fornecida à população seja de fato de qualidade.

5.2.4 Município de Chorozinho/CE

O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Chorozinho encontra-se ilustrado no Gráfico 17.

Gráfico 17 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Chorozinho, em 2011.

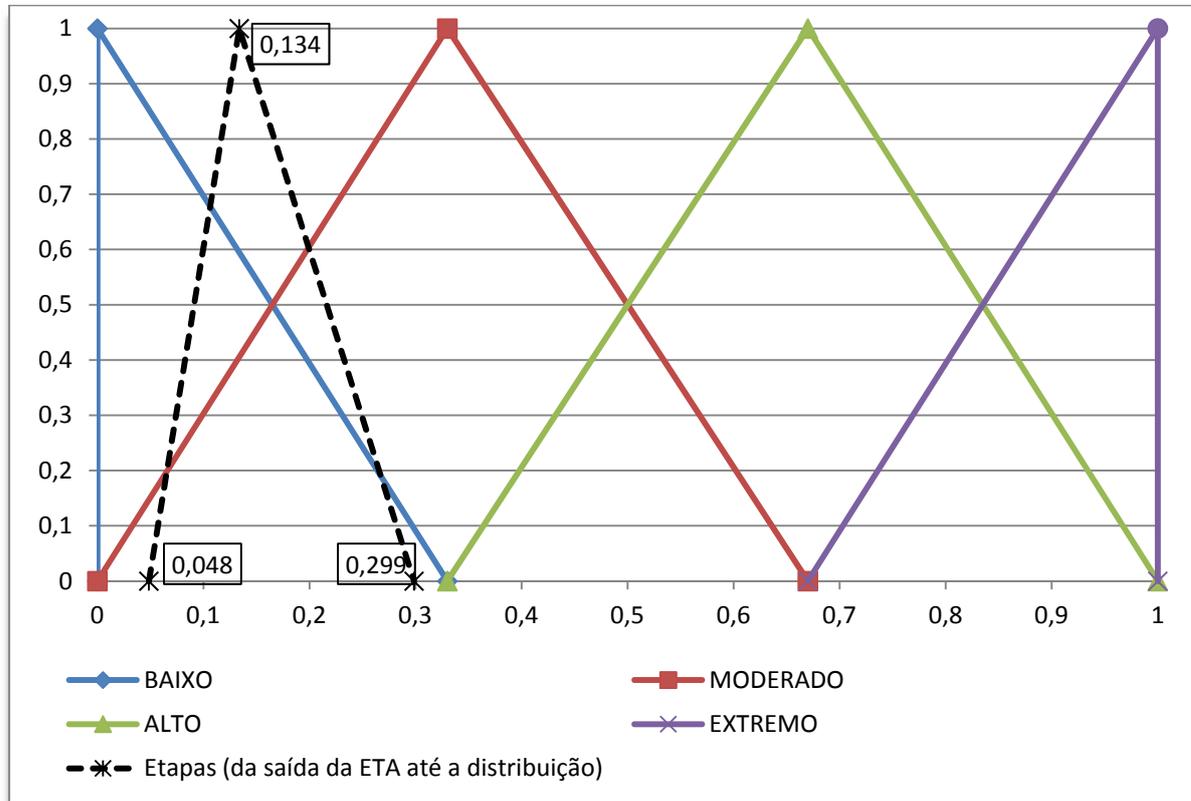


Fonte: Autor, 2011.

Observa-se visualmente que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”. Porém, na Etapa 1, apesar de haver uma pequena intersecção na área da escala do Risco Alto, existe uma tendência maior para o Risco Baixo. Isto está

evidenciado ainda na tabela dos níveis de pertinência. O centro de massa obtido devido à “desfuzificação” encontra-se no valor de 0,146.

Gráfico 18 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Chorozinho, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

O Gráfico 18 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Chorozinho. Neste caso, o centro de massa calculado foi de 0,160, no eixo das abscissas.

Os níveis de pertinência obtidos, que estão associados a cada escala de risco para o SAA do município de Chorozinho, estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Chorozinho, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,55	0,38	0,08	0,00
Etapa 2	0,56	0,44	0,00	0,00
Total	0,55	0,41	0,04	0,00

Fonte: Autor, 2011.

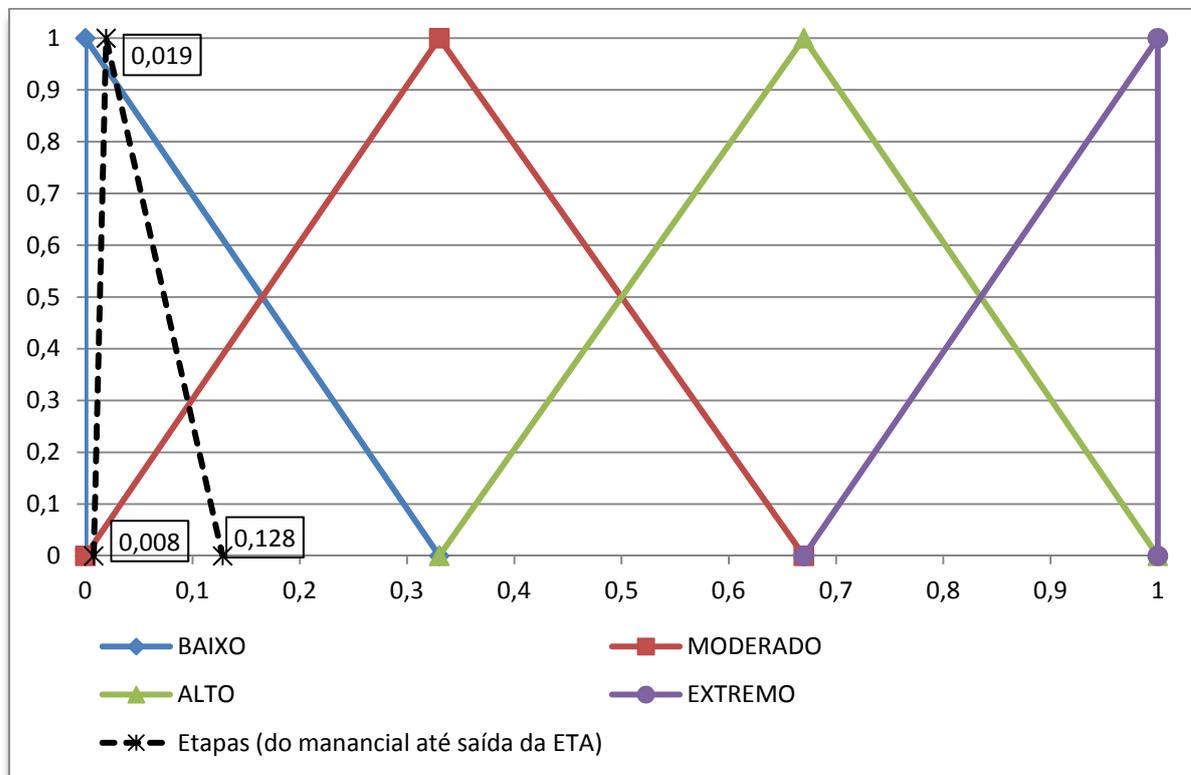
Além de visualizado nos gráficos, os valores obtidos para os níveis de pertinência evidenciam que o risco deste sistema encontra-se numa escala de Risco Baixo com 55% de nível de pertinência, apesar de haver 41% na escala de Risco Moderado e 4% resultante no Risco Alto.

Logo, mesmo o Risco Baixo ficando com o maior valor de nível de pertinência, deve-se atentar ao fato de haver um valor de % em Risco Alto, gerado devido a um nível de pertinência de 8% na Etapa 1. Portanto, a Etapa 1 deste sistema deve ser analisada com maior cuidado para que este risco não aumente de forma a comprometer a qualidade da água fornecida à população.

5.2.5 Município de Eusébio/CE

Os riscos para o município de Eusébio encontram-se apresentados nos Gráficos 19 e 20, a partir dos NFTs de ambas as etapas 1 e 2, respectivamente.

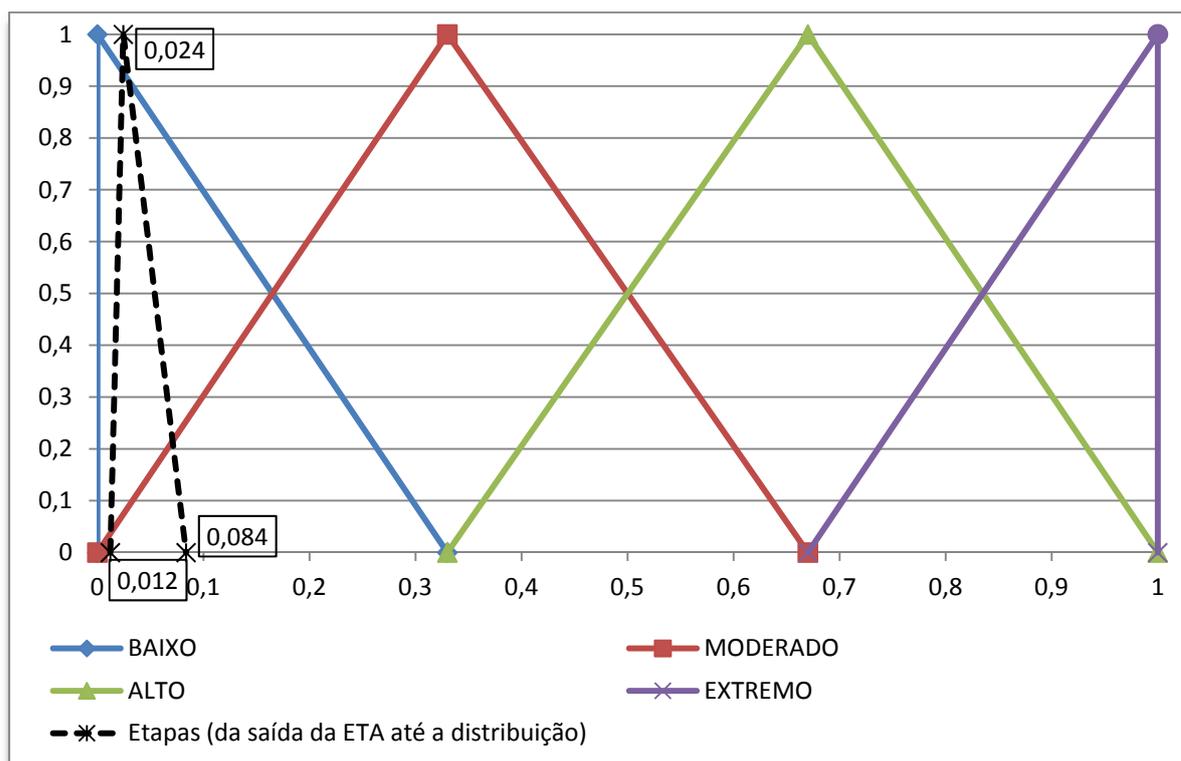
Gráfico 19 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Eusébio, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Para o município de Eusébio, o Gráfico 19 apresenta o risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA. A área do risco desta etapa do SAA do município de Eusébio ficou com uma grande intersecção na área da escala do Risco Baixo. A “desfuzificação” a partir do centro de massa obteve o valor de 0,052.

Gráfico 20 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Eusébio, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Já o Gráfico 20, apresenta o nível de risco da Etapa 2 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do mesmo município. O centro de massa obtido foi 0,040. Observa-se que são valores pequenos, próximos ao eixo das ordenadas.

Pode-se ver que, para este caso, o risco também se apresentou mais para a escala de Risco Baixo. Ficando com o seu NFT bem perto do eixo das ordenadas, e o seu valor máximo também não ultrapassa a escala de 0,1 de risco, no eixo das abscissas.

O resumo dos níveis de pertinência, para cada etapa, bem como para o sistema de abastecimento, considerando cada escala de risco, encontra-se elencado na Tabela 20.

Tabela 20 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Eusébio, em 2011.

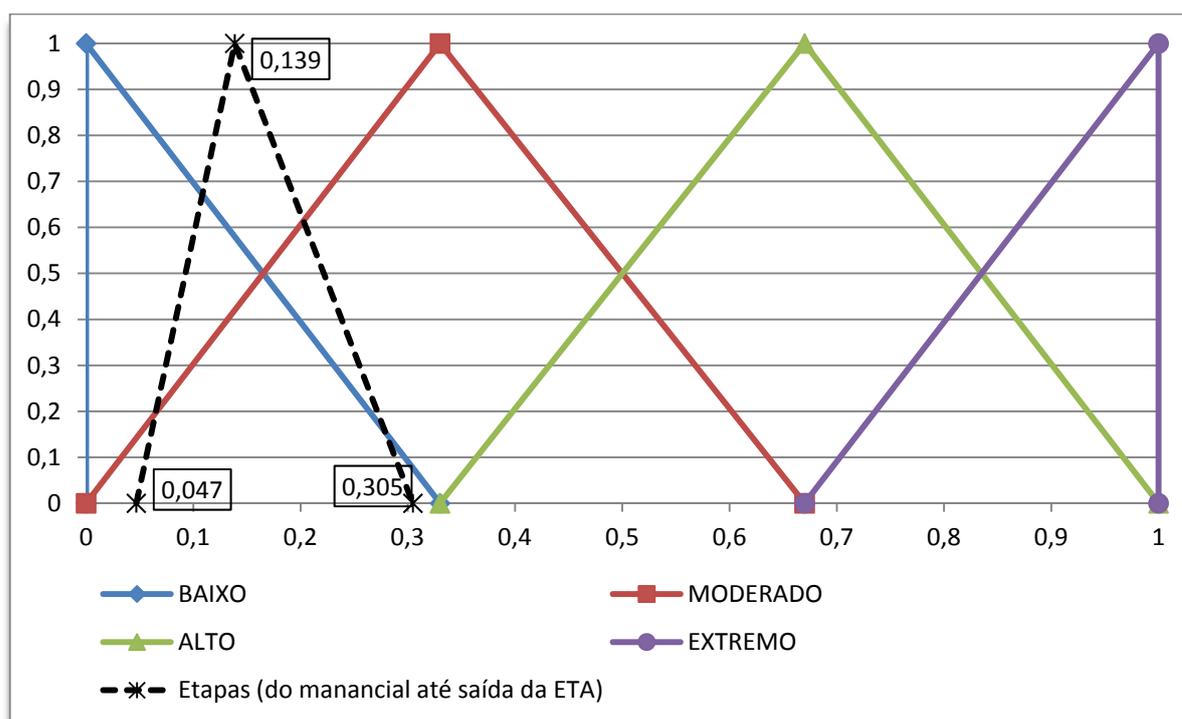
RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,77	0,23	0,00	0,00
Etapa 2	0,81	0,19	0,00	0,00
Total	0,79	0,21	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2011.

Para o SAA deste município, o risco encontra-se como Baixo para um nível de pertinência de 79%. O que também pode indicar situação mais segura para a população abastecida por este sistema. É importante salientar que a Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) é que apresenta uma maior tendência para o nível de Risco Moderado (de 19 para 23%). Logo, um possível monitoramento faz-se importante nesta Etapa 1, onde há um maior risco (23%).

5.2.6 Município de Guaiúba/CE

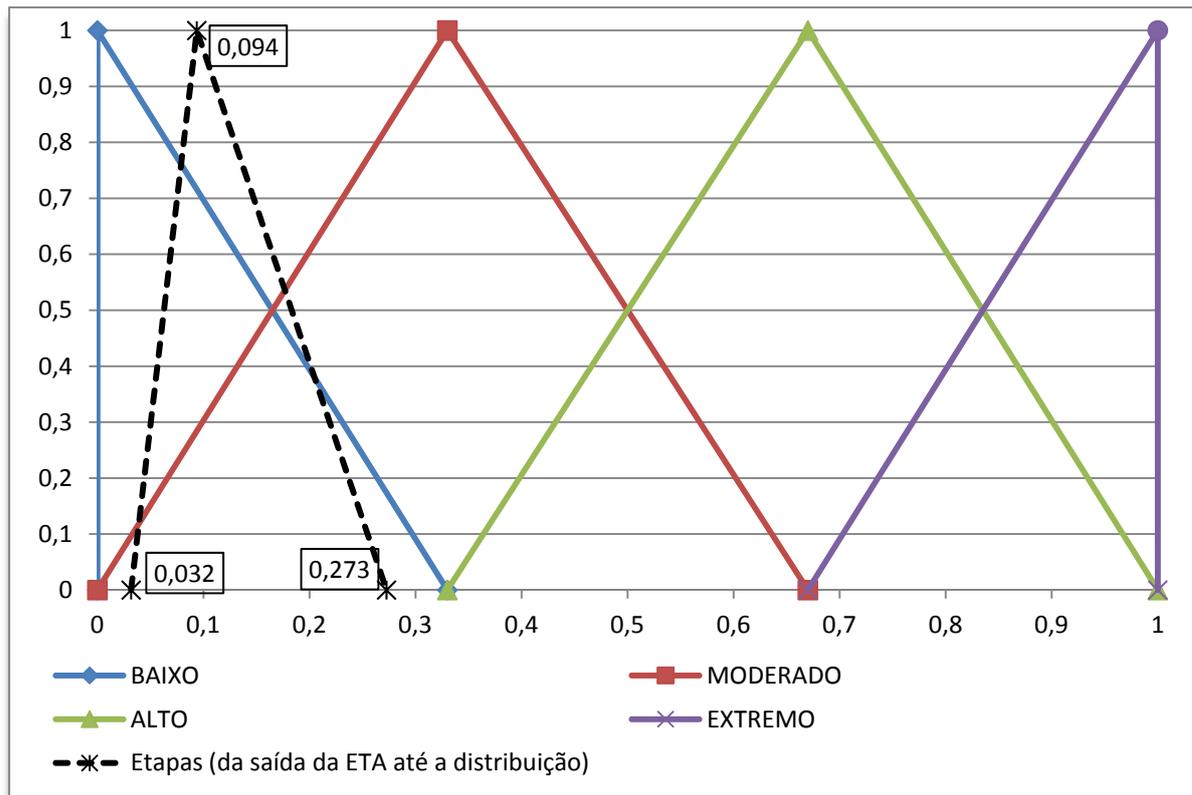
O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Guaiúba encontra-se ilustrado no Gráfico 21.

Gráfico 21 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Guaiúba, em 2011.

Fonte: Autor, 2011.

O Gráfico 22 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Guaiúba. Observa-se que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas, estando mais centralizado no gráfico da Etapa 1 do que na Etapa 2, no qual há uma leve tendência para escala do Risco Baixo.

Gráfico 22 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Guaiúba, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Os centros de massa obtidos, respectivamente, para as Etapas 1 e 2, que podem ser observados pelo menos em ordem de grandeza, também graficamente, foram: 0,163 e 0,133 (Gráficos 21 e 22, respectivamente)

Os níveis de pertinência obtidos, que estão associados a cada escala de risco para o SAA do município de Guaiúba, estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Guaiúba, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,52	0,48	0,00	0,00
Etapa 2	0,59	0,41	0,00	0,00
Total	0,55	0,45	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2011.

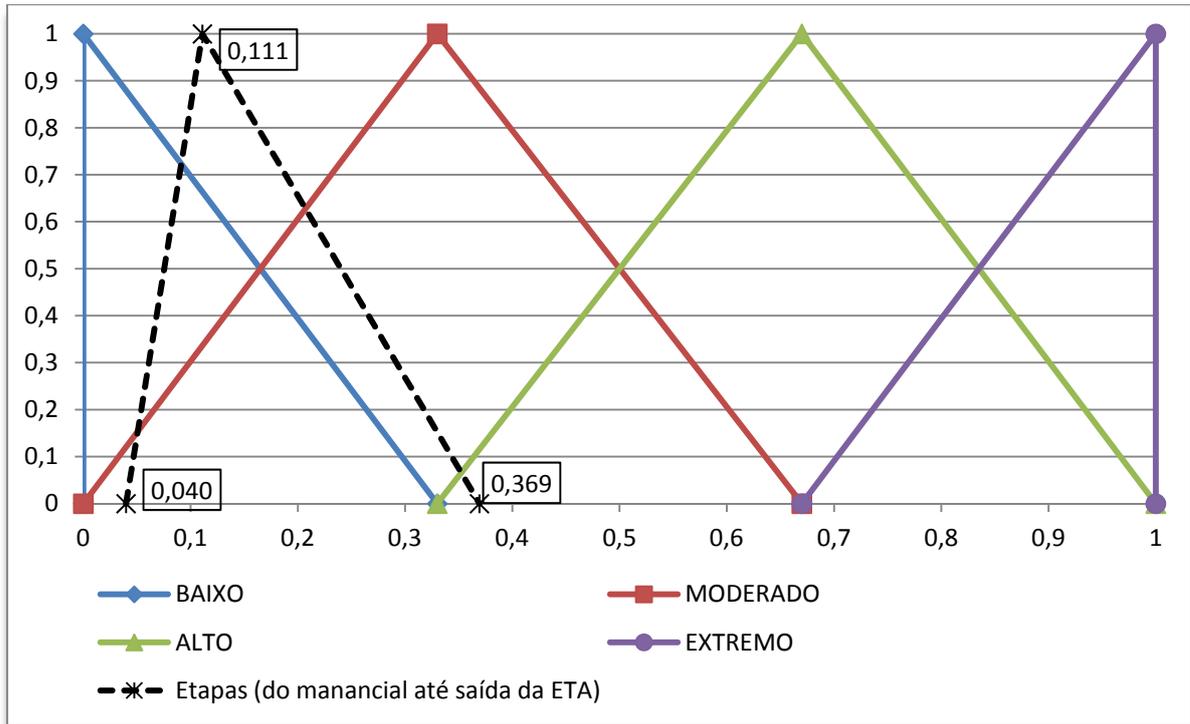
Além da visualização nos gráficos, os valores obtidos para os níveis de pertinência evidenciam que o risco deste sistema encontra-se numa escala de Risco Baixo com 55% de nível de pertinência e 45% na escala de Risco Moderado. Portanto, apesar de estar em nível de risco Baixo, é importante monitorar o sistema, tendo em vista que há 45% de risco moderado.

Salienta-se ainda que, existe uma diferença de cerca de 7% no nível de pertinência para a escala de Risco Moderado, quando se comparam as Etapas 1 e 2 (Tabela 21). Fato este, que deve ser levado em consideração quando da adoção de medidas de controle para o sistema em questão. Logo, a maior preocupação está, no momento, mais na Etapa 1.

5.2.7 Município de Horizonte/CE

O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Horizonte encontra-se ilustrado no Gráfico 23. O Gráfico 24 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Horizonte.

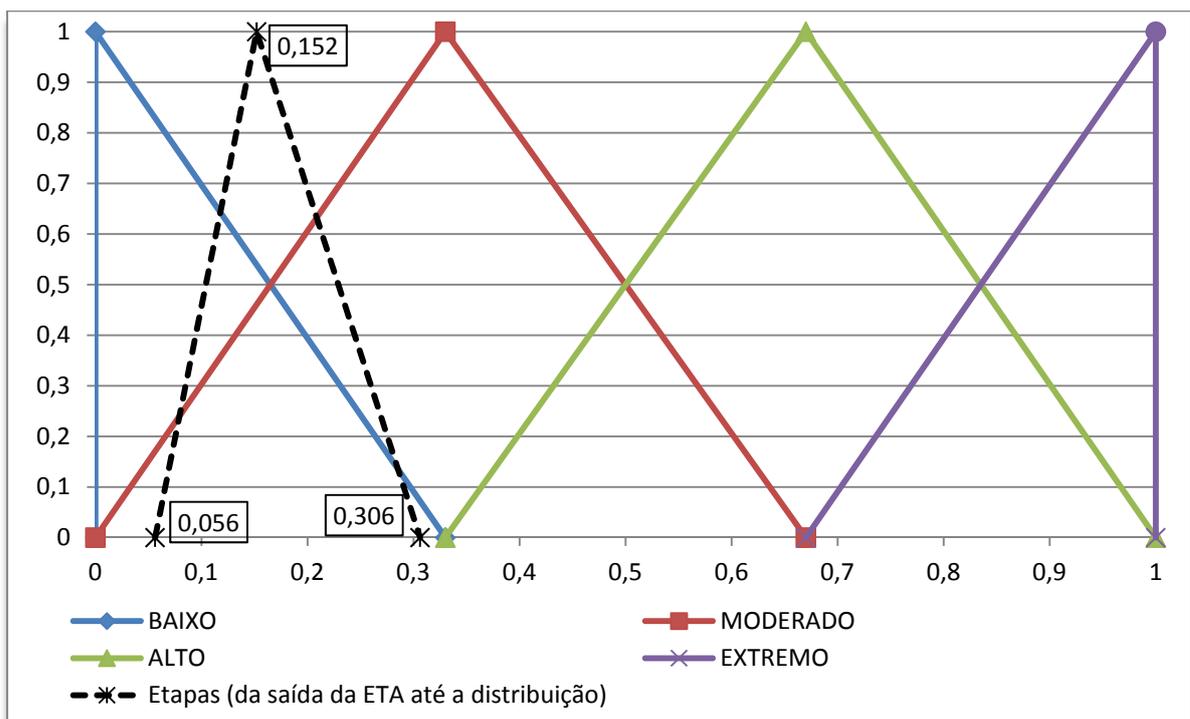
Gráfico 23 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Horizonte, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

O centro de massa do NFT para a Etapa 1 é de 0,173 no eixo das abscissas.

Gráfico 24 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Horizonte, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Observa-se que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas. Para a Etapa 2, o centro de massa do NFT obtido ficou com valor 0,171.

Os níveis de pertinência associados a cada escala de risco para o SAA do município de Horizonte, conforme dados apresentados na Tabela 22, foram:

Tabela 22 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Horizonte, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,51	0,44	0,05	0,00
Etapa 2	0,54	0,46	0,00	0,00
Total	0,52	0,45	0,03	0,00

Fonte: Autor, 2011.

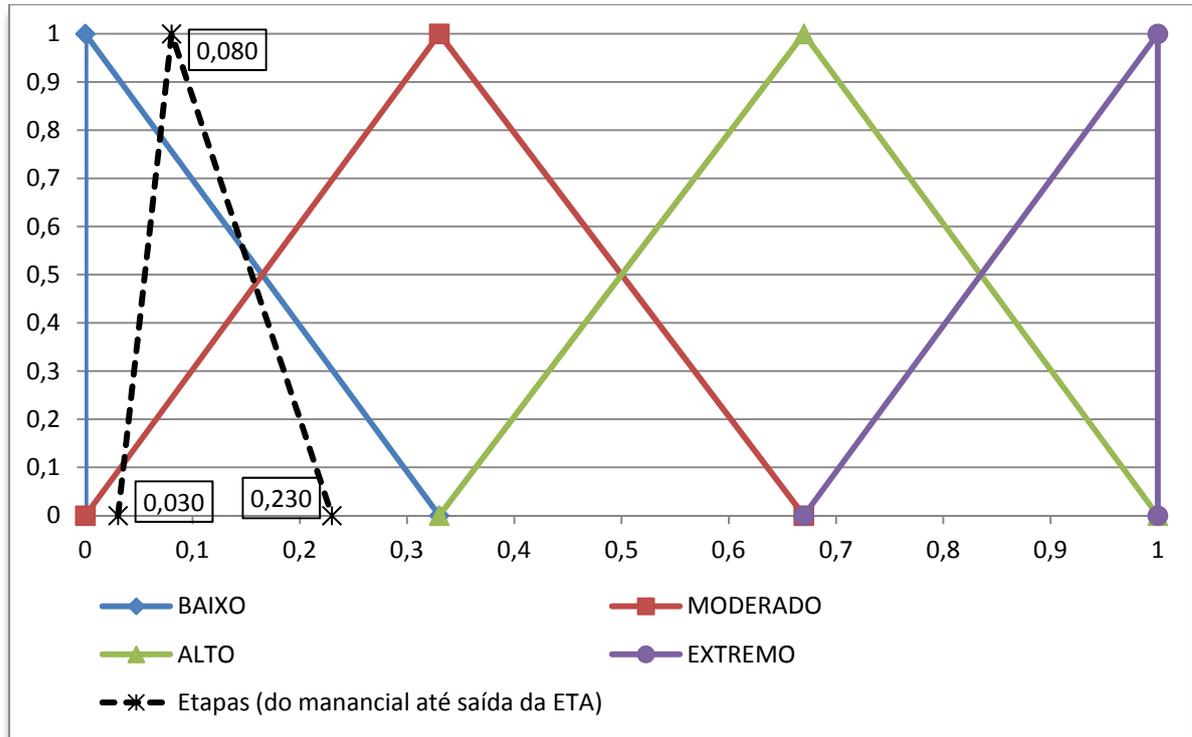
Desta forma, pode-se observar que o SAA do município de Horizonte encontra-se em uma escala de Risco Baixo, com 52% de nível de pertinência. Porém, encontra-se com 45% na escala de Risco Moderado, e ainda, 3% para o Risco Alto. Convém atentar-se que, apesar do risco moderado estar mais evidente para a Etapa 2, existe um valor de 5% na escala de Risco Alto.

O nível de Risco Alto, mesmo com total de 3%, é preocupante e, portanto, deve ser considerado quando as medidas de controle para este sistema forem colocadas em prática, ou seja, deve-se vislumbrar aplicação de um monitoramento específico na Etapa 1, que possui 5% de pertinência, conforme Tabela 22.

5.2.8 Município de Itaitinga/CE

O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Itaitinga encontra-se ilustrado no Gráfico 25.

Gráfico 25 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Itaitinga, em 2011.

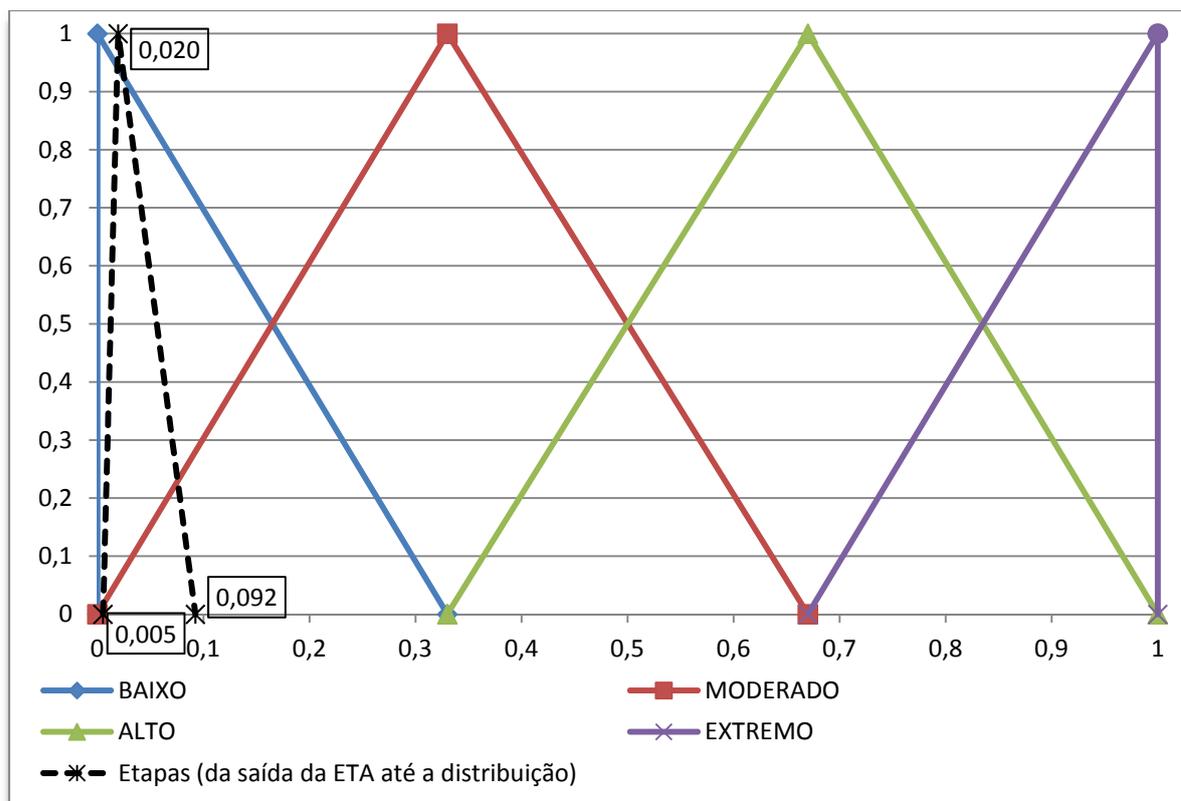


Fonte: Autor, 2011.

Na Etapa 1, apesar de haver uma pequena intersecção na área da escala do Risco Alto, existe uma tendência maior para o Risco Baixo. Isto está evidenciado ainda na tabela dos níveis de pertinência (Tabela 23).

O centro de massa obtido devido à “desfuzificação” encontra-se no valor de 0,114, como pode ser observado visualmente também pelo Gráfico 25.

O Gráfico 26 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Itaitinga.

Gráfico 26 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Itaitinga, em 2011.

Fonte: Autor, 2011.

Neste caso, o centro de massa calculado foi de 0,039, no eixo das abscissas, que indica que este NFT encontra-se mais próximo do eixo das ordenadas, inclusive com valor máximo inferior a 0,1.

Observa-se visualmente em ambos os gráficos anteriores que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas.

Os níveis de pertinência obtidos, que estão associados a cada escala de risco para o SAA do município de Itaitinga, estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Itaitinga, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,62	0,38	0,00	0,00
Etapa 2	0,81	0,19	0,00	0,00
Total	0,71	0,29	0,00	0,00

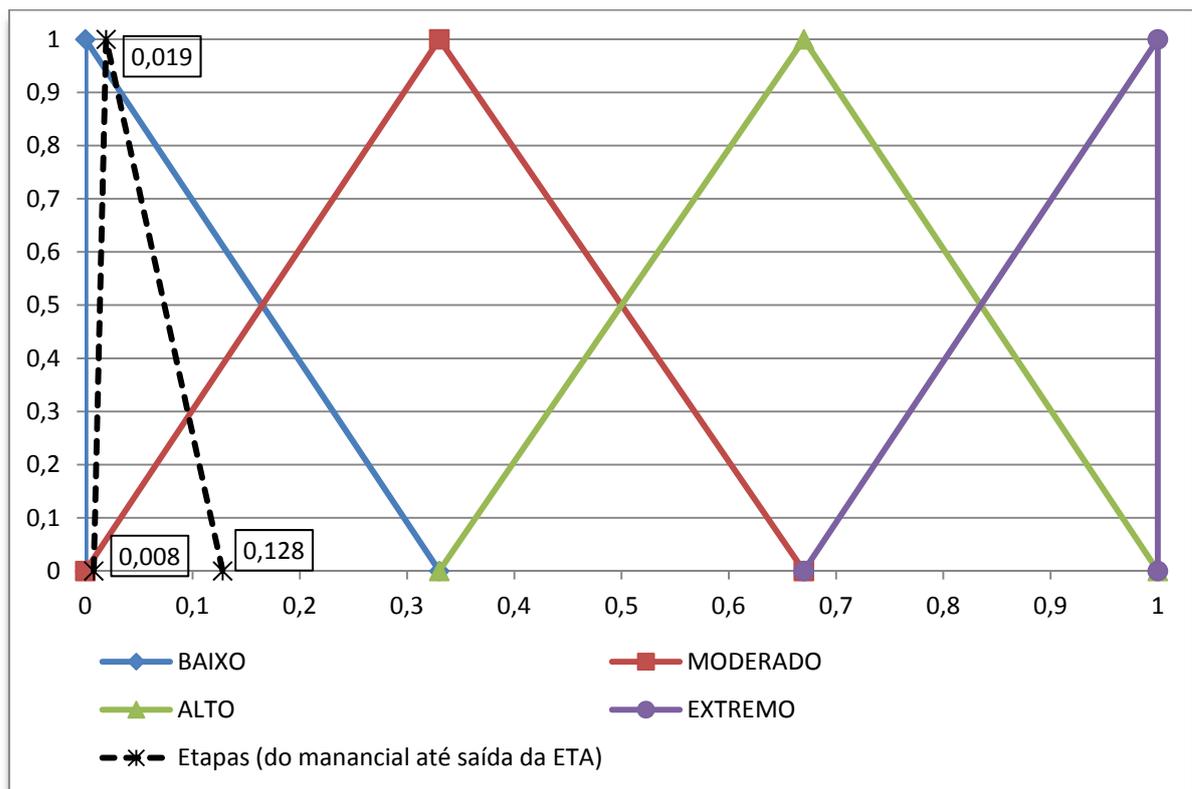
Fonte: Autor, 2011.

Para o SAA deste município, o risco encontra-se como Baixo para um nível de pertinência de 71%. O que também pode indicar uma situação mais segura para a população abastecida por este sistema. É importante, de qualquer forma, salientar que a Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) é que apresenta uma maior tendência para o nível de Risco Moderado, tendo em vista que apresenta o dobro de nível de pertinência (de 19 para 38%).

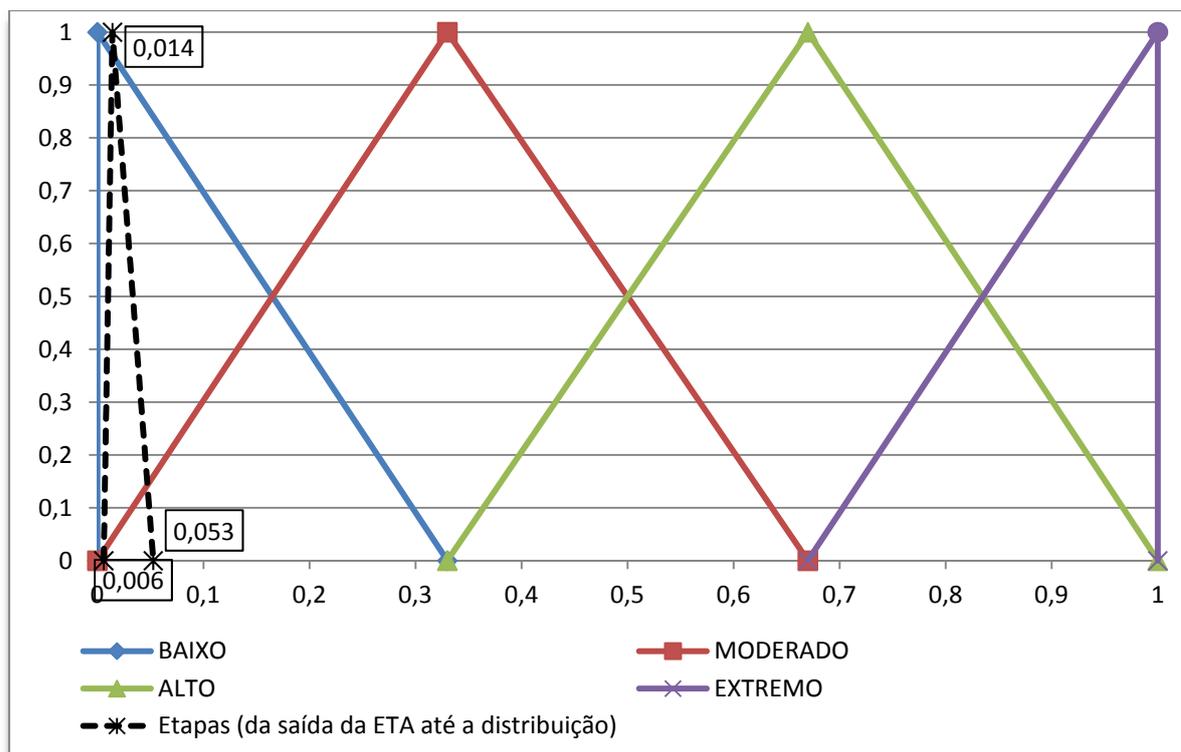
5.2.9 Município de Maracanaú/CE

Para o município de Maracanaú, os Gráficos 27 e 28 apresentam, respectivamente, o risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) e da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Maracanaú.

Gráfico 27 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Maracanaú, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Gráfico 28 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Maracanaú, em 2011.

Fonte: Autor, 2011.

Pode-se ver que, para este caso, o risco também se apresentou bem menor, com os seus NFTs plotados bem perto do eixo das ordenadas, e, inclusive os seus valores máximos não ultrapassam sequer a escala de 0,1 de risco, no eixo das abscissas.

Os respectivos centros de massa obtidos ficaram com valores de 0,052 e 0,024, para as Etapas 1 e 2. Ou seja, todos com valor inferior a 0,1.

Os respectivos níveis de pertinência, para cada etapa e para o sistema de abastecimento como um todo, considerando cada escala de risco, encontram-se elencados na Tabela 24.

Tabela 24 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Maracanaú, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,77	0,23	0,00	0,00
Etapa 2	0,87	0,13	0,00	0,00
Total	0,82	0,18	0,00	0,00

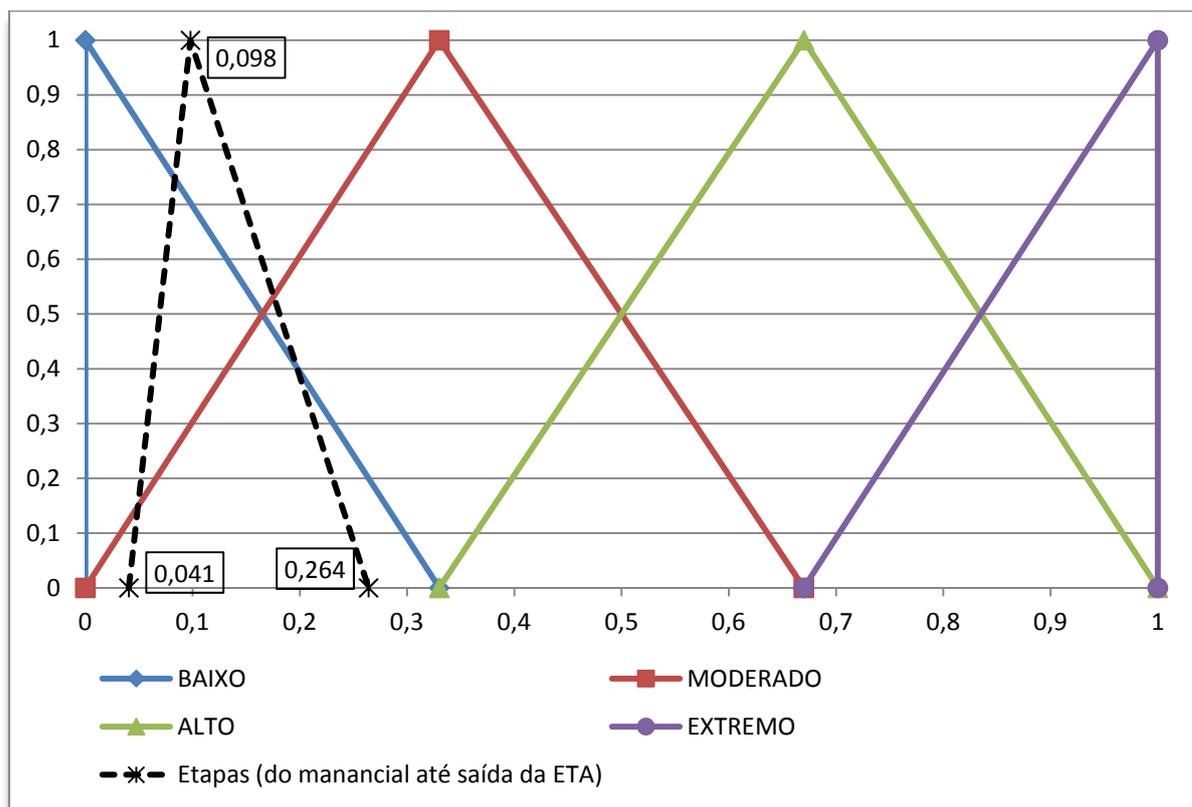
Fonte: Autor, 2011.

Para este município, o risco encontra-se como Baixo para um nível de pertinência de 82%. Este valor pode indicar situação favorável e segura para a população abastecida pelo sistema. É importante, de qualquer forma, salientar que a Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) é que apresenta uma maior tendência para o nível de Risco Moderado, tendo em vista que apresenta dez pontos a mais de pertinência (de 13 para 23%) para este risco.

5.2.10 Município de Maranguape/CE

O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Maranguape encontra-se ilustrado no Gráfico 29.

Gráfico 29 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Maranguape, em 2011.

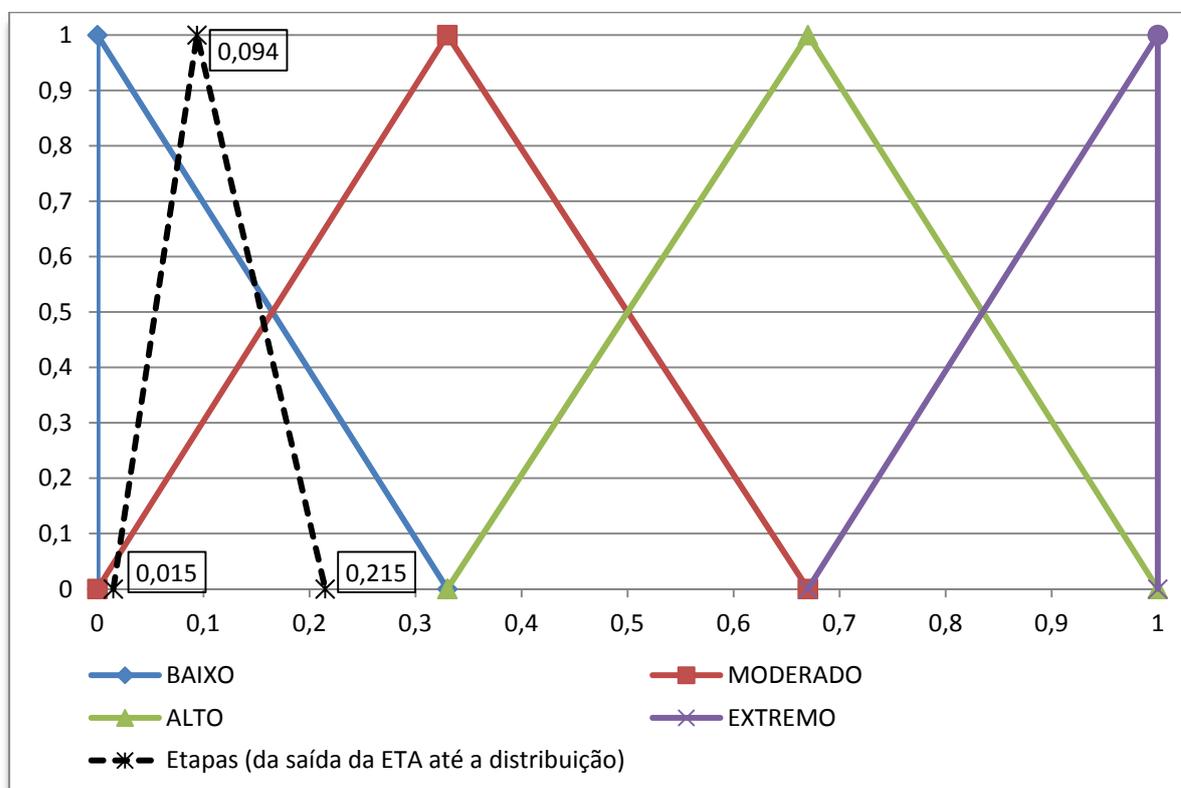


Fonte: Autor, 2011.

O centro de massa do NFT para a Etapa 1 é de 0,134 no eixo das abscissas.

O Gráfico 30 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Maranguape.

Gráfico 30 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Maranguape, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Observa-se que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas. Para a Etapa 2, o centro de massa do NFT obtido ficou com valor 0,108.

Os níveis de pertinência associados a cada escala de risco para o SAA do município de Maranguape, conforme dados apresentados na Tabela 25, foram:

Tabela 25 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Maranguape, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,59	0,41	0,00	0,00
Etapa 2	0,62	0,38	0,00	0,00
Total	0,60	0,40	0,00	0,00

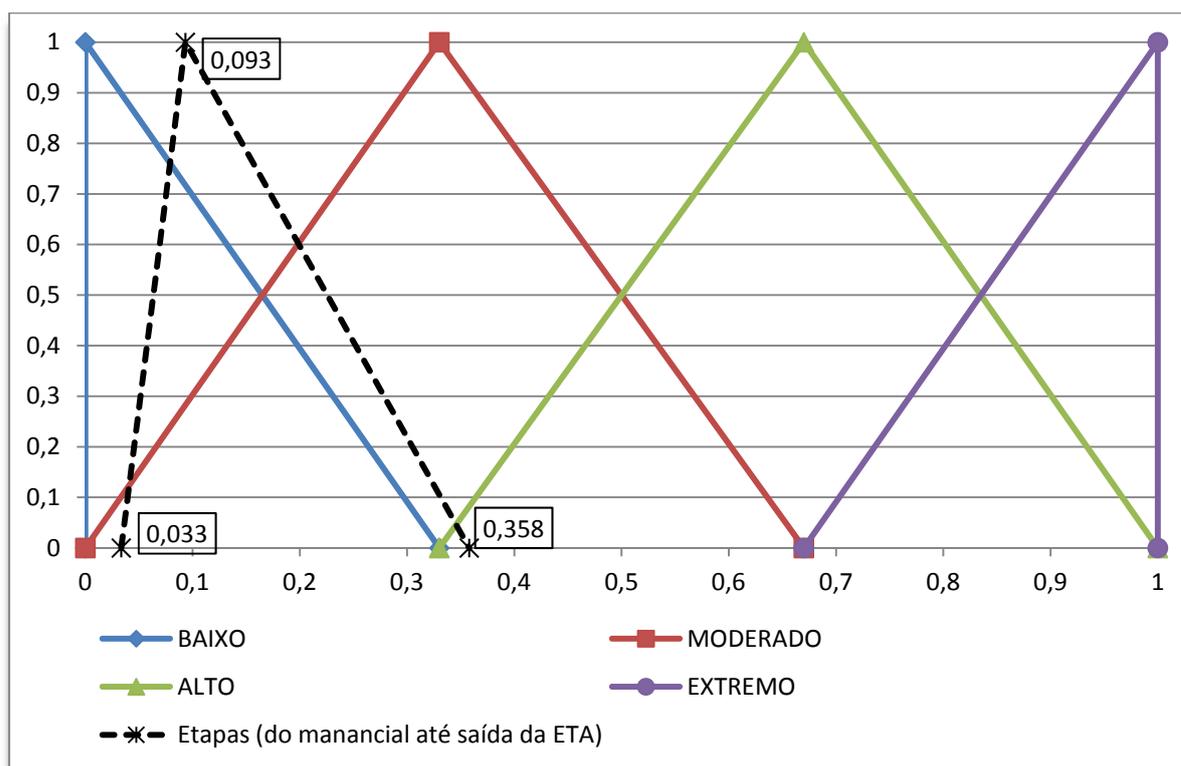
Fonte: Autor, 2011.

Pode-se dizer que o SAA do município de Maranguape encontra-se em uma escala de Risco Baixo, com 60% de nível de pertinência. Porém, encontra-se com 40% na escala de Risco Moderado para o SAA. Convém atentar-se que, o risco moderado está mais evidente para a Etapa 1, pois existe um valor de nível de pertinência de 41% na escala de Risco Moderado. Logo, neste caso, o maior monitoramento é indicado para a Etapa 1.

5.2.11 Município de Pacajus/CE

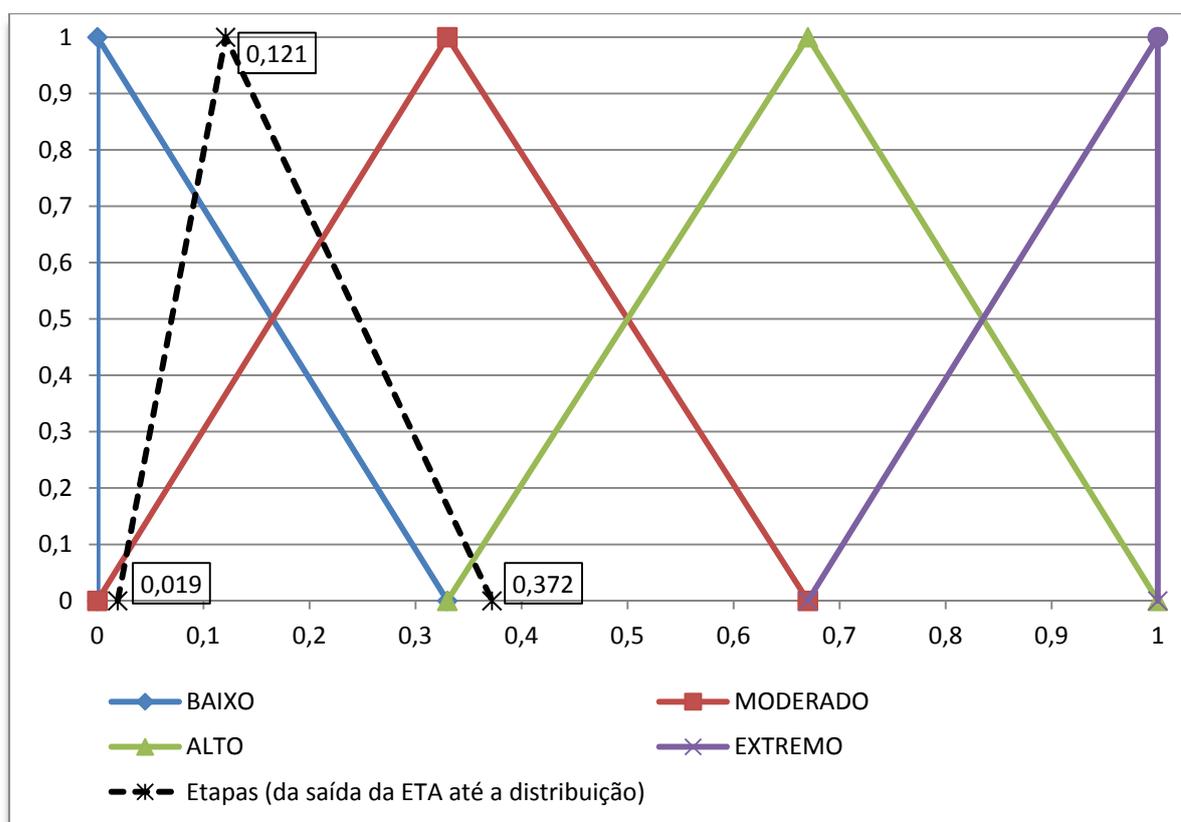
O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Pacajus encontra-se ilustrado no Gráfico 31.

Gráfico 31 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Pacajus, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

O Gráfico 32 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Pacajus. Observa-se que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas, estando mais centralizado no gráfico da Etapa 1 do que na Etapa 2, no qual há leve tendência para escala do Risco Baixo.

Gráfico 32 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Pacajus, em 2011.

Fonte: Autor, 2011.

Os centros de massa obtidos, respectivamente, para as Etapas 1 e 2, que podem ser observados pelo menos em ordem de grandeza, também graficamente, foram: 0,162 e 0,171.

Os níveis de pertinência obtidos, que estão associados a cada escala de risco para o SAA do município de Pacajus, estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Pacajus, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,54	0,42	0,04	0,00
Etapa 2	0,50	0,45	0,05	0,00
Total	0,52	0,44	0,04	0,00

Fonte: Autor, 2011.

Além da visualização nos gráficos, os valores obtidos para os níveis de pertinência evidenciam que o risco deste sistema encontra-se numa escala de Risco

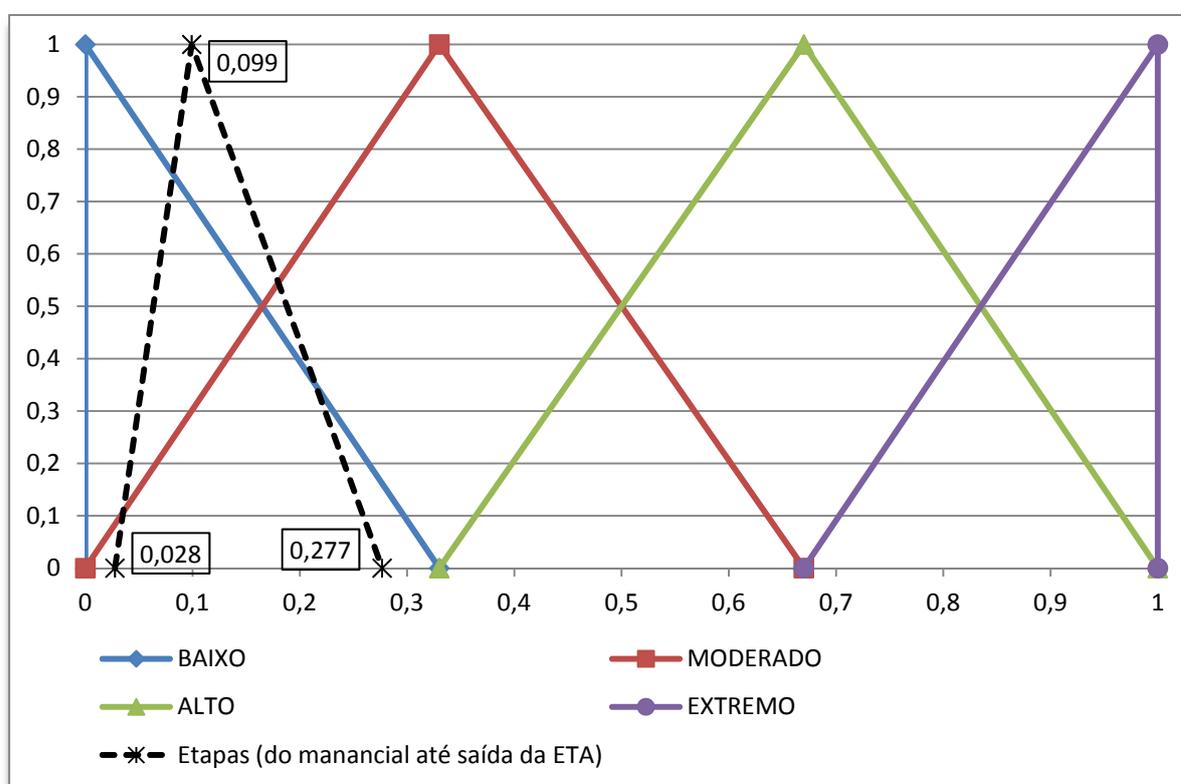
Baixo com 52% de nível de pertinência, 44% na escala de Risco Moderado e 4% na escala de Risco Alto. Convém atentar-se que o risco moderado está mais evidente para a Etapa 2 (45%), e ainda há um valor de 5% na escala de Risco Alto nesta mesma etapa.

Portanto, mesmo estando em nível de Risco Baixo, o sistema deve ser monitorado atentando-se à Etapa 2, primordialmente, já que foi detectado nível de pertinência maior tanto para o Risco Moderado (45%) como para o Risco Alto (5%). Além disso, o próprio Risco Baixo na Etapa 2 foi menor (50%) do que na Etapa 1.

5.2.12 Município de Pacatuba/CE

O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de Pacatuba encontra-se ilustrado no Gráfico 33.

Gráfico 33 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de Pacatuba, em 2011.

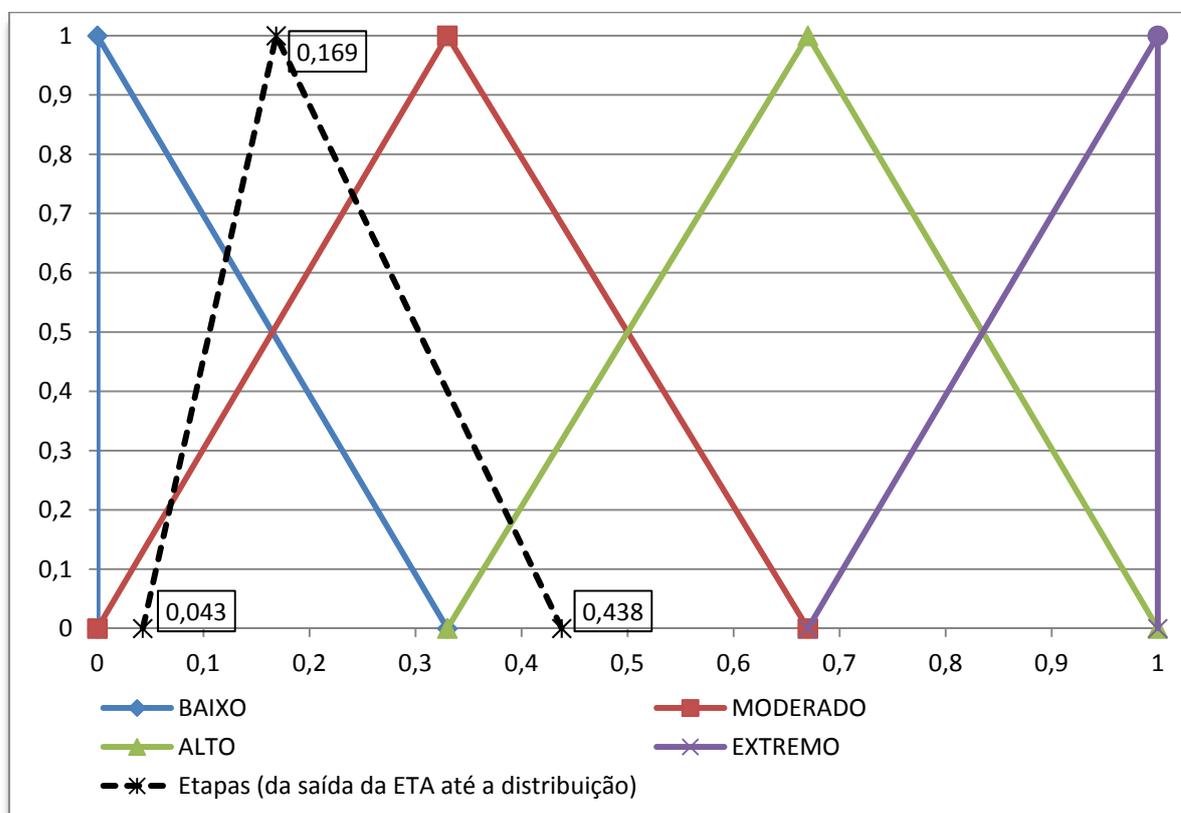


Fonte: Autor, 2011.

O centro de massa do NFT para a Etapa 1 é de 0,135 no eixo das abscissas.

O Gráfico 34 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de Pacatuba.

Gráfico 34 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de Pacatuba, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Observa-se que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas (Gráficos 33 e 34). Para a Etapa 2, o centro de massa do NFT obtido ficou com valor 0,216.

Os níveis de pertinência associados a cada escala de risco para o SAA do município de Pacatuba, conforme dados apresentados na Tabela 27, foram:

Tabela 27 – Níveis de pertinência para o risco do SAA de Pacatuba, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,58	0,42	0,00	0,00
Etapa 2	0,41	0,47	0,12	0,00
Total	0,50	0,44	0,06	0,00

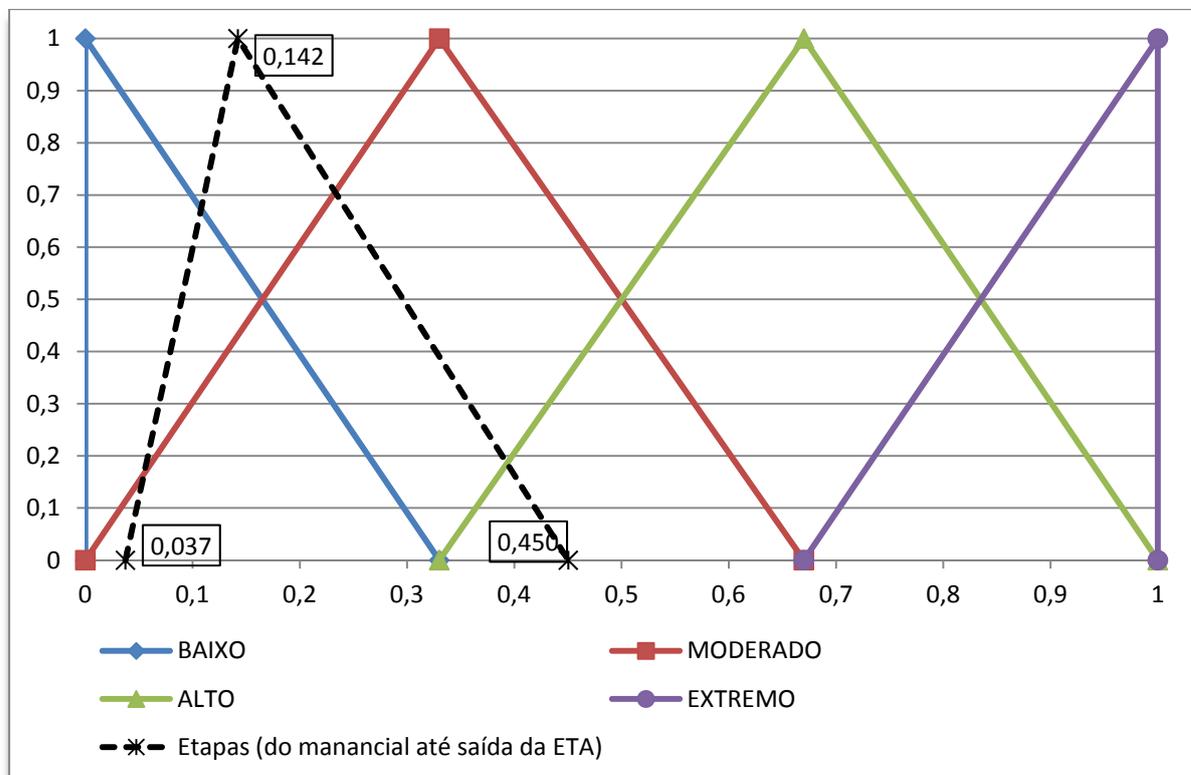
Fonte: Autor, 2011.

Desta maneira, pode-se dizer que o SAA de abastecimento de água do município de Pacatuba encontra-se em uma escala de Risco Baixo, com 50% de nível de pertinência. Porém, o SAA encontra-se com 44% na escala de Risco Moderado e, ainda, 6% para o Risco Alto. É importante destacar o nível de pertinência de 47% para o Risco Moderado para a Etapa 2, e ainda nível de pertinência de 12% na escala de Risco Alto nesta mesma etapa. Isto indica que deve haver um maior monitoramento na Etapa 2 deste sistema e, este fator deve ser considerado quando as medidas de controle para este sistema forem colocadas em prática.

5.2.13 Município de São Gonçalo do Amarante/CE

O risco da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA) do SAA do município de São Gonçalo do Amarante encontra-se ilustrado no Gráfico 35.

Gráfico 35 – NFT para o risco da Etapa 1 do SAA de São Gonçalo do Amarante, em 2011.

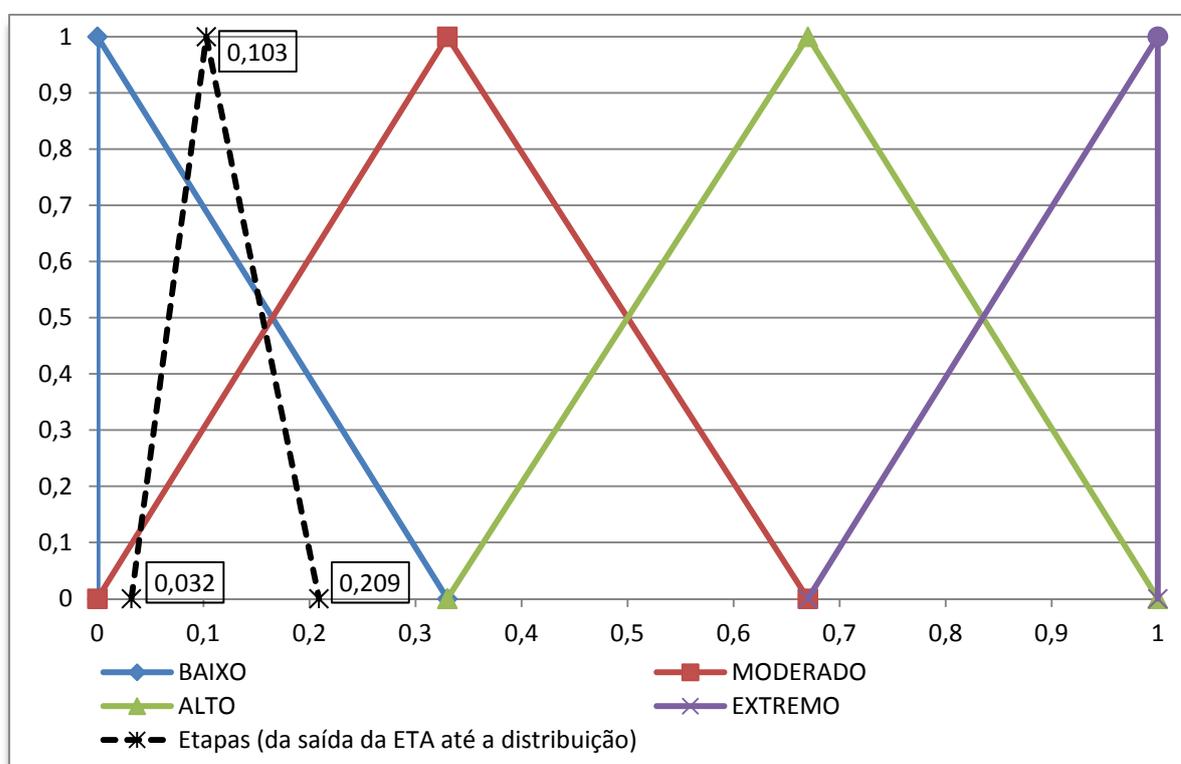


Fonte: Autor, 2011.

Observa-se visualmente que a escala de risco encontra-se entre “Baixo” e “Moderado”, para ambas as etapas. Porém, na Etapa 1, apesar de haver uma pequena intersecção na área da escala do Risco Alto, existe uma tendência maior para o Risco Baixo. Isto está evidenciado ainda na tabela dos níveis de pertinência. O centro de massa obtido devido à “desfuzificação” encontra-se no valor de 0,142.

O Gráfico 36 contempla o risco da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição) do SAA do município de São Gonçalo do Amarante.

Gráfico 36 – NFT para o risco da Etapa 2 do SAA de São Gonçalo do Amarante, em 2011.



Fonte: Autor, 2011.

Para esta etapa 2, o centro de massa obtido devido à “desfuzificação” encontra-se no valor de 0,115.

Os níveis de pertinência obtidos, que estão associados a cada escala de risco para o SAA do município de São Gonçalo do Amarante, estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Níveis de pertinência para o SAA de São Gonçalo do Amarante, em 2011.

RISCO DO SAA	Níveis de Pertinência			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Etapa 1	0,43	0,46	0,12	0,00
Etapa 2	0,61	0,39	0,00	0,00
Total	0,51	0,43	0,06	0,00

Fonte: Autor, 2011.

Observa-se que o SAA do município de São Gonçalo do Amarante encontra-se em uma escala de Risco Baixo, com 51% de nível de pertinência. Porém, o SAA encontra-se com 43% na escala de Risco Moderado e, ainda, 6% para o Risco Alto. É importante destacar o nível de pertinência de 46% para o Risco Moderado e um nível de pertinência de 12% na escala de Risco Alto para a Etapa 1, que demonstra que o sistema possui maior risco nesta etapa. Logo, esta etapa deve ser monitorada para que possa ser garantida a qualidade da água ofertada à população. Ou seja, deve-se primar para diminuição deste risco para que tenha maior segurança de que a água distribuída oferece menor risco quando do seu consumo.

5.3 Comparativo entre os Sistemas de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Fortaleza

Os resultados encontrados a partir da metodologia ora apresentada para cada sistema em estudo encontram-se resumidos nas Tabelas 29 e 30. Na Tabela 29 estão resumidos os valores dos NFTs de probabilidade e de impacto (ou não conformidade) que foram utilizados nos cálculos da Etapa 1 (do manancial até a saída da ETA). E, a Tabela 30 ilustra os cálculos para a Etapa 2 (da saída da ETA até a rede de distribuição).

Nas Tabelas 29 e 30 também são apresentados os níveis de pertinência para cada escala de risco nos municípios, resumindo os resultados elencados no item anterior. Os valores dos níveis que estão destacados em cinza são os maiores para cada município. Em cinza mais claro, destacam-se também os níveis de pertinência da escala de Risco Alto.

Tabela 29 – Resumo dos resultados da Etapa 1 (do manancial até a ETA) do SAA: NFT-P, NFT-I, Centros de Massa, Níveis de Pertinência dos riscos.

Etapa 1 (do manancial até saída da ETA) MUNICÍPIO	NFT-P			NFT-I			NFT-P x NFT-I			CENTRO DE MASSA	NÍVEL DE PERTINÊNCIA - RISCO			
	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO										
Aquiraz	0,135	0,270	0,635	0,203	0,300	0,396	0,027	0,081	0,252	0,120	62% ¹¹	38%	0%	0%
Cascavel	0,191	0,381	0,691	0,125	0,367	0,609	0,024	0,140	0,421	0,195	45%	45%	10% ¹²	0%
Caucaia	0,049	0,099	0,549	0,158	0,196	0,233	0,008	0,019	0,128	0,052	76%	24%	0%	0%
Chorozinho	0,070	0,141	0,570	0,328	0,469	0,610	0,023	0,066	0,348	0,146	55%	38%	8%	0%
Eusébio	0,049	0,099	0,549	0,158	0,196	0,233	0,008	0,019	0,128	0,052	77%	23%	0%	0%
Guaiúba	0,216	0,431	0,716	0,217	0,321	0,426	0,047	0,139	0,305	0,163	52%	48%	0%	0%
Horizonte	0,119	0,239	0,619	0,333	0,465	0,596	0,040	0,111	0,369	0,173	51%	44%	5%	0%
Itaitinga	0,139	0,277	0,639	0,220	0,290	0,360	0,030	0,080	0,230	0,114	62%	38%	0%	0%
Maracanaú	0,049	0,099	0,549	0,158	0,196	0,233	0,008	0,019	0,128	0,052	77%	23%	0%	0%
Maranguape	0,139	0,278	0,639	0,292	0,352	0,413	0,041	0,098	0,264	0,134	59%	41%	0%	0%
Pacajus	0,100	0,201	0,600	0,333	0,465	0,596	0,033	0,093	0,358	0,162	54%	42%	4%	0%
Pacatuba	0,175	0,349	0,675	0,158	0,284	0,410	0,028	0,099	0,277	0,135	58%	42%	0%	0%
São Gonçalo do Amarante	0,152	0,304	0,652	0,246	0,468	0,691	0,037	0,142	0,450	0,210	43%	46%	12%	0%

Fonte: Autor, 2011.

¹¹ Preenchimento em cinza (risco baixo e moderado): nível de pertinência que prevalece para cada município.

¹² Preenchimento em cinza claro (risco alto): nível de pertinência para o Risco Alto.

Tabela 30 – Resumo dos resultados da Etapa 2 (da saída da ETA até a rede) do SAA: NFT-P, NFT-I, Centros de Massa, Níveis de Pertinência dos riscos.

Etapa 2 (da saída da ETA até a distribuição) MUNICÍPIO	NFT-P		NFT-I		NFT-P x NFT-I			CENTRO DE MASSA		NÍVEL DE PERTINÊNCIA - RISCO				
										BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO	
Aquiraz	0,186	0,372	0,686	0,109	0,165	0,222	0,020	0,062	0,152	0,078	70% ¹³	30%	0%	0%
Cascavel	0,233	0,466	0,733	0,057	0,338	0,619	0,013	0,158	0,453	0,208	43%	46%	12% ¹⁴	0%
Caucaia	0,259	0,519	0,759	0,031	0,070	0,109	0,008	0,036	0,083	0,043	80%	20%	0%	0%
Chorozinho	0,200	0,400	0,700	0,243	0,335	0,427	0,048	0,134	0,299	0,160	56%	44%	0%	0%
Eusébio	0,085	0,171	0,585	0,143	0,143	0,143	0,012	0,024	0,084	0,040	81%	19%	0%	0%
Guaiúba	0,147	0,294	0,647	0,216	0,319	0,421	0,032	0,094	0,273	0,133	59%	41%	0%	0%
Horizonte	0,228	0,456	0,728	0,247	0,334	0,421	0,056	0,152	0,306	0,171	54%	46%	0%	0%
Itaitinga	0,092	0,183	0,592	0,057	0,107	0,156	0,005	0,020	0,092	0,039	81%	19%	0%	0%
Maracanaú	0,092	0,184	0,592	0,065	0,077	0,089	0,006	0,014	0,053	0,024	87%	13%	0%	0%
Maranguape	0,291	0,581	0,791	0,051	0,162	0,272	0,015	0,094	0,215	0,108	62%	38%	0%	0%
Pacajus	0,188	0,377	0,688	0,101	0,321	0,541	0,019	0,121	0,372	0,171	50%	45%	5%	0%
Pacatuba	0,202	0,403	0,702	0,212	0,418	0,624	0,043	0,169	0,438	0,216	41%	47%	12%	0%
São Gonçalo do Amarante	0,256	0,512	0,756	0,125	0,201	0,276	0,032	0,103	0,209	0,115	61%	39%	0%	0%

Fonte: Autor, 2011.

¹³ Preenchimento em cinza (risco baixo e moderado): nível de pertinência que prevalece para cada município.

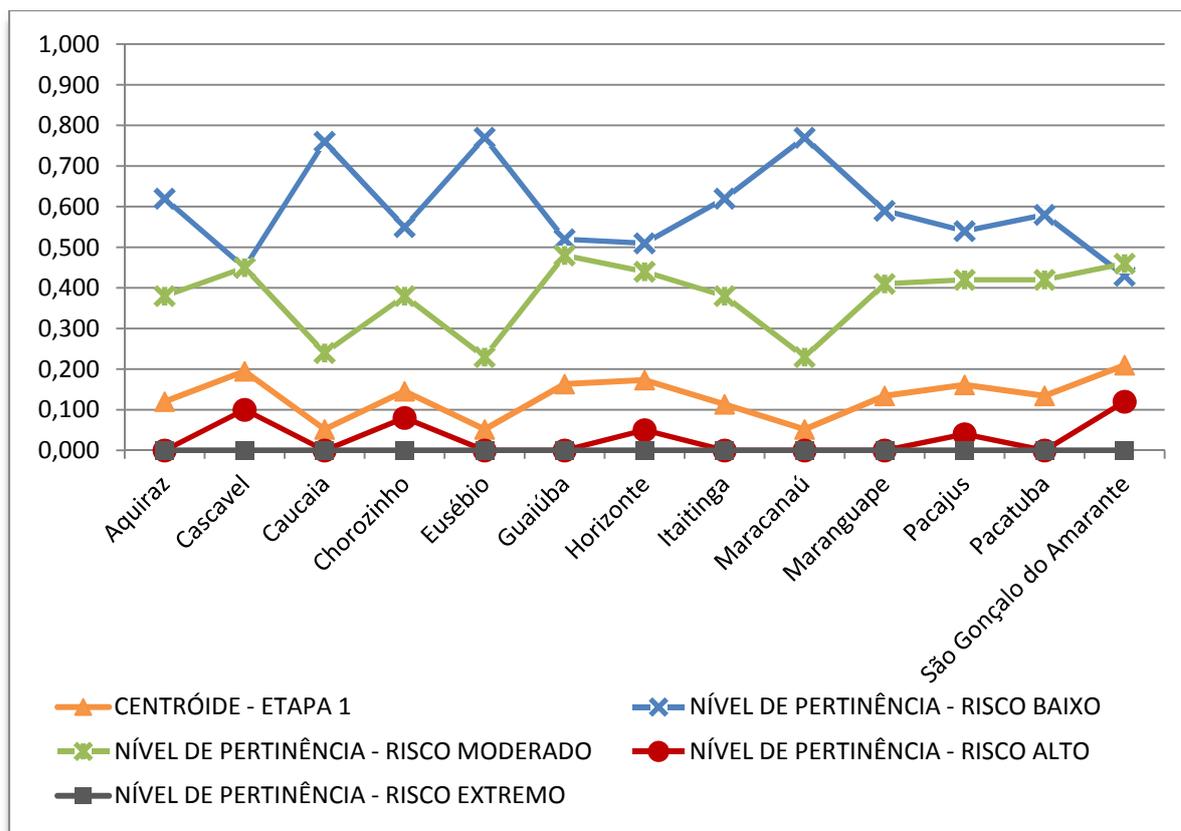
¹⁴ Preenchimento em cinza claro (risco alto): nível de pertinência para o Risco Alto.

Os níveis de pertinência para o Risco Baixo variaram de 43 a 77% para a Etapa 1 e de 41 a 87% para a Etapa 2. Os níveis de pertinência para o Risco Moderado variaram de 23 a 48% para a Etapa 1 e de 13 a 47% para a Etapa 2. Para o Risco Alto, cinco sistemas apresentaram nível de pertinência de 4 a 12% para a Etapa 1 (do manancial à saída da ETA) que foram: Cascavel, Chorozinho, Horizonte, Pacajus e São Gonçalo do Amarante. E três (Cascavel, Pacajus e Pacatuba) ficaram com valores de 5 a 12% na Etapa 2 (da saída da ETA à rede).

Os cinco municípios que apresentaram um nível de pertinência na escala de risco alto devem ser monitorados na Etapa 1, e nos outros três, deve-se monitorar a Etapa 2, para verificação e/ou indicação de medidas de controle.

É importante lembrar que, nas Tabelas 29 e 30, o NFT-P é o Número Fuzzy Triangular proveniente das probabilidades de ocorrência de cada fator ou problema que aconteça no sistema de abastecimento de água e, por consequência, seja acarretada uma diminuição na qualidade da água ofertada à população. E, o NFT-I é o Número Fuzzy Triangular que corresponde ao impacto na qualidade da água, medido por meio das não-conformidades de parâmetros comparados à portaria de potabilidade pertinente (no caso, a Portaria 518/2004-MS).

Para avaliação dos cálculos e resultados alcançados, é válido ainda, ser feita uma correlação entre os valores obtidos. O Gráfico 37 aborda essa visão, tendo em vista os dados da Tabela 29, para a Etapa 1.

Gráfico 37 – Valores de Centróide e Níveis de Pertinência na Etapa 1.

Fonte: Autor, 2011.

A partir desta análise, pode-se obter o índice de correlação entre os centróides e cada nível de pertinência. Os índices obtidos encontram-se listados na Tabela 31. Observa-se o valor negativo para a correlação entre o centro de massa e o nível de pertinência para o risco baixo porque quanto maior o centro de massa menor o nível de pertinência baixo e maior o risco para outros níveis (moderado e/ou alto). Isso ocorre porque os níveis de pertinência se complementam, onde o seu total deve ser sempre 100%

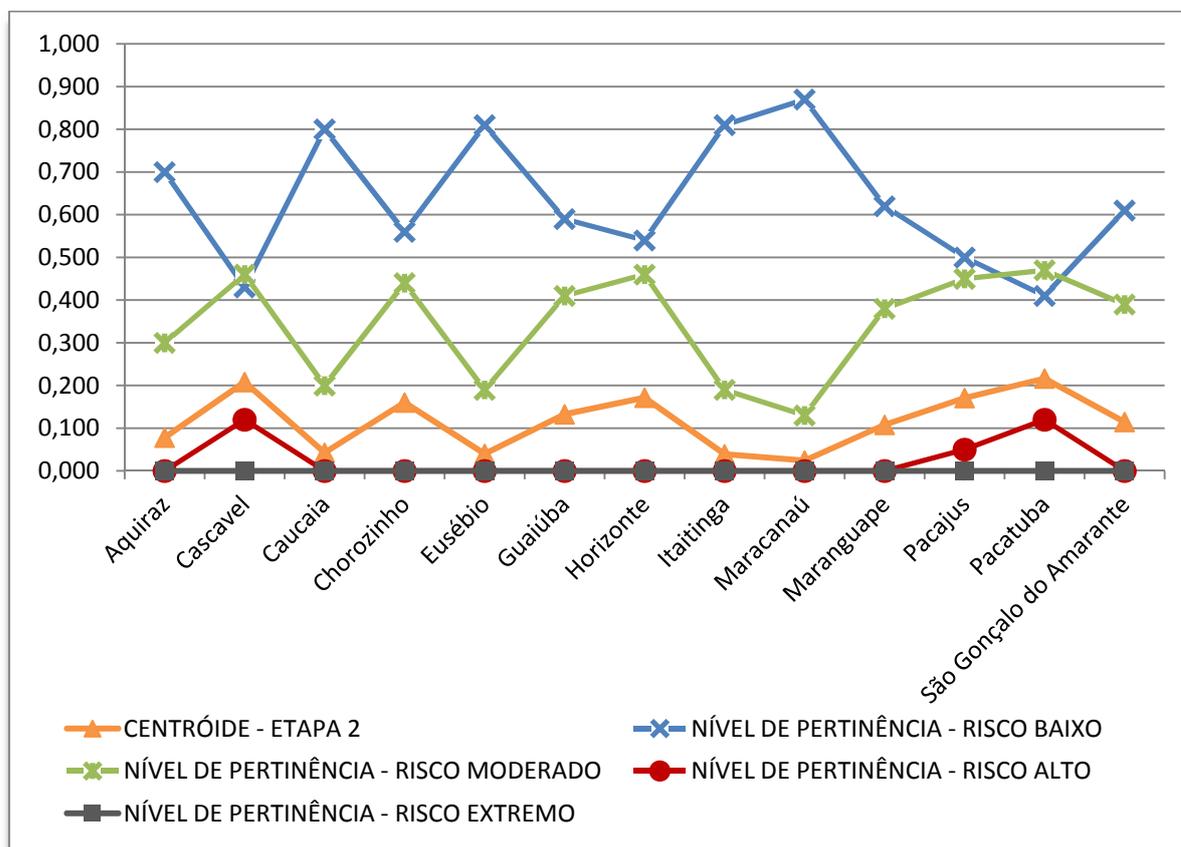
Tabela 31 – Índices de correlação entre centros de massa e níveis de pertinência na Etapa 1.

Valores Correlacionados	Índice
Centro de massa x Nível de pertinência - risco baixo	-0,998
Centro de massa x Nível de pertinência - risco moderado	0,944
Centro de massa x Nível de pertinência - risco alto	0,726

Fonte: Autor, 2011.

O Gráfico 38 ilustra os dados da Tabela 30, com os valores obtidos para os diversos níveis de pertinência e os centros de massa (ou centróides) para cada município, para a Etapa 2.

Gráfico 38 – Valores de Centróide e Níveis de Pertinência na Etapa 2.



Fonte: Autor, 2011.

Para este caso, os índices de correlação também estão elencados na Tabela 32.

Tabela 32 – Índices de correlação entre centros de massa e níveis de pertinência na Etapa 2.

Valores Correlacionados	Índice
Centro de massa x Nível de pertinência - risco baixo	-0,991
Centro de massa x Nível de pertinência - risco moderado	0,956
Centro de massa x Nível de pertinência - risco alto	0,708

Fonte: Autor, 2011.

A Tabela 33 engloba os valores obtidos para todos os Sistemas de Abastecimento de Água dos municípios tomados como Estudo de Caso, para cada nível de pertinência em cada escala de risco considerada: Baixo, Moderado, Alto e Extremo. Os municípios estão listados em ordem alfabética.

Tabela 33 – Níveis de pertinência para cada escala de risco para 13 municípios da RMF, em 2011.

SAA Município	Nível de pertinência - Risco			
	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
Aquiraz	66%	34%	0%	0%
Cascavel	44%	45%	11%	0%
Caucaia	78%	22%	0%	0%
Chorozinho	55%	41%	4%	0%
Eusébio	79%	21%	0%	0%
Guaiúba	55%	45%	0%	0%
Horizonte	52%	45%	3%	0%
Itaitinga	71%	29%	0%	0%
Maracanaú	82%	18%	0%	0%
Maranguape	60%	40%	0%	0%
Pacajus	52%	43%	4%	0%
Pacatuba	50%	44%	6%	0%
São Gonçalo do Amarante	52%	43%	6%	0%

Fonte: Autor, 2011.

Para o caso dos níveis de pertinência para a escala de Risco Moderado, todos os sistemas estão dentro da faixa, apresentando valores de 18%, para o município de Maracanaú a 45%, para o município de Cascavel.

Seis sistemas de abastecimento apontaram traços de níveis de pertinência para a escala de Risco Alto (Cascavel, Chorozinho, Horizonte, Pacajus, Pacatuba e São Gonçalo do Amarante). Apesar da faixa de nível de pertinência ter variado apenas nos valores de 3%, em Horizonte, a 11%, em Cascavel, estes sistemas devem ter uma atenção maior para, pelo menos, haver uma verificação mais de perto da sua situação, principalmente para as etapas mais comprometidas.

Por fim, foi feita a classificação dos sistemas de abastecimento de água dos municípios estudados, a partir de cada nível de pertinência dos riscos. Esta classificação indica o nível de risco relativo em que cada sistema se encontra, a

partir das análises que foram realizadas no decorrer do trabalho, numa distribuição cardinal de 1 a 13, sendo 1 o município com sistema com menor risco relativo e 13 o de mais elevado risco relativo, conforme pode ser observado na Tabela 34.

Tabela 34 – Classificação dos municípios pelo centro de massa e por escala de risco para 13 municípios da RMF, em 2011.

Municípios	Classe Centro de massa 1	Classe Centro de massa 2	Classe Risco Baixo	Classe Risco Moderado	Classe Risco Alto	Classe Risco Geral
Cascavel	12	12	13	13	13	13
São Gonçalo do Amarante	13	7	11	8	12	12
Pacatuba	7	13	12	10	11	11
Pacajus	9	10	10	9	10	10
Chorozinho	8	9	7	7	9	9
Horizonte	11	11	9	12	8	8
Guaiúba	10	8	8	11	7	7
Maranguape	6	6	6	6	6	6
Aquiraz	5	5	5	5	5	5
Itaitinga	4	2	4	4	4	4
Caucaia	1	4	3	3	3	3
Eusébio	2	3	2	2	2	2
Maracanaú	3	1	1	1	1	1

Fonte: Autor, 2011.

Observa-se que os seis últimos municípios da Tabela 34 obtiveram a mesma classificação, independentemente do nível de pertinência para tal classificação (destacados em cinza). Mas, de maneira geral, a classificação obedeceu a certa coerência. Deve-se considerar que os níveis de pertinência se complementam para um total de 100%. Logo, quanto menor o risco baixo, maior o moderado e/ou o alto.

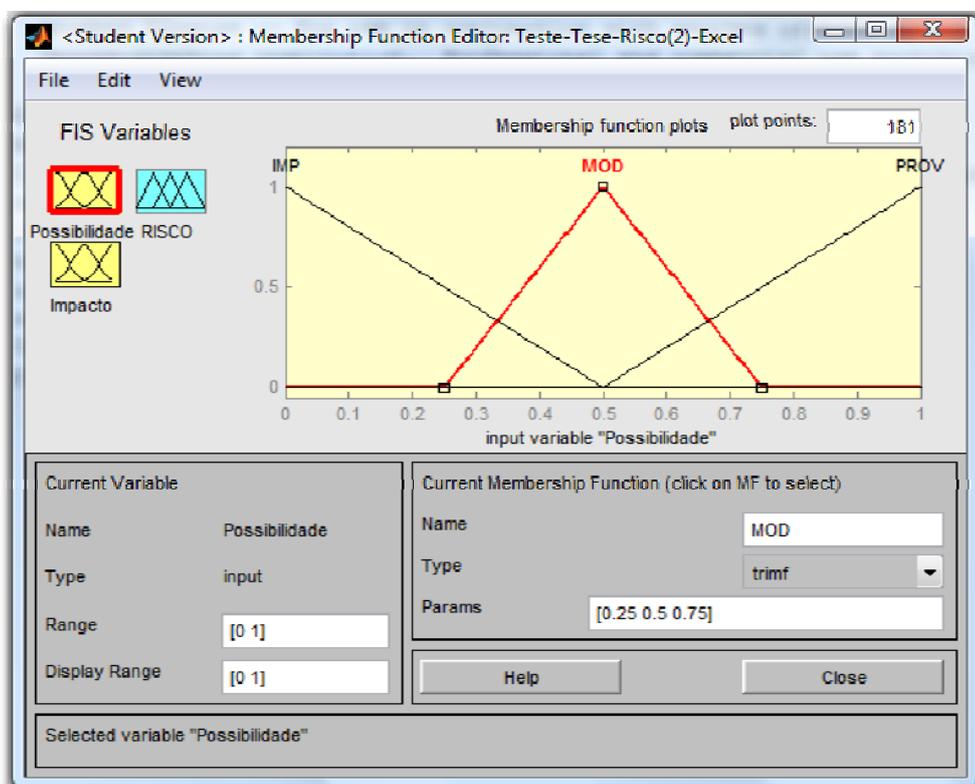
5.4 Análise de riscos com Lógica Fuzzy – Exemplo Geral utilizando Matlab e Simulink Fuzzy Logic Toolbox

Além do Estudo de Caso aplicado a cada município, as escalas gerais definidas para a probabilidade, para os impactos e para os riscos foram lançadas no

pacote de simulação de lógica fuzzy do Matlab para geração da relação geral entre cada variável.

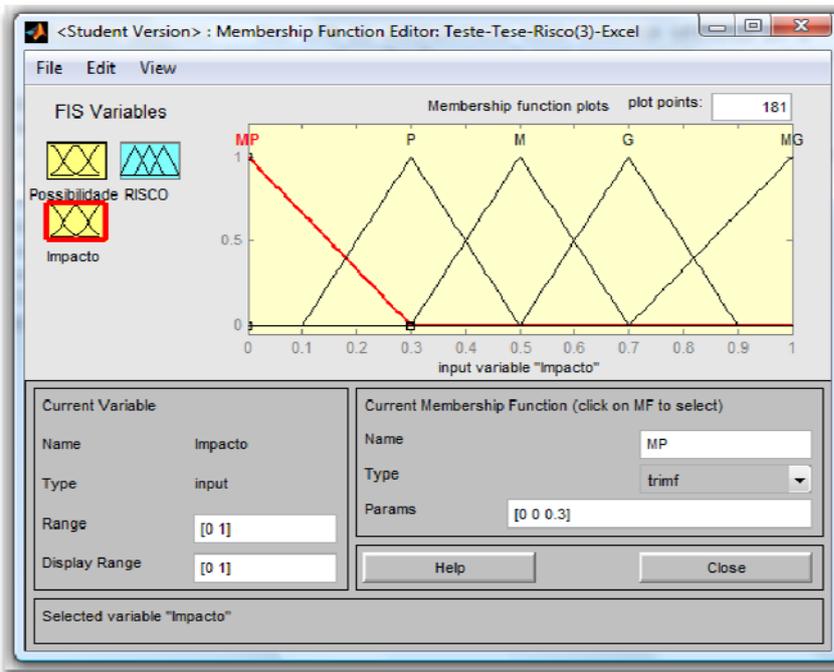
Os dados para os NFTs das probabilidades foram lançados no programa utilizado, gerando a configuração apresentada na Figura 09. Os dados para os NFTs dos impactos (ou não-conformidades) e dos riscos também foram inseridos no software, conforme as escalas e valores estabelecidos, gerando as configurações apresentadas nas Figuras 10 e 11.

Figura 09 – Janela do Matlab ilustrando os NFTs referentes às probabilidades do PSA da RMF, em 2012.



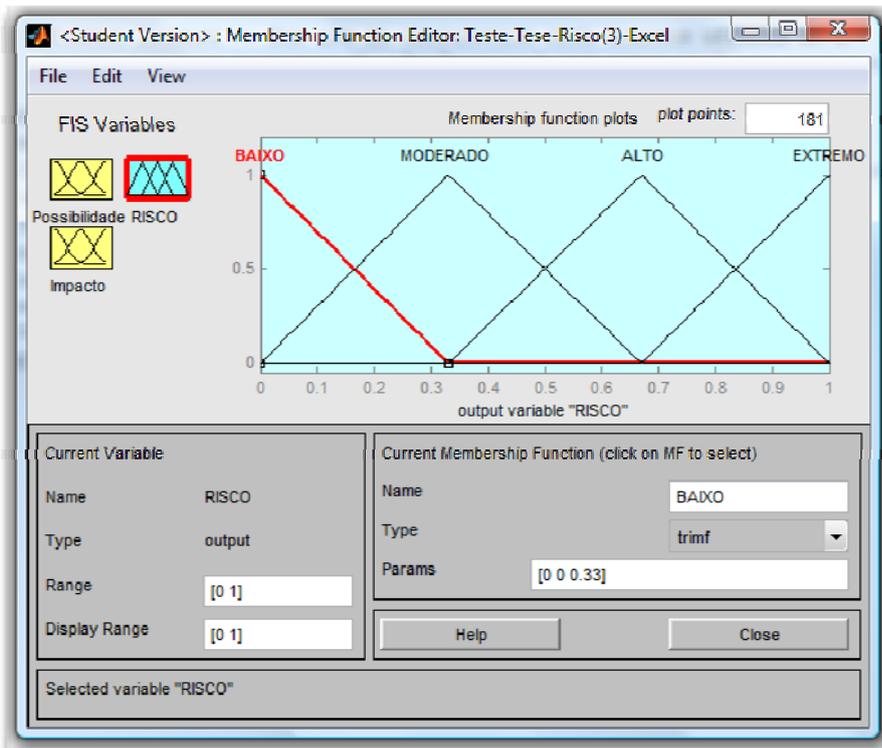
Fonte: Autor, 2012.

Figura 10 – Janela do Matlab ilustrando os NFTs referentes aos impactos do PSA da RMF, em 2012.



Fonte: Autor, 2012.

Figura 11 – Janela do Matlab ilustrando os NFTs referentes aos riscos do PSA da RMF, em 2012.



Fonte: Autor, 2012.

Após as regras serem atribuídas conforme as possibilidades existentes, foi gerado o gráfico de superfície associando as três variáveis. As relações existentes para a situação geral foram estabelecidas a partir da análise dos resultados obtidos do produto de cada valor de probabilidade (improvável, moderado e provável) com cada nível de impacto (muito pequeno, pequeno, moderado, grande e muito grande). Os níveis de risco estabelecidos (baixo, moderado, alto e extremo) podem ser visualizados a partir da Matriz de Riscos ilustrada na Figura 12.

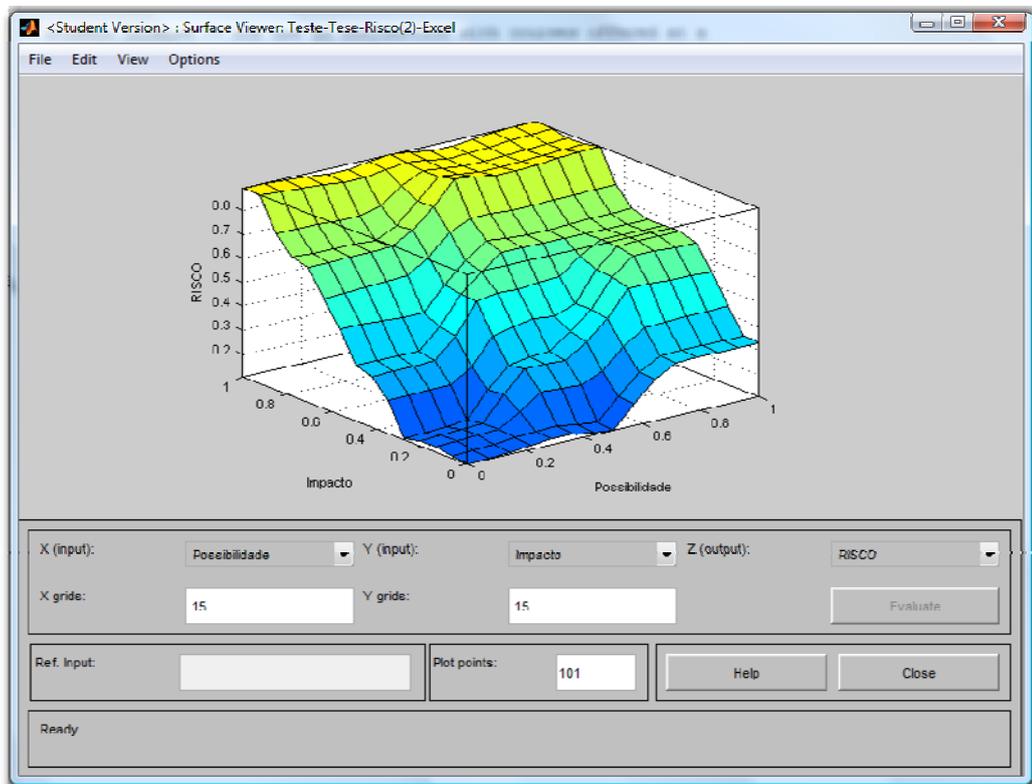
Figura 12 – Matriz de Riscos do PSA da RMF, em 2011.

MATRIZ PROBABILIDADES	IMPACTOS				
	MUITO PEQUENO	PEQUENO	MODERADO	GRANDE	MUITO GRANDE
IMPROVÁVEL	B	B	B	B	B
MODERADA	B	M	M	M	A
PROVÁVEL	B	M	M	A	E

Fonte: Autor, 2011.

A Figura 13 mostra o gráfico de superfície gerado no Matlab.

Figura 13 – Janela do Matlab ilustrando o Gráfico de Superfície gerado (Risco x Impacto x Probabilidade) para o PSA da RMF, em 2012.



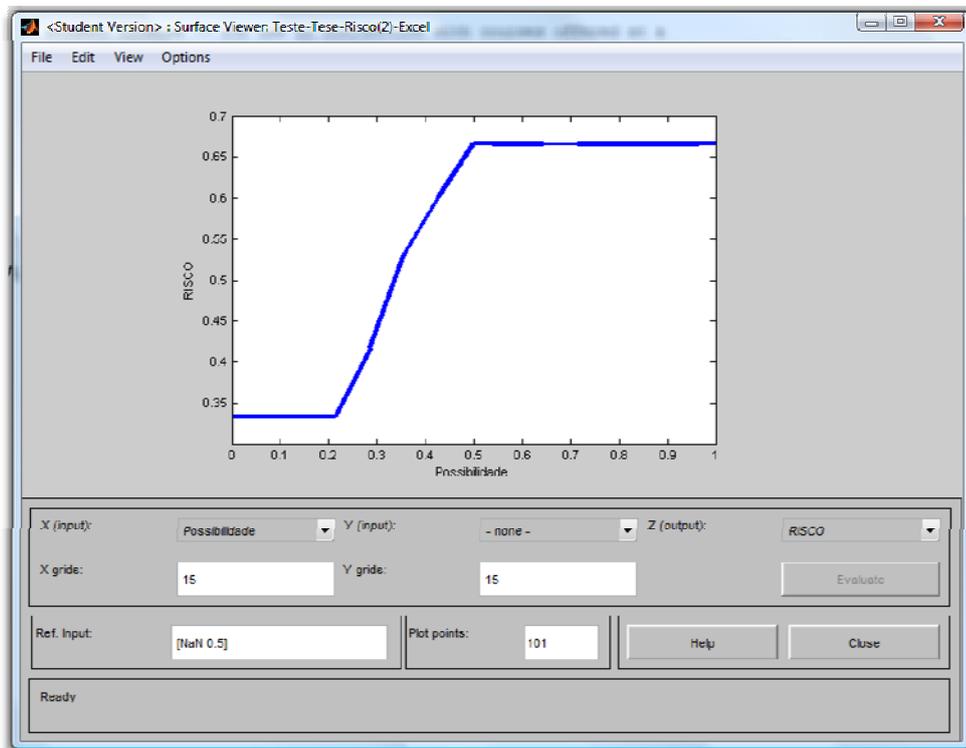
Fonte: Autor, 2012.

O gráfico de superfície gerado a partir do Matlab permite uma visualização generalizada da situação e da relação entre os níveis de probabilidade, de impacto e de risco. Logo, pode ser utilizado como ferramenta para uma visualização mais rápida de um possível risco, a partir de uma situação de não-conformidade, por exemplo. Além disso, os resultados encontrados no gráfico foram compatíveis com os resultados encontrados no Estudo de Caso.

Pode-se observar que até um nível de impacto e probabilidade de 0,2, o risco é considerado baixo. Este fato se aplica a quase todos os riscos encontrados para os municípios dos sistemas utilizados como Estudo de Caso no item anterior deste capítulo. Os resultados encontrados estão, portanto, compatíveis.

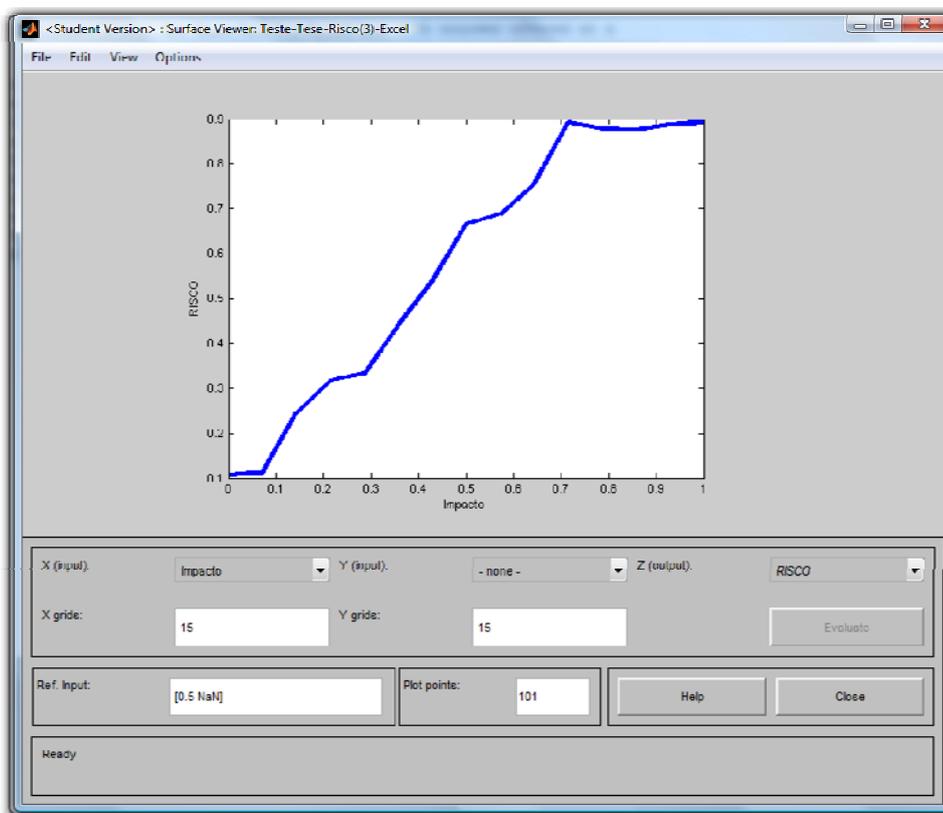
Foram também gerados os gráficos das relações existentes entre os riscos e as probabilidades e entre os riscos e os impactos. Estas relações podem visualizadas nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14 – Janela do Matlab ilustrando o Gráfico gerado (Risco x Probabilidade) para o PSA da RMF, em 2012.



Fonte: Autor, 2012.

Figura 15 – Janela do Matlab ilustrando o Gráfico gerado (Risco x Impacto) para o PSA da RMF, em 2012.



Fonte: Autor, 2012.

Pode-se observar que quanto maior a probabilidade, maior será o risco. Esta relação também ocorre com relação ao impacto. Isto já era esperado, pois risco é igual à probabilidade vezes o impacto ($R = P \times I$). Porém, o comportamento é bem mais linear para o impacto do que no caso da probabilidade. Isto pode ser devido ao fato de que somente foram estabelecidas três faixas de probabilidade, o que pode ter gerado patamares bem definidos para este aspecto.

Conclusões e Recomendações

6 CONCLUSÕES

Tendo como base o trabalho realizado, algumas conclusões importantes devem ser levadas em consideração, tais como:

- A metodologia desenvolvida é flexível diante da possibilidade de mudanças em aspectos como: número de critérios, tipo de critério de otimização, e ainda, a importância do critério de otimização;
- Os Sistemas de Abastecimento de Água que atendem a população urbana de 13 dos 15 municípios da Região Metropolitana de Fortaleza estão com nível de pertinência mais preponderante, de maneira geral, para escala de Risco Baixo, fora o caso específico de Cascavel, que ficou com maior nível de pertinência para a escala de Risco Moderado;
- Numa escala de risco e em nível relativo, os municípios puderam ser classificados em ordem, onde o de mais baixo risco evidenciado foi o município de Maracanaú e, o último, o de Cascavel;
- Para o caso dos níveis de pertinência para a escala de Risco Moderado, todos os sistemas possuem percentual de risco dentro desta faixa, apresentando valores de 18%, para o município de Maracanaú, a 45%, para o município de Cascavel;
- Seis sistemas de abastecimento apontaram traços de níveis de pertinência para a escala de Risco Alto. Apesar da faixa de nível de pertinência ter variado apenas nos valores de 3%, em Horizonte, a 11%, em Cascavel, e, portanto, merecem atenção especial caso haja monitoramento;
- Os níveis de pertinência para o Risco Baixo variaram de 43 a 77% para a Etapa 1 e de 41 a 87% para a Etapa 2. Os níveis de pertinência para o Risco Moderado variaram de 23 a 48% para a Etapa 1 e de 13 a 47% para a Etapa 2. Para o Risco Alto, cinco sistemas apresentaram nível

de pertinência de 4 a 12% para a Etapa 1 (do manancial à saída da ETA), e três, ficaram com valores de 5 a 12% na Etapa 2 (da saída da ETA à rede);

- A apresentação dos riscos em níveis de pertinência proporciona uma rápida visualização não somente da escala de risco (baixo, moderado, alto ou extremo), mas a tendência existente para um risco maior;
- Os níveis de pertinência para cada escala de risco nas etapas 1 e 2 apresentaram forte correlação com os centros de massa dos números fuzzy triangulares (NFT), ou seja, após a “desfuzificação”, evidenciando que tanto uma ferramenta como a outra pode ser utilizada para obtenção dos resultados;
- O gráfico de superfície utilizando o Matlab permite uma visualização generalizada da situação e da relação entre probabilidade, impacto e risco, podendo ser utilizado como ferramenta de visualização de risco;
- A proposta metodológica pode atender aos requisitos necessários ao desenvolvimento dos Planos de Segurança da Água, podendo tornar-se uma ferramenta útil para a etapa da análise de risco inerente ao mesmo.

7 RECOMENDAÇÕES

O tema geral do trabalho é muito amplo, de forma que muitas outras pesquisas e/ou estudos podem ser desenvolvidos, sejam para complementar ou para verificar outros aspectos que aqui não puderam ser abordados. Desta forma, fazem-se pertinentes algumas recomendações, tais como:

- Explorar, estudar e divulgar os Guias da OMS para que sejam conhecidos os aspectos relevantes aos Planos de Segurança da Água, como eles devem ser implementados e adequados à nossa realidade, tendo em vista que a própria Portaria de Potabilidade Nº 2.914 de 2011, não deixa claro qual a sua funcionalidade;
- Verificar a possibilidade da inserção de aspectos de custos e/ou contábeis nos processos de avaliação de riscos, pois os sistemas devem ter garantia não só de funcionamento, mas de receita, para que a água de qualidade continue tendo o alcance a toda a população e os objetivos de universalização sejam também alcançados;
- Ampliar a metodologia englobando parâmetros químicos, incluindo pelo menos os mais essenciais ou com estudos de efeito na saúde mais bem desenvolvidos, para conseguir um alcance maior da própria avaliação de risco;
- Subdividir a análise de riscos por unidade do Sistema de Abastecimento de Água para que se possa atuar em cada barreira de proteção com as medidas preventivas e/ou corretivas de forma mais rápida e eficaz, direcionando as ações para os pontos realmente críticos;
- Criar metodologia para registros e atualizações dinâmicos dos fatores e/ou ocorrências de problemas nos Sistemas de Abastecimento de

Água, da melhor maneira possível, de forma que a análise de risco possa ser ainda mais precisa;

- Testar a metodologia proposta com outros níveis de escalas, tanto para as probabilidades e impactos, quanto para os próprios riscos;
- Ampliar o estudo para todo o Estado do Ceará, para obtenção da classificação de todos os municípios, objetivando uma avaliação comparativa entre os sistemas de abastecimento para auxílio na tomada de decisão;
- Testar outras metodologias de priorização e ponderação de critérios, ou ainda, de análise de riscos, para uso sob a perspectiva dos Planos de Segurança da Água.

***Bibliografia
Consultada***

8 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AINSWORTH, R. (Ed.) **Safe piped water: Managing microbial water quality in piped distributions systems**. London: WHO/IWA, 2004. 168 p.

ABU AMR, S. S.; YASSIN, M. M. Microbial contamination of the drinking water distribution system and its impact on human health in Khan Yunis Governorate, Gaza Strip: Seven years of monitoring (2000-2006). **Public Health**, n. 122, p. 1275-1283, 2008.

ARCE – AGÊNCIA REGULADORA DOS SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DO ESTADO DO CEARÁ. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0039/2010. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Caucaia**. Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Ago. 2010a. 100 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0045/2010. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Horizonte**. Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Ago. 2010b. 68 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0046/2010. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de São Gonçalo do Amarante**. Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Set. 2010. 76 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0059/2010. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Pacajus**. Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Out. 2010. 67 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0069/2010. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Itaitinga**. Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Nov. 2010a. 59 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0065/2010. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Maracanaú**. Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Nov. 2010b. 67p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0077/2010. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Guaiúba.** Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Dez. 2010. 57 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0010/2011. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água da Sede do Município de Eusébio.** Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Fev. 2011. 38 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0027/2011. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água da Sede do Município de Chorozinho.** Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Abr. 2011. 66p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0035/2011. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água da Sede do Município de Cascavel.** Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Mai. 2011. 90 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0050/2011. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Aquiraz.** Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Jul. 2011a. 76 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0054/2011. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Pacatuba.** Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Jul. 2011b. 81 p.

_____. **Relatório de Fiscalização - RF/CSB/0092/2011. Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Maranguape.** Fortaleza – CE: Coordenadoria de Saneamento Básico, Dez. 2011. 51p.

BASTOS, R. K. X. *et al.* **Revisão da Portaria 36 GM/90: Premissas e princípios norteadores.** In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

BERRY, D.; XI, C.; RASKIN, L. Microbial ecology of drinking water distribution systems. **Current Opinion of Biotechnology**, n. 17, p. 297-302, 2006.

BEZERRA, N. R. *et al.* Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, n. 13, v. 1, p. 151-156, 2005.

BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. **Indicadores de saúde ambiental - saneamento em políticas públicas: Análise crítica e proposta.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 518/2004**, de 25 de março de 2004: Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: Ministério da Saúde. 15 p.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2.914/2011**, de 12 de dezembro de 2011: Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde. 16 p.

BRASILIANO, A. C. R. ISO 31000: contexto e estrutura. **Gestão de Riscos.** Ed. 47. p. 6-10. Set. 2009.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L. Q. de A. (Coordenadores). **Gestão e Avaliação de Risco em Saúde Ambiental.** 20ª Ed. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1999. 155 p.

BRITTO, E. R. **Auditoria Ambiental e em Saneamento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. 193 p.

CHENG, C. Group opinion aggregation based on a grading process: a method for constructing triangular fuzzy numbers. **Computers and mathematics with applications.** n. 48, p. 1619–1632, 2004.

CHRISTODOULOU, S.; DELIGIANNI, A. A neurofuzzy decision framework for the management of water distribution networks. **Water Resour Manage**, n. 24, p. 139-156, 2010.

CEARÁ. **Caderno Regional das Bacias Metropolitanas**: Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembléia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). Fortaleza: INESP, 2009. 136p. : il. – (Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 9).

_____. **Plano Estratégico dos Recursos Hídricos do Ceará**: Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembléia Legislativa do Estado do Ceará, Eudoro Walter de Santana (Coordenador). Fortaleza: INESP, 2009a. 408 p.: il.

CERRATO, J. M. *et al.* Effect of PVC and iron materials on Mn(II) deposition in drinking water distribution systems. **Water Research**, n. 40, p. 2720-2726, 2006.

COGERH - COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. **Infraestrutura Hídrica Metropolitana**. 2008. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/operacao-e-manutencao/infra-estrutura-hidrica-metropolitana/>. Acesso em: 17 out. 2011. 11 p.

COGERH/ANA - COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ/AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (Acomp. e Fisc./Fin.) **Revisão do Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas - Fase 1: Estudos Básicos e Diagnósticos. Relatório Final - Edição Definitiva (RFED)**. Elaborado por: IBI Engenharia Consultiva Ltda. Fortaleza-CE, Novembro/2010. 612 p.

COLLI, E. **Centro de Massa**. Notas de Aula. São Paulo: IME/USP, 2004. 16 p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 357**, de 17 de Março de 2005. Ministério do Meio Ambiente. 23 p.

COYLE, G. **Practical Strategy: The Analytic Hierarchy Process (AHP)**. Open Access Material. Pearson Education Limited, 2004.

CUMMINS, E.; KENNEDY, R.; CORMICAN, M. Quantitative risk assessment of *Cryptosporidium* in tap water in Ireland. **Science of the Total Environment**, n. 408, p. 740-753, 2010.

DE CICCIO, F. (revisor). **Gestão de riscos: Diretrizes para implementação da ISO 31000: 2009**. São Paulo: Risk Tecnologia, 2009. 119 p.

DEMIDOVA, O.; CHERP, A. Risk assessment for improved treatment of health considerations in EIA. **Environmental Impact Assessment Review**, Elsevier Inc., n. 25, p. 411-429, 2005.

DENG, Y.; SADIQ, R.; JIANG, W.; TEFAMARIAM, S. Risk analysis in a linguistic environment: A fuzzy evidential reasoning-based approach. **Expert Systems with Applications**, n. 38, p. 15438–15446, 2011.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2ª Ed. V. 1. São Carlos: Rima, 2005. 792 p.

DUCKSTEIN, L.; BOGARDI, I. Reliability with fuzzy elements in water quantity and quality problems. In: GANOULIS, J. (ed.). **Water Resources Engineering Risk Assessment**. NATO ASI Series, Vol. G 29. Berlin; New York: Springer-Verlag, 1991. p. 231 – 245.

EDULJEE, G. H. Trends in risk assessment and risk management. **The Science of the Total Environment**, n. 249, p. 13-23, 2000.

FIGUEIREDO, V. F.; COSTA NETO, P. L. O. Implantação do HACCP na Indústria de Alimentos. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 100-111, 2001.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. (Fin./Acomp./Fisc.) **Plano de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Fortaleza**: Diagnóstico dos Serviços Públicos de Saneamento. Fase I / Produto 4 / Tomo I. Elaborado por: Engesoft – Engenharia e Consultoria S/C Ltda. e IEPRO – Institutos de Estudos, Pesquisas e Projetos da UECE. Fortaleza, 2006. 182 p.

_____. **Portaria Nº 177**, de 21 de Março de 2011. Ministério da Saúde/Funasa. 7 p.

GAMPER-RABINDRAN, S.; KHAN, S.; TIMMINS, C. The impact of piped water provision on infant mortality in Brazil: A quantile panel data approach. **Journal of Development Economics**, n. 92, p. 188-200, 2010.

GANOULIS, J. **Fuzzy Modelling for Uncertainty Propagation and Risk Quantification in Environmental Water Systems**. UNESCO Chair and Network INWEB, Department of Civil Engineering Aristotle University of Thessaloniki. Thessaloniki – Greece. 2006. 16 p.

GIANNOULIS, N. *et al.* Microbiological risk assessment of Agio Georgios source supplies in Northwestern Greece based on faecal coliforms determination and sanitary inspection survey. **Chemosphere**, n. 58, p. 1269-1276, 2005.

GIBBS, M. S. *et al.* Investigation into relationship between chlorine decay and water distribution parameters using data driven methods. **Mathematical and Computer Modelling**, n. 44, p. 485-498, 2006.

HAMILTON, P. D.; GALE, P.; POLLARD, S. J. T. A commentary on recent water safety initiatives in the context of water utility risk management. **Environmental International**, n. 32, p. 958-966, 2006.

HAVELAAR, A. H.; MELSE, J. M. **A quantifying public health risk in the WHO guidelines for drinking water quality: A burden of disease approach**. RIVM report 734301022/2003. Bilthoven, BA: RIVM, 2003. 49 p.

HELLER, L. *et al.* **Terceira Edição dos Guias da Organização Mundial da Saúde: Que impacto esperar na Portaria 518/2004?** In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Mato Grosso. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

HOWARD, G.; BARTRAM, J. **Domestic water quantity, service level and health**. Geneva: WHO, 2003. 39 p.

HUNTER, P. R.; FEWTRELL, L. Acceptable risk. In: FEWTRELL, L.; BARTRAM, J. (Ed). **Water Quality guidelines, standards and health: assessment of risk and risk management for water related infectious disease**. Londres: WHO/IWA Publishing, 2001, p. 207-227.

HRUDEY, S. E. Chlorination disinfection by-products, public health risk tradeoffs and me. **Water Research**, n. 43, p. 2057-2092, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco Sidra – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 out. 2011.

_____. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jul. e out. 2011.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará em Mapas: Caracterização Territorial – Limites e Regionalizações - Região Metropolitana de Fortaleza - RMF**. Disponível em: <<http://www.ipece.gov.br>>. Acesso em: nov. 2011.

JALBA, D. I. *et al.* Safe drinking water: Critical components of effective inter-agency relationships. **Environmental International**, n. 36, p. 51-59, 2010.

JOERIN, F. *et al.* Using multi-criteria decision analysis to assess the vulnerability of drinking water utilities. **Environ Monit Assess**, n. 166, p. 313-330, 2010.

KAUFMAN, A.; GUPTA, M. **Introduction to Fuzzy Arithmetic**. Editado por: Esposito, B. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1991. 384 p.

KLAFKE, A. **HCCP/APPCC**. In: VI Pharma RS, 2009, Bento Gonçalves. Anais... Rio Grande do Sul: Conselho Regional de Farmácia do Rio Grande do Sul, 2009.

LARA, A. I. Plano de Gestão e Manejo em Áreas de Mananciais. In: ANDREOLI, C. V. (Editor). **Mananciais de Abastecimento: Planejamento e Gestão**. Curitiba: Sanepar/Finep, 2003. p. 387 – 400.

LE CHEVALLIER, M. W.; AU, K-K. **Water treatment and pathogen control: Process efficiency in achieving safe drinking water**. Cornwall, UK: TJ International, WHO/IWA, 2004. 136 p.

MELLO, C. H. P. *et al.* **ISO 9001: 2008: Sistema de Gestão da Qualidade para Operações de Produção e Serviços**. 1ª Ed. São Paulo: Atlas, 2009. XVI - 239 p.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th Ed. Revisado por: George Tchobanoglous, Franklin L. Burton e H. David Stensel. New York, NY: McGraw-Hill, 2003. 1820 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Consulta Pública do Sistema Único de Saúde**: Revisão da Portaria de Potabilidade de Qualidade da Água para Consumo Humano (Portaria MS nº 518/2004, de 25 de março de 2004). Secretaria de Vigilância em Saúde. 2010.

MS/OPAS - MINISTÉRIO DA SAÚDE / ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica**. Brasília: Ministério da Saúde, 2004. 116 p.: il.

MUSTONEN, S. M. *et al.* Evaluating online data of water quality changes in a pilot drinking water distribution system with multivariate data exploration methods. **Water Research**, n. 42, p. 2421-2430, 2008.

NARDOCCI, A. C. Avaliação de Riscos em Reuso de Água. In: MANCUSO, P. C. S. e SANTOS, H. F. (Editores). **Reuso de Água**. 1ª Ed. Barueri, SP: Manole, 2003. p. 403 – 431.

NOGUEIRA, S. R. P. *et al.* **Diagnóstico Ambiental da Região em Torno da Lagoa do Catú, Aquiraz-Ceará**. In: Anais Simpósio GEO/UFV. Viçosa – MG. 2009. 16 p.

OLIVER, J. G. Calidad en salud pública. **Gac Sanit.**, v. 19, n. 4, p. 325-332, 2005.

OMS - ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. **Guias para La Calidad del Agua Potable - Primer Apéndice a la Tercera Edición**. V. 1. Recomendaciones. Ginebra-Suíça: WHO, 2006. XIII – 393 p.

PACHECO, A. P. R. *et al.* **O Ciclo PDCA na Gestão do Conhecimento: Uma Abordagem Sistêmica**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. 2007. 10 p.

PÁDUA, V. L. (Coordenador) **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392 p.

PETROVIC, R.; PETROVIC, D. Multicriteria ranking of inventory replenishment policies in the presence of uncertainty in customer demand. **International Journal of Production Economics**. Elsevier, n. 71, p. 439-446, 2001.

PINHEIRO, L. S.; CABRAL, N. R. A. J. **Níveis de Ocupação nas Áreas de Preservação Permanente no Entorno da Lagoa do Catú, Aquiraz-CE**. In: Anais II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa – PB. 2007. 7 p.

PINTO, V. G. **Análise Comparativa de Legislações relativas à Qualidade da Água para Consumo Humano na América do Sul**. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. 2006. 212 p.

PLUMMER, J. D.; LONG, S.C. Monitoring source water for microbial contamination: Evaluation of water quality measures. **Water Research**, n. 41, p. 3716-3728, 2007.

PROFETA, R. A.; SILVA, S. F. **APPCC – Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle na Empresa de Açúcar**. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005, Porto Alegre. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2005.

RAMESH, S. *et al.* An innovative approach of drinking water quality index – A case study from Southern Tamil Nadu, India. **Ecological Indicators**, n. 10, p. 857-868, 2010.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. Trad./Rev. por: Silva, W. S. São Paulo: Makron Books, 1991. 367 p.

SAC - ACCREDITATION PROGRAMME. **Management of Food Safety based on HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)**: Requirements for a HACCP Based Food Management System. Singapore: Spring, 2005. 14 p.

SADIQ, R.; RODRIGUEZ, M. J. Interpreting drinking water quality in the distribution system using Dempster-Shafer theory of evidence. **Chemosphere**, n. 59, p. 177-188, 2005.

SALOMON, V. A. P. *et al.* **A Utilização do método AHP para traçar, como ferramenta para o auxílio a decisão de um candidato, a escolha de um curso de engenharia**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2009. 11 p.

SANKOH, O. A. An evaluation of the analysis of ecological risks method in environmental impact assessment. **Environ. Impact Assess. Rev**, n. 16, p. 183 – 188, 1996.

SCHRIKS, M. *et al.* Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. **Water Research**, n. 44, p. 461-476, 2010.

SILVA, R. M.; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre Métodos de Decisão Multicritério**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, 2005.

SILVA, C. C. A. Gerenciamento de Riscos Ambientais. In: PHILIPPI JR. *et al.* (Editores). **Curso de Gestão Ambiental**. Coleção Ambiental. 1ª Ed. (3ª reimp.). São Paulo: Manole, 2004. 1045 p.

SOARES, S. R. Análise Multicritério e Gestão Ambiental. In: PHILIPPI JR. *et al.* (Editores). **Curso de Gestão Ambiental**. Coleção Ambiental. 1ª Ed. (3ª reimp.). São Paulo: Manole, 2004. 1045 p.

SOARES, E. G. S. **Mapeamento de perigos em redes de distribuição de água para consumo humano**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2009. 92 p.

SOLOMON, K. R.; SIBLEY, P. New concepts in ecological risk assessment: where do we go from here? **Marine Pollution Bulletin**, n. 44, p. 279 – 285, 2002.

SRINIVASAN, S.; HARRINGTON, G. W. Biostability analysis for drinking water distribution systems. **Water Research**, n. 41, p. 2127-2138, 2007.

SRINIVASAN, S. *et al.* Factors affecting bulk to total bacteria ratio in drinking water distribution systems. **Water Research**, n. 42, p. 3393-3404, 2008.

TADIC, D. Fuzzy Multicriteria Approach to Ordering Policy Ranking in a Supply Chain. **Yugoslav Journal of Operations Research**, v. 15, n. 2, p. 243-258, 2005.

TADIC, D.; STEFANOVIC, M.; MILANOVIC, D. Fuzzy Approach in Evaluation of Operations in Food Production. **International Journal for Quality Research**, v. 1, n. 2, p. 97-104, 2007.

THOMPSON, T. *et al.* **Chemical safety of drinking water: assessing priorities for risk management**. Geneva: WHO, 2007. 160 p.

TOMMASI, L. R. **Estudo de Impacto Ambiental**. 1ª Ed. São Paulo: CETESB: Terragraph Artes e Informática, 1993. 354 p.: il.; 24 cm.

TOTAL QUALIDADE - QUALIDADE E GESTÃO. **ABNT NBR ISO 31000 - Princípios da Gestão de Riscos**. Publicado em: 17 de junho de 2010. Disponível em: <<http://www.totalqualidade.com.br>>. Acesso em: 28 out. 2011.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3ª Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. XIII – 643 p.

TUHOVCAK, L.; RUCKA, J.; JUHANAK, T. Risk analysis of water Distribution Systems. In: POLLERT, J.; DEDUS, B. (eds.). **Security of Water Supply Systems: from source to Tap**. Netherlands: Springer. 2006, p. 169-182.

TÜRK SEN, I. B.; ZARANDI, M. H. F. Production planning and scheduling: Fuzzy and crisp approaches. In: ZIMMERMAN, H. J. (ed.). **Practical Applications of Fuzzy Technologies**, Boston: Kluwer Academic Publisher, 1999, p. 479-529.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Guidebook for the Preparation of HACCP Plans**. Washington, D.C.: Food Safety and Inspection Service, 1999.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às Estações de Tratamento de Água**. 4ª Ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002. 576 p.

VIEIRA, V. P. P. B. **Análise de Risco em Recursos Hídricos: Fundamentos e Aplicações**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 372 p.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de Segurança da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimento**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos / Universidade do Minho: SIG – Soc. Industrial Gráfica, Lda. 2005, XII - 173 p.

VIEIRA, J. *et al.* Experiência da Aplicação do Plano de Segurança da Água na Águas do Cávado, SA. **Engenharia Civil - UM**, n. 33, p. 5-16, 2008.

WESTRELL *et al.* QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. **Water Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 23–30, 2004.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **European standards for drinking-water**. Genebra: WHO, 1970. 56 p.

_____. **Water Safety Plans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer**. Genebra: WHO, 2005. V – 235 p.

_____. **Water for Life: The International Decade for Action 2005-2015**. An Advocacy Guide. Genebra: WHO, 2005a. 37 p.

_____. **Guidelines for Drinking-water Quality: Incorporating the First and Second Addenda**. 3^a Ed. V. 1. Recommendations. Ginebra: WHO, 2008. XX – 516 p.

WHO/FAO - WORLD HEALTH ORGANIZATION / FOOD AND AGRICULTURE UNITED NATION ORGANIZATION. **Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua: Directrices**. Serie de evaluación de riesgos microbiológicos 3. Ginebra: FAO/WHO, 2003. 68 p.

WHO/IWA - WORLD HEALTH ORGANIZATION / INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. Ginebra: WHO/IWA, 2009. 102 p.

_____. **Guidelines for Drinking-water Quality: Policies and Procedures used in updating the WHO Guidelines for Drinking-water Quality**. Ginebra: WHO/IWA, 2009a. VII – 33 p.

WHO/OECD - WORLD HEALTH ORGANIZATION / ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Assessing microbial safety drinking water – Improving approaches and methods**. London: IWA, 2003. 291 p.

WHO/UNICEF. **Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update**. Ginebra: WHO, 2010. 60 p.

WRIGHT, J. M. *et al.* The impact of water consumption, point-of-use filtration and exposure misclassification of ingested drinking water contaminants. **Science of the Total Environment**, n. 366, p. 65-73, 2006.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and control**. n. 8, p. 338-353, 1965.

ZEITHAML, V.; PARASURAMAN, A.; BERRY, L. **Calidad total en la gestión de servicios**. Madrid: Diaz de Santos, 1993. 256 p.