

**Rui Jorge Botelho Félix**

Uso de redes telemétricas no controlo do risco  
de infra-estruturas de abastecimento de água  
em zonas sísmicas

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
AMBIENTE SAÚDE E SEGURANÇA



**UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**ABRIL DE 2009**

**Rui Jorge Botelho Félix**

**Uso de redes telemétricas no controlo do risco  
de infra-estruturas de abastecimento de água  
em zonas sísmicas**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
AMBIENTE SAÚDE E SEGURANÇA**

**ORIENTADOR**

**Prof. Doutor António Guerreiro de Brito**

**UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**ABRIL DE 2009**

**À família  
Jorge, Paulina, Rui**

## **Agradecimentos**

O presente trabalho teve a contribuição, apoio e estímulo de várias pessoas e instituições às quais desejo aqui registar o meu profundo apreço e reconhecimento.

Ao Prof. Doutor António Guerreiro de Brito, orientador científico do presente trabalho agradeço o especial incentivo, o valioso apoio e o espírito crítico colocado na revisão de todo o trabalho.

Ao Eng.º Jorge Nemésio, Director Delegado dos SMAS da Câmara Municipal de Ponta Delgada, por disponibilizar os equipamentos para a parte experimental deste trabalho.

Ao Sr. Rui Freitas, Encarregado Geral dos SMAS da Câmara Municipal de Ponta Delgada, por reconhecer o valor das redes de telemetria e ter apoiado a instalação da primeira rede de telemetria numa infra-estrutura de abastecimento de água nos Açores.

À família que apoiou e acompanhou esta caminhada.

## **Sumário**

Pela sua importância central em qualquer actividade, a água, onde se originou a vida como conhecemos, deve ser disponibilizada para as várias utilizações em qualidade e quantidade. As infra-estruturas de abastecimento de água assumem um papel essencial no funcionamento das sociedades. É pois crítico o desempenho dessas infra-estruturas e é importante ter ferramentas para gerir o risco associado. Numa região como os Açores, de origem vulcânica, onde a probabilidade de ocorrência de fenómenos sísmicos e vulcânicos é elevada, e em que também outros desastres naturais acontecem com alguma frequência, torna-se de maior importância compreender os mecanismos que podem interferir com o bom funcionamento das infra-estruturas de abastecimento de água, de modo a se reduzirem os riscos. A condição de ilhas aumenta a vulnerabilidade das populações à falha de água, pois torna difícil o abastecimento, ou a deslocação das populações em situações de catástrofe.

É neste contexto que este trabalho desenvolve uma metodologia, para através do uso da telemetria, controlar riscos existentes nas infra-estruturas de abastecimento de água.

Aplicando técnicas já desenvolvidas para outras áreas de análise, controlo e gestão do risco, adaptaram-se e interligaram-se as mesmas de forma a criar uma metodologia que optimize, para a infra-estrutura em análise, as localizações dos equipamentos de monitorização, que irão controlar os riscos existentes, aumentando a fiabilidade e optimizando os custos de investimento. Esta metodologia proporciona uma visão holística da infra-estrutura, não se focando em sistemas ou subsistemas particulares.

Construíram-se matrizes para a análise e classificação dos perigos, consequências desses perigos e classificação dos riscos. Para a análise e calculo das probabilidades dos perigos, usa-se a árvore de falhas, permitindo efectuar uma análise quantitativa, facilitando a verificação da efectividade dos controlos. Conclui-se que com a adopção da metodologia proposta, é possível reduzir os valores dos riscos associados às infra-estruturas para valores considerados aceitáveis.

Neste trabalho também se apresenta a aplicação da metodologia a uma infra-estrutura de abastecimento de água, para além da aplicação a um caso teórico, onde são apresentados e analisados os principais componentes de uma infra-estrutura.

## **Abstract**

By its central importance in all human activities, water must be supplied in quality and quantity. Lifelines, as water supply systems are of great importance for human communities. It is essential to have knowledge and skills to manage the risk associated to this activity. In seismic zones like the Azores, understand the mechanisms that influence the behavior of the lifeline, and the ways to reduce the associated risk, could be the difference between or great losses at a disaster situation.

Adapting techniques, developed for other areas of business, we could developed a flow chart to determine, the best localizations of sensors and controls, that by telemetry, are able to control the risk of operations of water lifelines at normal and at a disaster situation. Using the Fault Tree techniques, associated to a Risk Matrix the most important points for measuring and control, are found.

It is demonstrated that using telemetry, the overall risk for the system is reduced, at all situations. We also apply this methodology to part of the water supply system at the town of Ponta Delgada.

## Índice

<b>Capítulo 1 - Introdução .....</b>	<b>14</b>
1.1 - Enquadramento geral .....	14
1.1 – Objectivos do trabalho .....	16
1.2 – Metodologia .....	17
<b>Capítulo 2 – A gestão do risco em infra-estruturas de abastecimento de           água: nota sumária.....</b>	<b>19</b>
2.1 – Introdução.....	19
2.2 - Caracterização geral das infra-estruturas de abastecimento de água. 19	
2.3 – Metodologias mais relevantes na gestão técnica de infra-estruturas de abastecimento de água.....	22
2.3.1 – Comparação e conclusões.....	24
2.4 – O processo de gestão do risco .....	25
2.4.1 – Identificação dos riscos .....	26
2.4.2 – Análise dos riscos .....	30
2.4.3 – Avaliação dos riscos.....	30
2.5 – Métodos de identificação e análise de risco .....	31
2.5.1 – Relação entre análise de risco e fiabilidade .....	33
2.5.2 – Escolha do método de análise do risco .....	33
2.5.3 – Método da Árvore de Falhas .....	35
2.7 – Estratégias de controlo dos riscos, em infra-estruturas de abastecimento de água.....	38
2.8 - Monitorização remota de infra-estruturas de abastecimento de água ..	41
<b>Capítulo 3 – Metodologia proposta.....</b>	<b>44</b>
3.1 - Introdução. Conceitos básicos.....	44
3.2 – Descrição geral.....	48
3.2.1 – Estabelecimento do contexto .....	48
3.2.1.1 Representação esquemática da infra-estrutura em análise .....	49
3.2.2 – Identificação dos perigos e acontecimentos perigosos ...	49
3.2.3 – Análise dos riscos .....	51
3.2.3.1 – Construção da Árvore de Falhas.....	51

3.2.4 – Avaliação dos riscos.....	52
3.2.5 – Controlo dos riscos.....	56
3.3 – O caso prático de estudo: o SMAS de Ponta Delgada .....	57
<b>Capítulo 4 – Resultados e discussão .....</b>	<b>61</b>
4.1 – Introdução. Enquadramento geral .....	61
4.2 – Desenvolvimento de um esquema conceptual .....	61
4.2.1 – Aplicação da metodologia .....	61
4.2.2 – A quantificação das probabilidades.....	65
Reservatórios .....	66
Redes de adução e distribuição .....	72
ETA, por cloragem .....	77
Furo de captação e nascente.....	80
Calculo da probabilidade de Falha de Água no Hospital.....	84
4.2.2 – Discussão dos resultados .....	86
4.3 - O caso dos SMAS de Ponta Delgada.....	87
4.3.1 – Exemplo do Reservatório Central.....	90
Identificação dos perigos e acontecimentos perigosos.....	90
Análise, avaliação e controlo dos riscos.....	91
4.3.2 - Medidores de parâmetros hidráulicos e de qualidade.....	93
Conclusões .....	95
<b>Capítulo 5 – Conclusões e recomendações.....</b>	<b>96</b>
5.1 - Conclusões.....	96
5.2 – Recomendações para estudos futuros .....	97
<b>Bibliografia .....</b>	<b>98</b>
<b>Apêndice A .....</b>	<b>102</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1 – Processo de gestão do risco.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.2 – Representação gráfica do risco .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2.3 – Exemplo de uma árvore de falhas.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 3.1 – Causas de Falha de Abastecimento de Água .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 3.2 – Infra-estrutura de abastecimento de água do concelho de Ponta Delgada, incluindo os pontos de recolha para análise da qualidade .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 3.3 – Localização de reservatórios e adutoras do concelho de Ponta Delgada .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.1 – Representação esquemática da infra-estrutura em análise ..</b>	<b>62</b>
<b>Figura 4.2 – Árvore de Falhas para a infra-estrutura em análise .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 4.3 – Árvore de Falhas para um reservatório .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 4.4 – Árvore de Falhas para uma tubagem.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 4.5 – ETA .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 4.6 – Árvore de Falhas para a cloragem .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 4.7 – Árvore de Falhas para o furo de captação .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 4.8 – Árvore de Falhas para a nascente .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 4.9 – Parte da rede de alta dos SMAS de Ponta Delgada.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 4.10 – Imagem aérea do Reservatório Central dos SMAS .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4.11 – Imagem do Reservatório Central dos SMAS.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4.12 – Apresentação dos níveis e caudal de entrada, no Reservatório Central.....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 4.13 – Apresentação de pressão e caudal no Reservatório da Carreira ao longo de 7 dias .....</b>	<b>94</b>

## Índice de quadros

Quadro 2.1 – Divisão funcional de uma infra-estrutura de abastecimento de água .....	21
Quadro 2.2 – Principais características de métodos generalista recomendados por organismos supranacionais .....	22
Quadro 2.3 – Resumo das principais características das metodologias de gestão de infra-estruturas, por países .....	24
Quadro 2.4 – Resumo comparativo dos métodos disponíveis para a análise de riscos .....	34
Quadro 2.6 – Principais símbolos utilizados numa Árvore de Falhas .....	36
Quadro 2.7 – Hierarquia das medidas de controlo dos riscos .....	39
Quadro 2.8 – Parâmetros de qualidade monitorizáveis .....	42
Quadro 2.9 – Parâmetros operacionais monitorizáveis .....	42
Quadro 3.1 – Levantamento dos perigos e acontecimentos perigosos ...	50
Quadro 3.2 – Níveis para a classificação dos riscos .....	52
Quadro 3.3 – Níveis para a severidade das consequências dos riscos ....	53
Quadro 3.4 – Classificação em níveis das probabilidades de ocorrência dos perigos.....	54
Quadro 3.5 – Matriz de Classificação do Risco .....	55
Quadro 3.6 – Classificação quantitativa das probabilidades de ocorrência dos perigos.....	55
Quadro 3.7 – Níveis para a classificação dos riscos com uso de probabilidades .....	56
Quadro 3.8 – Tipificação das medições .....	57
Quadro 4.1 – Designação dos Acontecimentos Básicos.....	64
Quadro 4.3 – Quantificação das probabilidades para perigos naturais ....	66
Quadro 4.2 – Designação dos perigos típicos nos reservatórios e respectiva nomenclatura.....	67
Quadro 4.4 – Quantificação das probabilidades para os perigos típicos nos reservatórios.....	68
Quadro 4.5 – Técnicas de monitorização remota para reservatórios.....	71
Quadro 4.6 – Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos nas tubagens .....	72

<b>Quadro 4.7 - Técnicas de monitorização remota, para tubagens e aplicadas na rede dos SMAS .....</b>	<b>76</b>
<b>Quadro 4.8 – Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos na ETA .....</b>	<b>77</b>
<b>Quadro 4.9 – Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos nos furos de captação .....</b>	<b>80</b>
<b>Quadro 4.10– Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos nas nascentes.....</b>	<b>80</b>
<b>Quadro 4.11 – Resumo das probabilidades calculadas.....</b>	<b>84</b>
<b>Quadro 4.12 – Calculo do Risco de Falha de Abastecimento de Água ao hospital .....</b>	<b>85</b>
<b>Quadro 4.13 – Apresentação dos reservatórios em estudo .....</b>	<b>88</b>
<b>Quadro 4.14 – Identificação e classificação dos perigos e acontecimentos perigosos.....</b>	<b>91</b>
<b>Quadro 4.15 – Quantificação dos perigos.....</b>	<b>92</b>
<b>Quadro 4.16 – Equipamentos de medição .....</b>	<b>93</b>

## Acrónimos

AF	Árvore de Falhas
AT	Acontecimento de Topo
CMC	Conjunto Mínimo de Cortes
ETA	Estação de Tratamento de Águas
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Point (análise de perigos e controlo dos pontos críticos)
IRAR	Instituto Regulador das Água e Resíduos
LC	Limites Críticos
Prh	Pressão hidráulica
OMS	Organização Mundial de Saúde
Q	Caudal de água
Qe	Caudal de entrada
Qs	Caudal de saída
RASARP	Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal
SMAS	Serviços Municipalizados de Água e Abastecimento
T	Tubagem

## **Capítulo 1 - Introdução**

### **1.1 - Enquadramento geral**

Os sistemas de abastecimento de água são infra-estruturas bastante complexas, abrangem grandes extensões territoriais e pela natureza das suas funções, são classificados como infra-estruturas críticas (e.g. Comissão Europeia, 2004; Lei nº 23/96). São infra-estruturas essenciais para o funcionamento diário das comunidades humanas que servem, contribuem para a sua prosperidade, bem estar, saúde e segurança colectiva assim como para a protecção do ambiente (Brito et al., 2002). A sua disrupção afecta gravemente o funcionamento das actividades produtivas, e a operacionalidade de diferentes actividades económicas e serviços, colocando em causa a sustentabilidade social, ambiental e económica, bases de funcionamento das sociedades desenvolvidas.

Como infra-estruturas que foram crescendo ao longo dos anos, apresentam componentes com várias idades, e com diferentes desempenhos. Pela extensão física das redes, pelos custos envolvidos e pelos impactos negativos durante a fase de obra, alterações nessas redes para melhorar a sua fiabilidade e qualidade não são fáceis de implementar, pelo que é importante encontrar outras soluções que melhorem o desempenho das infra-estruturas, com custos financeiros reduzidos e impactos negativos mínimos.

Quer pela legislação, normativos, boas práticas de operação e pela exigência dos próprios utilizadores, é necessário garantir a operação das infra-estruturas dentro de parâmetros definidos. Nos últimos anos, surgem adicionalmente preocupações em manter essas infra-estruturas seguras contra ataques externos intencionais que ameacem a segurança física das infra-estruturas ou a qualidade da água, contaminando-a química, biológica ou radiologicamente (Comissão Europeia, 2006; Department of Homeland Security, 2007; Skolicki et al., 2008).

Estes cenários deslocam a necessidade de se analisarem as infra-estruturas de abastecimento de água não só na vertente da saúde pública, mas de uma forma global, mandatoriamente da nascente à fonte.

No caso da Região Autónoma dos Açores, pela elevada probabilidade de ocorrência de desastres naturais como sismos, erupções vulcânicas, deslizamentos de terrenos, chuvas e ventos fortes (Nunes et al., 2004), exige-se que a fiabilidade e disponibilidade dessas infra-estruturas se mantenham durante essas ocorrências de emergência, ou que rapidamente voltem aos valores normais.

Apesar da legislação portuguesa permitir cinco formas diferentes de organização da gestão e exploração dos serviços de abastecimento de água (Marques et al., 2006), nos Açores os serviços são tipicamente serviços municipais, não existindo empresas públicas e empresas concessionárias, este tipo de organização leva à existência de um serviço por concelho, e o conseqüente aparecimento de diferentes metodologias de exploração das infra-estruturas.

O desenvolvimento e evolução tecnológica, permitiram criar um conjunto de equipamentos e sistemas que monitorizam em tempo real, uma série de parâmetros físicos, biológicos e químicos, como o caudal em canais abertos e fechados, pressão hidráulica, níveis em reservatórios, determinadas concentrações de elementos químicos, biológicos e físicos na água, entre outros. Transmitir os dados recolhidos a longas distâncias, possibilitando que num ponto central seja possível continuamente ter indicações de toda a informação recolhida, tratar esses mesmos dados e assim inferir do desempenho da infra-estrutura.

As redes telemétricas permitem reduzir os riscos de operação, aumentando a fiabilidade e disponibilidade das infra-estruturas de abastecimento de água (Wetzel et al., 2003), em operação normal ou em operação de emergência.

Para a selecção do tipo de parâmetro a monitorizar e definir a localização dos pontos óptimos de instalação dos equipamentos, maximizando o investimento e o desempenho do sistema de telemetria é necessário possuir ferramentas que de uma forma sistematizada ajudem na tarefa de criar, operar e melhorar a rede de telemetria, aumentando a fiabilidade da infra-estrutura de abastecimento de água.

O fiabilidade e os métodos de avaliação do risco, veem a sua utilização remontar à indústria bélica da Segunda Guerra Mundial (Andrews et al., 1993),

evoluindo e sendo aplicados em várias áreas industriais, com vista à melhoria do desempenho. Essas metodologias são presentemente também recomendadas para a análise do desempenho das infra-estruturas de abastecimento de água (Macgillivray et al., 2007). A utilização de modelos, com base nas técnicas de avaliação e análise de risco, permitem analisar e prever o comportamento das infra-estruturas em função dos vários perigos a que estão sujeitas.

A presente dissertação insere-se nesta área de estudo, desenvolvendo uma metodologia para otimizar o desempenho de redes de abastecimento de água.

## **1.1 – Objectivos do trabalho**

Uma infra-estrutura de abastecimento de água deve disponibilizar continuamente ao consumidor, água potável com a qualidade definida, à pressão e caudal desejado (Lei 58/2005; PEAASAR 2007-2013; Decreto-Lei 306/2007; Decreto-Lei 70/90). O risco geral para essas infra-estruturas, será o não cumprimento desses objectivos, contribuindo todos os componentes da rede para o valor final do risco.

A existência de modelos quantitativos, que possam determinar pontos de actuação que melhorem o desempenho da rede, serem modelos simples na aplicabilidade, que as conclusões oferecidas por estes sejam aplicadas em outras áreas da gestão e operação dos sistemas e garantam um aumento da fiabilidade e da qualidade operacional da infra-estrutura, é um objectivo primordial da gestão.

Este trabalho de investigação tem como objectivo geral o desenvolvimento de uma metodologia, com base nas técnicas de análise do risco, que permitirá determinar a localização óptima de equipamentos de monitorização telemétricos ao longo de uma infra-estrutura de abastecimento de água, assim como indicar para cada um desses pontos o tipo de parâmetros a serem medidos.

Para alcançar este objectivo foram utilizados e desenvolvidos modelos de análise e gestão de risco, que permitirão estabelecer um conjunto de procedimentos para :

- determinar quantitativamente os riscos em vários pontos da infra-estrutura de abastecimento de água;
- definir as localizações e os parâmetros a monitorizar em cada localização na infra-estrutura.

Além destes é possível com os procedimentos adoptados :

- permitir a monitorização em tempo real aumentando a rapidez na detecção de problemas;
- participar na Gestão da Emergência;
- auxiliar na elaboração e revisão de Planos de Emergência;
- melhorar a elaboração dos planos de manutenção preventiva e correctiva;
- determinar os investimentos correctos;
- centralizar a gestão técnica da infra-estrutura facilitando a elaboração de relatórios, estabelecendo um sistema integrado de gestão;
- facilitar a operação das redes optimizando as tarefas de exploração, nomeadamente reduzindo os custos de exploração.

## **1.2 – Metodologia**

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, incluindo a presente introdução. No segundo capítulo apresentam-se os resultados da pesquisa bibliográfica ao estado da arte das metodologias de análise e gestão de risco em sistemas de abastecimento de água. Faz-se uma análise dos modelos que melhor respondem aos objectivos a desenvolver no terceiro capítulo.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia. É feito o levantamento dos perigos e vulnerabilidades de uma infra-estrutura de abastecimento de água e apresentados os casos de estudo a tratar no capítulo seguinte .

O capítulo 4 descreve a aplicação da metodologia anteriormente apresentada, em dois casos, são também apresentados um conjunto de equipamentos e instrumentação que permitem, na prática, implementar os sistemas de telemetria propostos. A dissertação termina com o capítulo 5, onde são efectuadas as análises, críticas e tiradas conclusões aos resultados obtidos e propostas acções futuras.

A utilização das técnicas da gestão do risco para otimizar redes telemétricas é um assunto pouco debatido nas pesquisas de literatura efectuadas. O facto de não existir legislação ou mesmo recomendações por parte do regulador, para a forma como devem ser efectuadas a gestão do risco neste tipo de infra-estrutura a nível nacional, facilita de alguma forma a criatividade, mas por outro lado permite que haja alguma dispersão na realização do trabalho.

O conhecimento é cumulativo e o trabalho desenvolvido e aqui apresentado, utilizou conhecimentos e experiências adquiridos ao longo do tempo em trabalhos de campo sobre infra-estruturas de abastecimento de água e redes telemétricas, a consulta de livros e artigos técnicos, a presença em congressos ligados aos temas, e o hábito delicioso da troca de ideias e experiência com as pessoas que no campo, fazem a gestão destas infra-estruturas.

## **Capítulo 2 – A gestão do risco em infra-estruturas de abastecimento de água: nota sumária.**

### **2.1 – Introdução**

Neste capítulo, que dá o suporte teórico ao trabalho desenvolvido, é feita a revisão bibliográfica ao estado da arte na análise do desempenho de infra-estruturas de abastecimento de água, e como se podem controlar os riscos nessas infra-estruturas.

Caracterizadas as infra-estruturas, são comparadas metodologias de gestão técnica, seleccionando justificadamente aquela que será usada no decorrer do trabalho. Após a análise pormenorizada dessa metodologia, descrevem-se os principais parâmetros que devem ser medidos e que são importantes para a determinação do desempenho da infra-estrutura.

### **2.2 - Caracterização geral das infra-estruturas de abastecimento de água**

As infra-estruturas de abastecimento de água, operam num ambiente aberto, geograficamente disperso, são dinâmicas em crescimento e com a maioria dos seus componentes fisicamente acessíveis, estando expostas a uma grande variedade de ameaçadas e perigos. Tipicamente cresceram e foram-se alterando ao longo de muitos anos, possuindo na sua constituição equipamentos com várias idades e de diferentes tecnologias e materiais.

Não é consensual entre os autores a forma de divisão de uma infra-estrutura de abastecimento de água. Para este trabalho adoptou-se uma divisão em cinco grandes unidades funcionais; origem captação e armazenamento da água não tratada, adução, tratamento da água, armazenamento da água tratada e finalmente a distribuição da água tratada. Cada uma destas unidades pode ser dividida em sub componentes ou

sistemas, que no caso de pequenas infra-estruturas de abastecimento, estas divisões, podem-se sobrepor (Mays et al., 1999).

É habitual em termos hidráulicos, efectuar uma divisão em sistemas de alta, ou rede de adução e sistemas de baixa ou rede de distribuição (p.e. PEAASAR 2007-2013), associando as designações de abastecimento em alta, à captação, tratamento e adução até aos reservatórios de distribuição e, sistemas de baixa à parte do sistema desde os reservatórios de distribuição, parte comum aos dois sistemas, finalizando no consumidor.

O quadro 2.1 sistematiza a composição de uma infra-estrutura de abastecimento de água, construído a partir de Marques (2007).

**Quadro 2.1 – Divisão funcional de uma infra-estrutura de abastecimento de água**

<b>Unidades funcionais</b>	<b>Função</b>	<b>Principais tipos</b>	<b>Principais componentes</b>
Origem e captação (produção)  &	Obter água de forma contínua e duradoura e em quantidade e qualidade	Subterrâneas  Superficiais	Nascentes Barragens Lagos Rios Furos e Poços Tubagens Sistemas de bombagem
Armazenamento de água não tratada	Construir reservas equilibrar as necessidades do consumo e de tratamento. Transposição de barreiras orográficas.	A céu aberto  Reservatórios fechados	Lagos e lagoas artificiais, albufeiras, reservatórios
Rede de Adução (transporte)	Transporte de água da captação até aos reservatórios de armazenamento e estações de tratamento	Adutora de água bruta em superfície livre ou com escoamento em pressão  Adutora de água tratada com escoamento em pressão  Adutora com transporte por elevação.	Canais abertos Tubagens Sistemas elevatórios Câmaras de perda de carga Válvulas Medidores
Tratamento	Higiénico-Sanitária  Estético (sabor, odor, cor)  Económico	Físico Físico – Químico Biológico Desinfecção Afinação	ETA
Armazenamento da água tratada (Reservatórios de distribuição)	Equilibrar variações de consumo Equilíbrio de pressões Constituir reservas de emergência, para avarias a montante ou para incêndios Regularizar o funcionamento dos sistemas de bombagem.	Enterrados Semi-enterrado Elevado Torre de pressão	Reservatórios Bombas Tubagens Válvulas
Rede de distribuição	Transporte da quantidade requerida, de água tratada (limpa e desinfectada), até ao consumidor, e na pressão adequada em diferentes situações de consumo.	Ramificadas  Malhadas  Mistas	Tubagens Juntas Válvulas Reguladores de pressão Bombas Sistemas elevatórios

## 2.3 – Metodologias mais relevantes na gestão técnica de infra-estruturas de abastecimento de água

Existem várias estratégias e métodos para a gestão técnica de infra-estruturas de abastecimento de água. Seguidamente descrevem-se algumas dessas estratégias, aquelas mais relevantes e que analisam a totalidade das infra-estruturas e não apenas alguns dos sistemas seus constituintes. Rosén (2007) classifica em dois grandes grupos, essas metodologias; métodos generalistas e métodos pormenorizados.

No primeiro caso temos a indicação de princípios gerais pelos quais os operadores se devem guiar na gestão dos sistemas de abastecimento, e cujas principais características se resumem no quadro 2.2.

**Quadro 2.2** – Principais características de métodos generalista recomendados por organismos supranacionais

<b>Designação da recomendação</b>	<b>Resumo do método</b>
Carta de Bona (Recomendações de Bona)	Apresenta apenas princípios básicos para a gestão, da captação até ao consumo. A gestão dos riscos deve ser feita ao longo de toda a infra-estrutura. O objectivo é o fornecimento ao consumidor de água segura, devendo existir uma cooperação entre todas as partes interessadas. Apresenta orientações para o papel das instituições e suas responsabilidades. É um método recomendado pela OMS.

<b>Designação da recomendação</b>	<b>Resumo do método</b>
Planos de Segurança para a Água (WSP)	<p>Tem por objectivo principal a protecção da saúde do público.</p> <p>As estratégias de gestão do risco estão englobadas neste método, analisando-se a infra-estrutura de uma forma holística.</p> <p>Os planos são desenvolvidos, com base em cinco componentes chave, saúde das populações, avaliação da capacidade da infra-estrutura em fornecer água segura para a saúde, monitorização operacional ao longo de toda a cadeia de abastecimento, elaboração de planos de gestão e respectiva documentação, implementação de um sistema independente de vigilância.</p> <p>Proposto pela OMS e anterior, à Carta de Bona que aparece em 2004.</p>
Directiva para a Qualidade da Água	<p>Tem por objectivo principal a protecção da saúde humana de qualquer contaminação da água.</p> <p>Apresenta parâmetros mensuráveis que a água deve apresentar.</p> <p>Apoia o desenvolvimento de planos de segurança da água (WSP).</p> <p>Directiva emanada pela EU.</p>

O método não generalista, mais utilizado na avaliação e gestão técnica das redes de abastecimento de água é o HACCP. Este método muito popular na análise dos efeitos negativos para a saúde humana, da contaminação de alimentos, que usa a avaliação dos riscos e monitorização em pontos de controlo de determinados parâmetros, por forma a garantir a segurança sanitária, aplica-se com pequenas alterações, nas redes de abastecimento de água.

A nível de países desenvolvidos as metodologias utilizadas são resumidas no quadro 2.3.

**Quadro 2.3 – Resumo das principais características das metodologias de gestão de infra-estruturas, por países**

<b>País</b>	<b>Recomenda o uso da análise de risco</b>	<b>Recomenda o uso do HACCP</b>	<b>Gestão para critérios de saúde humana / qualidade da água</b>	<b>Crítérios de quantidade e disponibilidade da água</b>
<b>Suíça</b>		SIM	SIM	
<b>Alemanha</b>	SIM	Recomenda o uso da análise de pontos críticos	SIM	
<b>Reino Unido</b>	SIM			
<b>Dinamarca</b>	SIM	SIM	SIM	SIM
<b>Suécia</b>	SIM	SIM	SIM	
<b>Noruega</b>		SIM	SIM	
<b>Holanda</b>	SIM	SIM	SIM	SIM
<b>EUA</b>	SIM	SIM	SIM	SIM
<b>Canada</b>	SIM	SIM	SIM	
<b>Austrália</b>	SIM	SIM	SIM	SIM
<b>Nova Zelândia</b>	SIM	SIM	SIM	SIM

(1) Designado por HACCP light .

Este quadro foi construído com base nas directivas nacionais para o sector, tendo como referência Rosén et al. (2007).

### **2.3.1 – Comparação e conclusões**

Da análise dos quadros 2.2 e 2.3, existe em comum o uso da análise e avaliação do risco como ferramenta de gestão de infra-estruturas de abastecimento de água. Outros autores (Macgillivray et al., 2007) também

apresentam a análise e avaliação do risco como metodologia para a gestão de redes de abastecimento de água.

Dos modelos apresentados pouca atenção é dado ao comportamento hidráulico da infra-estrutura, assim como aos riscos técnicos dos sistemas de abastecimento (Rosén et al., 2007), o que não é de todo de estranhar, pois a maioria destes métodos surgem para eliminar problemas de saúde pública, causados pela qualidade da água disponibilizada aos consumidores.

Na colocação de sensores e análise dos sistemas, existem outros trabalhos que propõem modos diferentes que não o da análise do risco, para a definição e optimização da colocação dos equipamentos, no entanto para estas situações deve-se uniformizar e juntar as várias aplicações numa única matriz com vista à não dispersão de recursos e duplicação de trabalhos.

As estratégias de gestão do risco estão inclusivamente a ter uma aplicação mais alargada, passando da gestão técnica para a gestão global das redes de abastecimento de água, incluindo a área comercial, financeira e dos recursos humanos (MacGillivray et al., 2006). Outros autores (Michaud, 2005; Apostolakis, 2004), colocam algumas reservas relativamente à aplicação destas metodologias sobretudo no que se refere à flexibilidade dos sistemas em alterarem a sua topologia, à variação no tempo das solicitações feitas ao sistema. Estas aparentes limitações podem ser ultrapassadas efectuando-se análises de risco para vários cenários de operação.

Conforme visto, a análise e gestão do risco é a metodologia largamente recomendada e aceite para a gestão das infra-estruturas de abastecimento de água, sendo portanto a metodologia que iremos adoptar no desenvolvimento deste trabalho.

## **2.4 – O processo de gestão do risco**

A qualquer acção, decisão, trabalho, estão associados riscos, que consideramos aceitáveis ou não. Este é um conceito que se considera quase intrínseco e associado à nossa matriz de pensamento.

O processo de gestão do risco aplicado a uma infra-estrutura de abastecimento de água, vai permitir proteger os utilizadores desta dos perigos associados permitindo controlar os riscos mantendo-os com valores aceitáveis.

O processo de gestão do risco permite a monitorização e acompanhamento dos riscos durante a fase de operação da infra-estrutura.

Não existe presentemente nenhum standard internacional para a gestão do risco. A ISO 31000 pretende ser este primeiro standard (ISO 31000), no entanto ainda não está publicado, pelo que neste estudo se adoptou a norma australiana e neozelandesa AS/NZS standard 4360:2004 Risk Management, cujo fluxograma principal se apresenta na figura 2.1, para referência do processo de gestão do risco, utilizado no capítulo 3.

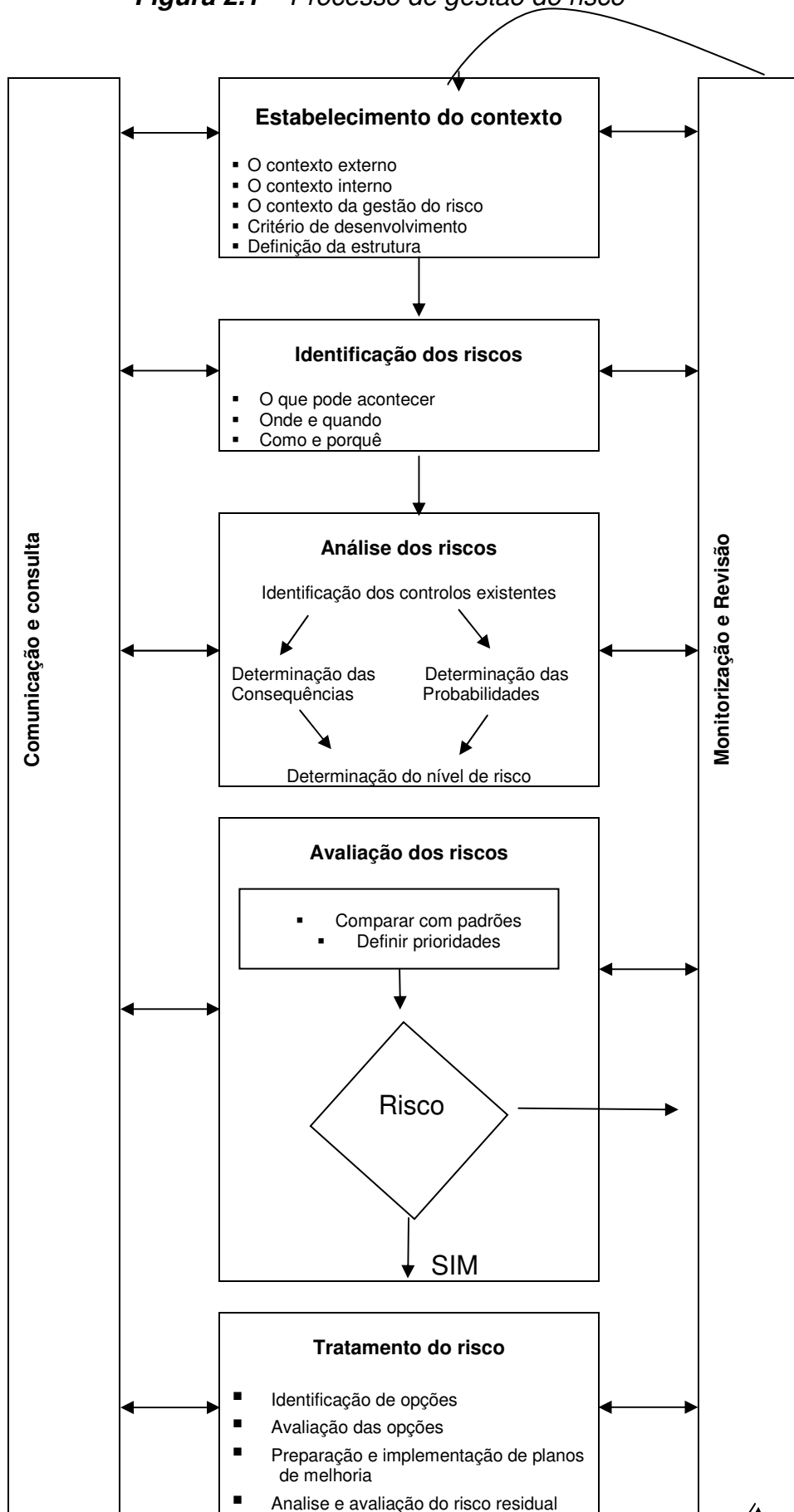
A gestão é feita através de vários passos, sendo os mais importantes para os objectivos deste trabalho, a identificação dos riscos, a análise dos riscos e a avaliação dos riscos.

#### **2.4.1 – Identificação dos riscos**

A norma AS/NZS Standard 4369:2004, define **Risco** como uma ocorrência que pode ter impacto nos objectivos, e que é muitas vezes especificado em termos de acontecimento ou circunstância e das consequências que daí podem advir. O risco é medido pela combinação das consequências do acontecimento e da possibilidade de este ocorrer (probabilidade ou frequência).

A identificação dos riscos por um processo bem estruturado e sistemático, como proposto na norma, mesmo que estes não estejam sob o controlo da organização é fundamental, pois a partir deste ponto, os riscos não identificados deixarão de ser tomados em conta, falseando os resultados finais.

Figura 2.1 – Processo de gestão do risco



Existem várias técnicas para a identificação dos riscos e **perigos** (hazard). O documento do governo australiano Major Industrial Hazards Advisory Paper nº3 (2003), identifica vários factores que influenciam a escolha dos métodos usados na identificação dos perigos, como:

- o tipo e complexidade do processo em análise;
- a origem dos perigos, que podem ser de origem humana, falhas de equipamentos, eléctricos, mecânicos ou exteriores ao sistema;
- o detalhe com que se quer analisar os perigos;
- a fase da vida do sistema que estamos a analisar.

Os perigos a que uma infra-estrutura de abastecimento de água está sujeita podem-se dividir em dois grandes grupos, **perigos naturais** e **perigos de origem humana** (Li, 2007).

Nos perigos naturais temos:

- cheias;
- ciclones;
- deslizamento de terras;
- erupções vulcânicas;
- fogos florestais;
- sismos;
- tempestades eléctricas (trovoadas);
- tempestades, chuvas fortes, ventos fortes.

Mas também aqui se inserindo doenças epidémicas e fomes .

Alguns destes perigos, podem despoletar outros, como por exemplo os sismos ou chuvas fortes, podem provocar deslizamentos de terras.

Os perigos de origem humana, entre outros, são:




- corte de fornecimento de energia eléctrica;
- derrames de produtos químicos;
- erros de operação da infra-estrutura;
- guerra;
- solos contaminados;
- vandalismo e terrorismo;
- outros desastres industriais e tecnológicos;

Resultado de vários estudos, existem também bases de dados onde se encontram tipificados vários riscos e que podem contribuir para um mais completo levantamento dos riscos.

No caso do Arquipélago dos Açores, existem dados históricos e recentes que atestam a influência negativa na fiabilidade das infra-estruturas de abastecimento de água, provocados por desastre naturais.

O quadro abaixo apresenta alguns destes casos, assim como de perigos de origem humana.

**Quadro 2.4 – Exemplo de perigos naturais e de origem humana**

Acontecimento	Perigo	Consequência	Foto
Deslizamento de terra. Salto do Fojo – ilha do Faial	sismo	Obstrução e inutilização de uma nascente.	 <p>(Coutinho, 2003)</p>
Deslocamento do solo – ilha do Faial	sismo	Rompimento de condutas de abastecimento de água	 <p>(Azoresglobal, 1998)</p>
Cortes descontrolados de matas de criptomérias, junto a nascentes	Vandalismo	Poluição na água que abastece a freguesia de Água Retorta, concelho da Povoação-ilha de S. Miguel	 <p>(Sitio da Câmara Municipal da Povoação, 2009)</p>

## **2.4.2 – Análise dos riscos**

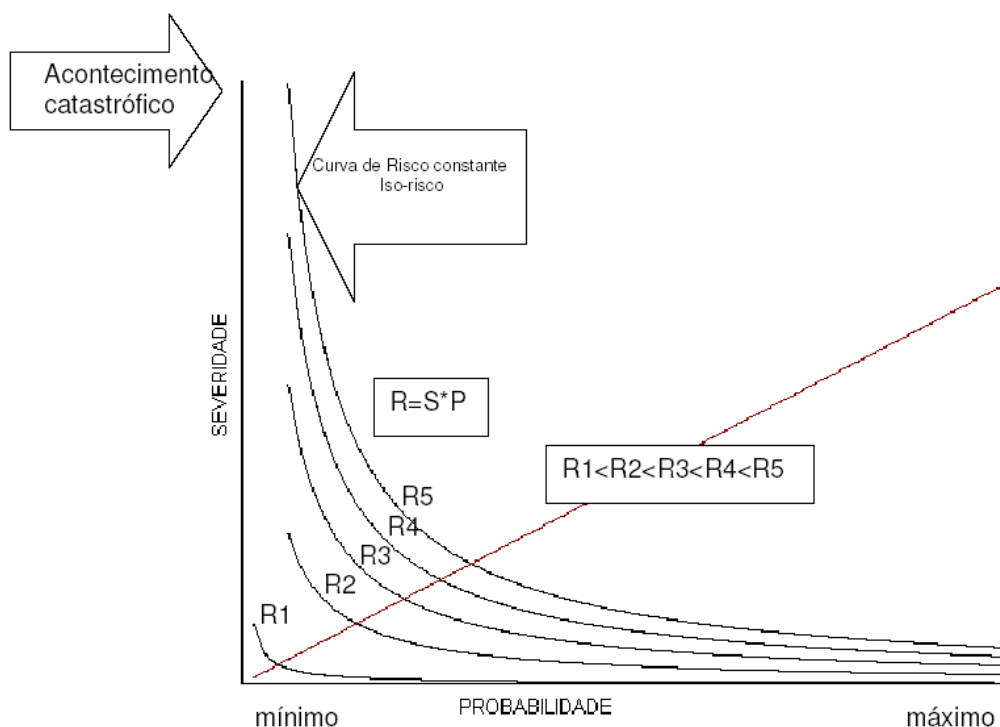
Estando identificados os perigos e o que os mesmos podem provocar, as consequências, ir-se-á determinar os riscos associados, ou seja a possibilidade dos acidentes ocorrerem e a magnitude dos seus efeitos nas que podem ser genericamente nas pessoas, instalações, equipamentos, produção, custos, meio ambiente, performance, reputação, entre outros.

A análise do risco, pode ser feita de uma forma qualitativa, semi-quantitativa ou quantitativa.

## **2.4.3 – Avaliação dos riscos**

Nesta fase é feita a comparação entre o valor do risco obtido e uma referência, decidindo-se se podemos aceitar ou não esse valor de risco, e no caso de não ser aceite, usar algum processo para a sua redução. Normalmente a referência usada para essa avaliação é a Matriz de Risco.

O risco é construído a partir de duas variáveis, a probabilidade de um dado acontecimento ocorrer e a severidade dos danos que esse evento possa provocar. Graficamente, podemos representar o risco num gráfico bidimensional, em que um dos eixos é representada a probabilidade ou frequência de ocorrência de um determinado perigo, e no outro eixo a severidade ou consequência dessa ocorrência. No caso de se efectuar uma análise quantitativa ao risco as curvas de igual risco, Iso-risco, são hipérboles equiláteras, conforme se representa na figura 2.2.



**Figura 2.2 – Representação gráfica do risco**

A partir destas curvas, podemos considerar aceitável os riscos, por exemplo até à curva R2, os riscos com valores entre R2 e R3, serão provisoriamente aceitáveis e os riscos com valores superiores a R3 são inaceitáveis.

A partir dessas curvas, torna-se possível construir uma Matriz de Risco, que o que faz é a passagem de uma análise contínua de valores de risco, para uma análise descontínua do risco, tomando este apenas alguns valores. Para se obterem esses valores, é também necessário definir a Severidade e a Probabilidade em formas descontínuas. No capítulo 3, será construída a Matriz de Risco, para as infra-estruturas de abastecimento de água.

## 2.5 – Métodos de identificação e análise de risco

Para as infra-estruturas de abastecimento de água, dada a sua grande dispersão geográfica, a complexidade de alguns subsistemas seus constituintes, a idade dos vários componentes que o constituem e os factores externos que contribuem para o seu desempenho, tem sido difícil estabelecer

um modelo matematicamente correcto que possa determinar a fiabilidade do sistema e analisar os riscos associados.

O que se irá criar é uma análise sistemática e criteriosa que permita identificar a possibilidade de ocorrência de uma situação danosa para a infra-estrutura, a extensão dos danos que essa ocorrência possa trazer e a possibilidade de através de uma correcta monitorização e controlo, reduzir a níveis aceitáveis os danos que daí advenham.

Para determinar os locais onde se devem colocar os equipamentos de telemetria e determinar se a sua colocação irá de facto aumentar a fiabilidade do sistema temos de efectuar a análise dos risco a vários níveis de detalhe.

A classificação dos métodos de identificação e análise de riscos, pode ser feita através do tipo de resultados que estes produzem, classificando-os em:

- análise qualitativa;
- análise semi-quantitativa;
- análise quantitativa.

O quadro 2.3 resume os métodos mais relevantes e recomendados, para a análise de riscos em infra-estruturas de abastecimento de água.

Como critérios de selecção dos métodos para a análise de risco deve-se verificar que o método:

- seja cientificamente defensável e esteja apropriado para o sistema em estudo;
- deve apresentar resultados, que aumentem o entendimento do risco e de como este pode ser controlado;
- deve permitir o seu uso por profissionais da área, permitindo a sua verificação, repetibilidade e seguimento dos resultados.

Descrições pormenorizadas de vários destes métodos, podem ser encontradas na bibliografia.

### **2.5.1 – Relação entre análise de risco e fiabilidade**

É comum na literatura sobre risco, (Modares et al., 2000. Andrews et al., 1993. Mays et al., 1999) indicar que a principal função da Gestão do Risco, é a redução da probabilidade ou frequência na ocorrência de acontecimentos indesejáveis e a redução dos impactos resultantes desses acontecimentos. A probabilidade ou frequência de um acontecimento indesejável, depende da fiabilidade dos componentes que o constituem, assim como da arquitectura do sistema.

Para a diminuição do risco, exige-se que os componentes do sistema tenham um elevado nível de fiabilidade, por forma a criarem “barreiras”, aos perigos.

Entende-se fiabilidade, como a probabilidade da operação de um sistema/equipamento/componente, sem falha (com sucesso), ao longo do tempo (p. e. Andrews et al., 1993).

### **2.5.2 – Escolha do método de análise do risco**

A escolha do método a usar na análise do risco, em infra-estruturas de abastecimento de água, tem em conta os seguintes factores:

- o trabalho desenvolve-se sobre infra-estruturas que já se encontram ao serviço (em fase de exploração), devendo o método aplicar-se às mesmas;
- o método de análise do risco deve aproveitar uma metodologia com um grande leque de utilizadores, por forma a reunir sinergias e poderem-se comparar os resultados obtidos;
- a implementação deve ser simples, mas proporcionando conclusões seguras.

Do quadro 2.3, a Árvore de Falhas é um método também quantitativo, logo facilita a comparação de resultados e é uma metodologia largamente aplicada, pode ser utilizado para a análise do desempenho hidráulico e da qualidade da água, da infra-estrutura, o que o torna útil para os objectivos deste trabalho.

**Quadro 2.4 – Resumo comparativo dos métodos disponíveis para a análise de riscos**

<b>Método</b>	<b>Estádio do processo de análise do risco em que deve ser usado</b>	<b>Método quantitativo ou qualitativo</b>	<b>Unidade funcional da infra-estrutura em que deve ser usado</b>	<b>Usado para a qualidade sanitária da água ou para a fiabilidade hidráulica</b>	<b>Quantidade de dados necessários para usar este método</b>	<b>Nível de especialização do utilizador</b>
HAZID	Identificação de perigos	Qualitativo	Todas	Ambas	Poucos	Iniciado
HAZOP	Identificação de perigos	Qualitativo	Tratamento e distribuição	Ambas	Médios	Especialista
PHA/RVA	Identificação de perigos e estimativa do risco	Qualitativo	Todas	Ambas	Médios	Iniciado
FMECA	Identificação de perigos e estimativa do risco	Qualitativo	Tratamento e distribuição	Ambas	Muitos	Especialista
Árvore de falhas	estimativa do risco (causas)	Qualitativo/quantitativo	Todas	Ambas	Elevados	Perito
Diagrama de fiabilidade	estimativa do risco (causas)	Qualitativo/quantitativo	Todas	Ambas	Elevados	Perito
Árvore de acontecimentos	estimativa do risco (consequências)	Qualitativo/quantitativo	Todas	Ambas	Elevados	Especialista
HRA	estimativa do risco (causas)	Qualitativo/quantitativo	Tratamento e distribuição	Ambas	Elevados	Perito
Modelos Físicos	estimativa do risco (consequências)	Qualitativo	Todas	Ambas	Elevados	Perito
QMRA/QCRA	estimativa do risco (consequências)	Qualitativo	Todas	Qualidade	Elevados	Perito
Barreiras	estimativa do risco	Qualitativo/quantitativo	Todas	Ambas	Poucos	Especialista

### **2.5.3 – Método da Árvore de Falhas**

A Árvore de Falhas (AF) é um método bastante utilizado para a análise da fiabilidade de sistemas, o que o torna útil e aplicável no desenvolvimento deste trabalho. Apresenta os resultados de uma forma qualitativa ou quantitativa.

Pode ser utilizada nas várias fases da vida de uma infra-estrutura, o que é bastante importante quando estamos a efectuar análises de infra-estruturas com sistemas e equipamentos em várias fases do seu ciclo de vida.

É um método lógico dedutivo, que partindo de uma falha, designada por Acontecimento de Topo (AT), vai determinar as causas que a originaram (Ralston et al., 2007). Permite a organização do pensamento na análise das causas da falha, na síntese da intervenção correctiva ou na intervenção preventiva (Assis, 2004).

A Árvore de Falhas representa através de um diagrama lógico estruturado, o sistema físico em análise e a interdependência entre os seus componentes e a potencialidade contributiva de cada elemento para um AT que se pretende analisar, dando uma visão global do que está em análise.

É uma técnica, desenvolvida inicialmente para a avaliação da fiabilidade do sistema de controlo de lançamento do míssil Minuteman (Simões Filho, 2006), e continuamente melhorada e aplicada em muitas e diferentes áreas.




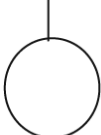
Como sistema lógico usa um conjunto de portas lógicas para representar graficamente os caminhos e as interligações, através dos equipamentos constituintes desse sistema, que levam, partir de Acontecimentos Básicos (AB), ao AT.

Assume-se no desenho da Árvore de Falhas, que cada elemento do sistema em análise possui dois estados de operação mutuamente exclusivos, o OU lógico e o E lógico. O quadro 2.6 resume os principais símbolos usados nas Árvore de Falhas.

Para avaliar a possibilidade da ocorrência do Acontecimento de Topo, estabelece-se num conjunto de equações lógicas, a partir da estrutura hierárquica da Árvore de Falhas, que permite definir quantitativamente ou qualitativamente esse acontecimento e em que o acontecimento de cada porta lógica intermédia, vai sendo substituído por acontecimentos de hierarquia mais

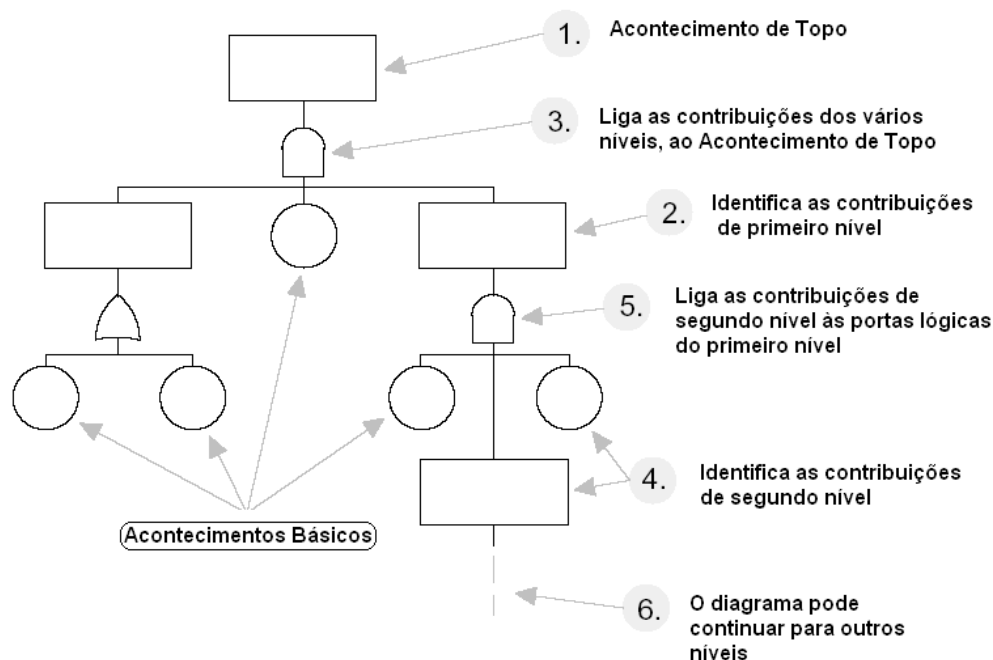
baixa, até ser possível definir o Acontecimento de Topo em função apenas de Acontecimentos Básicos, e das relações lógicas entre estes.

**Quadro 2.6 – Principais símbolos utilizados numa Árvore de Falhas**

Símbolo lógico	Função
	Acontecimento de Topo. Acontecimento para o qual a árvore de falhas conduz a análise. Pode também representar um acontecimento intermédio produzido por acontecimentos anteriores.
	Porta OU (OR). Indica que existe um evento à sua saída (S), quando algum dos acontecimentos à sua entrada ocorre.
	Porta E (AND). Indica que existe um evento à sua saída (S), todos os acontecimentos à sua entrada ocorre ocorrem simultaneamente.
	Acontecimento básico. Acontecimento que não pode subdividido em outros acontecimentos. É a resolução máxima que se pode atingir na análise de um sistema.

A análise quantitativa é feita, quando se atribuem aos acontecimentos básicos, valores de probabilidade da sua ocorrência, permitindo obter-se assim a probabilidade de ocorrência do Acontecimento de Topo, e são também quantificados os efeitos.

A figura 2.3 adaptada de Clemens (1993), apresenta a construção típica de uma Árvore de Falhas, indicando os seus principais constituintes.



**Figura 2.3 – Exemplo de uma árvore de falhas**

A Construção de uma árvore de falhas, para um determinado AT, não exige a colocação de todos os possíveis Modos de Falha, mas apenas aqueles que contribuem para a ocorrência do Acontecimento de Topo (Modares et al.,, 1999).

Na simplificação das equações lógicas obtidas para uma Árvore de Falhas, obtêm-se alguns conjuntos de equações, designados por Cortes Mínimos e apresentados por  $C_i$  nas equações, e que são todos os menores conjuntos de combinações de Acontecimentos Básicos que dão origem ao Acontecimento de Topo em análise.

A probabilidade de ocorrência do AT, em termos de  $C_i$ , é dado pela seguinte expressão:

$$\Pr(AT) = \Pr(C1 \cup C2 \cup \dots \cup Cn)$$

Sendo os Acontecimentos Básicos, mutuamente exclusivos e com valores de probabilidades de ocorrerem muito baixas, de forma a reduzir o numero de cálculos, podemos escrever, usando a *aproximação dos acontecimentos raros* (Modares et al., 1999; Andrew et al., 1999), que o valor

da probabilidade de falha do sistema será sempre inferior, ou igual (no caso de todos os acontecimentos serem estatisticamente independentes), ao seguinte valor:

$$P(\mathbf{AT}) \leq P(C_1) + P(C_2) + \dots + P(C_n) \quad (2.1)$$

Esta aproximação penaliza por excesso, o valor da probabilidade do AT.

O valor da probabilidade do AT, está limitado entre os seguintes valores, conforme 2.2 (Andrew et al., 1999).

$$\sum_{i=1}^{N_c} P(C_i) - \sum_{i=2}^{N_c} \sum_{j=2}^{i-1} P(C_i \cap C_j) \leq P(\mathbf{AT}) \leq 1 - \prod_{i=1}^{N_c} [1 - P(C_i)] \leq \sum_{i=1}^{N_c} P(C_i) \quad (2.2)$$

Será fastidioso e não se encontra no âmbito deste trabalho, descrever pormenorizadamente toda a metodologia e teoria subjacente à Análise de Falhas, existindo para isso vária e disseminada literatura sobre este assunto, alguns dos quais citados ao longo desta dissertação.

## 2.7 – Estratégias de controlo dos riscos, em infra-estruturas de abastecimento de água

As infra-estruturas de abastecimento de água para consumo humano, transportam a água das origens, para a disponibilizar nos vários locais de utilização, tipicamente aglomerados urbanos localizados e construídos com outras preocupações, que não a redução do risco nos sistemas de abastecimento de água. Avaliados os riscos, e por forma se os eliminarem ou os reduzir para valores aceitáveis há que tomar medidas de controlo que podem incidir sobre a parte física do sistema ou sobre a parte organizacional da infra-estrutura.

As acções de controlo a tomar podem ser hierarquizadas, de diversas formas, para o presente trabalhos adaptou-se para as infra-estruturas de

abastecimento de água a hierarquização de medidas de controlos, apresentada em Major Industrial Hazards Advisory Paper nº3 (2003). O quadro seguinte descreve os níveis de actuação sobre a infra-estrutura por forma a eliminar ou reduzir a valores aceitáveis os riscos.

**Quadro 2.7 – Hierarquia das medidas de controlo dos riscos**

<b>Nível hierárquico</b>	<b>Designação</b>	<b>Acção</b>
1	Eliminação	É a acção mais eficaz e consiste na eliminação do perigo. Impraticável em muitas situações.
2	Substituição	Uso de materiais e procedimentos, menos perigosos, para a obtenção dos mesmos resultados
3	Prevenção	Tem como intuito diminuir a probabilidade de ocorrência de um acidente.
4	Redução	Medidas que reduzem da magnitude das consequências, sem as combater directamente.
5	Mitigação	Combate directo às consequências de um acontecimento, reduzindo os seus efeitos nas pessoas e no ambiente.

Do quadro apresentado, as medidas que se podem aplicar nas infra-estruturas existentes e ao serviço, com a utilização de sistemas de telemetria, são as medidas de prevenção, redução e mitigação, ou seja os níveis 3, 4 e 5. Estas medidas como processos de reduzir os impactes negativos dos perigos naturais, sobre as vidas humanas, os bens e infra-estruturas envolve acções de preparação antes da ocorrência do desastre e acções após a ocorrência, com base na análise de risco entretanto efectuada. A rapidez na actuação é essencial para o controlo do risco.

Após a ocorrência de um evento natural, ou não, que danifique uma infra-estrutura de abastecimento de água, não existe no caso da RAA

parâmetros de performance que essas infra-estruturas tenham de manter, nos períodos subsequentes e não se pode exigir que sejam mantidos os parâmetros mandatórios para a operação normal. Normalmente cada entidade gestora tem uma ideia das zonas, locais e edifícios, mais críticos, em que deve ser garantido ou rapidamente repostos o abastecimento de água, com qualidade. Mesmo no caso dos países que lideram no controlo de riscos, não existe uma uniformidade nas performances que os sistemas devam cumprir após a ocorrência de um destes eventos (Ballantyne, 2003).

Tipicamente o controlo dos efeitos de sismos, por exemplo, e por ser uma área de particular interesse para a RAA, é feito através do reforço de estruturas existentes. Construção usando materiais e técnicas que obedeçam aos códigos em vigor. Estas soluções são dispendiosas, morosas, e normalmente incompatíveis com os orçamentos existentes.

Durante a ocorrência de um sismo espera-se o rompimento de tubagens e o derrame de grandes quantidades de água contida em reservatórios que normalmente depois não é possível de substituir por falhas das tubagens adutoras, cortes de energia eléctrica, indisponibilidade de pessoas para efectuarem as respectivas manutenções (OPS, 2003). No caso de rompimento de tubagens, em que há perdas de água a principal preocupação é o isolamento da secção danificada, para se evitar as perdas de água (Ballantyne, 2003).

É pois importante, determinar o mais rapidamente possível os locais, na infra-estrutura, onde existem falhas, de modo a se actuarem sobre as mesmas e repondo a normalidade, reduzindo assim as consequências.

## **2.8 - Monitorização remota de infra-estruturas de abastecimento de água**

Nos EUA os pequenos sistemas de abastecimento de água, sistemas que abastecem populações inferiores a 3300 pessoas, são os principais incumpridores da legislação sobre a monitorização da qualidade da água (Pollack , 1999). Esta violação, segundo este mesmo autor, baseia-se na grande dispersão geográfica dos sistemas em causa e das limitações financeiras que as entidades gestoras enfrentam para efectuarem uma monitorização manual de acordo com a legislação e normas. Outro factor que contribui negativamente para a má monitorização é a falta de preparação técnica das pessoas envolvidas na recolha e análise das amostras (Sadiq, 2008).

No caso da Região Autónoma dos Açores, em que o abastecimento de água cobre 99,7% da população (Cruz et al., 2007), a administração é feita por 19 entidades diferentes, e naturalmente pelas mesmas causas acima descrita faz com que nos relatórios anuais do IRAR, sejam estas entidades que aparecem como as principais incumpridoras da legislação nacional (RASARP).

A redução dos riscos é possível de conseguir, diminuindo, em simultâneo ou não, os dois factores que contribuem para o seu valor; a probabilidade de ocorrência e as consequências resultantes dessa ocorrência. As consequências resultantes da ocorrência, no caso das infra-estruturas de abastecimento de água, estão directamente relacionadas com a duração da ocorrência, sendo portanto importante para a redução desse risco a rápida detecção da falha que permitirá uma actuação célere para a sua eliminação. As falhas que ocorrem, em muitas situações evoluem temporalmente até atingirem uma situação de indisponibilidade (Shinstine et al., 2002), a análise dessa evolução, associado ao estabelecimento de alarmes ou LC (Vieira et al., 2005), detectará a existência de potenciais riscos não toleráveis.

O uso de sistemas de monitorização remota, permite que a partir de um ponto central, seja possível analisar em tempo real a operação de infra-estruturas de abastecimento de água, optimizando o tempo dispendido na inspecção nos locais, reduzindo assim os riscos nessas infra-estruturas

(Ballantyne et al, 1997). No caso de ocorrência de sismos, a monitorização remota tem uma elevada importância na redução dos riscos (AWWA, 1994). Presentemente a tecnologia, permite monitorizar e controlar remotamente os vários sistemas que compõem uma infra-estrutura de abastecimento de água e os parâmetros associados, nomeadamente a qualidade da água para consumo e a quantidade de água para consumo, como descrito nos quadros 2.8 e 2.9.

**Quadro 2. 8 – Parâmetros de qualidade monitorizáveis**

<b>Parâmetro de qualidade</b>	<b>Parâmetro típico analisado</b>
Parâmetros Organolépticos	Cor, cheiro, turvação, sabor
Parâmetros Físico-químicos	Temperatura, pH, condutividade, cloretos, sulfatos, sílica, cálcio, magnésio, sódio, potássio, alumínio, dureza total, sólidos dissolvidos totais, oxigénio dissolvido.
Parâmetros de substâncias indesejáveis	Anidrido de carbono livre, nitratos, nitritos, azoto amoniacal, oxidabilidade, carbonato orgânico total, sulfureto de hidrogénio, substâncias extraíveis com clorofórmio, hidrocarbonetos, fenóis, boro, substâncias tensoactivas, outros compostos organoclorados, Ferro, Manganês, Cobre, Zinco, Fósforo, Flúor, Cobalto, Sólidos suspensos totais, Cloro residual disponível, Bário, Prata.
Parâmetros de substâncias tóxicas	Arsénio, Berílio, Cádmio, Cianetos, Crómio, Mercúrio, Níquel, Chumbo, Antimónio, Selénio, Vanádio, Pesticidas, Hidrocarbonetos.
Parâmetros microbiológicos	Coliformes totais, Coliformes Fecais, Estreptococos Fecais.

**Quadro 2. 9 – Parâmetros operacionais monitorizáveis**

<b>Unidades funcionais</b>	<b>Principais parâmetros a monitorizar</b>
Origem e captação (produção)	Caudais, Pressão, Quantidade de água, Consumo eléctrico, Horas de operação de equipamentos.
Armazenamento de água não tratada	Caudais, Pressão, Quantidade de água, Níveis em reservatórios, Consumo eléctrico, Horas de operação de equipamentos.
Rede de Adução (transporte)	Caudais, Pressão, Quantidade de água, Consumo eléctrico, Horas de operação de equipamentos.
Tratamento	Quantidade de produtos de tratamento utilizados, Consumo eléctrico, horas de operação de equipamentos.
Armazenamento da água tratada (Reservatórios de distribuição)	Caudais, Pressão, Quantidade de água, Níveis em reservatórios, Consumo eléctrico, Horas de operação de equipamentos.
Rede de distribuição	Caudais, Pressão, Quantidade de água, Consumo eléctrico, Horas de operação de equipamentos.

Da análise efectuada, verifica-se que o uso do conceito de risco e dos procedimentos associados à gestão do risco, nomeadamente a norma AS/NZS 4369, podem ser usados para a gestão operacional das infra-estruturas de abastecimento de água e controlo dos seus riscos.

As redes de telemetria permitem o controlo do risco, sendo uma opção economicamente vantajosa, quando comparadas com alterações à configuração da infra-estrutura.

O uso da Árvore de Falhas, como método de análise de risco, permite efectuar essa análise de uma forma qualitativa ou quantitativa, e com o pormenor desejado, indicando as partes com maior contribuição para o risco e assim permitindo a optimização do uso de soluções para o controlo dos riscos.

É possível monitorizar um conjunto de parâmetros importantes para o desempenho da infra-estrutura de forma automática e os resultados dessas medidas transmitidos remotamente para um local central, onde e de uma forma global, podem ser analisados.

## **Capítulo 3 – Metodologia proposta**

### **3.1 - Introdução. Conceitos básicos**

Neste capítulo é proposta e apresentada uma metodologia para o controlo do risco em infra-estruturas de abastecimento de água.

No método que se apresenta, vai ser possível reduzir o risco de fornecimento de água imprópria para consumo, ou com caudal e pressão abaixo dos valores recomendados, através da optimização da selecção de pontos de monitorização e a instalação de monitorização remota, por equipamentos de telemetria.

No caso das infra-estruturas de abastecimento de água, os perigos estão em muitos casos relacionados com a fiabilidade dos sistemas, subsistemas, componentes da infra-estrutura e operadores humanos.

Como descreve Modares (1999), quando existe uma fonte de perigo e não existem protecções à exposição a esse perigo, há a possibilidade de ocorrerem perdas ou danos, que podem ser, humanas, sociais, ambientais, económicas, patrimoniais entre outras.

O risco é o potencial de existência de perdas resultante da exposição ao perigo.

A fiabilidade da infra-estrutura de abastecimento de água é o nível de serviço desejado para essa infra-estrutura (Rogers et al., 2007).

A metodologia aplicada segue de perto o fluxograma apresentado na Figura 2.1, do capítulo anterior.

- Desenho esquemático da infra-estrutura em análise.
- Identificação dos locais onde efeitos de falha de água e/ou contaminação da água, trazem maiores impactes negativos.
- Para cada um desses locais, efectuar a respectiva análise preferencialmente quantitativa do risco.
- Da análise determinar através da matriz de risco os locais onde o risco é inaceitável
- determinar os pontos óptimos para a colocação de equipamentos de telemetria para a diminuição do risco

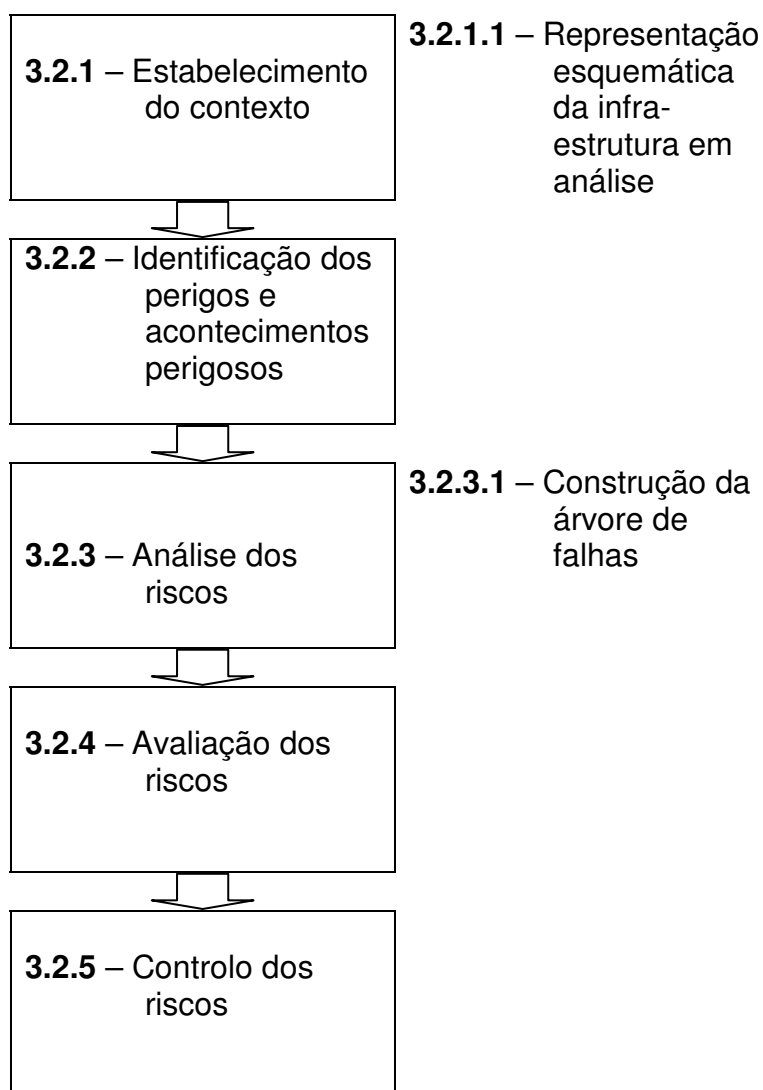
- Recalcular o risco e verificar a aceitabilidade do risco.

Seguidamente constroem-se as várias fases do algoritmo, mas antes clarificam-se conceitos básicos, que acompanharão o resto deste trabalho.

Esquemáticamente o capítulo está organizado da seguinte forma:

### 3.1 – Introdução. Conceitos básicos

### 3.2 – Descrição geral



### 3.3 – O caso prático de estudo: o SMAS de Ponta Delgada

Para efeitos deste trabalho consideram-se as seguintes definições:

**Acontecimento** – Ocorrência de um conjunto particular de circunstâncias.

Um acontecimento pode ser certo ou incerto.

**Acontecimento perigoso** – Acontecimento facilmente reconhecido e que pode constituir risco.

Diferencia-se do perigo por conter acção e tipicamente originar perigos.

Tanto os perigos, como os acontecimentos perigosos contribuem para o risco.

**Água imprópria para consumo** – Quando as substâncias dissolvidas ou em suspensão na água ultrapassam valores, que podem causar doenças ou prejuízos para o Homem. Nomeadamente se tiver substâncias químicas em concentrações tóxicas, microrganismos patogénicos, existência de macrorganismos, ser turva, com sabor e gosto desagradáveis, ou com características que possam deteriorar os sistemas de abastecimento.

**Falha** – Quando no ponto em causa a pressão hidráulica, caudal ou ambos os parâmetros estão abaixo de valores especificados, ou quando se considera a água imprópria para consumo.

**Perigo** – Propriedade intrínseca de um material, ou uma situação física, com potencial para resultar em danos que podem prejudicar a saúde das pessoas, o ambiente e economia.

Um perigo não conduz necessariamente a danos, mas a existência de um perigo significa a possibilidade de ocorrerem danos. Em análise de risco, o termo anglo-saxónico hazard, é mais abrangente do que a palavra portuguesa. Hazard, significa perigo, mas também fonte de perigo e tem a sua raiz na palavra árabe al-azar que se traduz como morte.

**Risco** – A possibilidade de uma ocorrência com impacto nos objectivos.

Habitualmente o risco está associado à possibilidade de um acontecimento indesejável, com consequências negativas específicas, se ocorrer num período específico de tempo ou em circunstâncias específicas.

O risco é tipicamente especificado pelo produto da possibilidade de um acontecimento ocorrer e das consequências que daí podem advir.

A possibilidade de uma ocorrência descreve-se em termos de probabilidade ou de frequência.

Estas definições foram trabalhadas a partir dos documentos, AS/NZS standard 4360 (2004); Mays et al. (1999); Major Industrial Hazards Advisory Paper nº3 (2003); Rocha et al. (2007); Turner et al. (2007); Coelho (2007) e Alves (2005).

## 3.2 – Descrição geral

A partir deste ponto efectua-se a descrição da metodologia .

### 3.2.1 – Estabelecimento do contexto

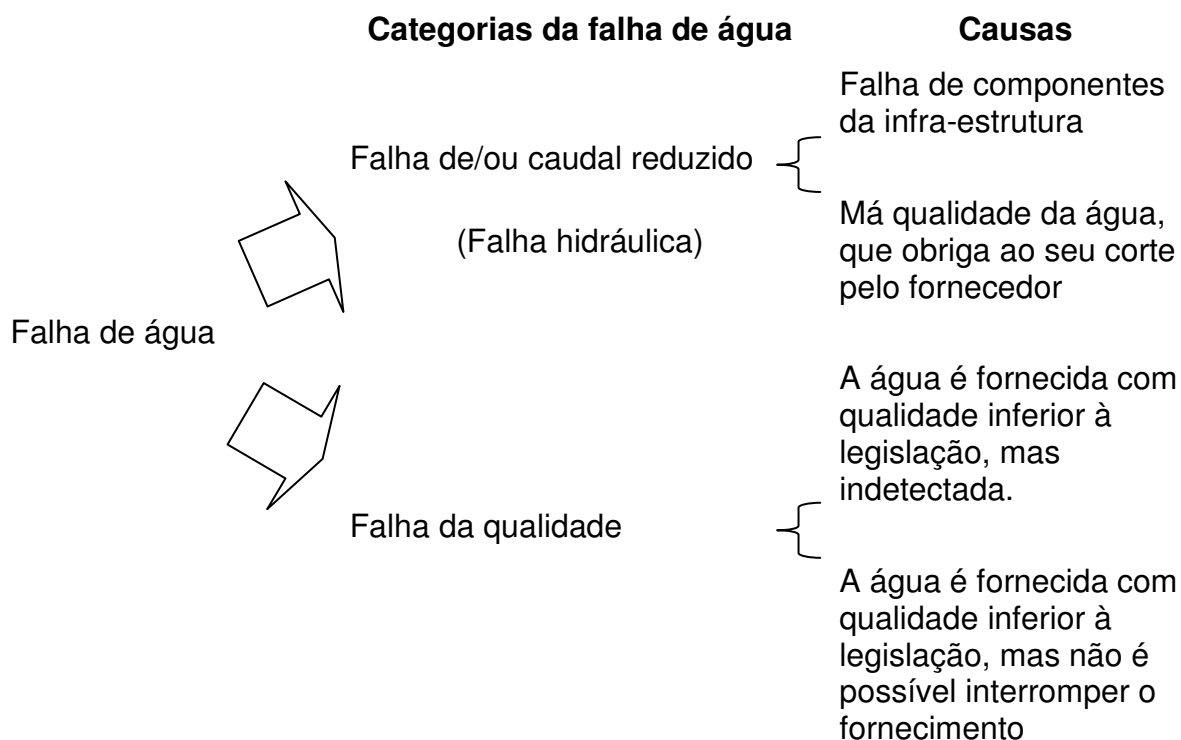
A infra-estrutura fornece água própria para consumo humano a todos os utilizadores, em regime permanente, sempre que solicitada.

A qualidade e a quantidade de água é regida por legislação e normas.

O utilizador tem como expectativas para além da qualidade e da quantidade, também o baixo preço do produto.

Os riscos que se analisam neste estudo são; água com baixo caudal e/ou pressão designado por **falha hidráulica** e água imprópria para consumo, designado por **falha de qualidade**, que se resume num único acontecimento perigoso, **falha de água**, que é o acontecimento de topo (AT) da árvore de falha.

Aplicando o critério usado por Rosén et al. (2008), podem-se resumir na figura 3.1, as grandes causas que originam a falha de água.



**Figura 3.1** – Causas de Falha de Abastecimento de Água

É de fulcral importância nesta análise, ter em conta os perigos naturais, alguns dos quais com elevada probabilidade de ocorrerem e que afectam directamente a operacionalidade da infra-estrutura.

A gestão destas infra-estruturas, na RAA, é feita por pequenas equipas, que no geral também desempenham outras tarefas, o que também tem grande importância no desempenho da infra-estrutura.

### **3.2.1.1 Representação esquemática da infra-estrutura em análise**

Deve ser apresentado um diagrama com todos os componentes, constituintes da rede, e a interligação entre estes.

Aqui e através da representação gráfica da estrutura, definem-se os limites físicos em que decorre a análise. Pela descrição feita da infra-estrutura define-se o detalhe do estudo, que pode ir até ao nível do componente.

Nesse gráfico, em que se deve incluir a direcção do fluxo da água determinado, por exemplo, por um software disponível como o EPANET, é também feito uma análise das áreas e pontos críticos de abastecimento e onde se pretende ter riscos reduzidos, sendo necessário quantificar esses valores.

### **3.2.2 – Identificação dos perigos e acontecimentos perigosos**

Para uma infra-estrutura de abastecimento de água operando numa zona sísmica e vulcânica, os principais perigos a que cada uma das suas unidades funcionais, de acordo com a divisão feita no quadro 2.1, está sujeita são apresentados no quadro 3.1.

Estes são os perigos típicos. Em cada unidade funcional, não se mencionaram, repetindo, perigos comuns, já mencionados noutras unidades.

Para cada infra-estrutura em análise é necessário proceder ao levantamento exaustivo de todos os perigos.

A partir deste ponto os perigos e acontecimentos perigosos não identificados deixarão de ser considerados na análise.

**Quadro 3.1 – Levantamento dos perigos e acontecimentos perigosos**

<b>Unidades funcionais</b>	<b>Principais componentes</b>	<b>Perigo - (P)</b>	<b>Acontecimento Perigoso – (AP)</b>
Origem e captação (produção)  &  Armazenamento de água não tratada	Nascentes Barragens Lagos Rios Furos e Poços Tubagens Sistemas de bombagem  Lagos e lagoas artificiais, albufeiras, reservatórios	Contaminação da zona envolvente à captação. Contaminação directa do reservatório e/ou afluentes. Mistura de água salgada, com a doce Falta de água, na captação ou nos afluentes. Ruptura de tubagens. Fissuras em paredes e tubagens, permitindo a entrada de contaminantes. Falhas de segurança física. Falhas de energia eléctrica.	Desastres naturais Desastres industriais e descargas resultantes de actividades agrícolas, pecuárias, industriais e de recreio. Sabotagem, vandalismo e terrorismo. Guerra Actividades de construção civil Mau manuseamento / operação dos equipamentos. Inexistência de zonas de acesso condicionado.
Rede de Adução (transporte)	Canais abertos Tubagens Sistemas elevatórios Câmaras de perda de carga Válvulas Medidores	Ruptura de tubagens Avaria de equipamentos	Desastres naturais Obras de escavação Corrosão Cargas externas elevadas
Tratamento	ETA	Mau Tratamento Má qualidade da água Falhas de energia Avaria de equipamentos Sub ou sobre dosagem de desinfectante Colmatação de filtros	Má qualidade de desinfectantes Má qualidade da energia eléctrica. Mau desenho/operação do sistema de desinfecção. Desastres naturais
Armazenamento da água tratada (Reservatórios de distribuição)	Reservatórios Bombas Tubagens Válvulas	Destruição do reservatório Contaminação da água Água envelhecida Fissuras nas paredes Crescimento de matéria orgânica.	Inexistência de zonas de acesso condicionado. Desastres naturais Desastres industriais Sabotagem, vandalismo, terrorismo e guerra Má construção civil. Estratificação térmica. Curto circuito hidráulico.
Rede de distribuição	Tubagens Juntas Válvulas Reguladores de pressão Bombas Sistemas elevatórios	Avaria nos sistemas de emergência. Entrada de água contaminada Entrada de contaminantes através das tubagens Avarias nos sistemas de comando	Sabotagem, vandalismo e terrorismo. Guerra Biofilme Ligações ilegais Desastres naturais Desastres industriais

Levantamentos da maioria dos perigos a que uma infra-estrutura de abastecimento de água está sujeita existem na literatura como por exemplo Beauken (2007) e pode servir de base de trabalho.

### **3.2.3 – Análise dos riscos**

A determinação dos riscos e a sua compreensão, vai fornecer informação para a determinação dos pontos onde estes riscos apresenta valores elevados e conseqüentemente necessitam de ser reduzidos. Permite também definir as melhores relações custo, eficiência na diminuição do nível de risco.

Para se poder tirar as conclusões pretendidas faz-se neste trabalho, uma análise semi-quantitativa, o que permite abordar o risco objectivamente mas permitindo alguma compensação para a falta de dados quantitativos para o desempenho dos componentes da infra-estrutura.

No caso dos componentes das infra-estruturas, torna-se difícil encontrar dados estatísticos da fiabilidade dos componentes, para os locais em estudo.

Para a determinação da probabilidades de falha, utilizou-se a árvore de falhas. É assim possível, analisando também as conseqüências estabelecer estratégias para o controlo dos riscos.

#### **3.2.3.1 – Construção da Árvore de Falhas**

É construída uma Árvore de Falhas, para o acontecimento de topo Falha de Água, que permitirá calcular a probabilidade da sua ocorrência. Associando-se essa probabilidade à severidade do acontecimento no ponto da infra-estrutura em análise, determina-se se o risco calculado é aceitável, ou se é necessário controlar o mesmo.

### 3.2.4 – Avaliação dos riscos

Para a avaliação dos riscos, isto é, determinar se se aceita o valor do risco obtido ou se é necessário a sua redução, é construída uma Matriz de Risco, de acordo com o descrito no ponto 2.4.3 . Definem-se 3 níveis de importância para o risco ; Aceitável, Indesejável e Inaceitável, conforme a descrição feita no quadro abaixo.

**Quadro 3.2 – Níveis para a classificação dos riscos**

<b>Níveis de risco</b>	<b>Importância</b>	<b>Descrição das acções a tomar</b>	<b>Valor calculado do risco</b>
<b>I</b>	Aceitável	O sistema pode operar com este nível de Risco.	1 a 3
<b>II</b>	Indesejável	Devem ser introduzidas medidas, não imediatas, de controlo, para transpor o nível de risco para I.	4 a 7
<b>III</b>	Inaceitável	Devem ser introduzidas medidas imediatas de controlo, para transpor o nível de risco para I.	8 a 16

A Matriz de Risco, tem nos seus eixos os valores da Severidade, e o valor da Probabilidade do acontecimento em avaliação. A Severidade das consequências dos perigos, pode ser agrupada em níveis distintos, adoptando-se para as infra-estruturas de abastecimento em análise, o quadro 3.4.

Os valores aqui apresentados, são valores indicados pelo autor, com base em casos obtidos na literatura e da análise aos vários sistemas de abastecimento conhecidos na RAA.

**Quadro 3.3 – Níveis para a severidade das consequências dos riscos**

Nível de Severidade	Importância	Severidade			
		Em pessoas	Na operacionalidade reduzida do sistema	Nos sistemas produtivos a montante	Em danos no meio ambiente
<b>1</b>	<b>Negligível</b>	Necessidade exclusiva de primeiros socorros	Existe a possibilidade de abastecimento de qualquer quantidade de água a uma distância máxima de 100m ou o tempo de indisponibilidade é inferior a 24 horas	Obriga à redução de até 10% da produção ou serviços	Danos avaliados em menos de €1 K
<b>2</b>	<b>Marginal</b>	Pequenos ferimentos ou doenças resolvidos com cuidados de enfermagem	Existe a possibilidade de abastecimento de apenas 100litros de água por pessoa por dia, a uma distância máxima de 100m, ou o tempo de indisponibilidade é inferior a 48 horas	Obriga à redução entre 10% e 20% da produção ou serviços	Danos avaliados entre €1 K e €100K
<b>3</b>	<b>Critica</b>	Necessidade de internamento hospitalar ou incapacidade inferior a 50% do individuo	Existe a possibilidade de abastecimento de apenas 20 litros de água por pessoa por dia, a uma distância máxima de 500m, ou o tempo de indisponibilidade é inferior a 72 horas	Obriga à redução entre 20% e 50% da produção ou serviços. Hospitais e outros serviços críticos sem, abastecimento durante 2 dias	Danos avaliados entre €100K e €1M Redução dos caudais das fontes de água até 20%. Contaminação transitória das origens da água
<b>4</b>	<b>Catastrófica</b>	Morte ou incapacidade superior a 50% do individuo,	Existe a possibilidade de abastecimento de até só 3 litros de água por pessoa por dia, a uma distância máxima de 500m, ou o tempo indisponibilidade é superior a 48 horas	Obriga à redução entre 50% e 100% da produção ou serviços Necessidade de deslocação / realojamento de populações Hospitais e outros serviços críticos sem, abastecimento superior a 2 dias	Danos superiores a €1M Alteração ou desaparecimento de nascente . Contaminação de longa duração e/ou destruição de fontes de água

A construção desta tabela, teve como base as necessidades de consumo diário doméstico, industrial, comercial, hotelaria, restauração, escolas e hospitais, de acordo com Marques (2007).

A tabela com as probabilidades de ocorrência dos vários acontecimentos, é uma tabela que apresenta dificuldades na determinação dos seus valores, pois para a maioria dos equipamentos e sistemas constituintes, não existem muitos dados estatísticos de funcionamento. Assim a tabela das probabilidades vai possuir 5 níveis distintos, como abaixo se apresenta.

**Quadro 3.4 – Classificação em níveis das probabilidades de ocorrência dos perigos**

<b>Importância</b>	<b>Probabilidade de ocorrência</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	<b>Remota</b>	O evento ocorre numa base superior a uma década, ou uma vez no tempo de vida do sistema.
<b>2</b>	<b>Ocasional</b>	O evento ocorre numa base anual
<b>3</b>	<b>Provável</b>	O evento ocorre numa base semestral
<b>4</b>	<b>Frequente</b>	O evento ocorre numa base mensal

Com base no quadro 3.3, quadro 3.5 e quadro 3.6 construiu-se a Matriz de Classificação de Risco, apresentada abaixo.

**Quadro 3.5 – Matriz de Classificação do Risco**

Probabilidade de ocorrência do perigo	Níveis para a severidade das consequências dos perigos			
	Negligível	Marginal	Critica	Catastrófica
<b>Remota</b>	1	2	3	4
<b>Ocasional</b>	2	4	6	8
<b>Provável</b>	3	6	9	12
<b>Frequente</b>	4	8	12	16

Temos assim construída a Matriz da Classificação do Risco, que permite definir a necessidade e urgência de aplicar controlos por forma a trazer os níveis de risco para valores aceitáveis.

A partir da Matriz de Classificação do Risco, estabelece-se, de uma forma qualitativa uma priorização do risco, conforme o quadro 3.3 e assim determinar as acções a executar, para o seu controlo, tendo sempre em conta que o risco nulo é impossível de atingir.

### **Avaliação semi-quantitativa**

Para se retirar o máximo de informação das Árvores de Falhas e assim aplicar as conclusões dos CMC obtidos há a necessidade de quantificar as probabilidades de ocorrência de falhas, descritas no quadro 3.5.

Reescreve-se o quadro 3.5 da seguinte forma.

**Quadro 3.6 – Classificação quantitativa das probabilidades de ocorrência dos perigos**

Importância	Probabilidade de ocorrência	Probabilidade estatística
<b>1</b>	<b>Remota</b>	$0,0 < Pr \leq 0,2$
<b>2</b>	<b>Ocasional</b>	$0,2 < Po \leq 0,5$
<b>3</b>	<b>Provável</b>	$0,5 < Pp \leq 0,9$
<b>4</b>	<b>Frequente</b>	$0,9 < Pf < 1,0$

O critério adoptado para esta atribuição de probabilidades, baseia-se na relação existente entre os tempos de falhas em equipamentos, os tempos de

reparação das avarias e colocação de novo dos sistemas ao serviço, como descrito em Mays et al. (1999) de forma que para um determinado Acontecimento de Topo, temos a probabilidade de este ocorrer com base nas probabilidades de falhas dos vários sistemas/unidades/equipamentos constituintes da infra-estrutura.

Com base no quadro 3.7 e no quadro 3.4, construiu-se o novo quadro de níveis de classificação dos riscos, onde se entra com o valor quantitativo da probabilidade dos perigos.

**Quadro 3.7 – Níveis para a classificação dos riscos com uso de probabilidades**

<b>Níveis de risco</b>	<b>Importância</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor calculado do risco</b>
<b>I</b>	Aceitável	O sistema pode operar com este nível de risco.	0 a 0,4
<b>II</b>	Indesejável	Devem ser introduzidas medidas, não imediatas, de controlo, para transpor o nível de risco para I.	0,4 a 1,6
<b>III</b>	Inaceitável	Devem ser introduzidas medidas imediatas de controlo, para transpor o nível de risco para I.	1,6 a 4

### **3.2.5 – Controlo dos riscos**

No controlo dos riscos nestas infra-estruturas é difícil eliminar a maioria dos perigos, podem-se usar barreiras que resguardam a exposição ao perigo. Essas barreiras podem ser barreiras físicas, ou equipamentos que proporcionem um alerta antecipado, diminuindo o tempo de exposição ao perigo, ou evitando que os perigos atinjam valores inaceitáveis para o risco .

A redução dos próprios perigos, ou a redução da probabilidade desses ocorrerem, através da monitorização das causas que os originam, impedindo que essas ultrapassem valores críticos é mais uma forma de reduzir os riscos.

Da análise dos trabalhos de Beuken et al. (2007); Shinstine et al. (2002); Mays et al. (1999); Modares et al., (1999) e Pollack et al. (1999), é

possível e com base nos equipamentos disponibilizados comercialmente, construir-se o quadro 3.2 que abaixo se apresenta e em que para os vários perigos nas infra-estruturas de abastecimento de água se associam parâmetros de análise, que correcta e rapidamente analisados e tendo-se definido LC para esses, permitem desencadear acções que reduzem os riscos associados aos perigos identificados.

**Quadro 3.8 – Tipificação das medições**

<b>Perigo / Acontecimento perigoso</b>	<b>Tipo de medição</b>
Contaminação da zona envolvente à captação. Contaminação directa do reservatório e/ou afluentes. Mistura de água salgada, com a doce Mau Tratamento Entrada de água contaminada Má qualidade da água Sub ou sobre dosagem de desinfectante Crescimento de matéria orgânica.	Medidores de qualidade da água
Falta de água, na captação ou nos afluentes. Ruptura de tubagens Fissuras em paredes e tubagens. Destruição do reservatório Água envelhecida	Medidores de pressão Medidores de caudal Medidores de nível
Falhas de energia eléctrica.	Medidores de energia eléctrica
Avaria de equipamentos Colmatação de filtros Avaria nos sistemas de emergência. Avarias nos sistemas de comando	Medidores de Pressão Medidores de Caudal Medidores de Energia Eléctrica Alarmes

Pormenorizando agora, nos casos de estudo, pode-se analisar a nível de cada componente da rede, quais os seus riscos, a sua contribuição para o acontecimento de topo e estabelecer, quais os parâmetros que, através de uma monitorização remota, poderão ser controlados.

### **3.3 – O caso prático de estudo: o SMAS de Ponta Delgada**

A metodologia apresentada é aplicada em duas situações, numa rede hipotética de abastecimento de água, em que pela sua pouca complexidade, mas possuindo os principais componentes de uma infra-estrutura de abastecimento, é possível seguir facilmente todos os passos da metodologia.

A segunda rede onde está a ser aplicada esta metodologia, é na rede dos SMAS de Ponta Delgada, onde já existem várias estações telemétricas e equipamentos de parâmetros, actualmente a operarem.

A infra-estrutura de abastecimento de água, no concelho de Ponta Delgada é representada de uma forma macro e simplificada na figura 3.2.



Origem: SMAS

**Figura 3.2** – Infra-estrutura de abastecimento de água do concelho de Ponta Delgada, incluindo os pontos de recolha para análise da qualidade

Nesta figura nota-se a origem das águas que são distribuídas no concelho, a partir de dois edifícios vulcânicos, o Vulcão das Sete Cidades e o Vulcão do Fogo.

A figura 3.3, apresenta a localização dos reservatórios e adutoras.



Origem: SMAS

**Figura 3.3** – Localização de reservatórios e adutoras do concelho de Ponta Delgada

A infra-estrutura dos SMAS, que serve uma população de 66 mil pessoas, numa área de 232 Km<sup>2</sup>. Neste concelho estão situados o Porto e o aeroporto da ilha de S. Miguel, o Hospital e um grande numero de hotéis e escolas e outros serviços críticos.

É o concelho da RAA, com maior contribuição para o PIB regional.

Os SMAS fornecem anualmente mais de 6 milhões de metros cúbicos de água, proveniente de 81 nascentes e três furos de captação.

O consumo para fins domésticos ronda os 53% e os sectores industrial e agrícola consomem cerca de 35% e 8%, respectivamente.

A rede de condutas de abastecimento tem uma extensão de 125Km, dividida no sistema de alta e de baixa, com tubagens de vários diâmetros e materiais.

Em reservatórios, os SMAS possuem uma capacidade de armazenamento de 36 920 m<sup>3</sup> de água nos seus vários reservatórios.

Presentemente e dando cumprimento à legislação, estão definidos para toda a rede um conjunto de pontos onde são efectuadas recolhas de amostras de água para controlo de qualidade.

Neste caso de estudo serão analisados a aplicação de diversos equipamentos de monitorização de parâmetros operacionais da infra-estrutura e os resultados obtidos. Grande parte da circulação da água na rede é feita por acção da gravidade, existindo em alguns locais, a necessidade do uso de grupos de bombagem, como é o caso de alguns locais em estudo, como o caso do Reservatório das Encruzilhadas.

## **Capítulo 4 – Resultados e discussão**

### **4.1 – Introdução. Enquadramento geral**

A discussão da aplicação do método apresentado no capítulo anterior, é feita recorrendo-se a uma infra-estrutura simples, por forma a se poder apresentar todos os resultados obtidos de uma forma facilmente relacionável com o esquema da infra-estrutura, e considerando também os componentes típicos e mais comuns aos sistemas de abastecimento de água.

Após a discussão ponto a ponto da aplicação metodologia, é também efectuada a aplicação a um caso real, nos SMAS da Câmara Municipal discutindo-se os resultados obtidos até ao momento.

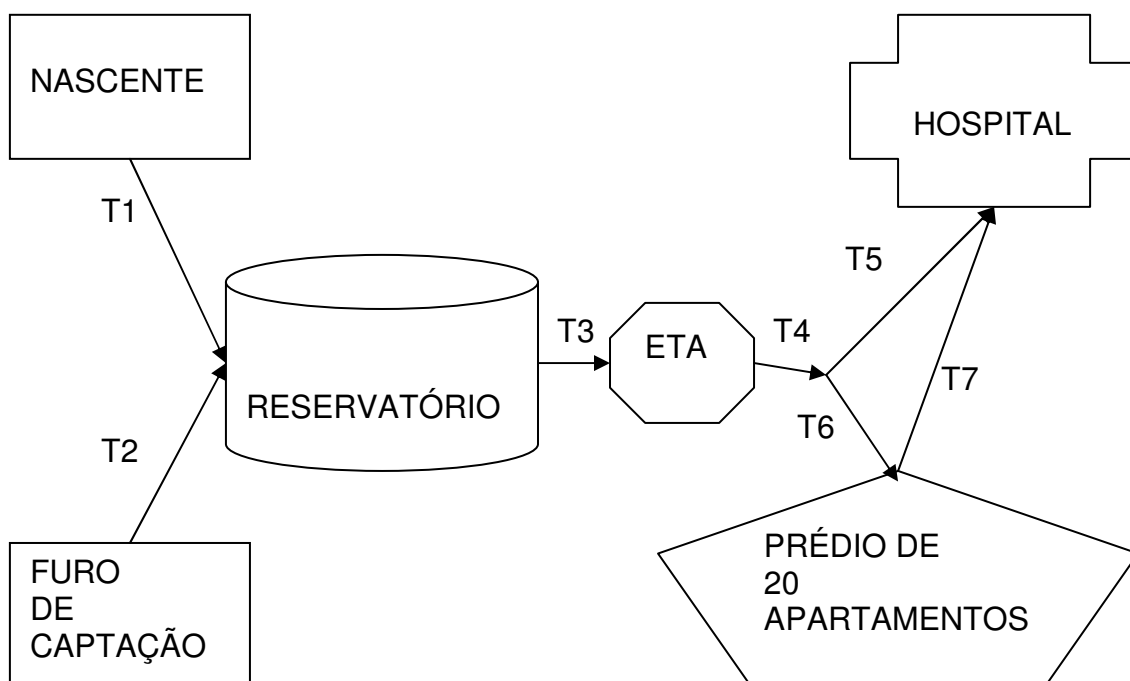
### **4.2 – Desenvolvimento de um esquema conceptual**

A aplicação da metodologia é feita a uma infra-estrutura simples, mas onde se incluem os seus principais componentes.

#### **4.2.1 – Aplicação da metodologia**

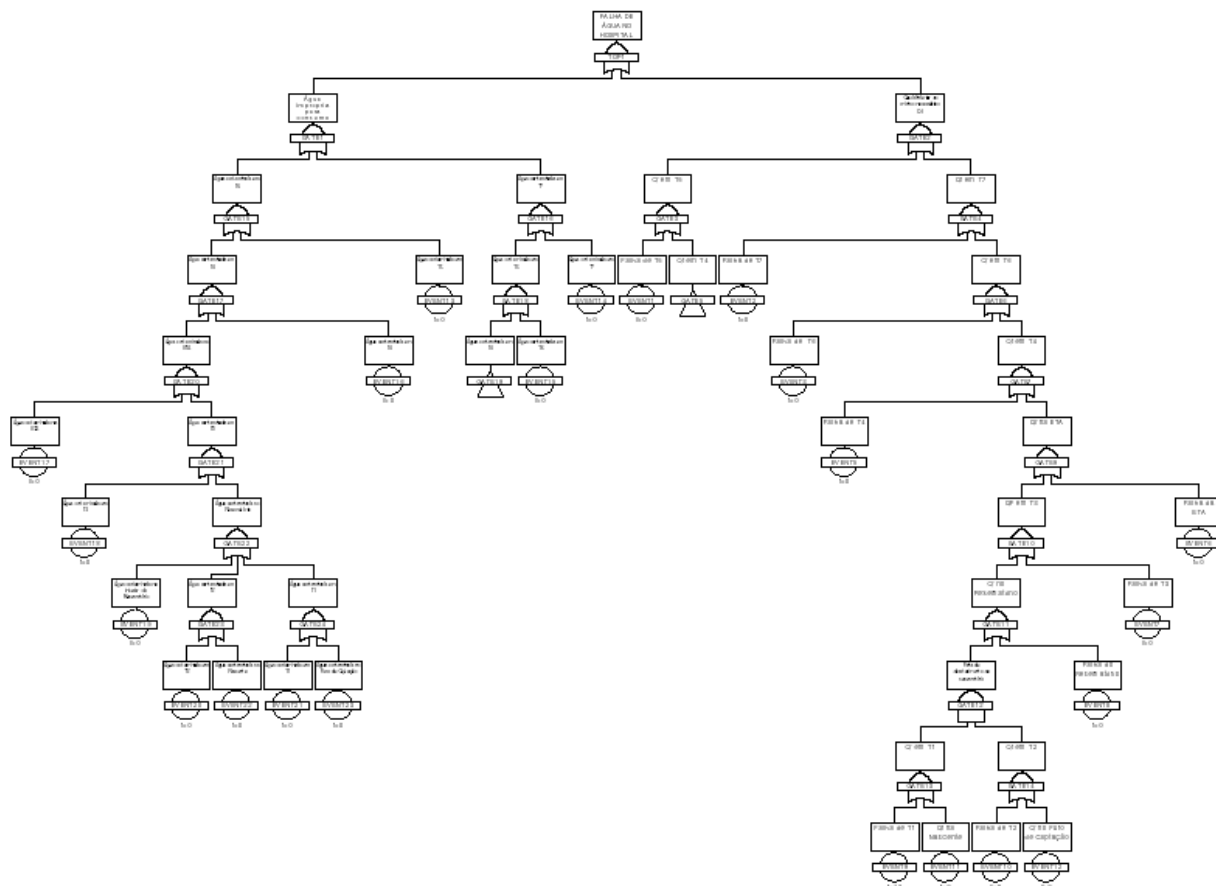
A figura 4.1, representa a estrutura, á qual se vai calcular o risco de falha de água, no hospital, e a partir do valor obtido, verifica-se a aceitabilidade do mesmo e a eventual necessidade de controlar o risco, trazendo o mesmo para valores aceitáveis.

A metodologia desenvolvida, tem a vantagem de quando comparada com outras, não partir de cenários ou de determinado tipo de acontecimentos, mas abarca na sua análise, todos os tipos de perigos, que podem comprometer o desempenho da infra-estrutura, em função de um resultado final.



**Figura 4.1** – Representação esquemática da infra-estrutura em análise

Com base no levantamento dos perigos efectuados (quadro 3.1) e no diagrama da infra-estrutura em análise (Figura 4.1), construiu-se a seguinte árvore de falhas (Figura 4.2), para a situação de Falha de Água ao hospital, esta árvore é aqui apresentada de uma forma bastante compacta de maneira a se ter uma visão global da mesma.



**Figura 4.2** – *Árvore de Falhas para a infra-estrutura em análise*

No apêndice 1, é apresentada a Árvore de Falhas com maior resolução.

Para este AT, foram identificados 23 acontecimentos básicos, descritos no seguinte quadro (quadro 4.1).

**Quadro 4.1 – Designação dos Acontecimentos Básicos**

<b>Evento básico</b>	<b>Designação</b>
<b>A1</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T1
<b>A2</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T2
<b>A3</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T3
<b>A4</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T4
<b>A5</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T5
<b>A6</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T6
<b>A7</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T7
<b>A8</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NA NASCENTE
<b>A9</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NO FURO DE CAPTAÇÃO
<b>A10</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NO INTERIOR DO RESERVATÓRIO
<b>A11</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NA ETA
<b>B1</b>	FALHA DE CAUDAL EM T1
<b>B2</b>	FALHA DE CAUDAL EM T2
<b>B3</b>	FALHA DE CAUDAL EM T3
<b>B4</b>	FALHA DE CAUDAL EM T4
<b>B5</b>	FALHA DE CAUDAL EM T5
<b>B6</b>	FALHA DE CAUDAL EM T6
<b>B7</b>	FALHA DE CAUDAL EM T7
<b>B8</b>	FALHA DA ETA
<b>B9</b>	FALHA DO RESERVATÓRIO
<b>B10</b>	QF FALHA DE CAUDAL NA NASCENTE
<b>B11</b>	QF FALHA DE CAUDAL NO FURO DE CAPTAÇÃO

Usando a lógica Booleana na simplificação desta árvore, para os ramos de falha de qualidade e falha hidráulica, obteve-se já simplificado o conjunto mínimo de cortes, que indica as combinações existente na infra-estrutura em análise que podem levar à ocorrência de falta de água, com base nos eventos básico descritos no quadro acima.

**E1 =**

$$A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7+A8+A9+A10+A11 \quad (4.1)$$

**E2 =**

$$B3+B4+B8+B9+B5*B6+B7*B5+B1*B2+B10*B2+B1*B11+B10*B1+ \\ +B6*B1*B11*B6*B10*B11+B7*B10*B2*B7*B1*B11+B7*B10*B11 \quad (4.2)$$

O AT, Falha de Água é igual à soma de E1 com E2.

Falhas nos tubos T3, T4, falha na ETA e falha no Reservatório, são os principais acontecimentos que contribuem para o acontecimento intermédio E2 (falha hidráulica), pois as outras parcelas são produtos de probabilidades sendo sempre valores muito pequenos quando comparados com os Cortes Mínimos de primeira ordem. Pelo que a monitorização do desempenho operacional das falhas nos tubos T3, T4, falha na ETA e falha no Reservatório é essencial para o desempenho da infra-estrutura.

Analisando o outro grande ramo da AF, que conduz ao acontecimento intermédio E1, a contaminação em qualquer um dos componentes da infra-estrutura contribui para a contaminação final.

#### **4.2.2 – A quantificação das probabilidades**

Para a aplicação deste método e por forma a se ter uma análise o mais objectiva, é necessário atribuir valores às probabilidades de ocorrência de falhas e também contabilizar o tempo para reparar a falha antes de se poder colocar de novo o sistema ao serviço.

Tipicamente os fabricantes de equipamentos e os serviços que administram as infra-estruturas, possuem esse tratamento estatístico, sendo que no caso dos fabricantes, estes disponibilizam os resultados em função de condições típicas de operação, e os serviços possuem dados resultantes das condições reais de operação. As condições de operação fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos, permitem estabelecer LC, para a operação das infra-estruturas possibilitando que a sua não ultrapassagem, aumento o seu tempo, sendo que a introdução de dos sistemas d e monitorização em tempo real, permitirá a realização dessas medida.

Com base nos trabalhos de Ballantyne (1997), Michaud (2005) e Li (2007), estabeleceram-se os valores, conforme o quadro 4.8, para as probabilidades que pretendem nesta discussão, serem valores indicativos mas não muito diferentes da realidade.

No caso dos perigos naturais, usam-se como critérios para a determinação da probabilidade de ocorrência, aqueles acontecimentos que danifiquem as estruturas de forma a que as mesmas deixem de desempenhar as suas funções, e com base nos quadros 3.5 e 3.6, e usando valores centrais, obteve-se o seguinte quadro de referência,

**Quadro 4.3 – Quantificação das probabilidades para perigos naturais**

<b>Perigo</b>	<b>Probabilidade qualitativa de ocorrência</b>	<b>Probabilidade quantitativa de ocorrência</b>
cheias	Ocasional	0,035
ciclones	Ocasional	0,035
deslizamento de terras	Ocasional	0,035
erupções vulcânicas	Remota	0,01
fogos florestais	Remota	0,01
sismos	Remota	0,01
tempestades eléctricas (trovoadas)	Ocasional	0,035
tempestades, chuvas fortes, ventos fortes.	Provável	0,035

Estes valores, aqui típicos, têm de ser quantificados para cada local e para cada componente da infra-estrutura. Usando-se para a análise sempre o pior dos valores.

Agora e por uma das vantagens deste método, é possível analisar com o pormenor pretendido cada um dos componentes da infra-estrutura, e assim para os componentes que têm maior contributo para o AT, determinar os parâmetros que podem ser usados para o controlo do risco.

## **Reservatórios**

Os reservatórios são um componente comum às infra-estruturas de abastecimento de água, localizam-se em vários pontos ao longo da infra-estrutura, armazenando água tratada ou água não tratada.

Os reservatórios têm por funções principais, equilibrar variações de consumo, equilíbrio de pressões nas redes, construir reservas de água equilibrando as necessidades do consumo e garantir tempos de retenção para desinfecção e tratamento, reservas de emergência para avarias a montante ou para combate a incêndios, regularizar o funcionamento dos sistemas de bombagem e transposição de barreiras orográficas.

Existem 3 grandes tipos de problemas no armazenamento de água (Mays., 1999), problemas químicos, microbiológicos e físicos.

Os problemas químicos e biológicos acontecem pelo seu tempo de permanência da água no reservatório ou pela entrada de água imprópria.

Os próprios reservatórios podem afectar a qualidade da água.

Tendo por base, estatísticas usadas por vários organismos, dados históricos de ocorrências na rede, a própria sensibilidade dos operadores, pode-se construir um quadro, com as várias probabilidades de falha, para os vários perigos identificados, que serão obviamente diferentes de local para local.

Para os reservatórios, assim como para os restantes componentes da rede, analisam-se apenas os perigos mais comuns na rede. Para cada situação concreta ter-se-á de efectuar um levantamento a todos os perigos e consequências assim como quantificar os mesmos.

**Quadro 4.2 – Designação dos perigos típicos nos reservatórios e respectiva nomenclatura**

<b>DESCRIÇÃO DO PERIGO</b>	Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	Má operação dos equipamentos	Desastres naturais	Desastres industriais	Sismo
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Svtg	Mo	Dn	Di	Si
<b>DESCRIÇÃO DO PERIGO</b>	Caudal fraco ou falta na captação	Má construção civil	Água velha	Crescimento matéria orgânica	Sem acesso condicionado
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Fc	Mcc	Av	CmO	SaC

Os sismos foram diferenciados dos outros perigos naturais, por se pretender ter uma aplicação regional desta metodologia e assim diferenciar a análise para este perigo.

**Quadro 4.4 – Quantificação das probabilidades para os perigos típicos nos reservatórios**

<b>DESCRIÇÃO DO PERIGO</b>	Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	Má operação dos equipamentos	Desastres naturais	Desastres industriais	Sismo
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Svtg	Mo	Dn	Di	Si
<b>PROBABILIDADE</b>	0,001	0,01	0,01	0,001	0,01
<b>DESCRIÇÃO DO PERIGO</b>	Caudal fraco ou falta na captação	Má construção civil	Água velha	Crescimento matéria orgânica	Sem acesso condicionado
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Fc	Mcc	Av	CmO	SaC
<b>PROBABILIDADE</b>	0,01	0,001	0,001	0,001	0,01

A quantificação das probabilidades dos acontecimentos básicos, não é o ponto central deste trabalho e as probabilidades dependem da infra-estrutura em análise e são muito difíceis de obter para algumas das situações (Mays et al., 1999; Simões Filho, 2006), pelo que os valores aqui apresentados são meramente indicativos e para efeitos de aplicação da metodologia.

Os valores apresentados, usam como critério de classificação o indicado no quadro 3.7.

Considerou-se que se o nível de água não descer até 25% da capacidade do reservatório desde ocorrência de um problema no reservatório e sua reparação, no caso da análise hidráulica, é um critério suficiente para não ser considerado falha.

Assim o tempo de detecção e normalização são importantes e críticos.

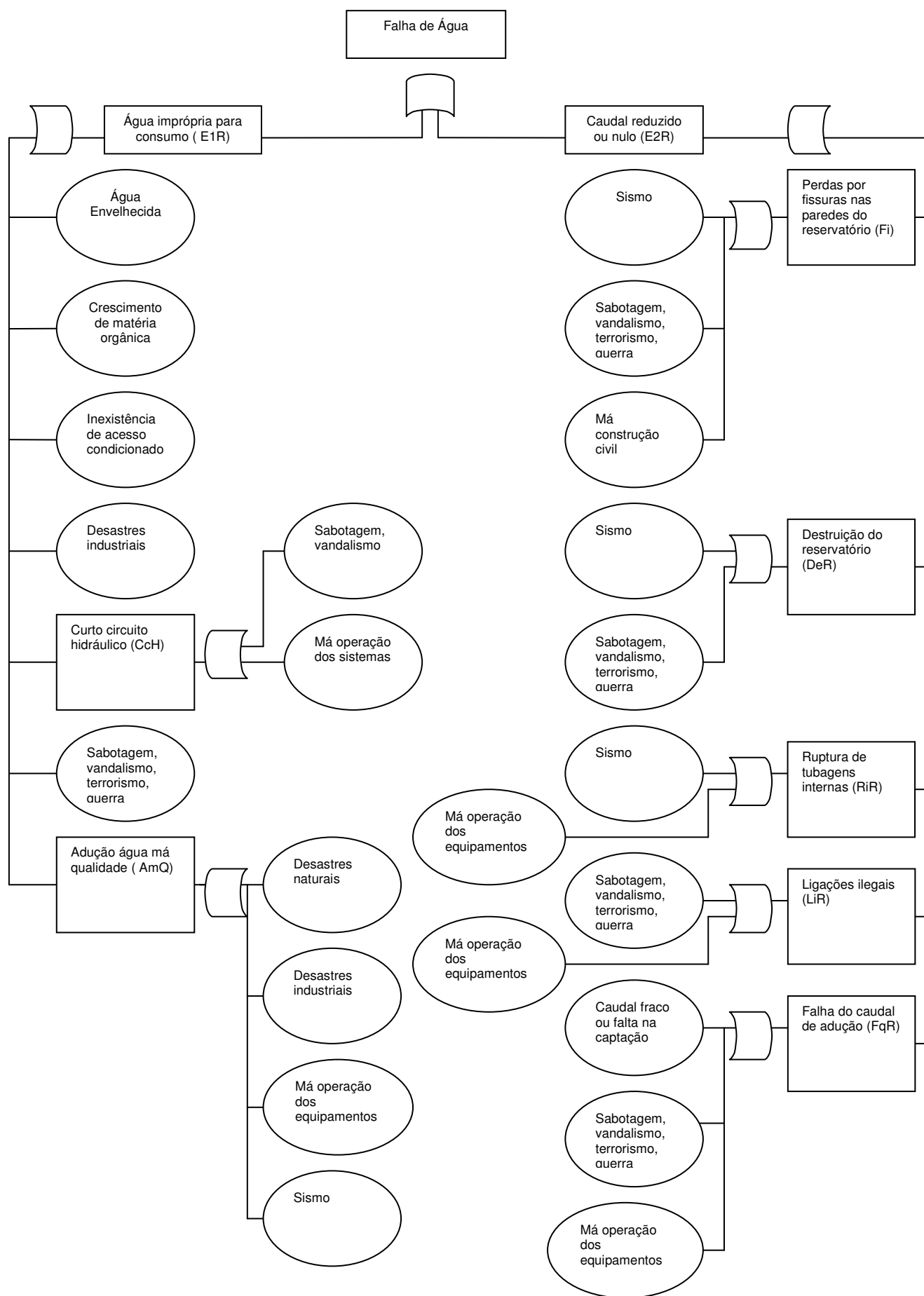


Figura 4.3 – Árvore de Falhas para um reservatório

Construindo o CMC para a E1R e E2R, obtemos:

$$E1R = SaC + CmO + Av + Di + Sv\text{tg} + Mo + Dn + Si$$

$$E2R = Fi + DeR + RiR + LiR + FqR = Si + Sv\text{tg} + Mcc + Mo + Fc$$

$$\text{Falha de Água no Reservatório} = E1R + E2R \quad (4.3)$$

AT no reservatório, Falha de Água, tem a contribuição de todos os perigos.

Usando as probabilidades do quadro 4.4, obtêm-se para a probabilidade de ocorrência do acontecimento de topo PFaR, o valor majorado,

$$PFaR < 0,055$$

Usando a telemetria podemos reduzir este valor, tipicamente 40% para cada componente da infra-estrutura (Clarke, 2003).

No caso de um reservatório, o quadro 4.5 relaciona os perigos, com os acontecimentos que podem levar à sua ocorrência e o modo de monitorar parâmetros físicos desses acontecimentos, através da telemetria.

Estabelecendo LC para esses parâmetros, o sistema de monitorização alerta para a ultrapassagem dos mesmos, diminuindo a probabilidade de ocorrência dos acontecimentos perigosos.

Será possível reduzir então para os seguintes valores as probabilidades;

$$SaC = 0,006$$

$$Av = 0,0006$$

$$Fc = 0,006$$

$$Mo = 0,006$$

$$Sv\text{tg} = 0,0006$$

$$Cmo = 0,0006$$

obtêm-se para a probabilidade de ocorrência do acontecimento de topo PFaR, o valor majorado,

$$PFaR < 0,0338$$

**Quadro 4.5 – Técnicas de monitorização remota para reservatórios**

<b>Perigo</b>	<b>Acontecimento</b>	<b>Técnica de monitorização remota</b>	<b>Estabelecimento de alarmes</b>
Água envelhecida (perda de desinfectante, alteração da cor e sabor)	Temperatura do reservatório. Estratificação térmica. Tempo de permanência da água no reservatório	Medição de $Q_e$ Medição de $Q_s$ Medição da temperatura da água de preferência a vários níveis. Medição do desinfectante existente.	$\Delta T_{Qs}=0 > 10$ dias  % desinfectante $< D$  Temp $> T^{\circ}C$ durante 3 dias
Crescimento de matéria orgânica	Temperatura do reservatório. Nutrientes. Baixo nível de desinfectante.	Medição do desinfectante existente.	% desinfectante $< D$
Inexistência de acesso condicionado	Não construção de vedações. Inexistência de alarmes de intrusão	Colocação de alarmes de intrusão	Alarme de intrusão
Adução de água de má qualidade	Sismos, outros desastres naturais ou industriais	Medição de parâmetros indicativos da qualidade da água, na adução	Parâmetros medidos acima de valores de segurança
Ruptura de tubagens	Sismos, outros desastres naturais ou industriais. Envelhecimento das tubagens	Medição de $Q_e$ . Medição de $Q_s$ . Medição de pressões hidráulicas nas tubagens. Medição de nível de água no reservatório.	$Q_s \ll Q_e$  $PrH < \text{nível estabelecido}$  Decrescimento anormal do nível do reservatório
Fissuras nas paredes do reservatório ou sua destruição	Sismos. Má construção civil	Medição de $Q_e$ . Medição de $Q_s$ . Medição de nível de água no reservatório.	$Q_s \ll Q_e$  Decrescimento anormal do nível do reservatório
Caudal fraco ou falta de captação	Sismo, seca, alterações climáticas	Medição de $Q_e$ .	$Q_e < \text{nível estabelecido}$

O quadro 4.7 apresenta alguns equipamentos que podem também ser usados na monitorização de remota de alguns dos parâmetros aqui sugeridos de monitorização

## Redes de adução e distribuição

As redes de adução e distribuição, são constituídas na sua grande extensão por tubagens, mas nestas redes existem também outros equipamentos que contribuem, com as suas avarias, para a falha da infra-estrutura.

Os principais componentes são:

- válvulas;
- juntas;
- ventosas;
- dispositivos redutores de pressão.

Estes componentes têm bastante importância na operacionalidade das redes pois em termos de perdas de água, ou na entrada de contaminação do exterior representam um factor importante a ter em conta.

**Quadro 4.6 – Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos nas tubagens**

<b>DESCRIÇÃO PERIGO</b>	Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	Má operação dos equipamentos	Desastres naturais	Desastres industriais	Sismo	Caudal fraco ou falta na captação
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Svtg	Mo	Dn	Di	Si	Fc
<b>PROBABILIDADE</b>	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>DESCRIÇÃO PERIGO</b>	Elevada pressão mecânica externa	Elevada pressão hidráulica interna	Crescimento matéria orgânica	Sem acesso condicionado	Má construção civil	Água velha
<b>DESIGNAÇÃO</b>	EpM	EpH	CmO	SaC	Mcc	Av
<b>PROBABILIDADE</b>	0,01	0,01	0,001	0,01	0,001	0,001

Para determinar a frequência ou a probabilidade de falha de um tubo, em função de um acontecimento, é necessário determinar um conjunto extenso de variáveis.

Por exemplo, no caso de um sismo, os mecanismos que podem levar á falha de um tubo são três (AWWA, 1994):

- propagação da onda sísmica ao longo da tubagem, provocando a sua deformação para além de limites toleráveis;
- deformação permanente do solo;
- ruptura de falhas geológicas.

Dependendo das características dos materiais constituintes das tubagens, da sua idade, grau de corrosão, estas terão comportamentos diferentes para a mesma solicitação mecânica. Assim a caracterização pormenorizada das tubagens revela-se de grande importância.

Para efectuar a análise do risco de uma tubagem inserida numa infra-estrutura, construiu-se a árvore de falhas da figura 4.2.

Construindo o CMC para a E1T e E2T, com base na árvore de falhas, obtemos:

$$E1T = SaC + CmO + Av + Di + Svgt + Mo + Dn + Di$$

$$E2T = Si + Dn + Mo + Di + Svgt + Sac$$

$$Falha de \acute{A}gua = E1T + E2T$$

AT nas tubagens, Falha de \acute{A}gua, tem a contribuiç\~{a}o de todos os perigos. Obt\~{e}m-se para a probabilidade de ocorr\~{e}ncia do acontecimento de topo PFaF a partir do CMC, o valor majorado,

$$PFaF < 0,084$$

Usando t\~{e}cnicas de monitorizaç\~{a}o como descritas no quadro 4.7, \acute{e} poss\~{i}vel diminuir alguns dos valores das probabilidades de ocorr\~{e}ncia dos perigos, para valores que estimados mas nunca superiores a 40% .

Assim passaremos a ter:

$$EpH = 0,006$$

$$CmO = 0,0006$$

$$Fc = 0,006$$

$$Av = 0,006$$

$$EpM = 0,006$$

$$Svtg = 0,0006$$

$$Mo = 0,006$$

E o novo valor da probabilidade de ocorrência do AT, passa a ter o o valor de :

$$\mathbf{PFaT} < 0,055$$

Na página seguinte é apresentada a árvore de falhas usada para a determinação do CMC.

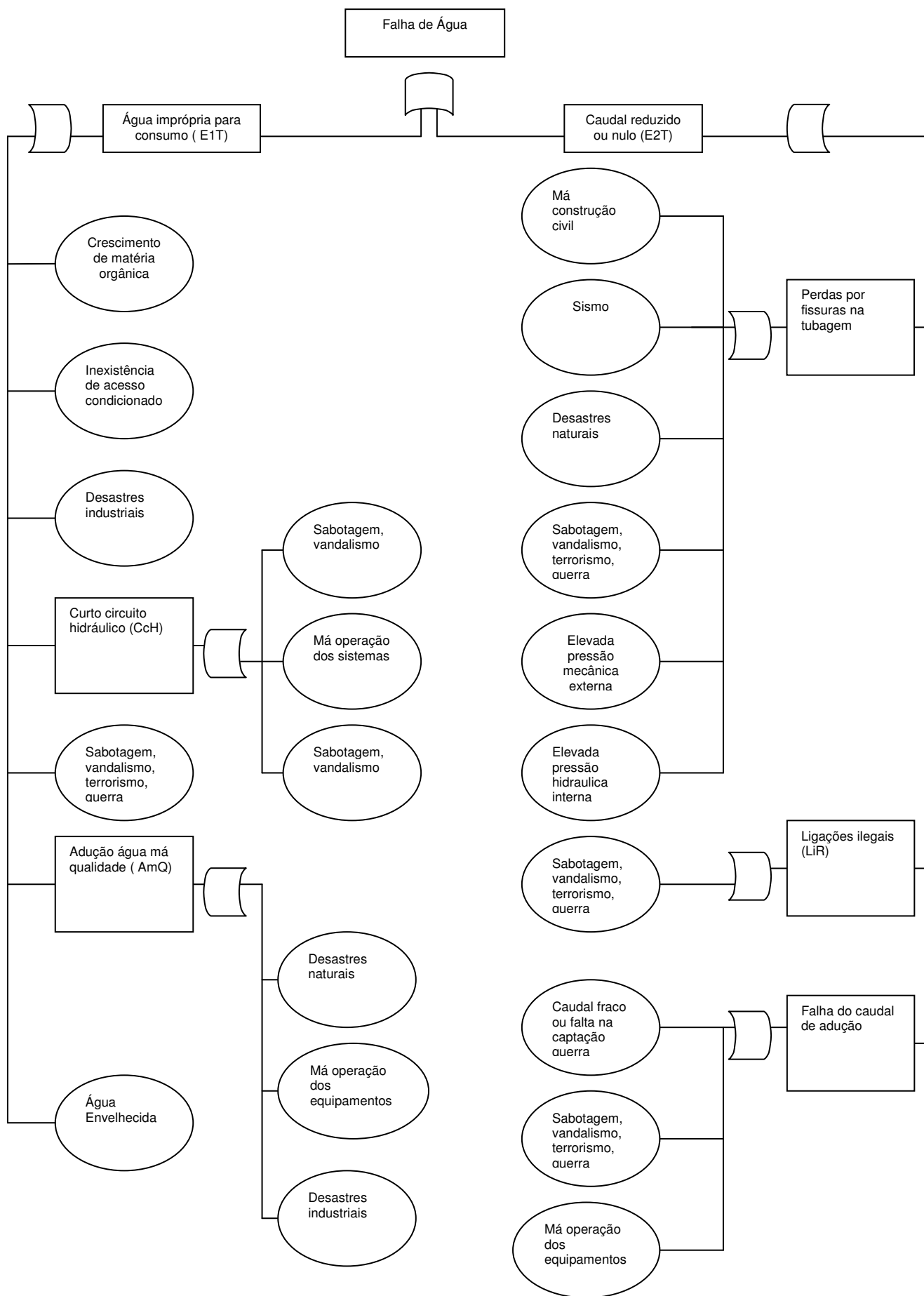


Figura 4.4 – Árvore de Falhas para uma tubagem

**Quadro 4.7 - Técnicas de monitorização remota, para tubagens e aplicadas na rede dos SMAS**

 <p>Medidor de caudal</p>	 <p>Sensor electromagnético de caudal inserido em tubagem</p>
 <p>Aproveitamento de um contador tipo Voltex, já instalado, para adaptado, se proceder a medições de caudais instantâneos</p>	 <p>Medidor de pressão hidráulica e tubagem, parte do transdutor.</p>
 <p>Exterior de estação telemétrica</p>	 <p>Data logger</p>

## ETA, por cloragem



**Figura 4.5 – ETA**

Tipicamente a Estação de Tratamento de Água (ETA), usada nas infra-estruturas em estudo, são sistemas de desinfecção por doseamento de hipóclorito de sódio, na água, através de uma bomba doseadora.

O doseamento é feito em alguns casos, por forma contínua, com ajuste manual da dose de desinfectante. Noutros casos o doseamento é proporcional ao caudal de água circulante, ou o controlo do cloro injectado é feito pela medição contínua do cloro livre existente num ponto de controlo, sendo automaticamente ajustado a quanti-

dade de desinfectante introduzida, por forma a manter o valor definido de cloro livre.

**Quadro 4.8 – Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos na ETA**

<b>DESCRIÇÃO DO PERIGO</b>	Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	Má operação dos equipamentos	Desastres naturais	Desastres industriais	Sismo	Caudal fraco ou falta na captação
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Svtg	Mo	Dn	Di	Si	Fc
<b>PROBABILIDADE</b>	0,001	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01
<b>DESCRIÇÃO DO PERIGO</b>	Avaria de equipamentos	Sem acesso condicionado				
<b>DESIGNAÇÃO</b>	CmO	SaC				
<b>PROBABILIDADE</b>	0,001	0,01				

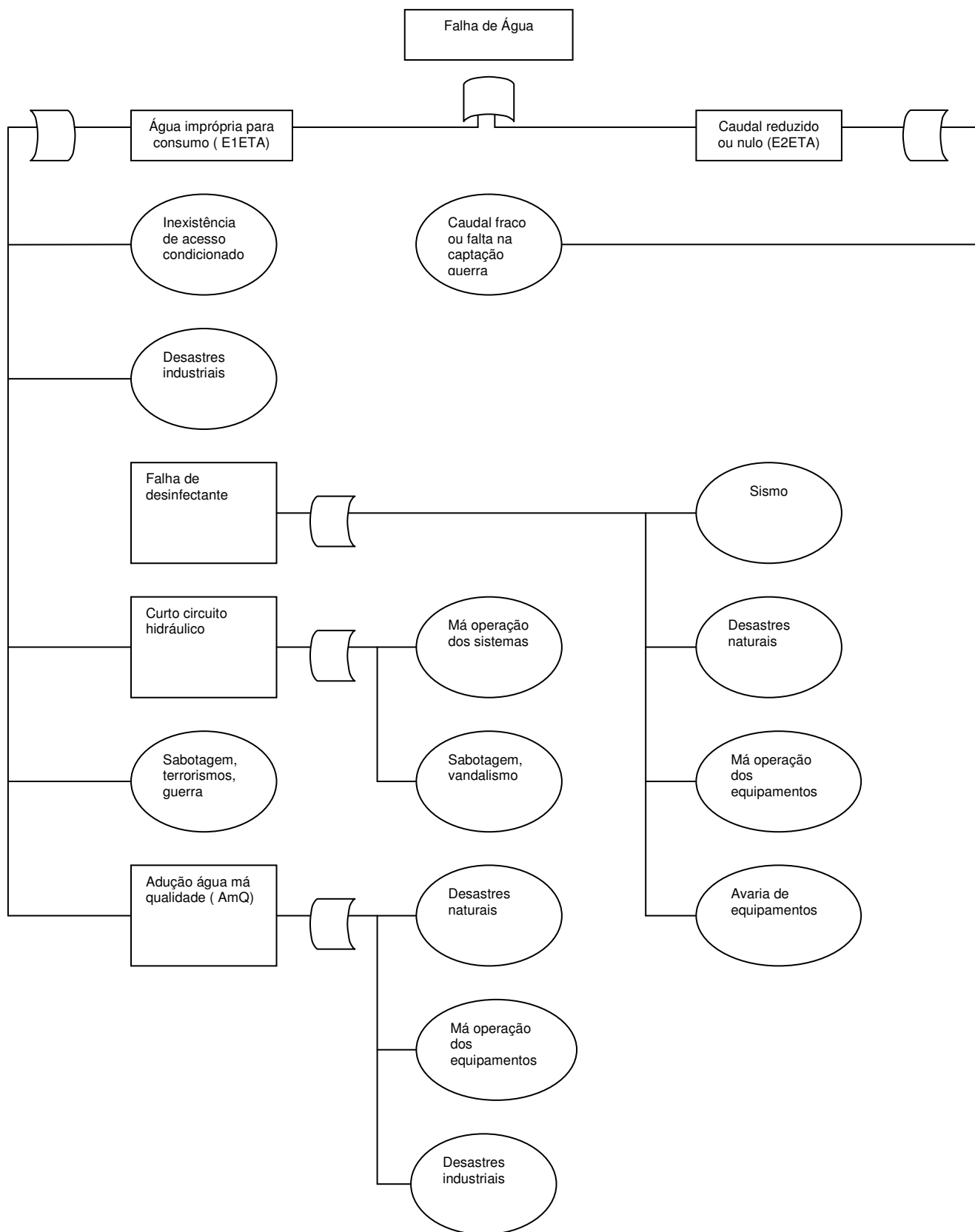


Figura 4.6 – Árvore de Falhas para a cloragem

Na ETA, Construindo o CMC para a E1T e E2T, com base na árvore de falhas, obtemos:

$$\mathbf{E1ETA} = SaC + Di + Svtg + Mo + Dn + Si + Ae$$

$$\mathbf{E2ETA} = Fc$$

$$\mathbf{Falha de \acute{A}gua} = \mathbf{E1ETA} + \mathbf{E2ETA}$$

AT na ETA, Falha de Água, tem a contribuição de todos os perigos, com base nas probabilidades empiricamente atribuídas, tem-se:

$$\mathbf{PFaETA} < 0,062$$

Com o uso de telemetria, reduzem-se as probabilidades, para o seguinte valor (valor majorado);

$$\mathbf{PFaETA} < 0,042$$

## Furo de captação e nascente

Para o furo de captação e para a nascente, foram construídas as AF, que se apresentam nas figuras 4.7 e 4.8 .

As tabelas com as probabilidades são as seguintes, e os valores para os dois acontecimentos de topo, também são apresentados.

As probabilidades para a nascente ou captação são diferentes, como se pretende representar nos valores atribuídos em cada um dos quadros.

Os quadros, apresentam os perigos típicos nas nascentes e furos.

**Quadro 4.9 – Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos nos furos de captação**

<b>DESCRIÇÃO PERIGO</b>	Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	Má operação dos equipamentos	Desastres naturais	Desastres industriais	Sismo
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Svtg	Mo	Dn	Di	Si
<b>PROBABILIDADE</b>	0,001	0,01	0,01	0,001	0,01
<b>DESCRIÇÃO PERIGO</b>	Introdução de água salgada	Avaria de equipamentos	Sem acesso condicionado	Má construção civil	Crescimento de matéria orgânica
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Ias	Ae	SaC	Mcc	CmO
<b>PROBABILIDADE</b>	0,001	0,01	0,01	0,001	0,001

**Quadro 4.10– Designação e quantificação das probabilidades para os perigos típicos nas nascentes**

<b>DESCRIÇÃO PERIGO</b>	Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	Má operação dos equipamentos	Desastres naturais	Desastres industriais	Sismo
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Svtg	Mo	Dn	Di	Si
<b>PROBABILIDADE</b>	0,001	0,01	0,01	0,001	0,01
<b>DESCRIÇÃO PERIGO</b>	Avaria de equipamentos	Alterações climáticas	Crescimento matéria orgânica	Sem acesso condicionado	Má construção civil
<b>DESIGNAÇÃO</b>	Ae		CmO	SaC	Mcc
<b>PROBABILIDADE</b>	0,01	0,009	0,001	0,01	0,001

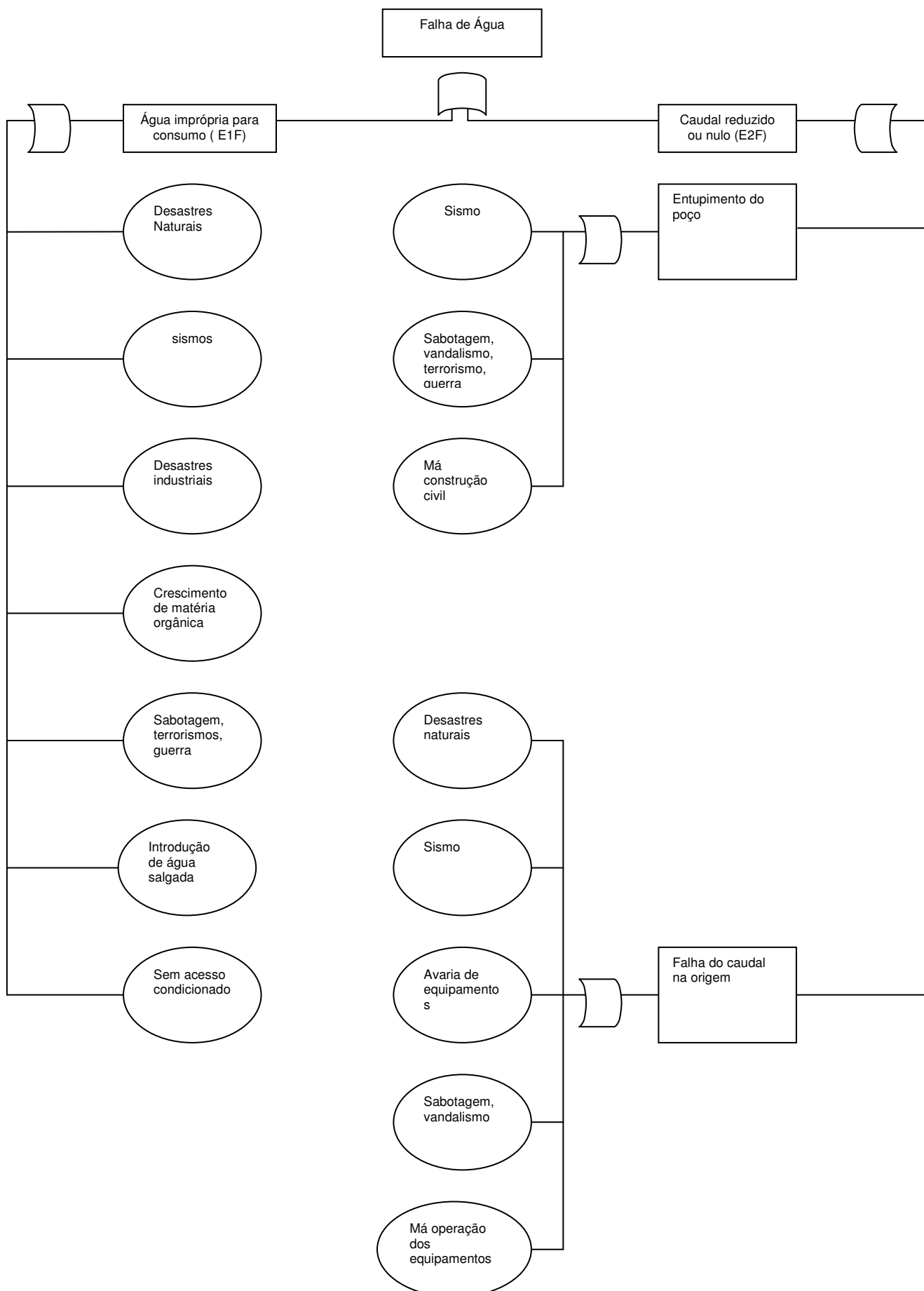


Figura 4.7 – Árvore de Falhas para o furo de captação

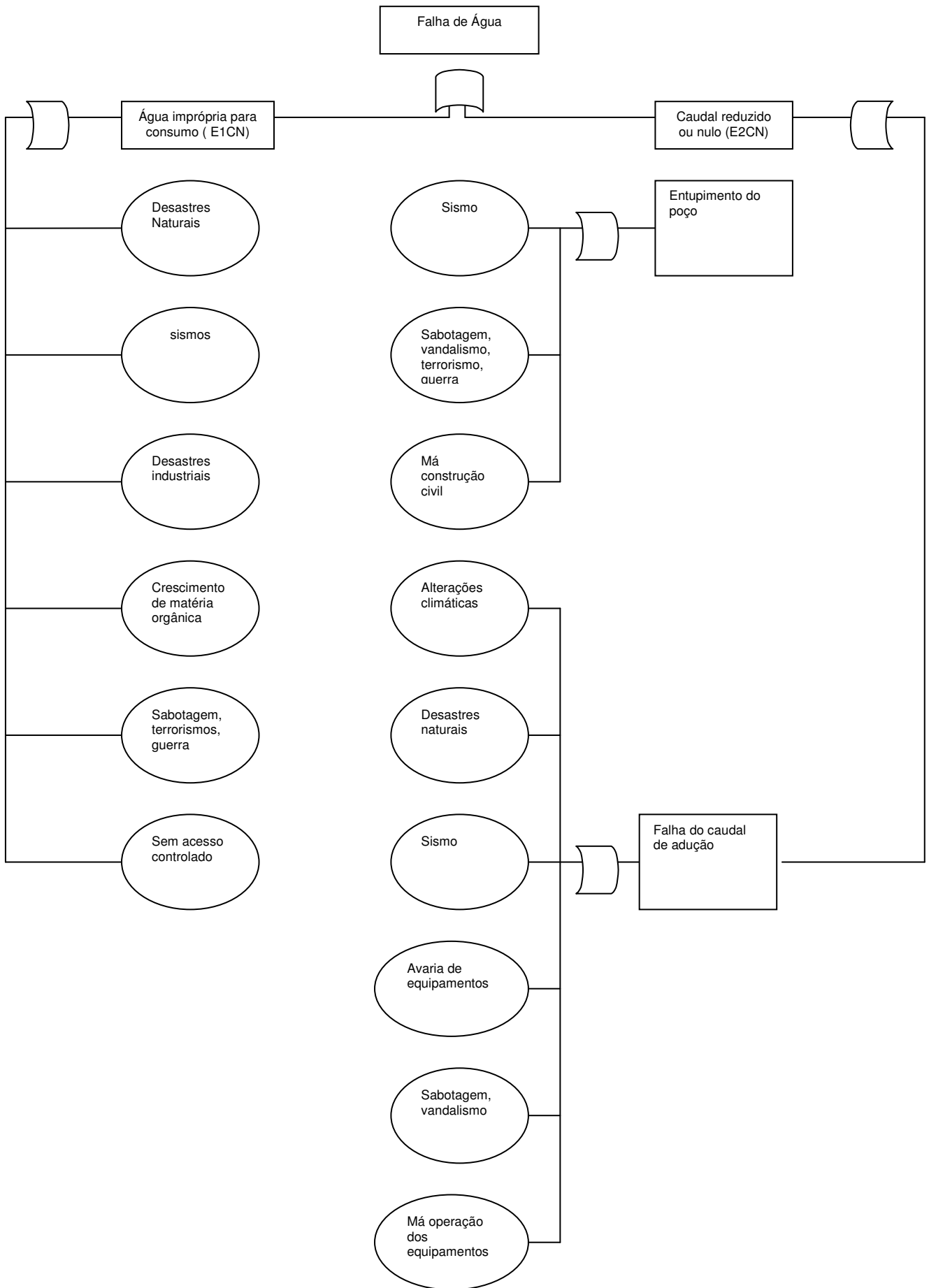


Figura 4.8 – Árvore de Falhas para a nascente

Construindo o CMC para os AT no Furo de captação e na Nascente, temos:

$$E1F = C_{mO} + D_n + S_i + D_i + S_{aC} + S_{vtg} + I_{as}$$

$$E2F = S_i + S_{vtg} + M_{cc} + D_n + M_o + A_e + M_o$$

$$\text{Falha de Água no Furo de captação} = E1F + E2F$$

AT no furo de captação, Falha de Água, tem a contribuição de todos os perigos.

Usando as probabilidades do quadro 4.9, obtêm-se para a probabilidade de ocorrência do acontecimento de topo PFaF, o valor majorado,

$$PFaR < 0,064$$

No caso da nascente, o AT também tem a contribuição de todos os perigos, sendo a probabilidade calculada, a partir das probabilidades do quadro 4.10, um valor inferior a,

$$PFaN < 0,072$$

Será possível reduzir em 40% as probabilidades, com a aplicação da telemetria, que passarão a ter os seguintes valores:

SaC = 0,06	Mo = 0,06
Av = 0,0006	Svtg = 0,006
Fc = 0,006	Cmo = 0,006
Si = 0,006	Dn = 0,006
Ias = 0,0006	Di = 0,006
Mcc = 0,0006	Ae = 0,006

Obtêm-se para a probabilidade de ocorrência dos acontecimentos de topo PFaF e PFaR, os valores majorados,

$$PFaF < 0,05 \text{ e } PFaN < 0,052$$

## Calculo da probabilidade de Falha de Água no Hospital

O quadro 4.11, resume as probabilidades de falha obtidas para os componentes da infra-estrutura em análise, na situação simples de operação e com o uso de telemetria.

**Quadro 4.11 – Resumo das probabilidades calculadas**

<b>Acontecimento</b>	<b>Probabilidade de ocorrência sem o uso de telemetria</b>	<b>Probabilidade de ocorrência com o uso de telemetria</b>
Água imprópria para consumo no Reservatório. E1R	0,044	0,027
Caudal reduzido ou nulo no Reservatório. E2R	0,032	0,019
<b>Falha de água no Reservatório. FaR</b>	0,055	0,0338
Água imprópria para consumo na tubagem. E1T	0,043	0,03
Caudal reduzido ou nulo na tubagem. E2T	0,051	0,035
<b>Falha de água na tubagem. FaT</b>	0,084	0,055
Água imprópria para consumo na ETA. E1ETA	0,052	0,0356
Caudal reduzido ou nulo na ETA. E2ETA	0,01	0,006
<b>Falha de água na ETA. FaETA</b>	0,062	0,0416
Água imprópria para consumo no furo. E1F	0,043	0,04
Caudal reduzido ou nulo no furo. E2F	0,042	0,03
<b>Falha de água no furo. FaF</b>	0,064	0,05
Água imprópria para consumo na nascente. E1N	0,042	0,04
Caudal reduzido ou nulo na nascente. E2N	0,05	0,04
<b>Falha de água na nascente. FaN</b>	0,72	0,58

Com base nos valores obtidos, e efectuando as aproximações, obtêm-se os valores para o acontecimento de topo, Falha de água no Hospital.

O quadro 4.12, apresenta os valores dos riscos para o acontecimento de topo, Falha de Água no hospital.

**Quadro 4.12** – *Calculo do Risco de Falha de Abastecimento de Água ao hospital*

Probabilidade de Falha de Abastecimento de Água ao Hospital	Severidade	Risco
(sem telemetria) < 0,627	4	< 2,51
(com telemetria) < 0,434	4	< 1,736

A probabilidade de falha de água no hospital, é calculada a partir da soma lógica das equações 4.1 e 4.2, e usando as aproximações dadas pelas inequações 2.2.

Foi possível trazer o risco, de um valor indesejável, para um valor aceitável, conforme as definições do quadro 3.3.

## **4.2.2 – Discussão dos resultados**

A determinação dos valores das probabilidades de ocorrência dos vários perigos e acontecimentos perigosos é muito importante para os resultados obtidos, e é de fulcral importância.

Observa-se dos resultados obtidos, que a redução das probabilidades com o uso da telemetria é superior no caso do caudal (falha hidráulica), com a aplicação da telemetria, do que a redução da probabilidade de se ter água imprópria para consumo.

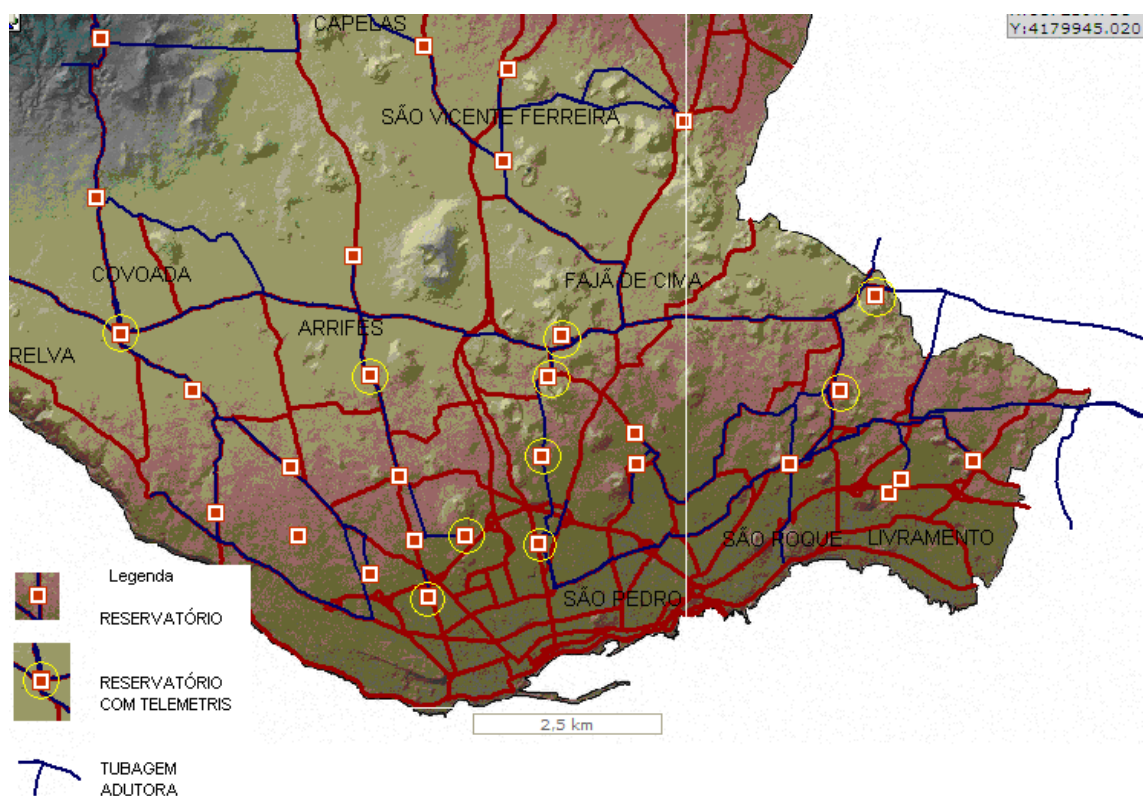
A principal conclusão é de que com esta metodologia se reduzem os pontos de monitorização. No caso deste caso, para a falha hidráulica, não é necessário aplicar monitorização nos tubos T1, T2, T5, T6 e T7, assim como a monitorização dos caudais na nascente e no furo, para se manter o risco com um valor baixo.

### 4.3 - O caso dos SMAS de Ponta Delgada

Pela dimensão desta rede, iniciou-se a aplicação da monitorização por telemetria a algumas zonas de abastecimento, aquelas em que uma falha de abastecimento tem maiores riscos.

Usando como critérios para a determinação da severidade, os apresentados no quadro 3.4, determinaram-se zonas com nível de severidade III e IV. Pelos impactos negativos nas populações, sistemas produtivos e clientes críticos, a zona de abastecimento da cidade de Ponta Delgada apresenta nível IV de severidade. Pelo que decidiram os SMAS iniciar a implementação de rede de telemetria nesta zona.

Numa primeira fase, e por já estar implementado um sistema de gestão da qualidade da água, de acordo com a legislação, foi dado ênfase à monitorização hidráulica da rede.



Origem: SMAS

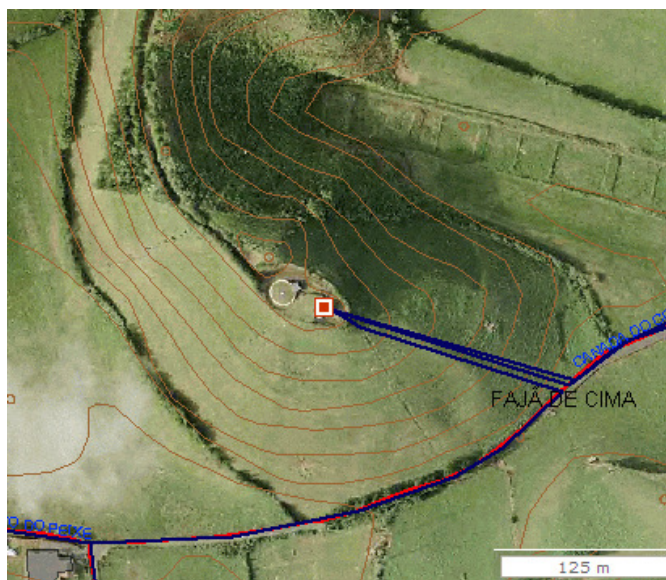
**Figura 4.9** – Parte da rede de alta dos SMAS de Ponta Delgada

O quadro 4.13 apresenta as principais características dos sistemas a monitorar

**Quadro 4.13 – Apresentação dos reservatórios em estudo**

Reservatório	Capacidade	Foto	Diâmetro tubagem entrada	Diâmetro tubagem saída
Arquinha	2 * 1400 m <sup>3</sup>		200 mm em fibrocimento	200 mm em ferro
Carreira	2*1000 m <sup>3</sup>		160 mm em PVC	160 mm em PVC
Castanheira	2*500 m <sup>3</sup>		160 mm em PVC	200 mm em PVC
Central	500 m <sup>3</sup> 1000 m <sup>3</sup>		80 mm em ferro	80 mm em fibrocimento
Encruzilhadas	2*500 m <sup>3</sup> 140 m <sup>3</sup>		200 mm em fibrocimento	200 mm em fibrocimento
Erva-Moura	2*1000 m <sup>3</sup>		250 mm em ferro	300 mm em ferro
Fajã de Cima,	2*1000 m <sup>3</sup>		150 mm em ferro	250 mm em ferro
Murtas	2*500 m <sup>3</sup>		80 mm em ferro	250 mm em PVC
Pico do Salomão	2*1000 m <sup>3</sup>		200 mm em PVC	160 mm em PVC
Porto	2*1000 m <sup>3</sup>		250 mm em ferro	300 mm em ferro

Para esta rede, foi feita um análise qualitativa, para então se proceder á colocação dos equipamentos, com bas e no diagrama de rede existente. Um dos parâmetros introduzidos, foi o tempo de detecção de anomalia, que tipicamente é feito após a deslocação ao local de uma equipa que analisa a situação, transmite os resultados e depois são tomadas decisões para a resolução do problema.



Origem: SMAS

**Figura 4.10** – Imagem aérea do Reservatório Central dos SMAS



**Figura 4.11** – Imagem do Reservatório Central dos SMAS

### **4.3.1 – Exemplo do Reservatório Central**

O reservatório Central está localizado na freguesia da Fajã de Cima, a 300 metros de altura. É composto por duas células, uma com capacidade de 500m<sup>3</sup> e a outra com a capacidade de 1000m<sup>3</sup>. Normalmente as duas células estão interligadas, podendo através da câmara de manobras, trabalharem independentemente, ou ser mesmo feito o by-pass as células. Serve directamente os reservatórios das Encruzilhadas e o reservatório dos Escorregadouro, de duas zonas de abastecimento diferentes. É por sua vez abastecido através da adutora da Lagoa do Fogo.

Em muitos casos, sobretudo para os reservatórios, os mesmos são construídos, para aproveitar a acção da gravidade, e locais de difícil acesso físico, o que dificulta a deslocação de meios humanos ao local. Sendo possível remotamente efectuar de uma forma automática estes procedimentos, é reduzido em muito o a probabilidade de falha.

### **Identificação dos perigos e acontecimentos perigosos**

O quadro 4.14, apresenta os perigos e acontecimentos perigosos a que o reservatório está sujeito, assim como é feita a classificação desses perigos de uma forma qualitativa, pois os dados existentes não permitem a rigorosa classificação quantitativa dos mesmos. A classificação é feita de acordo com o quadro 3.5.

**Quadro 4.14 – Identificação e classificação dos perigos e acontecimentos perigosos**

<b>Perigo / Acontecimento perigoso</b>	<b>Probabilidade de ocorrência</b>	<b>Importância</b>	<b>Justificação da classificação</b>
<b>Av</b> - Água envelhecida	Remota	1	Pela forma em cilindro do reservatório, que impede a existência de zonas de água parada, assim como a forma de enchimento e o facto das células serem usadas poucas vezes como
<b>CmO</b> -Crescimento de matéria orgânica	Remota	1	
<b>SaC</b> - Inexistência de acesso condicionado	Remota	1	A localização do reservatório, com passagem para acesso em terrenos particulares e longe de estradas condiciona o acesso
<b>Svtg</b> -Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	Remota	1	
<b>Mo</b> - Má operação dos sistemas	Remota	1	
<b>Dn</b> - Desastres naturais	Ocasional	2	
<b>Si</b> -Sismos	Remota	1	
<b>Mcc</b> - Má construção civil	Remota	1	Os reservatórios são de construção recente
<b>Fc</b> - Caudal fraco ou falta na captação	Provável	3	
<b>TaE</b> - Tempo de detecção e acesso	Frequente	4	
<b>Di</b> -Desastres industriais	Remota	1	

## **Análise, avaliação e controlo dos riscos**

Com base nos cálculos já efectuados anteriormente, equação 4.1 adicionando o termo tempo de acesso ao local e convertendo as probabilidades de qualitativas para quantitativas conforme o quadro 3.7, podemos calcular a probabilidade de falha de água no reservatório. Os valores estão representados no quadro 4.15.

**Quadro 4.15 – Quantificação dos perigos**

<b>Perigo / Acontecimento perigoso</b>	<b>Probabilidade de ocorrência sem telemetria</b>	<b>Probabilidade de ocorrência com telemetria</b>
<b>Av</b> - Água envelhecida	0,01	0,01
<b>CmO</b> -Crescimento de matéria orgânica	0,01	0,01
<b>SaC</b> - Inexistência de acesso condicionado	0,1	0,1
<b>Svtg</b> -Sabotagem, vandalismo, terrorismo, guerra	0,01	0,01
<b>Mo</b> - Má operação dos sistemas	0,1	0,01
<b>Dn</b> - Desastres naturais	0,01	0,01
<b>Si</b> -Sismos	0,01	0,1
<b>Mcc</b> - Má construção civil	0,01	0,01
<b>Fc</b> - Caudal fraco ou falta na captação	0,6	0,1
<b>TaE</b> - Tempo de detecção e acesso	0,9	0,3
<b>Di</b> -Desastres industriais	0,01	0,01

A partir da classificação do quadro 3.4, considerou-se o nível de severidade como 2.

Os equipamentos de monitorização instalados foram a medição de nível de água nos reservatórios e a medição do caudal de entrada, o que tem impacto directo nos parâmetros Fc, Mo e TaE.

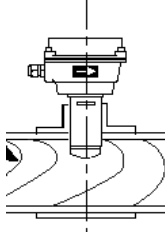





Assim, obtiveram-se os seguintes valores, para o risco:

- Risco sem o uso de telemetria = 3.54
- Risco com o uso de telemetria = 1.34

Estes valores, e de acordo com o quadro 3.2, trazem o risco de um valor inicial indesejável, para um valor aceitável, o valor mais baixo do risco.

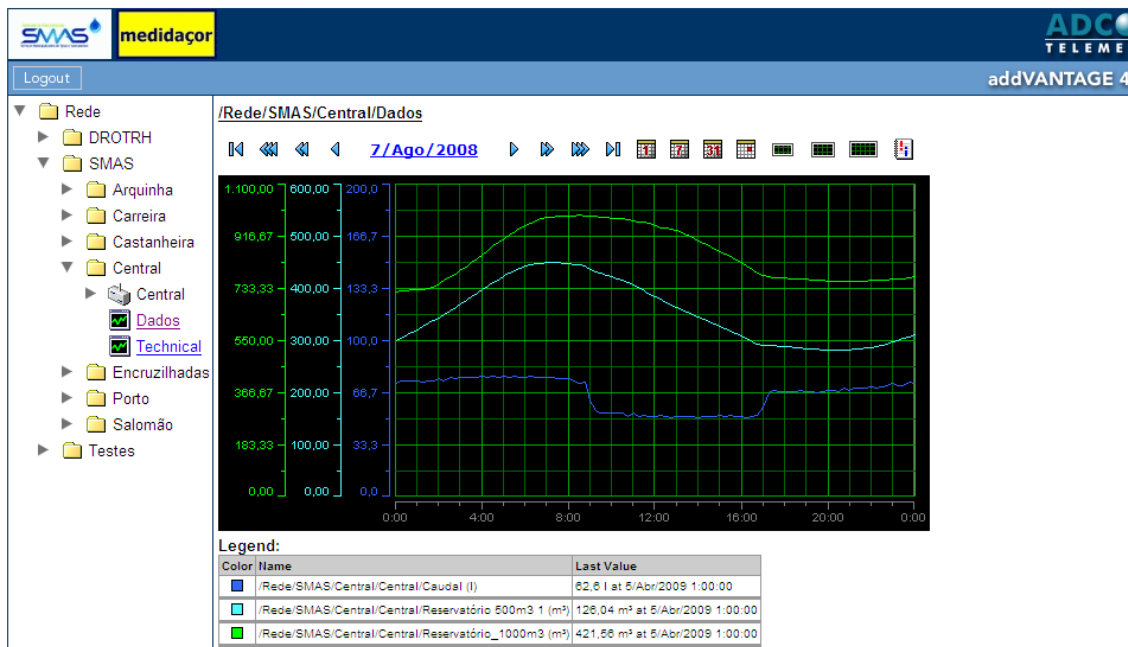
### 4.3.2 - Medidores de parâmetros hidráulicos e de qualidade

**Quadro 4.16 – Equipamentos de medição**

Característica a medir	Tipo de medidor	Imagem
Caudal	Caudalímetro electromagnético	
	Caudalímetro de pás	
	Contador volumétrico	
Nível no reservatório	Medidor de peso da coluna de água	 <small>Level / Pegel Sensor</small>
Pressão no interior da tubagem	Medidor de pressão	
Cloro livre	Analizador em contínuo do cloro livre	

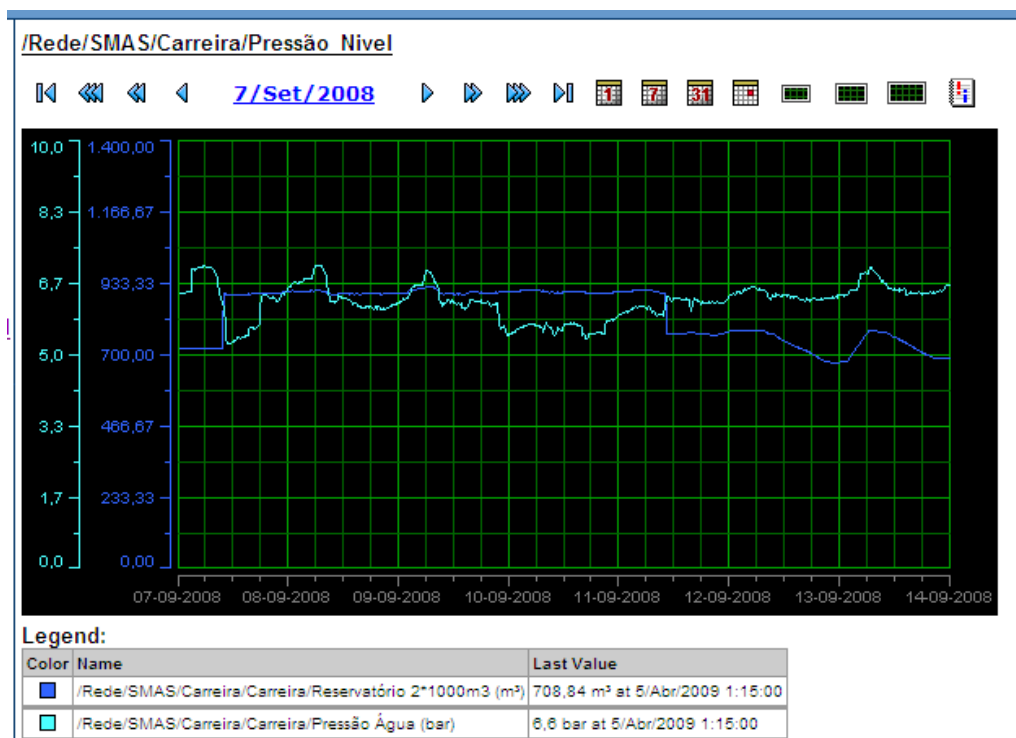
O ponto central de monitorização da rede telemétrica, recebe os dados das leituras, processa os mesmos e depois, apresentado os resultados via internet, aos utilizadores com acesso aos mesmos, ou localmente.

Os dados apresentados têm o seguinte aspecto:



Copyright © 2002-2003 Adcon Telemetry. All rights reserved.

**Figura 4.12** – Apresentação dos níveis e caudal de entrada, no Reservatório Central



**Figura 4.13** – Apresentação de pressão e caudal no Reservatório da Carreira ao longo de 7 dias

## **Conclusões**

É possível determinar os riscos e aplicar os métodos de controlo incluindo o outros que não a telemetria

Quando comparado com outros sistemas de análise, como por exemplo os mandatórios como o HACCP, este para além de permitir o controlo da qualidade da água, também permite controlar os riscos hidráulicos, efectuando uma abordagem holística à infra-estrutura.

No caso dos SMAS tem-se verificado um aumento do desempenho dos sistemas, no entanto, pelo valor do investimento em causa o avanço tem sido faseado.

## **Capítulo 5 – Conclusões e recomendações**

### **5.1 - Conclusões**

Com base na revisão bibliográfica e analisando as várias metodologias recomendadas e utilizadas, para garantir a fiabilidade e a salubridade da água, resumidos nos quadros 2.2 e 2.3, foi possível justificar a utilização da Análise do Risco, como metodologia útil para garantir a fiabilidade nas infra-estruturas de abastecimento de água.

Foi desenvolvido um modelo quantitativo e interactivo que analisa o risco para um determinado acontecimento na infra-estrutura, determina os controlos a efectuar, assim como as suas localizações na infra-estrutura. A matriz apresentada permite avaliar e controlar em simultâneo vários perigos, presentes numa infra-estrutura, não só os referentes à salubridade da água, mas também ao seu desempenho hidráulico. A metodologia é independente da infra-estrutura, podendo ser aplicada em qualquer infra-estrutura dada a forma como se organiza e se adapta. Por ser um método que usa ferramentas já desenvolvidas para outras áreas, permite a comparação dos resultados obtidos, a nível de componente e de infra-estrutura, com outras infra-estruturas. A aplicação deste método em zonas sísmicas, melhora a gestão de crise, pois permite monitorar centralmente uma série de parâmetros essenciais à tomada rápida de decisões.

Foi possível, aplicando o método a um caso conceptual, reduzir o valor do risco de falha de água, e aplicar este método a um caso prático em que os resultados obtidos até ao presente demonstram um aumento de fiabilidade da infra-estrutura, sendo possível retirar as seguintes conclusões:

- o manutenção da qualidade da água numa infra-estrutura de abastecimento, necessita de mais pontos de controlo do que os necessários para a manutenção da fiabilidade hidráulica;
- para o controlo dos perigos são utilizados equipamentos de medida existentes no mercado, já testados, e com o desempenho garantido;
- os dados recolhidos pelos sistemas de medição são utilizáveis em outros processos de gestão da infra-estrutura;

## **5.2 – Recomendações para estudos futuros**

O modelo aqui apresentado necessita de ser afinado, sobretudo porque existem algumas dificuldades em obter dados relativos à fiabilidade dos sistemas e componentes das infra-estruturas. A afinação necessita da melhoria dos dados referentes à fiabilidade dos componentes da rede.

A complexidade das infra-estruturas em estudo, assim como os custos associados à implementação de sistemas de telemetria, pode limitar a existência de casos práticos para estudo, devendo-se pois tirar o máximo partido do caso dos SMAS da Câmara Municipal de Ponta Delgada, a quem se deixa aqui mais uma vez uma palavra de reconhecimento pela disponibilização dos dados dessa rede.

Neste contexto, recomenda-se que em trabalhos futuros seja dado ênfase a:

- levantamento das probabilidades associadas a cada perigo e a sua comparação com outros levantamentos efectuados em outros locais;
- calibração e afinação do modelo apresentado;
- uniformização dos levantamentos de risco e consequências, por forma a serem adoptados pelas várias entidades gestoras;
- aplicação da mesma metodologia para o controlo do risco nos sistemas de saneamento básico.

## Bibliografia

Alves, C. , 2005. Tratamento de Águas de Abastecimento, Porto, Publindústria.

Andrews, J. D. , Moss, T. R. , 1993. Reliability and Risk Assessment , 1ª edição, Reino Unido, Longman Scientific & Technical.

Apostolakis, G. E., 2004. How useful is Quantitative Risk Assessment , Risk Analysis nº24 3, 515-520.

AS/NZS standard 4360:2004 Risk Management, Standars Austrália/Standards New Zeland

Assis, R., 2004. Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção, Lisboa, Lidel-Edições Técnicas.

Azoresglobal - <http://www.azoresglobal.com/canais/noticias/fotos/small121207sismo.jpg> – Consultado em Abril de 2009

AWWA, 1994. Minimizing Earthquake Damage: A Guide for Water Utilities, Denver Colorado, American Water Works Association.

Ballantyne, D., Crouse, C., 1997. Reliability and Restoration of Water Supply Systems for Fire Suppression and Drinking Following Earthquakes. Building and Fire Research Laboratory. Maryland.

Ballantyne, D., Comparison of Water Utility Earthquake Mitigation Practices. Seattle, Washington, ABS Consulting, [www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/comparison.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/comparison.pdf), consultado em 17-10-2008.

Ballantyne, D., Heubach, W., 2003. Compararison of Mitigation Alternatives for Water Distribution Pipelines Installed in Liquefiable Soils, Advancing Mitigation Technologies and Disaster Response for Lifeline Systems, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering.

Beuken, Ralph. et al, 2007. Identification and description of hazards for water supply systems. Techneau.

Brito, A. G., Cruz, J. Virgílio, 2002. Contribuição da hidrogeologia para o planeamento e a gestão sustentável da água no arquipélago dos Açores, Uso Sustentável da Água : actas, Encontro Nacional de Saneamento Básico; Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Braga.

Coelho, J. M. , 2007. A Matriz Harmonizado do Risco – O “ Canivete Suíço” dum Sistema Integrado de Gestão do Risco Industrial. , Riscos Públicos e Industriais vol. 1, Edições Salamandra, Lisboa.

Clements, P. L.; Fault Tree Analysis, 4ª edição, Maio de 1993, [www.fault-tree.net/papers/clemens-fta-tutorial.pdf](http://www.fault-tree.net/papers/clemens-fta-tutorial.pdf), consultado em 14-12-2008.

Comissão Europeia, 2004. Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, Protecção das infra-estruturas críticas no âmbito da luta contra o terrorismo, Bruxelas, 20.10. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ> , consultado em 17-10-2008.

Comissão Europeia, 2006. Comunicação da Comissão, Relativa a um Programa Europeu de Protecção das Infra-Estruturas Críticas, Bruxelas, <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l33260.htm> , consultado em 17-10-2008.

Coutinho, R., 2003. A gestão da água, o ordenamento do território e a protecção civil, Planeamento Civil de Emergência nº16 – Separata Açores.

Cruz, J. V. et al ., 2007. Atlas da Água nos Açores, Ponta Delgada, DROTRH – SRAM.

Decreto-Lei n.º 306/2007. , Estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano., D.R. n.º 164, Série I de 2007-08-27.

Decreto-Lei n.º 70/90., Define o regime de bens do domínio público hídrico do Estado, D.R. n.º 51, Série I de 1990-03-02.

Department of Homeland Security , 2007. Water Critical Infrastructure and Key Resources Sector-Specific Plan as input to the National Infrastructure Protection Plan.

[www.dhs.gov/xlibrary/assets/Water\\_SSP\\_5\\_21\\_07.pdf](http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/Water_SSP_5_21_07.pdf), consultado em 17-10-2008.

Eidinger, J. M., 2001. Seismic Fragility Formulations for Water Systems – Part 1 Guideline, American Lifeline Alliance.

ISO 31000 DIS – First draft international Standard on Risk Management. [www.standards.co.nz/news/Media+releases/ISO+31000.htm](http://www.standards.co.nz/news/Media+releases/ISO+31000.htm) . consultado em 6-10-2008.

Lei n.º 23/96. , Cria no ordenamento jurídico alguns mecanismos destinados a proteger o utente de serviços públicos essenciais., D.R. n.º 172, Série I-A de 1996-07-26.

Lei n.º 58/2005., Aprova a Lei da Água., D.R. n.º 249, Série I-A de 2005-12-29.

Li, H., 2005. Hierarchical Risk Assessment of Water Supply Systems, Loughborough University, Reino Unido. Tese para a obtenção do grau de Doutor.

Macgillivray, B. H. et al. 2007. Benchmarking risk management within the international water utility sector. *Journal of Risk Research*. Vol. 10, nº 1. 85-104.

Macgillivray, B. H. et al. 2006. Risk Analysis Strategies in the Water Utility Sector: An Inventory of Applications for Better and More Credible Decision Making. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*,36, 85-139.

Major Industrial Hazards Advisory Paper nº3, 2003. Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control, Sidney, Austrália, Department of Urban and Transport Planning.

Marques, J.A.A.S. & Sousa, J. J. O., 2007. Hidráulica Urbana Sistema de Abastecimento de Água, Reedição, Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra.

Marques, R. C., Levy, J. Q., 2006. A qualidade do Serviço de Abastecimento de Água, 1ª edição, Lisboa, AEPISA.

Mays, L. W. et al., 1999. *Water Distribution Systems Handbook*, McGraw-Hill.

Michaud, D. Risk Analysis of Infrastructure Systems – Screening Vulnerabilities in Water Supply Networks. MIT, Fevereiro de 2005. Tese para a obtenção do grau de Mestre.

Modares, M. et al., 1999. *Reliability Engineering and Risk Analysis A Practical Guide*, New York, Maecel Dekker inc.

Nunes, J. C. et al., CATÁLOGO SÍSMICO DA REGIÃO DOS AÇORES VERSÃO 1.0 (1850-1998), SÍSMICA 2004 - 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica.

OPS, 2003. Reducción del daño sísmico : guía para las empresas de agua. Lima; OPS.

PEAASAR 2007 – 2013, Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento Águas Residuais. 10 de Fevereiro de 2006.

[www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/2E4F1B13-B462-4EE7-927C-0D0F41BF129B/0/PEAASARII.pdf](http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/2E4F1B13-B462-4EE7-927C-0D0F41BF129B/0/PEAASARII.pdf) , consultado em 17-10-2008.

Ralston, P.A.S. et al, 2007. *Cyber security risk assessment for SCADA and DCS networks*. Elsevier Ltd.

RASARP 2007 - Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal Volume 4, , <http://www.irar.pt>, consultado em Outubro de 2008.

Rocha, J. A. , Pinto, P. , 2007. *Gestão do Risco em Protecção Civil. , Riscos Públicos e Industriais vol. 1*, Edições Salamandra, Lisboa.

Roger, J.W., Louis, G. R. , 2008. Risk and opportunity in upgrading the US drinking water infrastructure system. *Journal of Environmental Management*, 87, 26-36.

Rosén, L. et al , 2007. Generic Framework and Methods for Integrated Risk Management in Water Safety Plans, TECNEAU, (Relatório).

Rosén, L. et al , 2008. Comparing Raw Water Options to reach Water Safety Targets Using an Integrated Fault Tree Model. Paper apresentado na IWA Conference, Water Safety Plans : Global Experiences and Future Trends, Lisboa .

Sadiq, S. et al, 2008. Predicting risk of water quality failures in distribution networks under uncertainties using fault-tree analysis. *Urban Water*.

Shinstine, D. S., Ahmed, I.,Lansey, K. E. 2002. Reliability/Availability Analysis of Municipal Water Distribution Networks: Case Studies. *Journal of Water Resources Planning and Management*.

Simões Filho, S., 2006. Análise de Árvore de Falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos. COPPE/UFRJ. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Ciências.

Sítio da Câmara Municipal da Povoação - <http://www.cm-povoacao.pt/Noticia.aspx?ID=192>, consultado em Abril de 2009.

SKOLICKI, Z et al. (2008). Co-evolution of terrorist and security scenarios for water distribution systems. *Advances in Engineering Software* 39 801–811.

Turner, B. et al, 2007. Water Critical Infrastructure and Key Resources Sector-Specific Plan, Homeland Security.

Vieira, J. M. P., Morais, C. , 2005. Planos de Segurança da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. IRAR e Universidade do Minho.

Wetzel, G. L. 2003. A parametric simulation model for evaluating cost effectiveness of remote monitoring for risk reduction in rural water supply systems and application to the Fazewell County, Virginia system. Blacksburg, Virgínia. Tese para a obtenção do grau de Mestre.

## Apêndice A

Para conveniência de apresentação incluiu-se a Árvore de Falhas da infra-estrutura em análise, de uma forma compacta na página 63, sendo aqui apresentada de uma forma ligeiramente maior e com as designações equivalentes.

### *Designação dos Acontecimentos Básicos*

<b>Evento básico</b>	<b>Designação</b>
<b>A1</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T1 (ÁGUA CONTAMINADA EM T1)
<b>A2</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T2 (ÁGUA CONTAMINADA EM T2)
<b>A3</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T3 (ÁGUA CONTAMINADA EM T3)
<b>A4</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T4 (ÁGUA CONTAMINADA EM T4)
<b>A5</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T5 (ÁGUA CONTAMINADA EM T5)
<b>A6</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T6 (ÁGUA CONTAMINADA EM T6)
<b>A7</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO EM T7 (ÁGUA CONTAMINADA EM T7)
<b>A8</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NA NASCENTE (ÁGUA CONTAMINADA NA NASCENTE)
<b>A9</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NO FURO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA CONTAMINADA NO FURO)
<b>A10</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NO INTERIOR DO RESERVATÓRIO (ÁGUA CONTAMINADA NO RESERVATÓRIO)
<b>A11</b>	ÁGUA IMPRÓPRIA PARA CONSUMO NA ETA (ÁGUA CONTAMINADA NA eta)
<b>B1</b>	FALHA DE CAUDAL EM T1 (Qf em T1)
<b>B2</b>	FALHA DE CAUDAL EM T2 (Qf em T2)
<b>B3</b>	FALHA DE CAUDAL EM T3 (Qf em T3)
<b>B4</b>	FALHA DE CAUDAL EM T4 (Qf em T4)
<b>B5</b>	FALHA DE CAUDAL EM T5 (Qf em T5)
<b>B6</b>	FALHA DE CAUDAL EM T6 (Qf em T6)
<b>B7</b>	FALHA DE CAUDAL EM T7 (Qf em T7)
<b>B8</b>	FALHA DA ETA
<b>B9</b>	FALHA DO RESERVATÓRIO
<b>B10</b>	QF FALHA DE CAUDAL NA NASCENTE
<b>B11</b>	QF FALHA DE CAUDAL NO FURO DE CAPTAÇÃO

