



**Vanize Eliane Tavares Fernandes**

Licenciada em Engenharia Industrial - Instituto Politécnico de  
Castelo Branco

**USO DA DESSALINIZAÇÃO NO ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO EM  
REGIÕES COM CLIMAS ÁRIDOS OU SEMI-  
ÁRIDOS**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: António Carmona Rodrigues, Professor Auxiliar,  
FCT/UNL

Co-orientador: João Maria Matos Lopes da Fonseca, Professor  
Convidado, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Doutor David José Fonseca Pereira

Vogais: Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo

Eng.º João Maria Matos Lopes da Fonseca



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro 2013**



**Vanize Eliane Tavares Fernandes**

Licenciada em Engenharia Industrial - Instituto Politécnico de  
Castelo Branco

**USO DA DESSALINIZAÇÃO NO ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO EM  
REGIÕES COM CLIMAS ÁRIDOS OU SEMI-  
ÁRIDOS**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: António Carmona Rodrigues, Professor Auxiliar,  
FCT/UNL

Co-orientador: João Maria Matos Lopes da Fonseca, Professor  
Convidado, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Doutor David José Fonseca Pereira

Vogais: Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo

Eng.º João Maria Matos Lopes da Fonseca

**Setembro 2013**

## **COPYRIGHT**

USO DA DESSALINIZAÇÃO NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO EM REGIÕES COM CLIMAS ÁRIDOS OU SEMI-ÁRIDOS.

“© Copyright” Vanize Eliane Tavares Fernandes, FTC/UNL e UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## AGRADECIMENTOS

Ao professor António Carmona Rodrigues, que com os seus conhecimentos me disponibilizou um apoio essencial nas diversas etapas de conceção do projeto e também pelas valiosas sugestões, paciência demonstrada para a melhor realização deste trabalho.

Ao professor João Maria Matos Lopes da Fonseca, pela orientação do presente trabalho e pelas importantes sugestões que, sem ela, este trabalho não podia ser realizado com sucesso. Agradeço também a ajuda que me deu, a confiança, disponibilidade demonstrada e muita paciência demonstrada ao longo dos meses.

Ao Instituto Nacional de Estatísticas, ao Instituto de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde pelos dados da população, precipitação e temperatura disponibilizados. À minha amiga Edilene em especial a Ruth, pela força, apoio e incentivo a continuar e nunca desistir.

Um agradecimento muito especial aos meus irmãos e em especial aos meus pais que, apesar de estarem longe, apostaram sempre na minha formação e mostraram muita confiança em mim.

Ao meu namorado, pela força, compreensão, incentivo demonstrado durante a realização desta dissertação e ao meu tio pelos dados disponibilizados.



## RESUMO

O presente trabalho tem como principal objetivo desenvolver um processo de conceção preliminar tendo em vista o abastecimento de água potável à Cidade Assomada, na ilha de Santiago, Cabo Verde, a partir de uma nova estação dessalinizadora a ser instalado no Concelho de Calheta de São Miguel, na Ilha de Santiago.

Este projeto terá uma vida útil de 25 anos prevendo-se que no horizonte do projeto venha a servir um total de cerca de 16 000 habitantes para um caudal de dimensionamento de 3156 m<sup>3</sup>/dia.

O caudal de água de abastecimento será disponibilizado numa estação dessalinizadora em estudo que irá utilizar a técnica da osmose inversa e apresenta uma relação de custo-benefício ótima com baixo custo de investimento e de energia, para além de apresentar de fácil operação e manutenção.

No presente trabalho é apresentado o estado da arte relativamente à dessalinização da água do mar, e é apresentado em detalhe todo o processo a ser implementado na estação que irá servir a Cidade de Assomada.

Em complemento à estação dessalinizadora é igualmente apresentado o estudo do respectivo sistema adutor até à Cidade de Assomada, tendo em consideração critérios de natureza técnica e económica.

O dimensionamento técnico-económico teve por objetivo a escolha do diâmetro mais económico a que corresponde o menor valor do somatório dos respetivos encargos de instalação e de exploração associados.

Assim, e em resumo, o sistema de abastecimento à Cidade de Assomada será pois integrado por uma captação de água do mar através de dois furos instalados junto à costa, uma estação de tratamento de água, do tipo dessalinizadora um sistemas adutor com dois patamares de bombagem um reservatório de distribuição terminal, seguindo posteriormente a água de abastecimento diretamente para a nova rede de distribuição de toda a Cidade.

Palavras-chave: dessalinização, estação de tratamento de água, osmose inversa, Cabo Verde, Assomada, zonas áridos e semi-áridos.



## ABSTRACT

The present work has as its main objective is to develop a process of preliminary Creation in view of the supply of drinking water to the City Assomada, on the island of Santiago, Cape Verde, from a new station desalinisation plant to be installed in the County of Calheta de Sao Miguel, on the Island of Santiago.

This project will have a useful life of 25 years it is expected that on the horizon of the project will serve a total of about 16 000 inhabitants for a flow of sizing of 3156 m<sup>3</sup>/day.

The flow of the water supply will be made available in a desalinization plant in a study that will use the technique of reverse osmosis and presents a cost-benefit great with low investment cost and energy, in addition to presenting for easy operation and maintenance.

In this work it is presented the state of the art for the desalination of sea water, and is presented in detail the whole process to be implemented on the station that will serve the City of Assomada.

In addition to the desalinization station is also presented the study of its pipeline system to the Town of Assomada, taking into account criteria for technical and economic.

The sizing technical-economic objective was to the choice of the diameter more economic that matches the lower value of the sum of charges hole installation and exploitation.

Thus, in summary, the system of supply to the City of Assomada will be integrated by a abstraction of water from the sea through two holes installed along the coast, a water treatment plant, the type a desalinization systems shroud with two levels of pumping a reservoir of distribution terminal, then the water supply directly to the new distribution network throughout the City.

Keywords: desalination, water treatment, reverse osmosis, Cape Verde, Assomada, areas arid and semi-arid



## SIMBOLOGIAS E NOTAÇÕES

$A$ .....	Área da secção transversal da tubulação
$Q_a$ .....	Caudal aduzido
$C_{res}$ .....	Capacidade do reservatório
$Q$ .....	Caudal de dimensionamento
$Q_d$ .....	Caudal distribuído
$Q_v$ .....	Caudal volúmico
$Q_{ad}$ .....	Caudal de adução
$L$ .....	Comprimento da conduta
$Q_{dmax}$ .....	Consumo médio diário no dia de maior consumo
$Q_{mdmmc}$ .....	Consumo médio diário do mês de maior consumo
$C_f$ .....	Consumo fictício
$Q_{mda}$ .....	Consumo médio diário anual
$C_{exp}$ .....	Custo de exploração
$C_{inv}$ .....	Custo de investimento
$C_{global}$ .....	Custo Total
$C_{kwh}$ .....	Custo unitário médio da energia
$H_g$ .....	Desnível geométrica
$\varphi$ .....	Diâmetro
$D$ .....	Diâmetro admissível
$D_{min}$ .....	Diâmetro mínimo
$Dif_{máx}$ .....	Diferencial entre volumes aduzidos e consumidos máximo
$Dif_{mín}$ .....	Diferencial entre volumes aduzidos e consumidos mínimo
$E_{anual}$ .....	Energia consumida anualmente
$H_i$ .....	Horas do dia
$H_f$ .....	Horas do dia acumulados
$N_{HBD}$ .....	Número médio de horas de bombagem por dia
$P_{cc}$ .....	Perda de carga contínua
$j$ .....	Perda de carga unitária
$\gamma$ .....	Peso volúmico da água
$p$ .....	Pressão
$P_0$ .....	População no ano inicial
$P_n$ .....	População no ano n
$P$ .....	Potência da bomba
$\eta$ .....	Rendimento do grupo eletrobomba

---

$k$ .....	Rugosidade média da tubagem
$K_g$ .....	Taxa de crescimento da população
$T_{ad}$ .....	Tempo diário de adução
$T_{avarias}$ .....	Tempo de avaria
$T_n$ .....	Tempo no ano n
$t_0$ .....	Tempo inicial
$V$ .....	Velocidade média do escoamento
$\Delta H_g$ .....	Varição geográfica
$V_a$ .....	Volume aduzido
$V_d$ .....	Volume distribuído
$V_{avarias}$ .....	Volume consumido no tempo de avaria
<i>Diferencial</i> .....	Volume diferencial
<i>Vol. Teor</i> .....	Volume teórico do reservatório

## ABREVIATURAS

NASA.....	(do inglês “National Aeronautics and Space Administration”)
OSW .....	(do inglês “Office of Saline Water”)
ADA .....	Agência de Distribuição de Água
ARE .....	Agência de Regulação Económica
VC .....	Compressão de vapor
MVC .....	Compressão mecânica de vapor
TVC .....	Compressor térmico
CNAG .....	Concelho Nacional de Águas
ADC .....	Cooperação Austríaca para o Desenvolvimento
D .....	Diálise
DL .....	Decreto-Lei
DGIC .....	Direcção-Geral da Indústria e Comércio
DGE .....	Direcção-Geral de Energia
DGPOG .....	Direcção-Geral de Planeamento Orçamento e Gestão
DGT .....	Direcção-Geral do Turismo
MED .....	Destilação multi-efeito
MSF .....	Destilação multi-estágio por flash
ED .....	Eletrodiálise
ELECTRA .....	Empresa de Eletricidade e Água, SARL
€ .....	Euro
CVE .....	Escudos Cabo-verdianos
ETA .....	Estação de Tratamento de Água
EE1 .....	Estação Elevatória 1
EE2 .....	Estação Elevatória 2
E.U.A. ....	Estados Unidos da América
°C .....	Graus centígrados
hab .....	Habitantes
IGEA .....	Inspeção-geral das Atividades Económicas
INGRH .....	Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos
MEAC .....	Matemática da Energia e Alterações Climáticas
MF .....	Microfiltração
MADRRM .....	Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos
MTIE .....	Ministério do Turismo, Indústria e Energia
NF .....	Nanofiltração
N .....	Norte
W .....	Oeste

OMS .....	Organização Mundial de Saúde
OI .....	Osmose Inversa
SAAS .....	Serviços Autónomos de Água e Saneamento
SDTIBM .....	Sociedade de Desenvolvimento Turístico das Ilhas de Boa Vista e Maio
TDS .....	Sólidos dissolvidos totais
SSW .....	Sudoeste
UF .....	Ultrafiltração
FIC .....	Zona Franca Comercial de Cabo Verde

## ÍNDICE DE MATÉRIAS

COPYRIGHT .....	I
AGRADECIMENTOS .....	III
RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VII
SIMBOLOGIAS E NOTAÇÕES .....	IX
ABREVIATURAS .....	XI
ÍNDICE DE MATÉRIAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XV
ÍNDICE DE QUADROS .....	XVII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Considerações gerais .....	1
1.2. Objetivos e metodologias .....	2
1.3. Estrutura da Dissertação .....	3
CAPÍTULO 2 - ESTADO DO CONHECIMENTO .....	4
2.1. Conceitos da Dessalinização .....	4
2.2. Condições da Potabilidade da Água .....	6
2.3. Características Técnicas da Dessalinização .....	7
2.4. Processos da Dessalinização .....	7
2.4.1. Processos Térmicos da Dessalinização .....	8
2.4.2. Processos de Separação por Membrana .....	12
2.4.3. Fontes de Energia alternativas .....	19
CAPÍTULO 3 - ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA .....	22
3.1. Aplicação à Situação de Cabo Verde .....	22
3.1.1. Caracterização geográfica de Cabo Verde .....	22
3.1.2. Caracterização da área de estudo (Cidade de Assomada) .....	24
3.1.3. Evolução da População .....	24
3.1.4. Clima .....	25

3.1.5.	Disponibilidade de água .....	27
3.1.6.	Sistema de abastecimento de água em Cabo Verde Ilha de Santiago – Cidade de Assomada .....	28
3.1.7.	Quadro legal para o abastecimento de água .....	31
3.1.8.	Sistema de Abastecimento de Água em cada Município da Ilha de Santiago....	32
CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DE UM ESTUDO DE CONCEPÇÃO PRELIMINAR DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO À CIDADE DE ASSOMADA NA ILHA DE SANTIAGO .....		37
4.1.	Localização da área em estudo (Calheta de São Miguel – Cidade Assomada).....	37
4.2.	Estação de tratamento de Água.....	39
4.3.	Descrição Geral do Sistema Adutor .....	45
4.4.	Dimensionamento Hidráulico do Sistemas Adutores .....	45
4.4.1.	Sistema Elevatório - ETA – Cidade de Assomada.....	45
4.4.2.	Conceção Preliminar do Sistema Adutor .....	46
4.4.3.	Adutor Traçados em planta e em perfil longitudinal.....	46
4.4.4.	Dimensionamento do Sistema Adutor .....	48
4.4.5.	Determinação do diâmetro mais económico .....	56
4.4.6.	Dimensionamento económico da conduta elevatória do 1º troço .....	59
4.4.7.	Análise de investimento da conduta elevatória do 1º troço .....	63
4.4.8.	Dimensionamento económico da conduta elevatória do 2º troço .....	68
4.4.9.	Análise de investimento da conduta elevatória do 2º troço .....	72
4.5.	Características e material da tubagem.....	76
4.5.1.	Dimensionamento de reservatório de distribuição da Cidade de Assomada .....	77
CAPÍTULO 5 - SÍNTESE DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....		83
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....		87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		88
ANEXOS .....		90
Anexo A - Censo 1990 - Cidade de Assomada .....		91
Anexo B – Censo 2000 - Cidade de Assomada .....		92
Anexo C - Anexo B – Censo 2010 Cidade de Assomada .....		95
Anexo D – Sistema Adutor - Traçado em Planta.....		98
Anexo E – Sistema Adutor - Traçado em Perfil .....		99

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2

Figura 2. 1 - Disponibilidade de recursos hídricos na terra. ....	5
Figura 2. 2 - Esquema de um evaporador de múltiplos estágios flash (Peak, 1980) .....	9
Figura 2. 3 - Instalação da dessalinização por destilação por MSF .....	9
Figura 2. 4 - Esquema de um evaporador de multi-efeitos (MED) .....	11
Figura 2. 5 - Membranas em camadas finas enroladas em espiral .....	13
Figura 2. 6 - Funcionamento de membranas de osmose inversa.....	13
Figura 2. 7 - Sistema osmose inversa (Selma Jariri, 2009) .....	14
Figura 2. 8 – Esquema de um sistema Osmose .....	14
Figura 2. 9 - Esquema de um sistema Osmose inversa .....	14
Figura 2. 10 - Tratamento da água antes de passar pelas membranas .....	15
Figura 2. 11 - Sistema de funcionamento do processo osmose inversa .....	15
Figura 2. 12 - Esquema de processo de eletrodíálise .....	18

### Capítulo 3

Figura 3. 1 - Localização das ilhas de Cabo Verde. ....	22
Figura 3. 2 - Representação da Cidade da Assomada no mapa da Ilha de Santiago.....	24
Figura 3. 3 - Municípios da ilha de Santiago (Monteiro, 2013). ....	33

### Capítulo 4

Figura 4. 1 – Adutor de ligação da Cidade da Assomada a Calheta de São Miguel.....	38
Figura 4. 2 - Delimitação da Cidade de Assomada.....	39
Figura 4. 3 - Etapas de tratamento de água dessalinizada. ....	41
Figura 4. 4 - Filtro de cartucho .....	43
Figura 4. 5 - Esquema Preliminar do Sistema Adutor .....	46
Figura 4. 6 – Traçado em planta do Sistema adutor Calheta de São Miguel – Cidade de Assomada.....	47
Figura 4. 7 - Traçado em perfil do Sistema adutor Calheta de São Miguel - Cidade de Assomada.....	47
Figura 4. 8 - Evolução da população ao longo dos anos da Cidade de Assomada. ....	51
Figura 4. 9 - Evolução de taxa de crescimento da Cidade de Assomada. ....	52
Figura 4. 10 - Variação de custos com o diâmetro (Sousa J. A., 2009). ....	56
Figura 4. 11 - Conduta adutora EE1 com a representação de Hg.....	60
Figura 4. 12 - Conduta adutora EE2 com a representação de Hg.....	70
Figura 4. 13 - Ferro fundido dúctil e a Instalação da tubagem. ....	76

Figura 4. 14 - Diagrama de caudais acumulados ..... 80  
Figura 4. 15 - Diagrama de CHERRE ..... 80

**Capítulo 5**

Figura 5. 1 - Variação dos custos anuais com o diâmetro da adutora..... 84  
Figura 5. 2 - Variação dos custos anuais com o diâmetro da adutora (ee2) ..... 86

## ÍNDICE DE QUADROS

### Capítulo 2

Quadro 2. 1 - Norma de qualidade da água potável segundo OMS e UE.....	6
--	---

### Capítulo 3

Quadro 3. 1 - Representação de ilhas e ilhéus do arquipélago de Cabo Verde .....	23
Quadro 3. 2 - Topologia das ilhas do arquipélago de Cabo Verde.....	23
Quadro 3. 3 - Precipitações mensais em mm, para o período de 10 anos . .....	26
Quadro 3. 4 - Precipitações mensais em mm, para o período de 100 anos . .....	26
Quadro 3. 5 - Necessidades de água e disponibilidade, em m <sup>3</sup> /ano.....	27
Quadro 3. 6 - Distribuição dos Concelhos da Ilha de Santiago. ....	34
Quadro 3. 7 - População de cada município da Ilha de Santiago.....	34

### Capítulo 4

Quadro 4. 1 - Amostra da água Calheta São Miguel. ....	41
Quadro 4. 2 - Parâmetros de qualidade da água do mar pós-tratamento. ....	44
Quadro 4. 3 – Cálculo para projeção da população para o ano 2040. ....	50
Quadro 4. 4 – População da Cidade de Assomada (INE). ....	50
Quadro 4. 5 - Crescimento populacional ano a ano.....	51
Quadro 4. 6 - Valores da captação ao longo dos anos.....	53
Quadro 4. 7 - Características técnicas para o dimensionamento do sistema adutor .....	54
Quadro 4. 8 Caudal volúmico necessário referente a cada ano.....	55
Quadro 4. 9 - T Tubos de ferro fundido dúctil classe 1 MPa, de ponta e bolsa com junta elástica (RICHTER, 1991). ....	58
Quadro 4. 10 - Valor da rugosidade média da tubagem k, recomendado para uso na fórmula de colebrook-white em sistemas de abastecimento de água .....	59
Quadro 4. 11 - Diâmetros candidatos e altura geometrica. ....	62
Quadro 4. 12 - Energia Consumida a cada ano.....	63
Quadro 4. 13 - Encargos de exploração a cada ano. ....	64
Quadro 4. 14 - Encargos de exploração actualizados. ....	66
Quadro 4. 15 - Custos de exploração actualizados. ....	66
Quadro 4. 16 - Valores de diâmetro comprimentos e custos.....	67
Quadro 4. 17 - Custo de investimento. ....	67
Quadro 4. 18 - Custos totais, de investimento e de exploração. ....	68
Quadro 4. 19 - Diâmetros candidatos e altura total de elevação.....	70

Quadro 4. 20 -Energia Consumida a cada ano.....	71
Quadro 4. 21 - Energia Consumida a cada ano.....	73
Quadro 4. 22 - Encargos de exploração actualizados .....	74
Quadro 4. 23 - Custo da conduta.....	75
Quadro 4. 24 - Custo de investimento. ....	75
Quadro 4. 25 - Custos totais .....	76
Quadro 4. 26 - Dados iniciais para o dimensionamento do reservatório .....	78

## **Capítulo 5**

Quadro 5. 1 –Encagos de exploração, investimento e totais de EE1 .....	84
Quadro 5. 2 - Encagos de exploração, investimento e totais de EE2 .....	85

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações gerais

A área em estudo situa-se no arquipélago de Cabo Verde, cerca de 1400 km a su-sudoeste (SSW) do arquipélago das Canárias, localizado junto à Costa da África Ocidental, entre os paralelos de latitude de 14° 48' e 17° 12' Norte e os meridianos de longitude 22° 44' e 25° 22' Oeste e quase no meio do Atlântico onde a África fica mais perto da América do Sul (Pina, 2009) mais propriamente na Ilha de Santiago, concelho de Santa Catarina, Cidade de Assomada.

O abastecimento de água potável representa um dos problemas mais graves para a população desta ilha, condicionando o seu bem-estar e também o seu desenvolvimento em resultado das suas características climáticas com chuva muito raras e irregulares.

Através da dessalinização da água do mar pretende-se aumentar as disponibilidades hídricas para o abastecimento de água às populações, combatendo assim e de forma eficaz a atual escassez de água e melhorar de forma muito substancial o abastecimento público.

Em termos globais e na Ilha de Santiago existem ainda várias localidades que não dispõem de sistema de distribuição de água potável e sendo mesmo raras a que se encontram servidas por uma rede coletora de águas residuais.

Atualmente em Cabo Verde e devido à escassez de água o consumo *per capita* é muito baixo, variando entre os 40 L/(hab.dia) a 60 L/(hab.dia) em zonas centrais já servidas por redes domiciliárias, sendo de apenas 10 L/(hab.dia) a 20 L/(hab.dia) em zonas servidas por chafarizes.

Sendo reconhecidos os escassos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o aproveitamento da água do mar para o abastecimento público através das referidas centrais de dessalinização afigura-se um processo inultrapassável para assegurar o mínimo de recursos de subsistência.

Trata-se de um processo de tratamento que promove a remoção dos sais dissolvidos na água do mar ou de águas salobras para obter água com características de água adequadas para consumo humano e agrícolas.

Este processo é muito utilizada em regiões onde a água potável é escassa ou de difícil acesso, como no Médio Oriente, na Austrália e no Caribe, em navios transatlânticos e submarinos, e apresentava atualmente uma desvantagem significativa pelos encargos muito elevado que acarreta (Maurel, Junho 2006).

Segundo (Prazeres, 2006), as primeiras aplicações práticas desta tecnologia, com carácter

industrial e tendo em vista o abastecimento doméstico ocorreram em 1912, no Egipto, para uma capacidade instalada de 75 m<sup>3</sup>/dia.

As primeiras centrais dessalinizadoras com recurso à mais recente tecnologia de membranas, e recorrente ao processo de osmose inversa surgiu nos anos 70, nos E.U.A.

No ano de 1979 é instalada em Porto Santo (Portugal) a primeira dessalinizadora de água do mar deste tipo na Europa (Prazeres, 2006).

## 1.2. Objetivos e metodologias

O presente trabalho apresenta um caso prático de recurso à dessalinização para o abastecimento de água para o consumo humano numa região com clima árido ou semi-árido.

Este processo cuja conceção preliminar é objeto de apresentação detalhada poderá vir a ser instalado na Ilha de Santiago, Concelho de Calheta de São Miguel para a produção da água potável para abastecimento.

Associado a este processo de produção industrial de água potável a partir da água do mar, foi previsto um sistema adutor de transporte de água para a Cidade de Assomada.

Pelos desníveis geográfico existente, o problema dos respetivos encargos energéticos assume importância pouco habitual, pelo que todo o sistema adutor foi objeto de um pormenorizado estudo, tendo em vista a procura da solução mais económica.

O trabalho teve pois início com uma pesquisa bibliográfica sobre a temática da dessalinização da água do mar, constituindo esta na recolha e análise de artigos científicos em revistas especializados, leitura de dissertações de mestrado e doutoramento, consulta de informações na internet, sites e outras publicações relacionadas com o tema.

Seguidamente procedeu-se ao estudo bibliográfico sobre a técnica dessalinização história, qual a sua finalidade na potabilidade da água, as tecnologias já existentes com vista a verificação a nível técnica e económica, um estudo de conhecimentos referindo os processos térmicos da dessalinização, processos de separação por membrana e outros processos e também em termos de custos qualidade da água e custos qualidade serviço.

Fez-se de seguida um estudo da situação atual de Cabo Verde em relação ao sistema abastecimento de água tendo em vista conta o enquadramento da implementação deste tipo de solução.

Tendo em consideração o processo mais recentemente e com desenvolvimento industrial são apresentadas a arquitetura da solução que se prevê vir a ser implementada para a alimentação da Cidade de Assomada.

Por fim procedeu-se ao desenvolvimento do estudo técnico-económico detalhado do sistema adutor de transporte dos caudais dessalinizados para o abastecimento da população da Cidade de Assomada.

### 1.3. Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, a saber: Introdução; Síntese do Conhecimento; Enquadramento do Problema, Avaliação da Viabilidade Técnica e Económica do Sistema Adutor Desenvolvido; Síntese de Avaliação dos Resultados, e por fim, As Conclusões, os quais, por sua vez, se podem ainda apresentar divididos em Secções e Subsecções de forma a facilitar a sua leitura e compreensão.

Na **introdução**, Capítulo 1, apresentam-se as considerações gerais, os objetivos do trabalho, as metodologias utilizadas e a organização do trabalho.

No Capítulo 2 refere-se à **síntese do conhecimento**, são abordados os conceitos da dessalinização, a sua história, e qual a sua finalidade na potabilidade da água, analisadas as condições de potabilidade da água, as tecnologias disponíveis para a produção de água potável e as suas características tecnológicas e de custos, são referenciadas todas as técnicas de dessalinização da água. Será apresentada uma breve síntese das tecnologias existentes para a dessalinização com vista à sua avaliação a nível técnica e económica, e, por fim, um estudo dos conhecimentos referindo os processos térmicos da dessalinização, processos de separação por membrana e outros processos.

No Capítulo 3 serão feitos um **enquadramento do problema** no que diz respeito ao sistema de abastecimento de água em Cabo Verde. Verificação de abastecimento de água em cada município.

No capítulo seguinte irá ser feita a **avaliação da viabilidade técnica e económica do sistema adutor desenvolvido** em Cabo Verde. Verificação de possíveis técnicas para a diminuição do custo final da água de consumo.

No capítulo final destina-se à apresentação das **conclusões** do trabalho e apresentação e discussão de resultados.

## **CAPÍTULO 2 - ESTADO DO CONHECIMENTO**

### **2.1. Conceitos da Dessalinização**

A dessalinização é um processo contínuo e natural que se manifesta como um sistema físico, fechado, sequencial e muito dinâmico. Um processo de tratamento destinado a remover os sais dissolvidos em água do mar para obter água com características de água para consumo humano e agrícolas.

Os Gregos e Romanos utilizaram a dessalinização para a obtenção de água doce com o recurso a métodos primitivos. No Século XVI a dessalinização da água do mar começou a tornar-se importante nos com o desenvolvimento dos transportes marítimos.

Mas também esta tecnologia de obtenção de água doce, foi equacionada para regiões ameaçadas com a escassez regular da água como por exemplo: na Ilha de Chipre, na Ilha de Páscoa, na Ilha Fernando de Noronha, onde os recursos hídricos terrestres se apresentavam muito escassos.

Um forte desenvolvimento da dessalinização ocorreu nos anos 40, durante a Segunda Guerra Mundial, quando vários estabelecimentos militares, em regiões áridas, precisaram da água para abastecer os seus soldados (Sousa L. F., 2006).

O Governo Americano criou o Office of Saline Water (OSW), no princípio dos anos 50 e financiou seu desenvolvimento por mais de 30 anos, despendendo cerca de 300 milhões de dólares no processo, o que ajudou na concretização da investigação básica e no desenvolvimento de diferentes tecnologias para dessalinização das águas do mar (Sousa L. F., 2006).

Esta tecnologia assume na enorme importância, quando no planeta Terra, as águas que cobrem cerca de 3/4 da superfície, 97% são salgadas, isto é, apresentam um total de sólidos dissolvidos que as tornam impróprias para consumo humano ou irrigação (Val S. Frenkel, 2011).

A Figura 2.1 apresenta a disponibilidade da água potável existente em todo o planeta segundo (Val S. Frenkel, 2011)

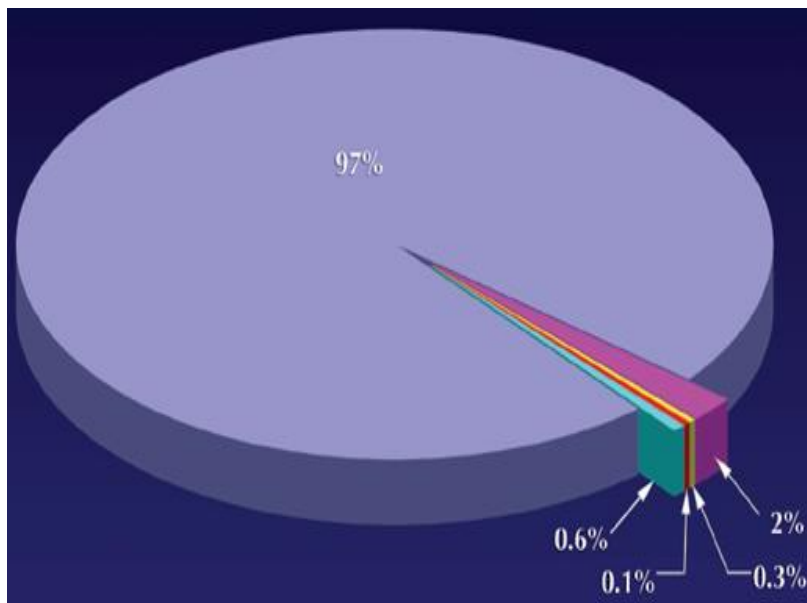


Figura 2. 1 - Disponibilidade de recursos hídricos na terra.

De acordo com a Figura 2.1, a água do mar ocupa a maior parte do planeta:

- 97% no oceano;
- 0,6% de água subterrânea a uma profundidade maior que 2,6 m;
- Rios e lagos com 0,1%;
- Atmosfera 0,3%;
- 2% são os gelos nos polos.

Devido à ação da energia solar, ocorre a evaporação de um grande volume de água dos oceanos, dos mares e dos continentes. Os sais permanecem na solução e os vapores por condensação, vão formar as nuvens, as quais originam as chuvas e outras formas de precipitação. Esta água potável, por gravidade, volta aos oceanos e mares, alimentando os rios, os lagos, as lagoas, que, devido à dinâmica do processo, formam uma nova carga salina e, assim, todo o ciclo continua.

A grande dificuldade do processo de dessalinização é conseguir diminuir o custo final da água potável para que esta possa estar disponível em quantidades suficientes até nas regiões onde ela é escassa, visto que, este processo consome grande quantidade de energia e depende de plantas de produção com elevado custo e específicas. Tem sempre um custo mais elevado em relação a água potável de rios ou subterrânea.

## 2.2. Condições da Potabilidade da Água

A potabilidade da água do mar pressupõe a redução do teor de sais dissolvidos até um limite que possibilite a sua utilização doméstica, agrícola e industrial.

As condições da potabilidade são aquelas que indicam a sua boa qualidade para o consumo humano e que não apresenta o risco para a saúde pública.

Existem normas nacionais e normas internacionais a serem cumpridos para a sua comercialização e disponibilidade ao público bem como com qual índice deverá ser fornecido pela estação de tratamento local para que chegue à rede de distribuição para o abastecimento.

Em Cabo Verde a qualidade da água é definida de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), um guia sobre a qualidade da água potável.

O tratamento da água dessalinizada afeta muito a qualidade da água porque é altamente desmineralizada por esse motivo fica extremamente agressiva para a rede de distribuição de água podendo promover a corrosão e, por conseguinte a suspensão ou dissolução dos metais.

Em Cabo Verde, segundo a OMS o valor máximo admissível (VMA) para a salinidade total pode ir até 1000 mg/L mas geralmente o valor máximo recomendado (VMR) é de 400 mg/L.

O Quadro 2.1 mostra o papel fundamental das diretrizes da OMS e União Europeia (EU) para qualidade da água potável. A salinidade máxima de água potável é de 1000 mg/L em sólidos totais dissolvidos (TDS), e 0,5 mg/L de boro segundo OMS.

Parâmetros	OMS	UE
Inorgânicos		0,2
Alumínio	0,2	0,5
Amônia	1,5	0,005
Arsênico	0,01	0,01
Bário	0,7	
Boro	0,5	1
Cádmio	0,03	0,005
Cloreto	250	250
pH		6,5-9,5
Selênio	0,01	0,01
Prata		
Sódio	200	200
Sulfato	250	250
Sólidos totais dissolvidos	1 000	
Urânio	0,002	
Zinco	3	
Antimônio	0,005	
Orgânicos		
Tetracloro de carbono	0,002	

Quadro 2. 1 - Norma de qualidade da água potável segundo OMS e UE.

OMS – Organização Mundial de Saúde

UE – União Europeia

(Nota 1) Unidade: mg /L, exceto especificado.

(Nota 2) 0,5 mg/L de boro na OMS diretriz é valor provisório

(Nota 3) padrão da EU, TDS não é indicado

### **2.3. Características Técnicas da Dessalinização**

Para o desenvolvimento do processo de dessalinização é muito importante conhecer as características químicas da água do mar a ser utilizada, a temperatura, a superfície de transferência, o local e material de construção, os custos e o impacto ambiental.

A dessalinização apresenta-se sérios impactos ambientais nas áreas da implantação sendo o principal deles é a sua implantação no meio ambiente como também expressivas necessidades de energia, descarga de concentrado de salmoura no mar ou no solo, a utilização de produtos químicos para limpar as membranas, restos de metais pesados e não existem legislação específica sobre a potabilidade da água desses tratamentos.

Este processo apresenta-se ainda alguns impactos em termos de custos de energia e também alguns impactos ambientais, alguns problemas desde a construção, implantação e funcionamento, ou seja, a poluição sonora, a poluição do ar (evaporadores, caldeira, motores, etc), a poluição da água (mar e lençóis freáticos, salmoura, descarga limpeza, etc), a poluição dos solos (descarga limpeza de óleos e sais) e também impactos nas zonas costeiras que são detetados na qualidade do ar e aparência, a nível da pesca comercial e de recreio, na construção das espécies e habitats na terra e no mar, nos recursos marinhos, na navegação, nos acessos etc.

### **2.4. Processos da Dessalinização**

As tecnologias da dessalinização vem se desenvolvendo ao longo dos anos cada vez mais, seja pelos avanços das tecnologias em uso de modo a obter melhorias nos equipamentos e ou de aumentar a eficiência de ciclo em questão com a respetiva melhoria do montante do produto obtido seja pela redução dos respetivos custos. Visto que a energia é um fator indispensável na viabilidade da instalação, os estudos tem apontado melhorias nesta questão produto/energia de forma a reduzir cada vez mais os custos para a produção da água potável. Diminuindo os custos em relação a energia para a produção da água aumenta a produtividade.

Os processos de dessalinização são divididos em duas categorias principais: Os processos de dessalinização são divididos em duas categorias principais:

- Processos de destilação que exige uma mudança de fase de evaporação/condensação, e

- Processos de membrana (filtração) e outros (DAFF - Agriculture, Fisheries & Forestry).

A capacidade do tratamento com a tecnologia de membranas pode ser adaptada de acordo com a utilização pretendida as grandes instalações com capacidade para mais de 5000 m<sup>3</sup>/dia.

A seguir são apresentadas as características de cada uma desses processos bem como as funcionalidades, vantagens e algumas outras informações.

### **2.4.1. Processos Térmicos da Dessalinização**

O processo térmico da dessalinização é a técnica mais antiga utilizada para produzir pequenas quantidades de água fresca, no qual se promove um ciclo de evaporação e condensação da água similar ao que ocorre naturalmente. A água do mar é aquecida a uma determinada temperatura e o vapor resultante é arrefecido até sua condensação, precipitando-se em forma de água dessalinizada.

Os processos térmicos da dessalinização mais utilizados e que são suscetíveis de ser acoplado a uma fonte de energia solar são os seguintes:

- Destilação solar ou humidificação solar
- Os processos convencionais de destilação, tais como multi-estágio flash, multi-efeitos, compressão de vapor

A seguir são apresentadas o modo de funcionamento e as suas respectivas vantagens e inconvenientes para cada um dos processos.

#### **Destilação Solar ou Humidificação**

Na humidificação ou destilação solar o processo de vaporização da água é realizado com intervenção da energia da radiação solar e normalmente a temperaturas inferiores à temperatura de vaporização da água à pressão atmosférica num invólucro fechado coberto com vidros.

É um processo muito simples, confiável e não requer qualquer manutenção, utilizado apenas para produzir pequenas quantidades de água em média de 4 a 6 L/ (dia.m<sup>2</sup>). O número de destiladores depende da quantidade da água que se deseja produzir.

A primeira construção deste tipo de destiladores foi realizada em 1872 em Las Salinas (Chile) com uma área de 4700 m<sup>2</sup> e uma produção de 23 m<sup>3</sup>/dia de água potável. Na Tunísia, uma central de dessalinização foi construída em 1929 perto de Ben Gardanne para apoiar soldados militares francesas.

### Destilação Multi-Estágios por flash (MSF)

A destilação multi-estágios por flash (MSF) consiste no aquecimento de água do mar a uma determinada pressão e uma temperatura máxima admissível de 120°C. A água é introduzida numa câmara a pressão reduzida, onde ocorre a sua vaporização imediata, utilizam-se de seguida vapor a alta temperatura para fazer a água do mar entrar em ebulição. Por ser multi-estágios a água passa por diversas células de ebulição/condensação, garantindo um elevado grau de pureza. Neste processo, a própria água do mar é usada como condensador da água que é evaporada. Dessa forma, a água salgada remanescente entra novamente em ebulição instantânea, e assim por diante durante  $n$  estágios (multi-estágios).

A vaporização da água é atingida por sucessivas expansões em uma série de estágios pressões cada vez mais reduzida. Pode ser encontrado até 40 fases sucessivas, de um industrial destilação multi-estágios por flash (Val S. Frenkel, 2011).

Nas Figuras 2.2 e 2.3 estão apresentadas o princípio de funcionamento de um sistema por destilação multi-estágios por flash (MSF) e um exemplo de instalação deste processo de destilação.

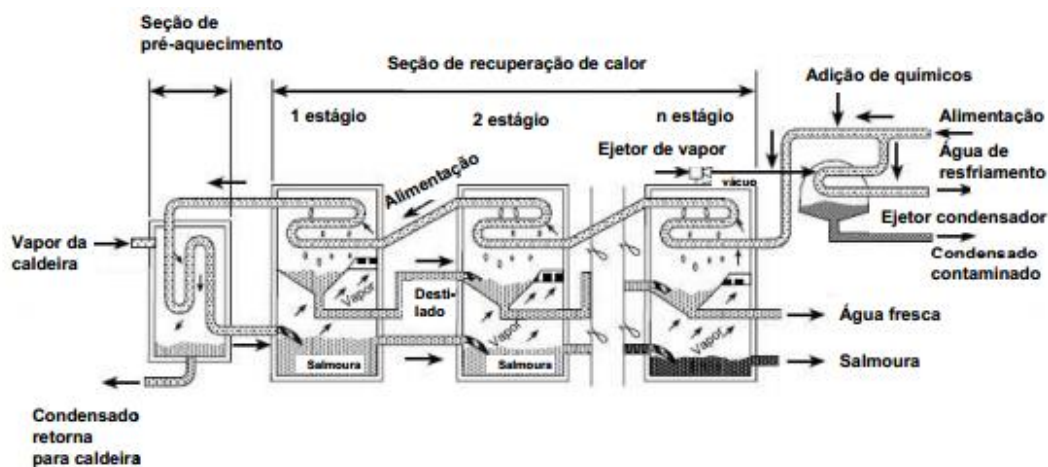


Figura 2. 2 - Esquema de um evaporador de múltiplos estágios flash (Peak, 1980)



Figura 2. 3 - Instalação da dessalinização por destilação por MSF

Este processo apresenta um elevado custo de energia devido ao calor latente de vaporização da água, por isso, requer muito conhecimento técnico e o uso de produtos químicos, tais como os ácidos para a produção de água potável.

A grande vantagem deste processo é que a evaporação da água do mar não ocorre à volta dos tubos de aquecimento, porque o líquido " flash " é que limita o risco de escala. É utilizada a energia térmica para abastecer a caldeira e esta recupera-se a partir do vapor de baixa pressão para a saída de uma central de turbina.

Este processo é utilizado para capacidades muito grande de várias centenas de milhares de  $m^3$  de água dessalinizada por dia por exemplo no Golfo. O fornecimento de água é todavia com um pequeno resíduo de sal e com um elevado custo energético ( $\approx 10kWh/m^3$ ) (Ferreira, 2008).

### **Destilação Multi-Efeitos (MED)**

Um evaporador (MED) consiste em várias células consecutivas (multi-efeitos) mantidas em níveis decrescentes de pressão e temperatura, da célula mais quente para a célula mais fria, em cada estágio subsequente, fazendo com que não seja necessária adição de mais calor nas sucessivas ebulições da água de alimentação.

A evaporação da água ocorre em uma área de troca de calor, em contraste com o método anterior, onde é ministrado pela expansão em fases sucessivas. O calor transferido através desta área é fornecida quer por vapor produzido, por uma caldeira ou uma água quente de um permutador de calor.

O vapor vai passar por uma série de tubos onde irá se condensar e aquecer a superfície do tubo, fazendo com que haja transferência de calor superficial entre a parede de tubo e a água de alimentação, a qual é fornecida por meio de rega na parte superior do destilador. A água do mar evaporada encontra-se com menor quantidade de sal e ligeiramente mais fria saindo por cima do evaporador, entretanto no segundo estágio a sua energia irá evaporizar a restante quantidade da água de alimentação e assim será feito estágio a estágio, separada por duas partes em que uma contém salmoura e outra contém água potável produzida com baixo teor de sal. (DAFF, 2002). Na Figura 2.4 está representado o modo de funcionamento de um sistema de evaporadores multi-efeitos (MED):

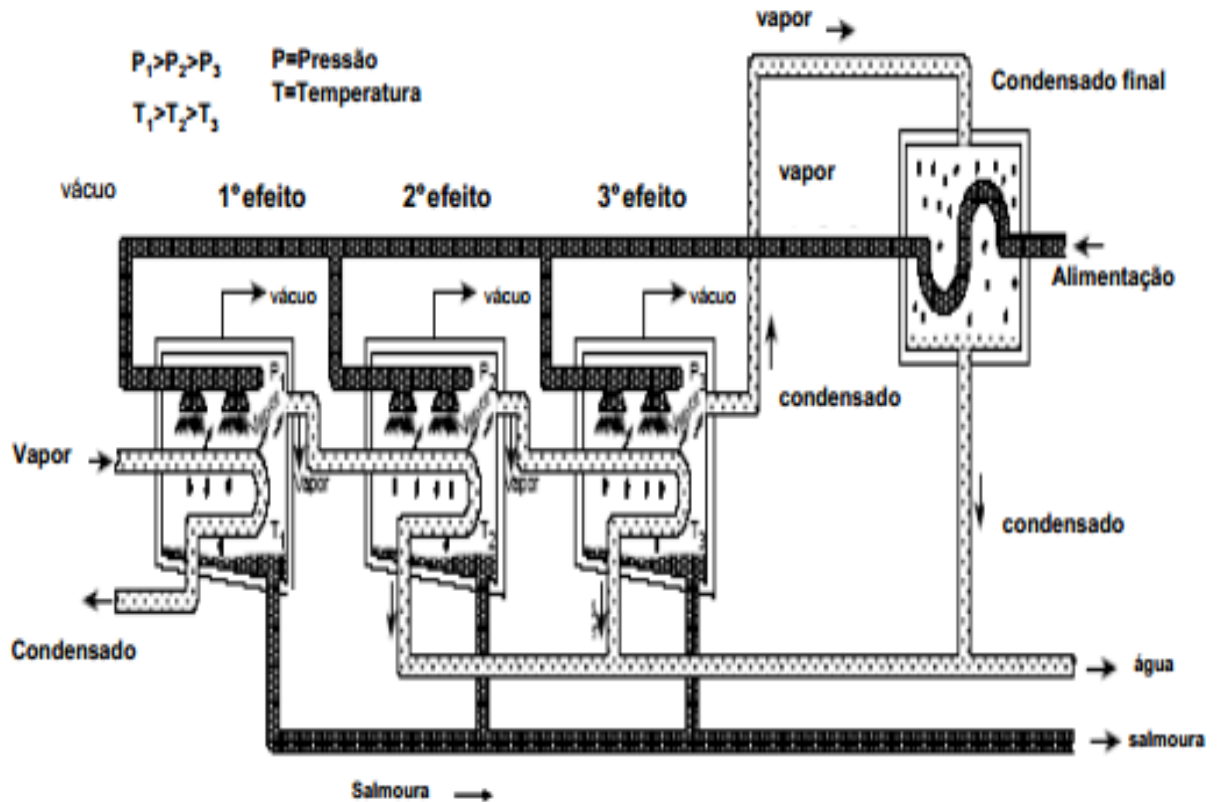


Figura 2. 4 - Esquema de um evaporador de multi-efeitos (MED)

Para limitar o consumo de energia térmica é possível utilizar a compressão de vapor mecânica no caso de evaporação efeito simples ou múltiplos. O vapor produzido no último efeito ou no efeito exclusivo (por pequenas unidades) é absorvido por um compressor. Após a compressão a temperatura de saturação do vapor de alta pressão é maior.

A grande vantagem deste processo em relação aos outros que utilizam a energia solar direta, é que, este utiliza um tanque de armazenamento que permite funcionar durante períodos de ausência ou radiação solar insuficiente. Este sistema proporciona uma água muito boa mas com um elevado custo de energia.

### **Compressão de Vapor (VC)**

A compressão de vapor (VC) é uma tecnologia de dessalinização fiável sendo utilizada para tratar grandes quantidades de água com uma grande concentração de sal. É geralmente utilizada para unidades de dessalinização de água marinha em larga e média escala. A água a tratar é primeiramente pré-aquecida a uma temperatura de 60 °C a 100 °C (Ferreira, 2008).

O calor necessário para vaporizar a água que entra no destilador resulta da compressão do vapor que é feita para condensar a água vaporizada. Este processo consiste no sobreaquecimento do vapor saturado produzido na evaporação com fornecimento de energia, a

fim de aumentar a sua temperatura de saturação. A condensação de vapor sobreaquecido pode promover a vaporização da água na câmara de evaporação com a consequente recuperação parcial do calor latente e do trabalho de compressão. O processo pode ser único ou com vários efeitos. O vapor produzido no efeito é comprimido mecanicamente ou por termo compressão antes de entrar no condensador e realizar a troca de calor no evaporador. Este sistema consegue fornecer água potável com um custo de energia específico da ordem dos ( $\approx 5kWh/m^3$ ) (Ferreira, 2008).

## 2.4.2. Processos de Separação por Membrana

As membranas desempenham um papel muito importante na separação dos sais nos processos naturais de diálise e osmose.

Estes princípios naturais foram adaptados a dois processos comercialmente importantes de dessalinização: eletrodialise (ED) e a osmose inversa (OI). Um elevado número de sistemas de dessalinização adicionam unidades de filtros antes das membranas para remover contaminantes que afetam o funcionamento do filtro de longo prazo. Os sistemas de filtros incluem microfiltração, nanofiltração, ultrafiltração (Val S. Frenkel, 2011).

### Osmose Inversa (OI)

A palavra osmose deriva de uma palavra do grego (osmós) e significa impulso. Tem sido utilizada desde a década de 60 pela NASA (National Aeronautics and Space Administration).

É uma das técnicas da dessalinização que teve maior crescimento e com maior número de instalação.

Este processo é um processo para a separação de água e sais dissolvidos por meio de membranas semipermeáveis sob ação da pressão que varia entre 54 bar a 80 bar para o tratamento da água do mar, dependendo da temperatura e da salinidade a que a água se encontra. As membranas são constituídas em camadas finas enroladas em espiral, isto é, consiste em folhas planas seladas em forma de envelope e enroladas em espiral, assim como está representada na Figura 2.5 e Figura 2.6 (Lenntech, 1993).

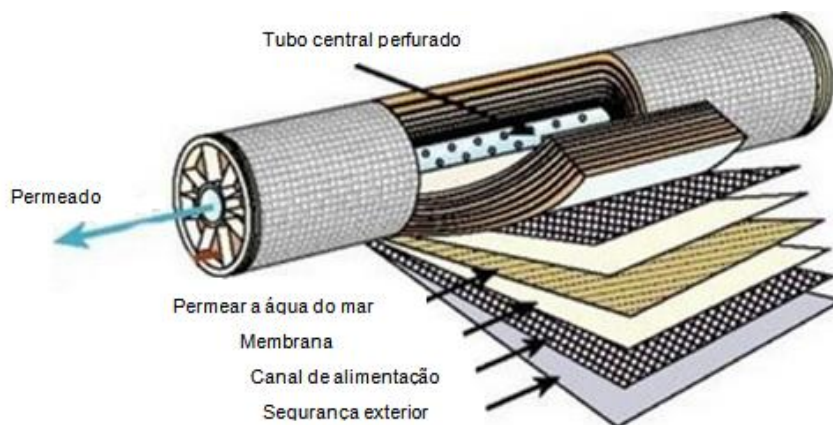


Figura 2. 5 - Membranas em camadas finas enroladas em espiral



Figura 2. 6 - Funcionamento de membranas de osmose inversa

As membranas semipermeáveis permitem apenas a passagem de moléculas de água, que não da maioria das impurezas encontradas nas águas do mar ou subterrâneas. A água (solvente) da solução menos concentrada tenderá a passar para o lado da solução de maior salinidade. Com isto, esta solução mais concentrada, ao receber mais solvente, se dilui, num processo impulsionado por uma grandeza chamada "pressão osmótica", até que as duas soluções atinjam concentrações iguais. Este processo ocorre quando aplica-se uma pressão no lado da solução mais salina ou concentrada, revertendo-se a tendência natural. Neste caso, a água da solução salina passa para o lado da água pura, ficando retidos os iões dos sais nela dissolvidos. O caudal de descarga de água dessalinizada corresponde entre 20% a 70% do caudal de entrada (Val S. Frenkel, 2011).

Depois das membranas de osmose inversa, há uma queda de pressão de cerca de 0,5 bar – 1,0 bar dependendo do número de elementos por tanque de pressão, por isso, o concentrado é libertado a elevada pressão. Utilizando um recuperador de energia é possível utilizar a energia previamente do fluxo de concentrado em que este é direcionado para o dispositivo de recuperação de energia, onde a sua energia é diretamente transferida para o caudal de alimentação de água. A Figura 2.7 mostra um exemplo do sistema osmose inversa.



Figura 2. 7 - Sistema osmose inversa (Selma Jariri, 2009)

Este processo funciona à temperatura ambiente e não envolve mudança de fase, começa a partir do princípio de osmose.

A osmose é a passagem de água do meio menos concentrado para o mais concentrado através de uma membrana semipermeável como mostra a Figura 2.8.

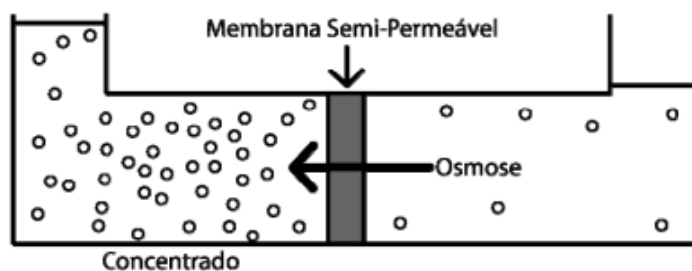


Figura 2. 8 – Esquema de um sistema Osmose

É aplicada uma pressão superior à pressão osmótica da solução, no entanto, a água passa através de uma membrana semipermeável e os sais são retidos na zona mais concentrada. O fluxo decorre em sentido inverso ao processo natural (Figura 2.9).

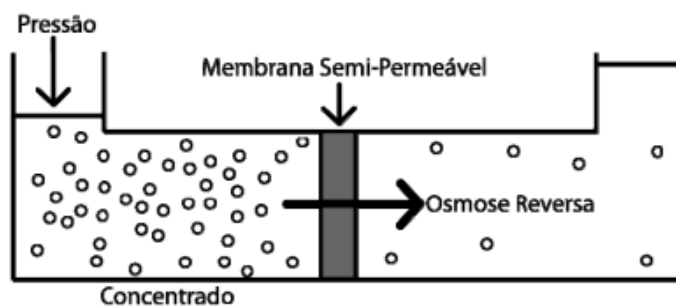


Figura 2. 9 - Esquema de um sistema Osmose inversa

Antes da água do mar entrar no sistema de membranas de osmose inversa, esta é previamente tratada e pressurizada pela bomba de alta pressão (Figura 2.10).

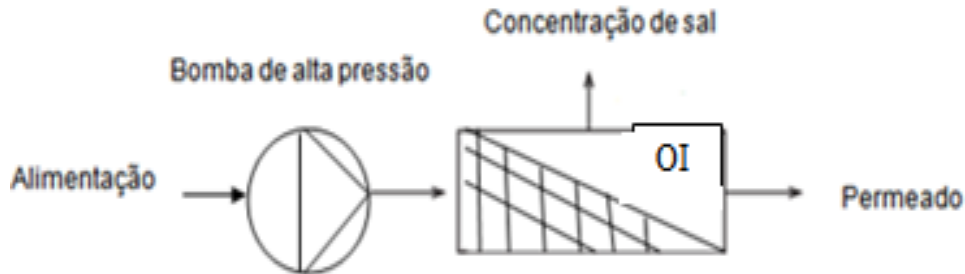


Figura 2. 10 - Tratamento da água antes de passar pelas membranas

A Figura 2.11 representa o processo de osmose inversa desde o pré-tratamento até ao pós tratamento.

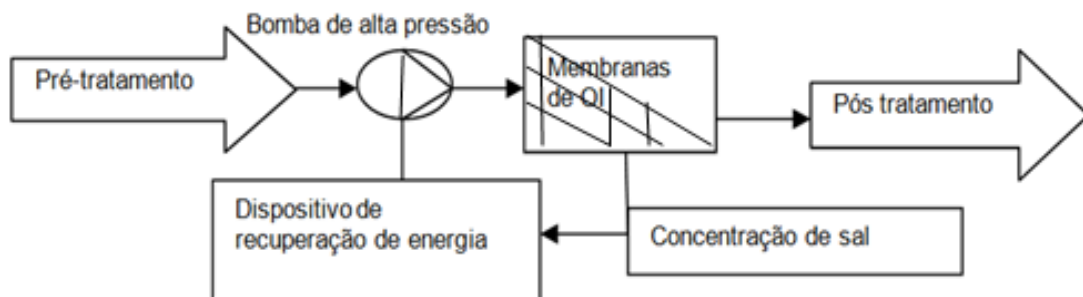


Figura 2. 11 - Sistema de funcionamento do processo osmose inversa

A água de mar antes de passar pela bomba de alta pressão será sujeita a um **pré-tratamento** para remover as partículas em suspensão, a fim de prevenir a formação de precipitados carbonatados junto às membranas.

O pré-tratamento é um fator crítico na operação de um sistema de membranas de osmose inversa porque estas são sensíveis à contaminação. Geralmente inclui a esterilização da água de alimentação, a filtração e a adição de produtos químicos para evitar a escamação e bio-incrustação de facto é importante eliminar ou minimizar a contaminação, a descamação e a degradação da membrana.

Através da **bomba de alta pressão**, a água de alimentação pré-tratada é forçada a fluir através da superfície das membranas. A pressão dependendo da solução a ser verificada, pode atingir valores em torno de 15 a 80 bar. No caso da água do mar, por exemplo, a pressão osmótica está em torno de 25 bar e para produzir água potável, usualmente, emprega-se pressões de operação que chegam a 40 bar. Os processos para remoção de íons dissolvidos podem ser classificados em três tipos:

- Osmose inversa de alta pressão (56 a 105 bar)
- OI de baixa pressão (14 a 42 bar)
- Nanofiltração (ou Osmose inversa aberta, 3 a 14 bar).

A Osmose inversa de alta pressão é bastante utilizada quando se requer a rejeição de grandes compostos inorgânicos, enquanto a Osmose inversa de baixa pressão quando se desejam rejeições moderadas de compostos orgânicos com baixa massa molar.

Parte da alimentação de água do produto ou do permeado de água passa através da **membrana de Osmose inversa**, que remove a maior parte dos sólidos dissolvidos. A parte restante, em conjunto com os seus sais rejeitadas, resulta a partir dos módulos de membrana de alta pressão como uma rejeição da concentração de sal

O sistema de **pós-tratamento** consiste na esterilização, estabilização e enriquecimento mineral da água. Tendo em conta que a unidade de Osmose inversa opera à temperatura ambiente, os problemas de corrosão e de dimensionamento serão diminuídos em comparação com os processos de destilação.

Em geral, a seleção apropriada de pré-tratamento e manutenção da membrana adequada são críticos para a eficiência e a vida útil do sistema. O sistema de osmose inversa apresenta as seguintes vantagens:

- Baixo custo de investimento. Tende -se a crescer cada vez mais, pois tem um grande interesse em termos de custos de investimentos, consumos de energia e qualidade da água produzida:
- Por utilizar o processo de separação por membranas, a quantidade de energia necessária para extrair os sais é muito menor, que a exigida pelo processo de destilação:
- Possibilita a eliminação de bactérias, vírus, fungos e outros agentes causadores de doenças, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das populações:
- Simplicidade de operação. Contém poucos componentes, plásticos e materiais duráveis não metálicos e ar usado principalmente - pré-tratamento da água de alimentação para evitar a contaminação da membrana.
- Baixo consumo de produtos químicos limpeza:
- De construção modular.

Como qualquer sistema, este também apresenta desvantagens. A água produzida por este processo contém minerais incluindo alguns alcalinos tal como magnésio e cálcio o seu pH será mais ácida, por conseguinte é necessário a remineralização após o tratamento para ser segura para consumo.

Estas características da água reduzem a vida útil das membranas e normalmente consegue ter 3 anos de vida útil para uma membrana bem conservada. Todo isto porque a água do mar por ser desmineralizada é muito agressivo e corrosivo para os tubos, muitas perdas de água e é muito importante a energia consumida pela bomba de reforço.

Será ainda necessária a interrupção do processo durante os períodos de maior agitação marítima por ocorrer o aumento da quantidade de sólidos em suspensão na água.

A exigência de um elevado nível de qualidade de materiais e equipamento para o funcionamento da instalação, é necessário manter um extenso inventário de peças de reposição, a maioria das falhas nos sistemas de osmose inversa são causados pela água de alimentação que não foi tratada de forma satisfatória.

É necessário ter alguns cuidados no pré-tratamento da água especialmente se haver variações de qualidade da água de alimentação. A estação dessalinizadora funciona em altas pressões e por esse motivo deriva-se algumas falhas mecânicas do equipamento.

A fonte de energia mais vulgarmente utilizada é a eletricidade. O processo gasta alguma água, cerca de 2 m<sup>3</sup> de água do mar para produzir 1 m<sup>3</sup> de água para o consumo humano;

### **Ultrafiltração (UF)**

O novo sistema de membrana de ultrafiltração oferece uma filtração de 0,1  $\mu m$  a 0,01  $\mu m$ . As instalações de ultrafiltração são utilizadas para separar macromoléculas e as partículas não dissolvidas na faixa de 0,002 a 0,1  $\mu m$ , como coloides, proteínas, bactérias, vírus e outras moléculas orgânicas e inorgânicas grandes.

É um sistema da baixa pressão, bem adaptado e económico para a produção de água industrial.

### **Microfiltração (MF)**

É um processo idêntico à ultrafiltração e remove partículas na faixa de 0,1 a 1  $\mu m$  geralmente partículas suspensas e colóides são rejeitados, enquanto macromoléculas e sólidos dissolvidos passam através das membranas. Também permite a passagem para além da água e sais dissolvidos como também macromoléculas.

### **Nanofiltração (NF)**

A nanofiltração compreende a um processo de membranas especiais, em que as partículas situam-se na faixa de 10 angströms ( $1,0 \times 10^{-10} m$ ).

É um processo similar à ultrafiltração mas com menor uso de conteúdo energético que a osmose inversa.

Todas as moléculas orgânicas com elevado peso molecular são rejeitadas.

Os sais dissolvidos constituídos por aniões monovalentes (quando o átomo neutro recebe um eletrão) tem taxas de rejeição da ordem de 20% a 80%, enquanto os constituídos por aniões bivalentes (apresenta dois eletrões a mais, que o número de protões) possuem taxas de rejeição da ordem de 90% a 98%.

### Diálise (D)

Neste processo a força que move o sistema é uma diferença de concentrações entre os lados da membrana fazendo com que apenas material de baixa massa molecular atravesse a membrana.

As membranas de diálise em comparação com as de osmóticas são impermeáveis à água.

### Eletrodiálise (ED)

O processo de eletrodiálise (ED) consiste basicamente na transferência de íons da água a ser dessalinizada através de membranas de cátions e aniões para um fluxo de concentrado conforme mostra a figura seguinte. Utiliza-se uma força motriz para transferir espécies iônicas a partir da fonte de água através de cátions (íons carregados positivamente) e aniões (íons carregados negativamente) para um fluxo de águas residuais concentrado, criando um fluxo mais diluída. Os íons positivos ou cátions ( $\text{Na}^+$ ) são atraídas para o elétrico negativo ou enquanto os íons negativos ( $\text{Cl}^-$ ) são atraídos pelo elétrico positivo de acordo com a Figura 2.12.

Este é um processo físico-químico utilizado para o tratamento em água sanitária e é adequado apenas para a preparação de quantidades relativamente pequenas de água.

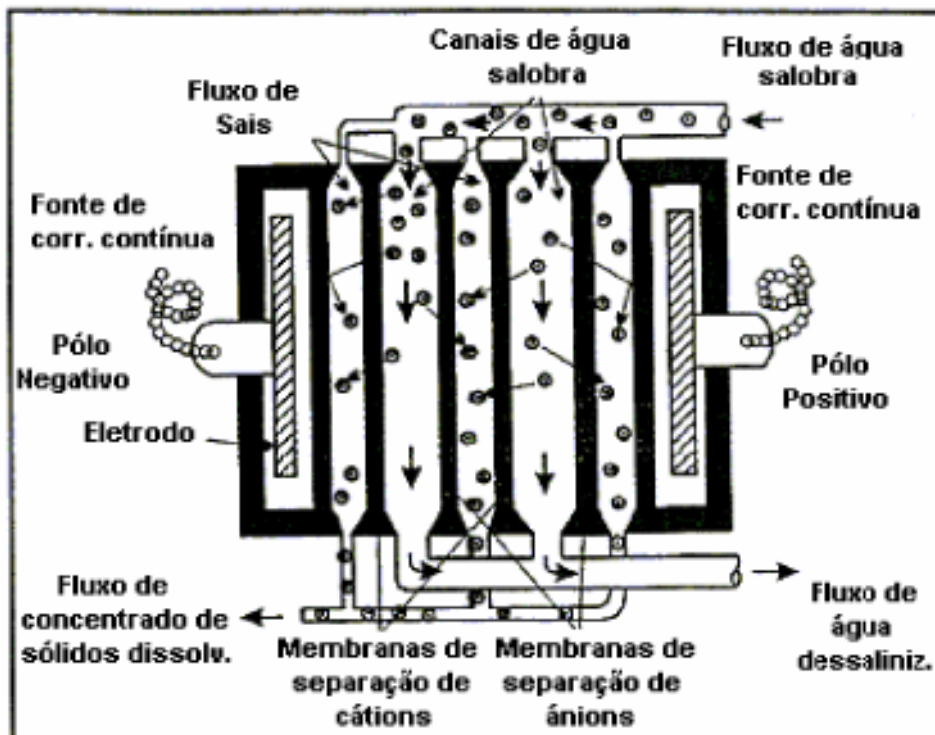


Figura 2. 12 - Esquema de processo de eletrodiálise

É aplicado uma corrente elétrica onde se dá a migração de íons para o eletrodo. Este sistema tem muita eficiência energética e pouca capacidade. É um grande consumidor de energia, o que torna sua aplicação solar possível, apenas para água com salinidade muito baixa. A principal desvantagem deste sistema é a produção de lixívia, resíduos e poluentes pesados.

As membranas utilizadas na eletrodialise permitem a passagem de íons, mas são à prova de água. É exatamente o oposto para as membranas utilizadas em osmose reversa.

Quando comparada à destilação convencional, a eletrodialise é mais abrangente, uma vez que este método tem limitações em relação a alguns compostos, por exemplo, orgânicos voláteis, cuja temperatura de ebulição é menor do que a da água.

### **2.4.3. Fontes de Energia alternativas**

Dado o elevado consumo energético que o processo de dessalinização acarreta, a utilização de fontes alternativas de energia é assunto que merece especial atenção na análise do processo.

Neste parágrafo são referidas fontes alternativas de energia que deverão merecer particular atenção no âmbito do processo de dessalinização, se bem que não tenham interferência directa no seu esquema intrínseco.

A opção por energia renovável apropriada depende de uma série de fatores, incluindo o tamanho da instalação, a salinidade da água de alimentação, a sua localização, a disponibilidade de rede elétrica, as infra-estruturas técnica, e do tipo e potencial dos recursos locais de energia renovável.

Esta tecnologia é economicamente promissora para regiões afastadas, onde a ligação à rede elétrica pública é ou não rentável ou viável, e onde existe muita escassez da água.

A energia solar fotovoltaica, a energia eólica, geotérmica etc., poderiam ser utilizados como fornecedores de energia para os sistemas de dessalinização.

#### **Energia Fotovoltaica**

A energia solar fotovoltaica é uma forma de gerar energia elétrica através da conversão da radiação solar. É uma energia limpa e amiga do ambiente. Por ser uma fonte de energia renovável, tem diversas aplicações e inerente às suas aplicações.

Esta técnica apresenta muitas vantagens porque o sol é uma fonte de energia, limpa, sem fontes de poluição e calor inesgotável, logo a maioria da luz solar que chega à Terra pode ser convertida pelas centrais de energia solar fotovoltaico para produzir energia, sendo assim uma fonte de energia renovável e alternativa. Os equipamentos usados para produzir painéis solares fotovoltaicos podem ser reutilizados, estando ainda a haver estudos para melhor

reutilizar estes materiais. As centrais de conversão de energia solar fotovoltaico podem operar durante anos com pouca manutenção necessária, só é necessário manter os painéis limpos de poeiras que impeçam a absorção da luz solar pelo painel. Tem um baixo custo quando comparado com as fontes de energia fósseis ou nucleares.

Assim como qualquer outra técnica apresenta também desvantagens porque os painéis de energia solar fotovoltaico têm um custo de instalação muito elevado mas acaba por compensar com o passar dos anos. Esta energia não é produzida à noite, logo não pode haver conversão de energia solar fotovoltaico durante a noite e necessita de grande densidade de insolação para trabalhar a um ritmo constante e produtivo. Esta técnica ainda não se apresenta economicamente viável para grandes quantidades de água potável produzida, por apresentar uma baixa conversão estimada em 3 L/m<sup>2</sup> de painel solar.

### **Energia Eólica**

As turbinas eólicas podem ser utilizadas para fornecimento de eletricidade ou de energia mecânica para instalações de dessalinização.

São uma boa opção para a dessalinização de água, especialmente nas zonas costeiras e apresentam uma alta disponibilidade dos recursos de energia eólica.

A eficiência de turbinas eólicas impulsionado principalmente por forças de arrastamento é baixo e neste sentido, todas as turbinas de vento modernas são acionados pelas forças de elevação.

A energia eólica é usada para acionar as tecnologias OI, ED, e as unidades de dessalinização de capital de risco. Poucas aplicações foram implementadas utilizando energia para conduzir uma unidade de compressão mecânica de vapor (MVC). A instalação piloto foi constituída em 1991 em Borkum, uma ilha na Alemanha, onde uma turbina eólica com uma potência nominal de 45 kW foi acoplada a um 48 m<sup>3</sup>/dia MVC evaporador (Val S. Frenkel, 2011).

### **Energia Geotérmica**

A energia geotérmica é utilizável para temperatura ambiente acima de 300 F. Esta energia tem uma grande vantagem porque é desnecessário o armazenamento térmico nesses sistemas.

Os reservatórios geotérmicos são geralmente classificados como sendo tanto a baixa temperatura (< 150 °C) ou a temperatura elevada (> 150 °C). A energia da terra é normalmente extraída com permutadores de calor do solo, feita de um material que é extremamente resistente, mas permite a passagem do calor. Uma fonte geotérmica de alta pressão permite o uso direto de energia do eixo em dessalinização acionado mecanicamente, enquanto os fluidos

geotérmicos de alta temperatura pode ser usado para produzir eletricidade e fazer funcionar OI ou instalações ED (Val S. Frenkel, 2011).

As primeiras estações de dessalinização geotérmicas foram instalados nos Estados Unidos na década de 1970, testando várias opções potenciais para a tecnologia de dessalinização, incluindo MSF e ED (Val S. Frenkel, 2011).

## CAPÍTULO 3 - ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA

### 3.1. Aplicação à Situação de Cabo Verde

Para a aplicação à situação de Cabo Verde foi feita uma caracterização geográfica do território de modo a conhecer um pouco da sua geografia, população, clima, recursos hídricos, estrutura institucional de água, quadro legal para abastecimento de água etc.

#### 3.1.1. Caracterização geográfica de Cabo Verde

Cabo Verde é constituído por dez ilhas e treze ilhéus que formam dois grupos distintos consoante a posição face ao vento alísio do Nordeste como barlavento e sotavento conforme ilustrado na figura 3.1 nos Quadros 3.1 e 3.2 (BEBIANO, 1932).



Figura 3. 1 - Localização das ilhas de Cabo Verde.

Fonte: Associação comercial internacional para os mercados lusófonos (ACIMIL, 2006)

<b>Barlavento</b>		<b>Sotavento</b>	
<b>Ilhas</b>	<b>Ilhéus</b>	<b>Ilhas</b>	<b>Ilhéus</b>
Santo Antão	Boi	Maio	Grande
São Vicente	Pássaros	Santiago	Santa Maria
Santa Luzia	Branco	Fogo	De cima
S. Nicolau	Raso	Brava	Luís Cameiro
Sal	Rabo de Junco		
Boa Vista	Curral do dado		
	Fragata		
	Chano		
	Baluarte		

Quadro 3. 1 - Representação de ilhas e ilhéus do arquipélago de Cabo Verde

<b>Ilhas</b>	<b>Comprimento máximo (m)</b>	<b>Largura máxima (m)</b>	<b>Superfície (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Altitude máxima (m)</b>
Santo antão	42 750	23 900	779	1 979
São Vicente	24 250	16 250	227	744
Santa Luzia	12 370	5 320	35	395
S. Nicolau	44 500	22 000	343	1 304
Sal	29 700	11 800	216	406
Boa Vista	28 900	30 800	620	390
Maio	24 100	16 300	269	436
Santiago	54 900	28 800	991	1 392
Fogo	26 300	23 900	476	2 829
Brava	10 500	9 310	64	976

Quadro 3. 2 - Topologia das ilhas do arquipélago de Cabo Verde

A maior Ilha é a de Santiago, com 991 km<sup>2</sup> superfície, localizada aproximadamente 640 km a oeste de África e 1 500 km ao sudoeste das Ilhas Canárias. A ilha de Santa Luzia não é habitada.

A maior parte das ilhas é de origem vulcânica, de relevo acidentado, com pontos de maior altitude na Ilha do Fogo (no Pico, um vulcão em atividade com 2 829 m), em Santo Antão (no topo da coroa, com 1 979 m) e em Santiago (Pico de Antónia e Serra Malagueta com altitude máxima de 1 390 m).

As ilhas do Sal, Boa Vista e Maio são planas e circundadas por extensas praias. A litologia e a morfologia combinada com o clima influenciam muito a disponibilidade da água no arquipélago. Apesar das limitações hidrológicas das rochas os recursos hídricos subterrâneos são a principal fonte natural da água potável.

### 3.1.2. Caracterização da área de estudo (Cidade de Assomada)

A Assomada é uma Cidade que fica a 36 km para norte da Cidade da Praia, a capital do país, a sua sede fica no Concelho de Santa Catarina no interior da Ilha de Santiago. A localização desta Cidade encontra-se representada na Figura 3.2.



Figura 3. 2 - Representação da Cidade da Assomada no mapa da Ilha de Santiago

Para a caracterização da cidade de Assomada fez-se um pequeno estudo a nível da população, clima, disponibilidade da água e a caracterização do consumo. São apresentados a seguir cada uma desses critérios.

### 3.1.3. Evolução da População

A evolução demográfica de Cabo Verde está influenciada tanto pelos aspetos geográficos como também pelas condições socioeconómicas, fatores que condicionam o crescimento e a

evolução demográfica. No período de 1940 a 1950 devido à seca e fome, registou-se um decréscimo da população e também devido a emigração que abalou o país na primeira metade do Século XX. Desde então a população cabo-verdiana teve sempre um crescimento contínuo.

Segundo as informações obtidas no Censo de 2010 a Cidade de Assomada tem cerca de 12 332 hab, de população residente das quais 5 900 hab são masculinos e 6 432 hab femininos.

Nos censos anteriores 1990 a Cidade de Assomada estava com uma população total de 3 414 hab entre as quais 1 549 hab do sexo masculino, 1 865 hab do sexo feminino com 671 famílias e 675 unidades de alojamento.

Em anexo A, B e C estão apresentadas os resultados dos censos de cada localidade da cidade de Assomada referente (censo 1990, 2000, 2010 etc.).

### **3.1.4. Clima**

A Ilha de Santiago devido à sua localização geográfica é fortemente influenciada pelas massas de ar quente e seco da África - Deserto do Saara. Tem um clima árido a semi-árido tropical seco, temperado pela influência oceânica, alternando com os ventos do nordeste (Outubro a Junho), caracterizada por um dessecante forte e ação erosiva no arquipélago, que podem causar a precipitação nas encostas expostas a NE.

Caracteriza-se o clima com uma longa estação seca cerca de 8 a 10 meses e uma curta estação de chuva, muito escassa e irregular em maior parte ocasionada pela posição da Zona de Convergência Intertropical ao longo dos anos entre Julho a Outubro, durante a qual ocorre maior parte da precipitação, dependendo da frente inter-tropical, quente e húmida, que à sua passagem dá origem a fortes chuvadas de curta duração, que podem causar grandes inundações, oscilando a precipitação anual entre 250 mm e 500 mm. A estação seca, entre Dezembro a Junho sendo os meses de Novembro a de Julho meses de transição.

Normalmente cerca de 20% da água de precipitação perde-se através de escoamento superficial, 13% infiltra-se recarregando os aquíferos e a maior parte perde-se por evaporação. Estima-se que o nível do mar se eleve entre 0,13 e 1,40 metros até ao fim deste século, o que terá um enorme impacto para a vida da população e em todos os sectores económicos.

Nos Quadros 3.3 e 3.4 encontram-se os valores das precipitações mensais para os períodos de 10 e 100 anos de retorno para as oitos estações meteorológicas analisadas na Ilha de Santiago.

Período	Meses	Assomada	Chão Bom	Flamengos	Praia-Aeroporto	Ribeirão Manuel	Santa Cruz	São João Batista	Serra Malagueta
10 anos	Janeiro	22,2	16,2	6,4	9,9	12,7	15,6	9,7	29,6
	Fevereiro	0,5	7,2	8	2,4	6,1	8,8	0	5,5
	Março	2,1	0	0	0,3	0	0	0	0
	abril	0,7	0	0	0,1	0	0,1	0	0
	Maiο	0,7	2,6	3,2	2,5	1	6,3	0,8	0,7
	Junho	0	0	0	0,2	15,9	0,2	0	0,5
	Julho	81,4	45,2	55,2	26,9	51,5	30,1	26,6	91,4
	Agosto	217,3	149,3	224,3	123,5	240,3	186,1	138,2	349
	Setembro	273,9	200,3	228,8	115,3	332,6	151,6	178,5	329
	Outubro	151,5	99,2	33	78,6	155	128,8	70,5	224
	Novembro	19,9	28,1	27,1	11,5	8,1	77	10,4	55,6
	Dezembro	11,4	4,2	8,4	23,2	0	19,3	2,4	20,5

Quadro 3. 3 - Precipitações mensais em mm, para o período de 10 anos .  
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde.

Período	Meses	Assomada	Chão Bom	Flamengos	Praia-Aeroporto	Ribeirão Manuel	Santa Cruz	São João Batista	Serra Malagueta
100 anos	Janeiro	53,4	35,4	23	27,2	40,4	38,5	30,6	65
	Fevereiro	2,8	37	30,6	9,9	31,8	40	0	27,7
	Março	11,1	0	0	1,6	0	0	0	0
	abril	3,7	0	0	0,4	0	0,6	0	0
	Maiο	3,7	13,3	9	8,6	5,4	28,6	3,6	3,7
	Junho	0	0	0	1,2	82,6	1,1	0	2,8
	Julho	173,2	124,3	133,6	69,8	94,4	65	80,5	164
	Agosto	296,8	264,6	374,5	247,4	377,1	315,3	230,3	529
	Setembro	372,3	377,9	379,6	201,4	572,9	242	353,4	444,8
	Outubro	264,2	217	267,1	170	318,8	252,1	163,8	389
	Novembro	49,9	104,4	77,7	36,2	28,4	228,3	42,9	167,4
	Dezembro	53,2	18,7	21,8	111,7	0	66,6	8,8	6,4

Quadro 3. 4 - Precipitações mensais em mm, para o período de 100 anos .  
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde.

De acordo com estudos realizados pela direção geral do ambiente (Direcção-Geral do Ambiente), sob os seguintes projetos; Mudanças Climáticas, Conservação da Biodiversidade, Combate contra a Desertificação e a PANA-II, todas as ilhas de Cabo Verde são vulneráveis às alterações climáticas, em particular a áreas costeiras, com alta população e investimentos económicos, incluindo instalações portuárias e aeroportos, turismo, comércio e agricultura.

### 3.1.5. Disponibilidade de água

A água é um recurso natural e essencial à vida, que o homem utiliza em seu benefício para vários fins, com marcados limites de disponibilidade. Assume cada vez maior importância, particularmente em áreas onde existe pouca água o que pode intervir de forma negativa no desenvolvimento.

Com o aumento da população, a disponibilidade média de água renovável e potável por habitante tende a diminuir cada vez mais, o que se reflete sobre a saúde e os padrões de qualidade de vida

A importância do abastecimento de água deve ser vista sob os aspetos sanitário, ambiental e económico.

Tendo em conta a evolução da procura, a água tende a ser o fator limitativo mais condicionante do desenvolvimento socioeconómico de Cabo Verde. Contudo, o recurso ao aproveitamento de águas superficiais e de águas recicladas, pode permitir adiar consideravelmente a satisfação das necessidades através da dessalinização da água do mar.

O Quadro 3.5 mostra-se as necessidades de água e disponibilidade ( $m^3$ /ano) na ilha de Santiago, Cabo Verde referente ao ano de 2007 segundo INGRH.

<b>Necessidades anuais de água</b>	<b>2007</b>	<b>%</b>
População residente	11 277 223	23,9%
População temporária (turistas, etc) 0,7%	311 962	0,7%
Agricultura	32 685 120	69,3%
Indústria/outros	2 914 500	6,1%
<b>Total</b>	<b>47 188 804</b>	<b>100%</b>
<b>Disponibilidade de água</b>		
Furos	6 676 560	
Poços e nascentes	33 658 840	
Barragem de Poilão	1 700 000	
<b>Total</b>	<b>42 035 400</b>	

Quadro 3. 5 - Necessidades de água e disponibilidade, em  $m^3$ /ano.

Em Cabo Verde as águas superficiais surgem normalmente nas principais ribeiras após a chuva e durante apenas algumas horas, tendo em conta as características vulcânicas do arquipélago facilitam o escoamento superficial muito rápida e com pouca infiltração.

A distribuição de água potável é muito diferente em cada município. Para além do problema da disponibilidade de recursos, existe geralmente uma falta de infra-estrutura para o armazenamento da água, distribuição insuficiente através de redes de condutas, e, como consequência de um serviço “não contínuo”.

### **3.1.6. Sistema de abastecimento de água em Cabo Verde Ilha de Santiago – Cidade de Assomada**

Os sistemas de abastecimento da água têm evoluído consoante as necessidades em quantidade e qualidade de água.

Os sistemas de abastecimento de água dividem-se em várias etapas com diferentes objetivos e funções, da qual tem-se a captação, o sistema de adução, a estação de tratamento de água, o armazenamento e a rede de distribuição.

A captação tem como função a extração de água bruta, superficial ou subterrânea, ou de uma outra origem, a fornecer ao processo de acordo com as disponibilidades e necessidades.

O sistema de adução assegura o transporte da água desde a origem até à rede de distribuição.

Na estação de tratamento de água é assegurada a adequação das características físicas, químicas e bacteriológicas da água captada às normas de qualidade para o tipo de consumidores definidos.

O armazenamento tem como função a regularização e reserva estratégica da água. A distribuição da água é o Transporte o subsistema de adução até aos vários pontos de entrega.

Com o aumento da população nos centros urbanos e outros aglomerados populacionais estes sistemas evoluíram para sistemas locais de forma a dar resposta às necessidades não de um indivíduo apenas mas sim a um conjunto de indivíduos.

A gestão desses sistemas é encarregue ou partilhada por várias entidades gestoras, nomeadamente: Estrutura Institucional em Cabo Verde, Concelho Nacional de Águas (CNAG), Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (INGRH), Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE), Agência de Regulação Económica (ARE), Empresa de Eletricidade e Água SARL (ELECTRA), Agência de Distribuição de Água (ADA), Serviços Autónomos de Água e Saneamento (SAAS).

#### **Estrutura institucional em Cabo Verde**

Em Cabo Verde, a utilização e exploração da água é regida segundo a lei código da água adoptada em 1984 e os principais decretos de aplicação foram promulgados em 1985 e 1987. A água, em toda a sua forma pertence ao domínio público do estado e deve ser explorada e gerida de uma forma centralizada, de acordo com o código da água.

Em Cabo Verde ainda não existe nenhuma entidade nacional que gere ou supervisiona o sistema hidráulico em todo o país de uma forma global. A Matemática da Energia e Alterações Climáticas (MEAC) é responsável pela gestão, desenvolvimento, controlo e gestão da água dessalinizada, incluindo o estabelecimento de parcerias público-privadas com contrato de concessão.

Existem 7 entidades no país onde cada entidade gere um determinado município das quais tem-se: Conselho Nacional de Águas (CNAG), Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (INGRH), Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE), Agência de Regulação Económica (ARE), Empresa de Eletricidade e Água SARL (ELECTRA), Agência de Distribuição de Água (ADA) e os Serviços Autónomos de Água e Saneamento (SAAS). A seguir são apresentados cada uma dessas entidades e a que se designa.

### **Concelho Nacional de Águas**

O Conselho Nacional de Águas (CNAG) é um conselho nacional para coordenar inter-governamental sobre a política de gestão de recursos hídricos de longo prazo em Cabo Verde, presidido pelo Ministério do Ambiente Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos (MADRRM). É composto pelos membros de governo responsáveis pelos sectores da agricultura, energia, saúde, saneamento e tutela sobre as autarquias locais.

Esta entidade tem por objetivo garantir a utilização ótima de desenvolvimento e dos recursos hídricos por meio de consulta, discussão e integração a nível nacional. O Código de Águas modificada (Decreto Legislativo Nº 5/99) define as principais funções do CNAG. É composta por membros governamentais responsáveis pela agricultura, energia, saúde, saneamento e outros que exerçam a supervisão sobre as autarquias locais, atualmente são o MADRRM, Ministério da Saúde.

### **Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos**

O Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (INGRH) é uma organização técnica regulamentar para recursos hídricos e também faz a gestão do consumo de instalações, incluindo fontes de águas subterrâneas nos municípios. É uma instituição pública sob o MADRRM, contudo têm autonomia administrativa e financeira do governo central com ativos próprios.

Tem como o objetivo exercer sua atribuição própria e as funções delegadas pelo CNAG. O INGRH é responsável pela gestão efetiva do solo e recursos hídricos de superfícies, água potável e agricultura.

### **Ministério do Turismo, Indústria e Energia**

O Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE) é uma organização do governo e tem por objetivo executar e avaliar políticas públicas para suas atividades económicas de produção de bens e serviços, em especial no campo da indústria, energia, comércio, turismo e serviços de suas empresas.

O Ministério é composto pela Direcção-Geral de Planeamento, Orçamento e Gestão (DGPOG), Direcção-Geral de Energia (DGE), Direcção-Geral da Indústria e Comércio (DGIC), Direcção-Geral do Turismo (DGT), Inspeção-Geral das Atividades Económicas (IGEA), Direcção Regional de Economia da Região Norte e Sul.

Há instituições e serviços públicos autónomos como ELECTRA, nas ilhas de Boa Vista e do Maio, Sociedade de Desenvolvimento Turístico das Ilhas de Boa Vista e Maio (SDTIBM), Zona Franca Comercial de Cabo Verde (FIC), etc.

A DGE é o departamento responsável pela conceção, implementação e avaliação da energia e dessalinização, bem como a apresentação de propostas de melhoria, crescimento e aumento da produtividade e da competitividade.

### **Agência de Regulação Económica**

A Agência de Regulação Económica (ARE) é uma agência reguladora independente estabelecida pelo Decreto Nº 26/2003, iniciando suas atividades em Fevereiro de 2004.

Esta entidade visa a atividade administrativo de regulação económica e supervisão nos sectores de água, energia, transportes, telecomunicações, urbana e serviços públicos de transporte marítimos de passageiros.

Tem por objetivo a eficiência económica e a estabilidade financeira dos sectores, por outro lado, para garantir e atender o interesse público em benefício da sociedade., como também proteger o direito e o interesse dos clientes em particular, sobre as taxas de preço e qualidade do serviço prestado. São responsáveis por autorizar e determinar tarifa de água para o serviço de abastecimento de água, gerida por cada entidade de abastecimento de água, tais como ELECTRA e SAAS.

### **Empresa de Eletricidade e Água SARL**

A Empresa de eletricidade e Água SARL (ELECTRA) é responsável pela distribuição e comercialização de energia elétrica para todas as ilhas (nove) de Cabo verde e água para cidade da Praia na Ilha de Santiago, a Ilha de São Vicente, a Ilha do Sal e Ilha da Boavista. E também responsável pela produção e distribuição de água, principalmente fornecida pela estação de dessalinização em Palmarejo. Concentra-se no serviço de abastecimento de água para população domiciliária do município da Praia desde 1999.

### **Agência de Distribuição de Água**

A Agência de Distribuição de Água (ADA) foi criada em 1999, quando o serviço de abastecimento de água na cidade da Praia foi transferido do município de Praia tanto ELECTRA e ADA. É uma organização independente do município de Praia sem subsídios (ELECTRA, 2009).

Esta entidade é responsável pelo serviço de abastecimento de água, excerto para conexão doméstica no município da Praia, como por fonte pública e por camião de água de modo a satisfazer a população sem conexão domiciliar. Eles compram água dessalinizada da ELECTRA e vão vendê-lo para o seu cliente, porque eles não produzem água (ELECTRA, 2009).

### **Serviços Autónomos de Água e Saneamento**

Os Serviços Autónomos de Água e Saneamento (SAAS) foram criados no contexto da política de descentralização pela Lei Nº 132/IV/95 e tem como objetivo gerir de forma eficiente o sistema hidráulico, isto é, são responsáveis por cada sistema hidráulico em suas áreas municipais, em geral, com exceção do SAAS da Ribeira Grande de Santiago, São Salvador do Mundo, São Lourenço dos Órgãos.

A SAAS foi criada em Santa Cruz, no ano de 1995, seguido de Tarrafal, em 1999, e São Miguel, São Domingos, Santa Catarina, em 2000. O edifício institucional dos últimos cinco municípios foram apoiados pela Cooperação Austríaca para o Desenvolvimento (ADC), durante 1998 - 2001.

Os SAAS são responsáveis por cada sistema hidráulico em suas áreas municipais, em geral, com exceção do SAAS da Ribeira Grande de Santiago, São Salvador do Mundo, São Lourenço dos Órgãos, que ainda pertencem ao escritório de cada prefeito. Em muitos casos é responsável pela gestão atual do serviço, incluindo financeiras, assuntos comerciais e questões técnicas, e do vigilante tem um poder para a nomeação e demissão dos membros do Conselho.

#### **3.1.7. Quadro legal para o abastecimento de água**

O Código de Águas divulgada em 1984 definiu a base jurídica sobre a propriedade legal, proteção, conservação, desenvolvimento, gestão e utilização dos recursos hídricos em Cabo Verde.

Esta lei indica que todos os recursos de água na atmosfera, solo e outras são do domínio público, e pode ser aplicado com a água no interior do transporte marítimo e mar territorial, incluindo a água dessalinizada.

A gestão dos recursos hídricos é encaminhada pelo órgão centralizado nacional como CNAG, INGRH e da Agência Reguladora e determina o papel e a função dessas organizações.

O licenciamento da água dessalinizada é descrito no decreto-lei nº 36, divulgada em Novembro de 2008, que define o conceito básico de concessão, incluindo projeto, manutenção financiamento, construção da infra-estrutura e instalação de dessalinização para uso público de água e irrigação. O Abastecimento de água por dessalinização é para ser implementado por empresas público-privadas com base no contrato de concessão por 30 anos que concede uma licença de produção e venda de água dessalinizada.

### **3.1.8. Sistema de Abastecimento de Água em cada Município da Ilha de Santiago**

A ilha de Santiago é constituída por nove municípios, nomeadamente Tarrafal, São Miguel, São Salvador do Mundo, Santa Cruz, São Domingos, Praia, Ribeira Grande, São Lourenço dos Órgãos e Santa Catarina assim como está representada na Figura 3.2, e um total de onze freguesias.

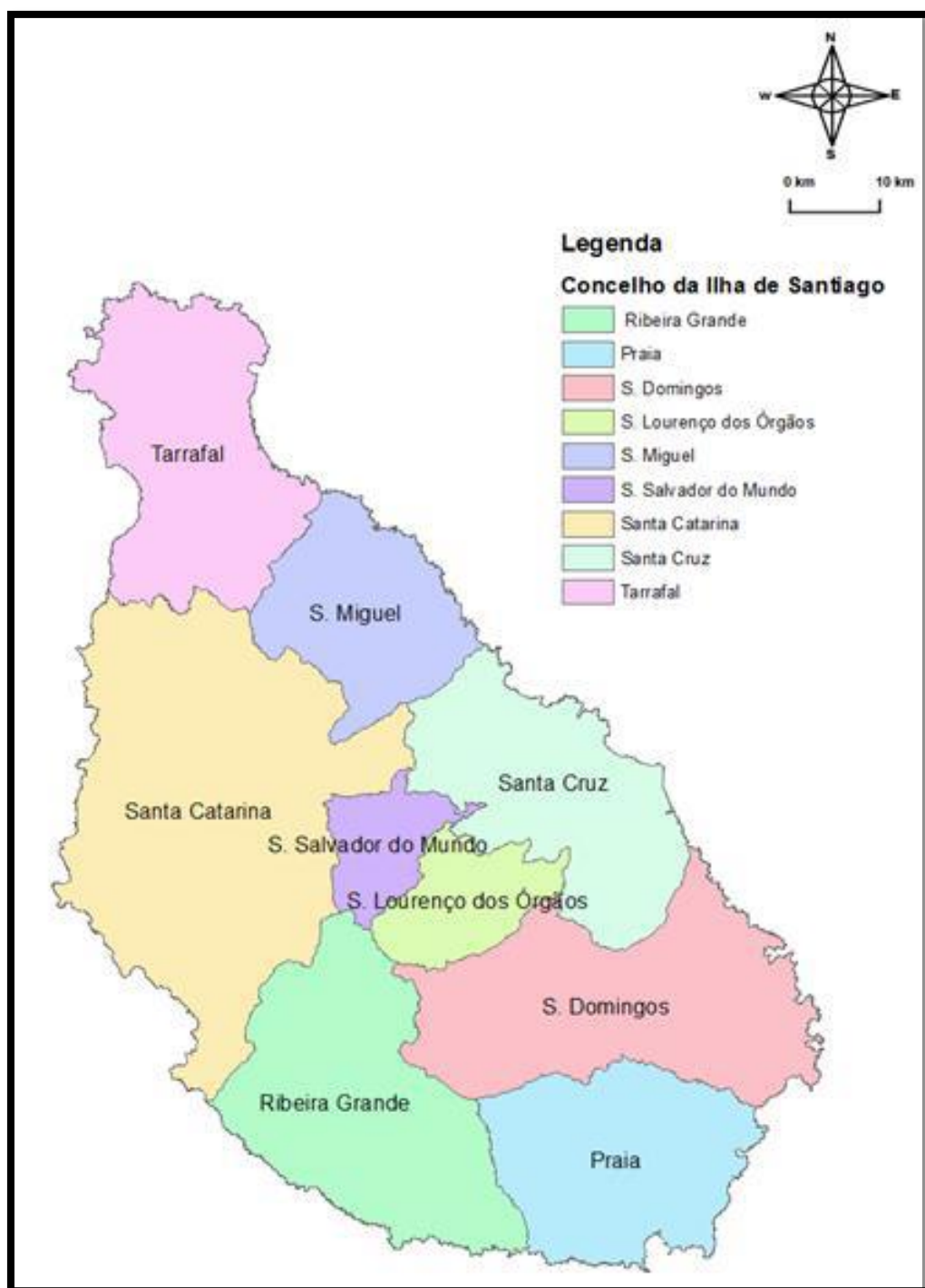


Figura 3. 3 - Municípios da ilha de Santiago (Monteiro, 2013).

É representada no Quadro 3. 6, cada município com as suas respetivas áreas em km<sup>2</sup> e as freguesias correspondentes

Municípios	Área [km <sup>2</sup> ]	Freguesia
Praia	97	Nª Senhora da Graça

Ribeira Grande de Santiago	164,2	Santíssimo Nome de Jesus; S. João Baptista
S. Domingos	134,5	Nicolau Tolentino; N. <sup>a</sup> Senhora da Luz
Santa Catarina	214,2	Santa Catarina
S. Salvador do Mundo	28,7	S. Salvador do Mundo
Tarrafal	112,4	Santo Amaro Abade
Santa Cruz	109,8	Santiago Maio
S. Lourenço dos Órgãos	38,5	S. Lourenço dos Órgãos
S. Miguel	91	S. Miguel

Quadro 3. 6 - Distribuição dos Concelhos da Ilha de Santiago.

No Quadro 3.7 estão apresentados um histórico da população em cada município da Ilha de Santiago de 2010 a 2012.

Municípios	2010	2011	2012
Tarrafal	23.786	24.216	24.663
Santa Catarina	48.535	49.424	50.332
Santa Cruz	30.038	30.590	31.157
Praia	131.453	133.863	136.339
São Domingos	14.421	14.691	14.957
São Miguel	17.602	17.924	18.259
São Salvador do Mundo	10.950	11.156	11.355
São Lourenço dos Órgãos	9.285	9.451	9.626
Ribeira Grande de Santiago	9.618	9.799	9.978
<b>Total</b>	<b>295.688</b>	<b>301.114</b>	<b>306.666</b>

Quadro 3. 7 - População de cada município da Ilha de Santiago.

### 3.1.8.1. Características do sistema de abastecimento de água em cada município da ilha de Santiago

O Município de **Tarrafal** está localizado ao norte da ilha de Santiago e tem um plano de desenvolvimento do turismo e costa ocidental com praias com praias de mar. O sistema de abastecimento da água existente neste município tem uma capacidade de produção de água de 422 000 m<sup>3</sup>, da qual 75% é água para consumo humano e 25% é para uso da agricultura.

No ano 2008, 98% da população já tinha acesso a água e 86% já tem a rede da água em casa e cerca de 1 000 pessoas vivem em área com altitude elevada e adquirem a água através de camião. Utilizam-se 12 poços para água potável, 4 poços para uso da agricultura e cada um com profundidade de 100 - 150 m, 28 reservatórios com um volume de 2 032 m<sup>3</sup>.

O sistema atual de abastecimento de água instalada em **São Miguel** apresenta-se as seguintes características:

- 60% da população estão ligados à rede de água, com uma perda de água de 15 a 20%,
- Estão em funcionamento 35 reservatórios com 2 058 m<sup>3</sup>.

O Município de **São Salvador do Mundo** foi criado no ano de 2005 e antes fazia parte do município de Santa Catarina. Até então encontra-se dependente deste município para o abastecimento de água à toda população. Tem uma área muito montanhosa. O sistema do abastecimento da água tem uma capacidade de 730 m<sup>3</sup>/semana fornecido de Santa Catarina ainda de uma forma muito irregular. A ligação da rede de água é de apenas 15 a 16% aproximadamente 276 famílias conseguia usufruir deste serviço. Possui 3 camiões com capacidade de 17, 11 e 10 m<sup>3</sup> para servir as restantes populações deste município, transporta a água de São Domingos e Santa Cruz para este município.

O sistema de abastecimento do Município de **Santa Cruz** tem uma capacidade de 50 L/(hab/dia) mas o consumo real é de 30 L/(hab/dia), com 30% de perdas na rede de distribuição. O tempo de funcionamento é de 1-2 horas/dia nos locais com uma elevada altitude e de 8-10 horas/dia nos locais com uma menor altitude. A Estação de dessalinização da Achada Ponta com capacidade de 500 m<sup>3</sup>/dia, da qual entrou em operação a partir de Maio 2009, com 8 poços cada de 1 000 m<sup>3</sup>/dia, e 45 reservatórios de 10-1 000 m<sup>3</sup> e 90% das residências com ligação da rede de água.

O município de **São Domingos** contém dois poços com capacidade de 500 m<sup>3</sup>/dia, mais de 800 ligações nas residências. Tem 54 reservatórios com capacidade entre 11 - 200 m<sup>3</sup>.

**Praia** é a Capital da cidade de Cabo Verde com a maior percentagem da população da ilha de Santiago. Existem atualmente três estações dessalinizadoras neste município um com capacidade de 5000 m<sup>3</sup>/dia e dois de 1200 m<sup>3</sup>/dia. Segundo o estudo feito pela feita pelo Ministério da Saúde, Trabalho e Bem-Estar pretende-se ainda mais 15 500 m<sup>3</sup>/dia de Água potável para este concelho. A ELECTRA opera estações de dessalinização e distribui água para toda a cidade. Os reservatórios principais são 1 500 m<sup>3</sup> no local da estação de dessalinização, 2 500 m<sup>3</sup> e 1 000 m<sup>3</sup> em Monte Babosa, 700 m<sup>3</sup> de Eugénio Lima, 400 m<sup>3</sup> na Achada São Felipe (expansão de área), 1 500 m<sup>3</sup> de Ponta d'Água, 400 m<sup>3</sup> na Achada Grande de Trás perto do Aeroporto. Todos esses reservatórios são ligados através de condutas de transporte de modo a que ele dá a eficiência do sistema de distribuição. Não existe qualquer sistema de controlo remoto e automatismo entre as bombas e reservatórios e mesmo de cloração em Monte Babosa é feito manualmente. Os equipamentos encontram-se em mau estado devido à falta de manutenção e de inovação.

O sistema atual de abastecimento de água na **Ribeira Grande** tem uma boa quantidade de água e é muito estável, também fornece uma parte de água para o município da praia. Existem quatro poços de água e são usadas tanto para a agricultura como água potável, com dez reservatórios de capacidades entre 8 e 55 m<sup>3</sup>. A água é desinfetada com cloração e o consumo de água é de 20 L/(hab.dia)/hab.

O município de **São Lourenço dos Órgãos** tem uma área rural e muito montanhosa. O sistema atual de abastecimento de água contém 8 Poços em funcionamento com 2-10 m<sup>3</sup> / hora. Utiliza-se a água do furo tanto para uso potável como também para agricultura, em que numa estação de chuva 60% vai para a agricultura e 40% para água potável e numa estação seca 40% vai para a agricultura e 60% para potável. Também para o abastecimento da população utiliza-se a água da Cachoeira para o consumo humano após o tratamento por cloração. Existem ainda 14 reservatórios com capacidade entre 15 a 200 m<sup>3</sup> para uso potável e 12 a 17 reservatórios para uso na agrícola. Foi também construído uma barragem na Ribeira Seca financiada pela China que já se encontra em funcionamento desde o ano de 2009.

**Santa Catarina** é o segundo município após a Praia, com maior número da população na Ilha de Santiago. A Cidade de Assomada encontra-se localizada neste município. Caracteriza-se por ter uma área montanhosa com altitude superior a 500 metros. A água é fornecida para São Salvador do Mundo e o consumo real é de 1 000 m<sup>3</sup>/dia (16 L/(hab.dia), mas a água necessária será 3 000 m<sup>3</sup>/dia (50 L/(hab.dia), perda de água corrente é de 30 a 40%. Desde Dezembro 2009 com mais de 4 906 ligações domiciliares.

## **CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DE UM ESTUDO DE CONCEPCÃO PRELIMINAR DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO À CIDADE DE ASSOMADA NA ILHA DE SANTIAGO**

Para a avaliação da viabilidade técnica e económica da dessalinização da água do mar, com o objetivo de conseguir fornecer água potável à população da Cidade de Assomada.

Apresenta-se igualmente o dimensionamento do sistema adutor utilizando a metodologia adequada para a obtenção da melhor solução técnico-económica.

A seguir estão descritas a localização da área em estudo, as características de tratamentos de água, a descrição geral do sistema adutor e por fim o dimensionamento hidráulico de sistemas adutores.

### **4.1. Localização da área em estudo (Calheta de São Miguel – Cidade Assomada)**

O local da implantação da estação dessalinizadora situa-se no Concelho de Calheta de São Miguel.

Em complemento foi concebido o sistema adutor entre Calheta de São Miguel (B) a Cidade de Assomada (A) que se apresenta na Figura 4.1 seguinte.



Figura 4. 1 – Adutor de ligação da Cidade da Assomada a Calheta de São Miguel  
Fonte: Google Maps

A distância entre o Concelho de São Miguel e a Cidade de Assomada, como representa a linha azul na Figura 4. 1, é de aproximadamente 18,7 km segundo a informação do Google Maps, seguindo o percurso assinalado.

A Figura 4.2 representa o delineamento da área de estudo da Cidade da Assomada (A).



Figura 4. 2 - Delimitação da Cidade de Assomada.  
Fonte: Google Maps

O sistema a definido para Cidade de Assomada pertencente ao município de Santa Catarina, tendo-se previsto o atendimento de uma população de 15 274 hab a ser alcançada num prazo de 25 anos no ano 2040.

De acordo com o censo de 2010 na Cidade de Assomada existem 12 332 hab em cerca de 2710 agregados familiares dos quais 1 435 masculinos e 1 276 femininos.

## 4.2. Estação de tratamento de Água

Os fatores que contribuíram para a escolha do local de implantação da estação de tratamento foram a disponibilidade e topografia do terreno, bem como a proximidade do ponto de captação.

O ponto de tratamento que irá ser instalado no concelho de Calheta de São Miguel vai integrar uma captação da água do mar a ser feita através de furos localizados junto à costa, uma estação de tratamentos propriamente dita (ETA), para além da estação elevatória de adução.

A captação é feita através de furos à profundidade de 10 metros abaixo do terreno e com 60 metros de profundidade.

Habitualmente a água do mar na zona da Calheta de São Miguel encontra-se a uma temperatura de 20 °C e com um pH de 7,8.

O caudal captado é primeiramente pré-tratado, através de um filtro de misto (areia +

antracite) e de um filtro de malha ou cartucho.

Existem duas baterias em paralelo para assegurar um fluxo contínuo de água pré-tratada. Estas unidades de filtragem são lavadas uma vez por dia com água e ar operação que demora cerca de 30 minutos.

A água pré-tratada é em seguida bombada a uma pressão elevada para seguir para as membranas de osmose inversa, onde é sujeita à desejada dessalinização.

A água em seguida e ainda com uma significativa altura de elevação acrescida (“alta pressão”) passa posteriormente por uma turbina de “recuperação de energia” que depois libertada a pressão é descarregada diretamente e por gravidade para o mar.

A água dessalinizada que sai da estação dessalinizadora vai diretamente e por gravidade para o reservatório de água tratada, a aguardar a sua injeção no sistema adutor de jusante.

A água dessalinizada através do sistema osmose inversa deverá obedecer os seguintes parâmetros de qualidade, segundo a OMS:

- A temperatura igual ou inferior a 50 °C;
- pH maior que 2,0 e menor que 11,0;
- Teor de ferro menor que 0,3 ppm;
- Teor de cloro menor que 0,1 ppm;
- Turbidez menor que 1,0 NTU;

O tratamento da água dessalinizada afeta muito a qualidade da água porque, por este ser extremamente agressivo para a rede de distribuição de água a água é altamente desmineralizada, isto é, pode provocar a corrosão nas condutas resultando a suspensão ou dissolução dos metais.

Geralmente o valor máximo recomendado (VMR) para a salinidade total da água é de 400 mg/L, mas em Cabo Verde a OMS definiu o valor máximo admissível (VMA) que pode ir até 1000 mg/L em TDS (sólidos totais dissolvidos), e 0,5 mg/L de boro.

No Quadro 4.1 é apresentada um exemplo de uma amostra realizada da água do mar de Calheta de São Miguel no ano de 2008 pelo Ministério do Turismo, Indústria e Energia (MTIE).

Parâmetros analisados	Unidades	Valor encontrado
Temperatura	°C	26,7
pH	-	8,2 a 22°C
Condutividade	μS(cm)	54 a 25°C
TDS	mg/l	39-40
Turvação	NTU	1,77
Dureza total	mg(CaCO <sub>3</sub> )/L	1,1
Nitrato	mg(NO <sub>3</sub> )/l	2,1
Nitrito	mg(NO <sub>2</sub> )/l	0,011
Alcalinidade	mg(CaCO <sub>3</sub> )	122
Cloreto	mg(Cl <sup>-</sup> )	20×10 <sup>3</sup>
Fosfato total	mg(P)	<0,08
Boro	mg	5
Coliformes totais	ufc/100ml	0
Oxigênio	mg(O <sub>2</sub> )	9
Cálcio	mg	446
Sulfato	mg(SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	27×10 <sup>2</sup>
Sílica	mg	<0,3(LQ)

Quadro 4. 1 - Amostra da água Calheta São Miguel.  
Fonte: MTIE

Para a obtenção de água potável através do processo de osmose inversa a água passa assim por várias fases de tratamento, das quais são:

- Sistema de pré-tratamento
- Módulo de membrana
- Sistema de pós-tratamento

É representada na Figura 4.3 o modo de funcionamento do sistema de tratamento de osmose inversa para a água dessalinizada em estudo.

A Figura 4.3 representa as etapas de tratamento para a água dessalinizada em estudo.

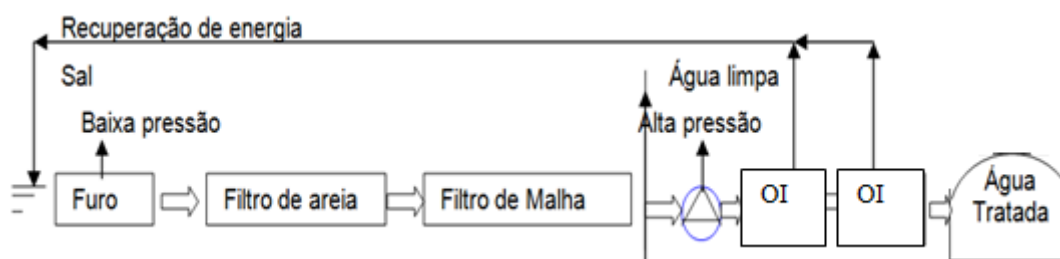


Figura 4. 3 - Etapas de tratamento de água dessalinizada.

Após essa etapa a água segue para o sistema de pós-tratamento e depois deste tratamento considera-se uma água tratada com qualidade requerida para o consumo humano.

O **pré-tratamento** é muito importante no processo de osmose inversa porque as membranas utilizadas estão sujeitas à acumulação de depósitos de resíduos, presentes na água (Lenntech, 1993).

Segundo a amostra da água retirada através do furo de Calheta de São Miguel no ano de 2008 verifica-se que trata de uma água pouca turbida. No pré-tratamento da água do mar utiliza-se a cloração porque a água do mar contém vários microrganismos, bactérias e protozoários, que podem contribuir para a formação dos biofilmes na superfície das membranas.

Um biofilme é uma espécie de colónia de bactérias, que cresce em determinadas superfícies onde as fontes de carbono e nutrientes estão disponíveis. Depois de destruir as bactérias e microrganismos da água, antes de esta passar através das membranas de OI, previne a formação de bio-incrustações. De forma a evitar os resíduos biológicos, a cloração da água do mar é um método utilizado que apresenta uma boa relação custo/eficácia. Este oxida a membrana da unidade de osmose inversa, pelo que apenas uma concentração máxima de cloro de 0,02 mg/L é admitida.

A dosagem comum de cloro é cerca de 3 mg/L de cloro atirado e é injetado sob a forma de hipoclorito de sódio (NaOCl), para plantas de pequena dimensão e gás cloro (Cl<sub>2</sub>) em instalações de média dimensão. Em instalações de grande dimensão (> 300 m<sup>3</sup>/h) recorre-se à electrocloração para produzir hipoclorito de sódio (NaOCl) a partir dos excessos de cloreto de sódio, presentes na água do mar a uma concentração entre 30 a 40 mg/L: O pH deve ser corrigido para 7,5 para se atingir o potencial ótimo de desinfeção por cloração.

O filtro de areia consiste em fazer passar a água através de substâncias porosas capazes de reter ou remover algumas de suas impurezas. Como meio poroso, emprega-se em geral a areia sustentada por camadas de seixos, sob as quais existe um sistema de drenos tendo por principal objetivo retirar os sólidos residuais.

Depois do filtro de areia, a água deverá obrigatoriamente passar pelo (s) filtro (s) de cartucho (s) instalado (s) na entrada do sistema, com objetivo de remover sólidos suspensos maiores que 5,0 µm.

O filtro de cartucho é indispensável na remoção de sólidos suspensos na água e possuem um aspeto fibroso o que pode ser um emaranhado de fibras ou mantas sobrepostas. A retenção depende do fluxo e pressão. A Figura 4.4 mostra um exemplo de um filtro de cartucho.

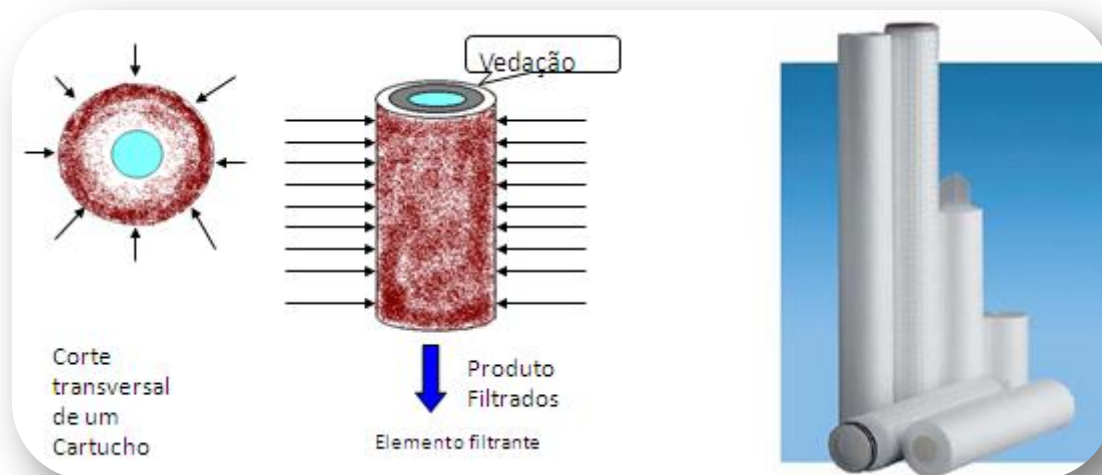


Figura 4. 4 - Filtro de cartucho  
Fonte: (Vianna, 2002)

O controlo de troca de filtros é por diferencial de pressão na entrada e saída do filtro. Os contaminantes são capturados na malha do filtro e reunidos em gotículas maiores através de colisões com as microfibras de borosilicato (Vianna, 2002).

Depois a água seguirá para bomba de alta pressão, com objetivo de fornecer uma pressão superior a pressão osmótica, segue para o recipiente de pressão onde estão contidas as membranas de osmose reversa. O conjunto de recipientes e membrana denominam -se de permeado.

Após a primeira etapa de osmose inversa e tendo em conta as condições gerais de salinidade e temperatura da água do mar, o permeado tem um pH ligeiramente ácido, a concentração de TDS está entre 70-350 mg/L os iões cálcio e magnésio têm uma concentração de 2 a 6 mg/L e a concentração de boro está entre 0,5 e 1,2 mg/L.

As tecnologias de pós-tratamento variam com a aplicação final da água a tratar de acordo com os parâmetros de qualidade de OMS descrito no Quadro 4.2.

	Água potável
Cloreto de sódio	<450 mg/L
Cálcio, Magnésio	Dureza 6-10 mg/L Ca
pH	
Boro	<0,5 mg/L (OMS); <1 mg/L (EU)
Desinfecção	Solicitado

Quadro 4. 2 - Parâmetros de qualidade da água do mar pós-tratamento.  
Fonte: OMS

O cloreto de sódio e o boro podem ser reduzidos, até valores ainda mais baixos, depois de um segundo passo de OI utilizando membranas específicas para água salobra ou água do mar. Este segundo passo de OI reduz quase para zero as concentrações residuais de cálcio e magnésio. Por esta razão o permeado, resultado do segundo passo de OI deve ser remineralizado, para atingir a dureza normal (100 mg/L CaCO<sub>3</sub>).

Na água do mar, a concentração de boro varia entre 4,0 a 5,5 mg/L e é proporcional à salinidade da água do mar. O boro presente na água do mar deriva das descargas das plantas de tratamento de efluentes para o mar, inicialmente usado no sabão e nos detergentes bem como nos fertilizantes agrícolas. Este parâmetro está presente na água na forma de ácido bórico H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> e borato H<sub>3</sub>BO<sub>2</sub><sup>-</sup>. A forma química mais abundante depende do pH da água do mar.

A maioria das vezes a água do mar com uma salinidade elevada possui um elevado teor em boro e normalmente estão localizadas em zonas de climas quentes tais como o golfo pérsico, o mar Vermelho, o mar mediterrâneo ou o mar das Caraíbas. Com uma temperatura de 30 °C a remoção do boro é de 78%, o que corresponde a 1,15 mg/L de boro no permeado na primeira etapa. Por isso, torna-se necessário uma segunda etapa adicional de OI de modo a reduzir o teor em boro para concentrações abaixo dos 0,5 mg/L de acordo com a especificação OMS. A legislação da União Europeia requer níveis de boro abaixo dos 1 mg/L.

As membranas após algum tempo de uso ocorrem uma deposição de sal na superfície da membrana de osmose inversa proporcional a concentração de sais minerais dissolvidos na água. Esta incrustação provoca uma redução do caudal produzida pelo sistema e aumento a pressão. Quando isto acontece, indica a necessidade de limpeza química das membranas, que ocorre em média a cada três meses de funcionamento. Para a remoção das incrustações na superfície da membrana, a limpeza química é realizada utilizando-se produtos ácidos ou alcalinos dependendo do tipo de incrustação ocorrida.

### 4.3. Descrição Geral do Sistema Adutor

O sistema de adução ou transporte é um conjunto de obras destinadas a transportar a água desde a captação até ao reservatório/rede de distribuição, no presente caso, neste o reservatório de água tratada na Calheta até ao reservatório de distribuição na Assomada.

O sistema de adução em estudo foi dividido em dois troços, com duas estações elevatórias (EE1 e EE2), uma câmara de transição e um reservatório de distribuição.

O 1º troço será vencido com uma estação elevatória localizada no recinto da ETA, e associada ao reservatório de água tratada. Esta primeira conduta elevatória termina num reservatório/câmara de transição. Este elemento irá permitir uma condução relativamente simplificada do sistema elevatório, realizando no mesmo o equilíbrio hidrodinâmico dos caudais bombeados pelos dois escalões em série.

O 2º troço será equipado por uma segunda estação elevatória localizada imediatamente a jusante do reservatório/câmara de transição. Esta segunda conduta elevatória termina num Reservatório de Distribuição de Assomada.

### 4.4. Dimensionamento Hidráulico do Sistemas Adutores

O dimensionamento hidráulico de um sistema adutor sobre pressão consiste em determinar o caudal de dimensionamento ( $Q$ ), a velocidade de escoamento ( $V$ ), o diâmetro do tubo ( $\Phi$ ) e também a perda de carga e correspondentes alturas de elevação das bombas.

Este subcapítulo tem por objetivo fazer uma mais correta avaliação possível das quantidades de água para as quais se deve projetar as componentes do sistema. Começa-se por apresentar o esquema do sistema adutor analisado (Figura 4.5) assim como o traçado em planta e em perfil (Figura 4.6 e Figura 4.7).

#### 4.4.1. Sistema Elevatório - ETA – Cidade de Assomada

O transporte do caudal de abastecimento da Cidade de Assomada terá origem na ETA dessalinizadora, localizada cerca da cota dos 20 m, junto à linha de costa.

O caudal de será aduzido por intermédio de um sistema adutor por bombagem. O reservatório de distribuição da Cidade de Assomada situar-se-á cerca da cota dos 555 m, para um desnível geográfico de 335 metros.

#### 4.4.2. Conceção Preliminar do Sistema Adutor

O sistema adutor é composto por uma EE1 junto à ETA, uma câmara de transição junto à EE2 e um reservatório de distribuição.

A Figura 4.6 representa a concepção desenvolvida e as respetivas distâncias e desnível geográfica ( $\Delta H_g$ ).

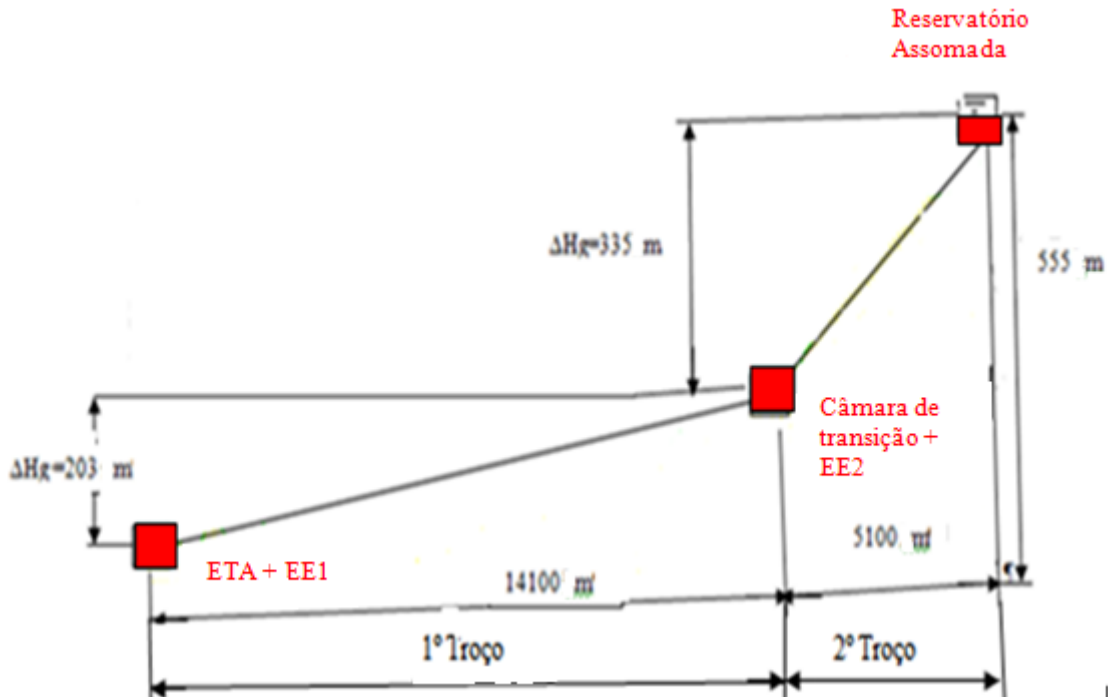


Figura 4. 5 - Esquema Preliminar do Sistema Adutor

#### 4.4.3. Adutor Traçados em planta e em perfil longitudinal

Para o desenvolvimento da concepção preliminar do sistema de adutor foi em primeiro lugar definido o melhor traçado em planta para a conduta de adução, que, não presente situação, se localiza ao longo da estrada de interligação, e cujo perfil longitudinal que apresenta em anexo.

Trata-se de um sistema elevatório com um relativo desenvolvimento, cerca de 19 200 m, e que apresenta um desnível geográfico igualmente importante, os já referidos 335 m.

Dada a importância estratégica deste sistema de adução a um grande centro populacional, o material da tubagem será o ferro fundido dúctil, a fim de lhe conferir a máxima fiabilidade possível.

Neste pressuposto, foi a sua aplicação aproveitada no sentido da redução do número de escalões de bombagem, tendo-se considerado apenas o recurso a dois andares de bombagem. De referi que a pressão nominal dos tubos de ferro fundido dúctil é de 40 bar, bem acima do valor máxima de projeto.

Na sua localização foi determinante o desenvolvimento em perfil longitudinal (Figura 4.7) do terreno segundo o traçado definido em planta (Figura 4.6), ao longo da estrada nacional.

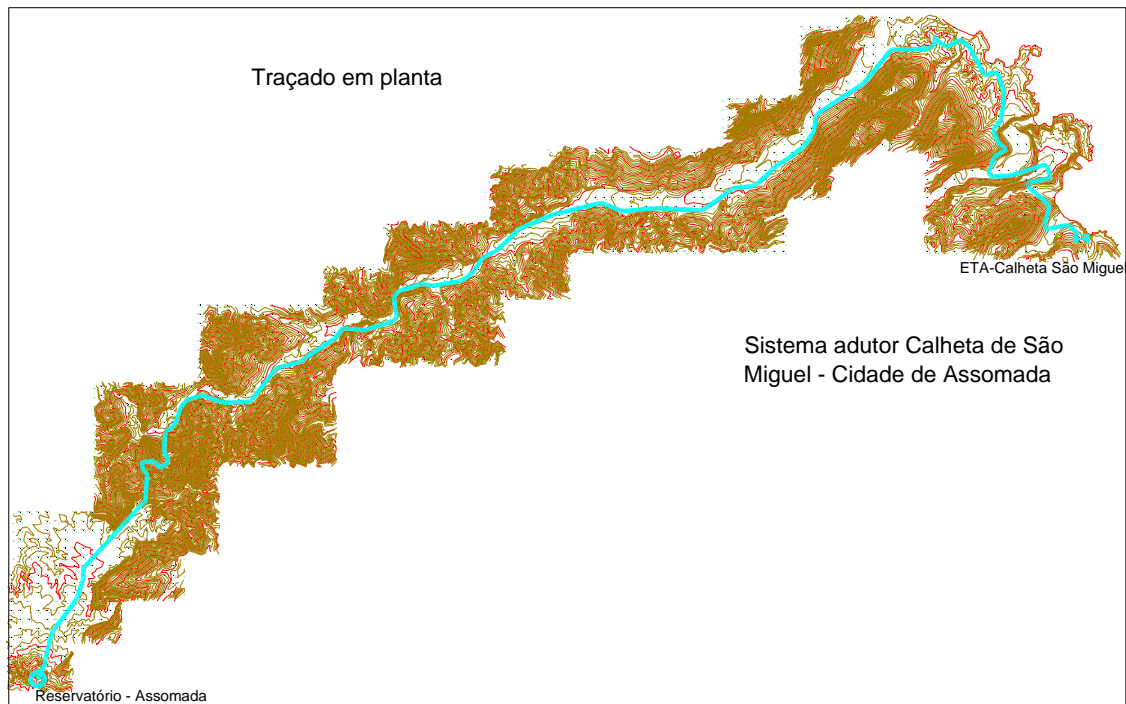


Figura 4. 6 – Traçado em planta do Sistema adutor Calheta de São Miguel – Cidade de Assomada.

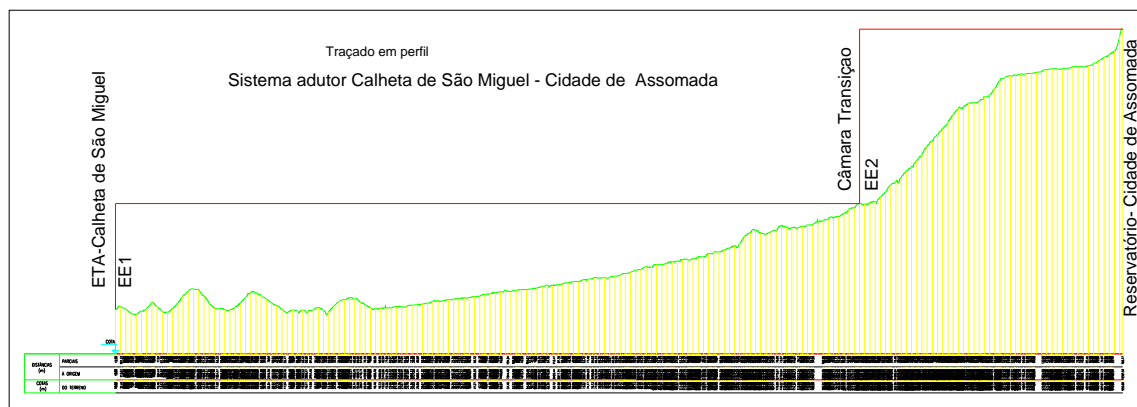


Figura 4. 7 - Traçado em perfil do Sistema adutor Calheta de São Miguel - Cidade de Assomada.

Em anexo D, encontram-se representados o traçado em planta e em perfil do sistema adutor a que permite uma melhor visibilidade.

Este perfil, apresenta dois distintos traneis, um 1º troço, em cerca de 70% da extensão total, relativamente plano, e um 2º troço, com os restantes 30%, mas com elevado gradiente altimétrico.

A conduta elevatória será instalada enterrada em vala, a cerca de 0,60 m de profundidade, e equipada com os necessários elementos de controlo e de segurança, tais como: válvula em derivação para descarga de fundo em todos os pontos baixos do traçado em perfil longitudinal,

e ventosa automática de três funções em todos os pontos altos do traçado em perfil longitudinal.

#### **4.4.4. Dimensionamento do Sistema Adutor**

O dimensionamento do sistema adutor consiste na procura de um diâmetro que conduza à maximização da diferença entre os benefícios e o custo global (custo de investimento + custo de exploração) do sistema elevatório (Sousa J. a., 2009).

Para o dimensionamento económico do sistema de adução em estudo tende-se a conhecer o caudal de dimensionamento e qual a secção mais económica para transportar esse caudal.

Para a escolha do seu diâmetro da tubagem, foi necessário avaliar, os respetivos encargos de instalação e de exploração, por troço, que se apresentam nos quadros anexos, com base na aplicação do conceito do chamado “diâmetro mais económico”, diâmetro a que corresponde o menor valor do somatório dos respetivos encargos de instalação e de exploração.

Os parâmetros considerados na determinação do caudal de dimensionamento do sistema adutor foram:

- Horizonte de Projecto;
- Populações e Captações de Projecto;
- Caudais de Projecto;
- Período diário de adução;

#### **Horizonte do projeto**

O horizonte do projeto é o número de anos durante os quais o sistema ou as estruturas e os equipamentos que o compõem têm que servir em boas condições.

Para a realização deste trabalho considera-se 2040 o ano de horizonte de projeto para um período de projeto de 25 anos.

#### **Populações e Capitações de projeto**

Para dimensionamento do sistema, considerou-se uma taxa de crescimento populacional na cidade de Assomada de 0,7 % anual.

Os fatores que condicionaram a escolha do horizonte do projeto desse sistema de abastecimento de água são os seguintes:

- Vida útil das obras de construção civil e dos equipamentos (elétricos e

eletromecânicos);

- Facilidade ou dificuldade de ampliação do sistema;
- Previsão da evolução da população, incluindo desvios bruscos de desenvolvimento;
- Aumento da taxa de juro durante o período de amortização do investimento;
- Funcionamento da instalação nos primeiros anos de exploração.

Quanto maior for a vida útil, maior dificuldade de ampliação, mais baixo e uniforme o crescimento populacional, menor a taxa de juro correspondente ao empréstimo de capital e melhor funcionamento inicial, maior pode ser o horizonte de projeto.

Para o estudo de evolução de população fez-se uma estimativa tendo em conta o resultado dos censos dos anos anteriores.

A população no horizonte de projeto foi dimensionada utilizando o método de extrapolação ou de regressão geométrica, de acordo com a Fórmula 4.1:

$$P_n = P_0 (1 + K_g)^{(t_n - t_0)} \quad (4.1)$$

Em que:

$P_n$  – População no ano n

$P_0$  – População no ano inicial

$K_g$  – Taxa de crescimento da população

$t_0$  – Tempo inicial

$t_n$  – Tempo no ano n

Para determinar a taxa de crescimento da população ( $K_g$ ) subtrai-se 1 da raiz enésima do quociente entre a população no ano final ( $P_{25}$ ) e a população no ano inicial (2015) ( $P_0$ ), multiplicando-se o resultado por 100, sendo "n" igual ao número de anos no período, de acordo com a seguinte expressão:

$$K_g = \left( \frac{P_{25}^{1/n}}{P_0} - 1 \right) \times 100 \quad (4.2)$$

Em que:

$P_{25}$  – População no ano 25

$P_0$  – População no ano inicial

$K_g$  – Taxa de crescimento da população

$t_0$  – Tempo inicial

$t_n$  – Tempo no ano n

Para o dimensionamento do sistema adutor em estudo utiliza-se os dados iniciais representada no Quadro 4. 3

<b>Especificações</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Unidades</b>
População atual	12 780	Habitantes
Taxa de crescimento anual projetado	0,746	%
Tempo considerado como horizonte de projeto	25	Anos
$P_{25} = P_0 (1 + K_g)^{(t_{25} - t_0)}$	15274	Habitantes

Quadro 4. 3 – Cálculo para projeção da população para o ano 2040.

Para a população do projeto utiliza-se é a população a servir no horizonte de projeto no ano 2025, em que é calculada utilizando os dados dos censos realizados nos anos 1990, 2000, 2005 e 2010) assim como mostra o Quadro 4. 4.

<b>Anos</b>	<b>População</b>
1990	3 414
2000	7 067
2005	11 900
2010	12 332
2015	12 780
2040	15 274

Quadro 4. 4 – População da Cidade de Assomada (INE).

Os dados da população referente aos anos de 1990, 2000 e 2010 foram obtidos através de censos realizados em Cabo Verde e a do ano 2005 obteve-se através de um estudo da população realizado. Para população dos anos seguintes fez-se uma estimativa de acordo com os resultados dos anos anteriores (Quadro 4. 5).

<b>Ano</b>	<b>Ano</b>	<b>População</b>
------------	------------	------------------

projeto		(hab)
1	2015	12 780
2	2016	12 875
3	2017	12 971
4	2018	13 068
5	2019	13 166
6	2020	13 264
7	2021	13 363
8	2022	13 462
9	2023	13 563
10	2024	13 664
11	2025	13 766
12	2026	13 869
13	2027	13 972
14	2028	14 076
15	2029	14 181
16	2030	14 287
17	2031	14 394
18	2032	14 501
19	2033	14 609
20	2034	14 718
21	2035	14 828
22	2036	14 939
23	2037	15 050
24	2038	15 162
25	2039	15 276

Quadro 4. 5 - Crescimento populacional ano a ano.

A Figura 4.8 apresenta a evolução da população da Cidade de Assomada nos últimos anos de acordo com o crescimento da população ao longo dos anos (Figura 4.9).

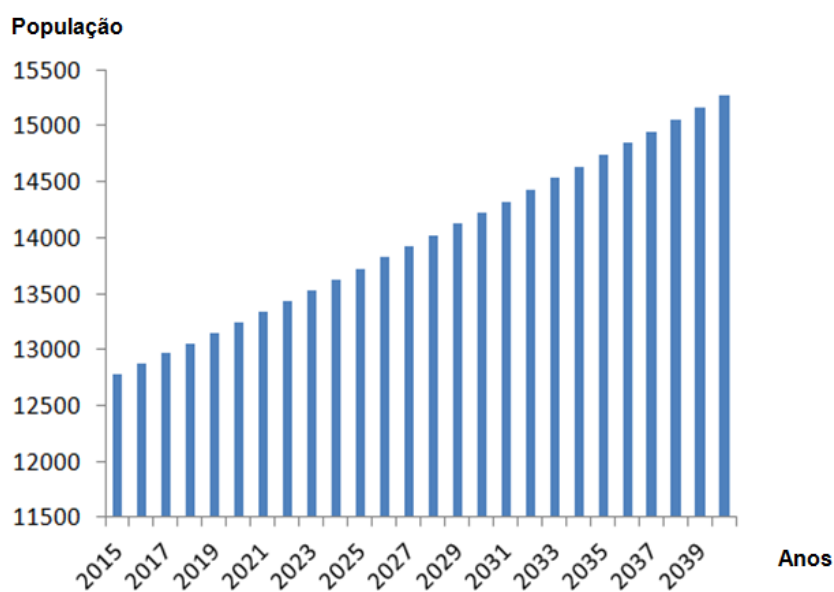


Figura 4. 8 - Evolução da população ao longo dos anos da Cidade de Assomada.

Verifica-se um ligeiro decréscimo de taxa de crescimento ao longo dos anos. De acordo com os cálculos da população verifica-se que a taxa de crescimento de Assomada encontra-se a 0,7% de acordo com o Figura 4.9 em que desde o ano de 2010 tende-se a manter sempre a mesma percentagem.

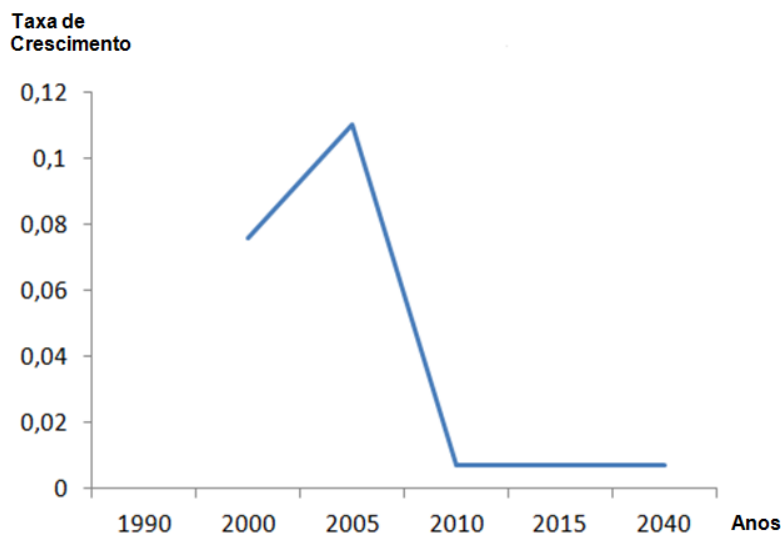


Figura 4. 9 - Evolução de taxa de crescimento da Cidade de Assomada.

### **Caudais de Projeto**

Para o cálculo dos consumos define-se o valor da capitação que é uma característica média do consumo. A capitação é o quociente do consumo anual total pelo número de habitantes e pelo número de dias do ano L/(hab.dia).

Para a atribuição de um valor da capitação para este trabalho de acordo com o valor da população teve em conta consumos mínimos fixados pelo Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, o Decreto Regulamentar nº 23/95, estipula, no seu artigo 13.º, que (Rodrigues, 2007):

As capitações na distribuição exclusivamente domiciliária não devem, qualquer que seja o horizonte de projeto, ser inferiores aos seguintes valores:

- 80 L/(hab.dia) até 1 000 habitantes;
- 100 L/(hab.dia) de 1000 a 10 000 habitantes;
- 125 L/(hab.dia) de 10000 a 20 000 habitantes;
- 150 L/(hab.dia) de 20000 a 50 000 habitantes;
- 175 L/(hab.dia) acima de 50 000 habitantes.

O valor da capitação para o ano 0 é de 100 L/ (hab.dia) porque encontra-se dentro de uma escala de 1 000 hab até 10 000 hab e para a capitação dos restantes anos foi calculada através de uma taxa aritmética crescente de 1 L/(hab.dia.ano).

O valor utilizado neste trabalho para a capitação encontra-se no Quadro 4. 6, assim como cada ano de projeto e a respetiva população.

Ano projeto	Ano	População (hab)	Capitação (L/(hab.dia))
1	2015	12 780	100
2	2016	12 875	101
3	2017	12 971	102
4	2018	13 068	103
5	2019	13 166	104
6	2020	13 264	105
7	2021	13 363	106
8	2022	13 462	107
9	2023	13 563	108
10	2024	13 664	109
11	2025	13 766	111
12	2026	13 869	112
13	2027	13 972	113
14	2028	14 076	114
15	2029	14 181	115
16	2030	14 287	116
17	2031	14 394	117
18	2032	14 501	118
19	2033	14 609	119
20	2034	14 718	120
21	2035	14 828	121
22	2036	14 939	122
23	2037	15 050	123
24	2038	15 162	124
25	2039	15 276	125

Quadro 4. 6 - Valores da captação ao longo dos anos.

Para o cálculo de caudal de projeto foram utilizados dois fatores de ponta; mensal e diário. O fator de ponta mensal refere-se ao consumo médio diário no mês de maior consumo da população na falta de elementos de consumo aplica-se um fator majorativo de 1,3. O fator de ponta diário refere-se ao consumo no dia de maior consumo da população; na falta de elementos de consumo, aplica-se um fator majorativo de 1,5.

Considera-se ainda um valor de 1,1 para fugas correspondentes aos volumes de água que se perdem ao longo do sistema adutor, pode ser através de juntas deficientes, roturas de condutas, extravasamento de reservatórios ou qualquer outra anomalia. Para este projeto foram aplicadas as seguintes variações de consumo:

- Consumo médio diário anual – obtém-se dividindo o volume total de água gasto ao longo do ano pelo número de dias do ano – ( $Q_{mda}$ ), de acordo com a Fórmula (4.4):

$$Q_{mda} = \text{Capitação} \times \text{População} \times \text{fugas e perdas} \quad (4.4)$$

$$= \frac{125 \times 15276}{1000} \times 1,1 = 2104 \text{ [m}^3/\text{dia]}$$

- Consumo médio diário do mês de maior consumo - obtém-se dividindo o volume total

de água gasto no mês de maior consumo, pelo número de dias desse mês -  $Q_{mdmmc}$ . Calcula-se da utilizando a Fórmula (4.5):

$$Q_{mdmmc} = Q_{mda} \times 1,3 = 2104 \times 1,3 = 2735 \text{ [m}^3/\text{dia]} \quad (4.5)$$

- Consumo diário máximo – volume da água gasto no dia do ano em que o consumo foi maior –  $Q_{dmax}$  v de acordo com a Fórmula (4.6.)

$$Q_{dmax} = Q_{mda} \times 1,5 = 2104 \times 1,5 = 3156 \text{ [m}^3/\text{dia]} \quad (4.6)$$

O caudal de dimensionamento é o caudal do dia de maior consumo no horizonte de projeto (ano 25) acrescido de respetivo caudal para compensar fugas. A estação dessalinizadora a dimensionar tem as seguintes características (Quadro 4. 7):

Ano de Implantação	2015	Ano 0
Horizonte de Projeto	25	Anos
Ano Final	2040	Ano 25
População de Projeto	15 276	Habitantes
Capitação genérica	125	L/(hab.dia)
Fugas	1,05	
Fator de ponta diário	1,5	
Fator de ponta mensal	1,3	
Horas de funcionamento	24	Horas
Caudal de dimensionamento	3 156	m <sup>3</sup> /dia

Quadro 4. 7 - Características técnicas para o dimensionamento do sistema adutor

Calcula-se o caudal volúmico ( $Q_v$ ) necessário referente a cada ano como apresenta o Quadro 4.8 utilizando a seguinte Fórmula (4.7) e obtêm os resultados do Quadro 4.8:

$$Q_v = \text{Capitação} \times \text{População} \times 365 \text{ [m}^3/\text{ano]} \quad (4.7)$$

Ano projeto	Anos	População (hab)	Capitação (L/(hab.dia))	Caudal (m <sup>3</sup> /ano)
1	2015	12 780	100	466 470
2	2016	12 875	101	474 884
3	2017	12 971	102	483 398
4	2018	13 068	103	492 013
5	2019	13 166	104	500 729
6	2020	13 264	105	509 548
7	2021	13 363	106	518 470
8	2022	13 462	107	527.498
9	2023	13 563	108	536 631
10	2024	13 664	109	545 871
11	2025	13 766	111	555 219
12	2026	13 869	112	564 676
13	2027	13 972	113	574 243
14	2028	14 076	114	583 922
15	2029	14 181	115	593 713
16	2030	14 287	116	603 618
17	2031	14 394	117	613 637
18	2032	14 501	118	623 772
19	2033	14 609	119	634 025
20	2034	14 718	120	644 395
21	2035	14 828	121	654 885
22	2036	14 939	122	665 496
23	2037	15 050	123	676 229
24	2038	15 162	124	687 084
25	2039	15 276	125	698 064

Quadro 4. 8 Caudal volúmico necessário referente a cada ano

### Período diário de adução

Tendo em conta que o caudal a aduzir é o quociente entre o volume diária a transportar e o período de adução, pretende-se que seja o maior possível de modo a minimizar o caudal de projeto.

Para essa análise considera-se os custos de investimento e de exploração. O período de funcionamento utilizado nas estações elevatórias pode vir a ser aumentada ou reduzida em conformidade com a disponibilidade do operador, tarifas de energia e equipamentos eletromecânico a instalar (Sousa J. a., 2009). Neste projeto o período de adução é de 24 horas por dia.

### Velocidades

No transporte de um determinado caudal (Q) por uma tubulação, através da equação de continuidade ( $Q = A.V$ ) em que (A-área da secção transversal da tubulação e V-velocidade média do escoamento), verifica-se que quanto maior for a velocidade de escoamento menor

será o diâmetro necessário do tubo assim como o seu custo. Aumentando a velocidade de escoamento ter-se-á maior perda de carga e as tubulações poderão ser danificadas pelo golpe de aríete, tendo maiores desgastes nos tubos e nos acessórios. O aumento da velocidade nas tubulações irá resultar maiores vibrações nos mesmos.

Segundo (Granados, 1990), em sistemas de água em geral, admite valores de velocidades máximas até 2,0 m/s para diâmetros menores ou iguais a 250 mm e para os diâmetros entre 300 e 1 000 mm recomenda velocidades entre 2,1 e 3,0 m/s e para diâmetros acima de 1 000 mm.

Considera-se os seguintes limites de velocidade de escoamento no dimensionamento de condutas adutoras por bombeamento neste trabalho:

- Velocidade máxima = 2,0 m/s
- Velocidade mínima = 0,5 m/s

#### 4.4.5. Determinação do diâmetro mais económico

A determinação do diâmetro mais económica refere-se ao cálculo de diâmetros da conduta que minimiza o custo global do sistema de forma que a soma de custos de investimento e de exploração seja um valor mais económico.

Os custos e investimentos referem-se a custos obtidos na realização de estudos e projetos, e fiscalização da execução das obras, aquisição de terrenos, movimentação de terras, levantamento e reposição de pavimentos, condutas e acessórios, estações elevatórias, juros de capital investido durante a construção, etc.

Os custos de exploração englobam os custos de energia nas estações elevatórias (EE1 e EE2) bem como as respetivas taxas de potências e as despesas de manutenção e conservação de todo o sistema. A Figura 4.10 apresenta o crescimento de sentido inverso destes custos.

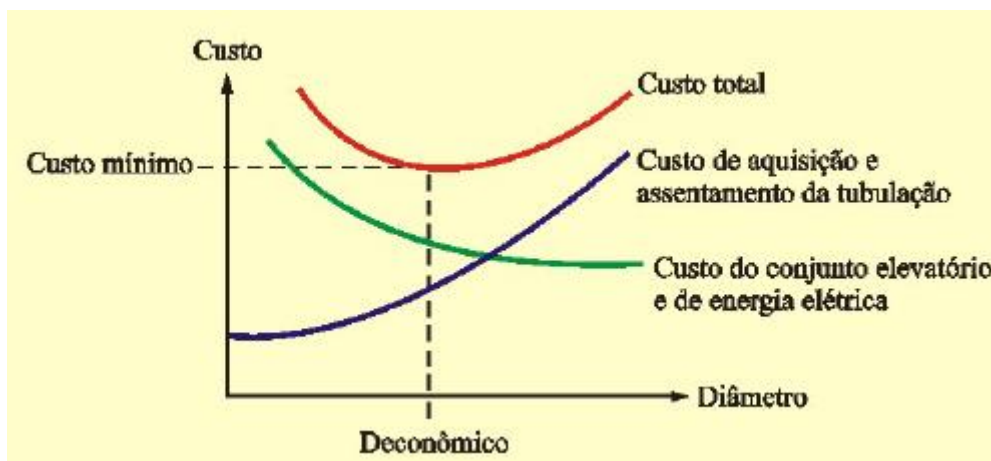


Figura 4. 10 - Variação de custos com o diâmetro (Sousa J. A., 2009).

O modo mais económico para considerar o diâmetro económico num sistema adutor consiste na escolha de vários diâmetros comerciais e depois fazer uma avaliação de custos de investimento e de exploração correspondente a cada um deles.

No dimensionamento das condutas adutoras por bombeamento efetua-se de modo a minimizar o custo global ( $C_{global}$ ) do sistema (Sousa J. a., 2009). Neste custo inclui custos de investimento ( $C_{inv}$ ) que são relacionados com a construção do sistema e custos de exploração ( $C_{exp}$ ) associado ao funcionamento e manutenção do sistema de acordo com a Fórmula 4.7 (Sousa J. a., 2009):

$$\text{Minimizar } C_{global} = \text{Minimizar } (C_{inv} + C_{exp}) \quad (4.7)$$

Para determinar qual a solução que minimiza o custo global do sistema tende-se primeiro identificar quais os diâmetros admissíveis.

Tendo em conta que, a conduta é de ferro fundido dúctil tende-se definir qual a classe a utilizar. Como uma primeira aproximação considera-se a classe de 1 MPa. Calcula-se então os diâmetros dentro dessa classe que verifica os limites de velocidade impostos.

Tendo os limites de velocidade e os caudais de dimensionamento é possível definir um intervalo de diâmetros admissível segundo a equação da continuidade (4.8):

$$Q = V \times A = V \times \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.8)$$

Tem-se a equação (4.9):

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \quad (4.9)$$

Em que:

Q – Caudal de dimensionamento no ano 25 ( $m^3/s$ )

V – Velocidade de escoamento (m/s)

A – Área da secção transversal da tubulação ( $m^2$ )

D – Diâmetro admissível (mm)

Substituindo Q pelo caudal de dimensionamento e V pela velocidade máxima, obtêm-se o diâmetro mínimo admissível:

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{dim40}}{\pi \times V_{máx}}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,037}{\pi \times 2}} = 0,153 \text{ m}$$

De igual forma faz-se para obter o diâmetro máximo, aplicando a fórmula 4.9 Substituindo Q pelo caudal de dimensionamento e V pela velocidade mínima, obtêm-se o diâmetro máximo admissível:

$$D_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{\text{dim25}}}{\pi \times V_{\text{máx}}}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,037}{\pi \times 0,5}} = 0,305 \text{ m}$$

Os diâmetros admissíveis são os que pertencem ao intervalo compreendido entre 153 mm e 305 mm.

De acordo com o catálogo das condutas comerciais de ferro fundido dúctil verifica-se que os existem três soluções admissíveis:  $\phi$  200,  $\phi$  250 e  $\phi$  300. O Quadro 4.9 mostra os diâmetros comerciais de tubulação de ferro fundido dúctil:

Características										
Diâmetro Nominal DN (mm)	Comprimento Útil Médio L	CORPO		BOLSA			MASSAS MÉDIAS			
		e (só ferro)	DE	DI	P	C	de um tubo		por metro	
							Só ferro	Total com cimento	Só ferro	Total com cimento
(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	
100	6	3,6	118	121	88	183	60	72	10	12
150	6	3,9	170	173	94	240	93	114	15,5	19
200	6	4,2	222	225	100	299	132	162	22	27
250	6	4,5	274	277	103	358	174	210	29	35
300	6	4,8	326	329	105	401	222	264	37	44

Quadro 4. 9 - T Tubos de ferro fundido dúctil classe 1 MPa, de ponta e bolsa com junta elástica (RICHTER, 1991).

### Perdas de cargas em condutas

No dimensionamento das condutas adutoras é indispensável o conhecimento da determinação de perdas de carga nas condutas, isto é saber como a energia é dissipada. No dimensionamento em estudo utilizam-se perda de carga unitária, J (m/km) e perda de carga contínua,  $P_{cc}$  (m). Não se considera as perdas de carga localizadas neste dimensionamento.

Para determinar a perda de carga unitária em condutas utiliza-se a fórmula de Colebrook-White que é a mais utilizada para essa determinação, provendo-se que o erro decorrente da sua aplicação seja de  $\pm 3\%$ .

De acordo com o Quadro 4.10 onde apresenta os valores da rugosidade média da tubagem (k), recomendados para Lei de Escoamento de Colebrook-White de ferro fundido com revestimento dado neste trabalho é de 0,1 mm.

CASOS DE APLICAÇÃO	RUGOSIDADES ABSOLUTAS PRÁTICAS k (mm)		
	MÍNIMAS	MÉDIAS	MÁXIMAS
1. Condutas principais sob pressão, adutoras ou distribuidoras, sem muitas perdas de carga localizadas	0,10	0,20	0,30
2. Redes de distribuição, em que as perdas de carga localizadas são importantes	0,40	0,80	1,0

Quadro 4. 10 - Valor da rugosidade média da tubagem k, recomendado para uso na fórmula de Colebrook-White em sistemas de abastecimento de água

As perdas de cargas contínuas ( $P_{cc}$  (m)) surgem derivado aos fenómenos de atrito entre a veia líquida e as paredes internas das condutas. Fenómenos de origem viscosa e turbulenta.

Perda de carga contínua ( $P_{cc}$  (m)) é a energia dissipada ao longo de todo o comprimento da conduta. Em regime permanente uniforme obtêm-se segundo a Fórmula (4.10):

$$P_{cc} = J \cdot L \quad (4.10)$$

Em que:

$P_{cc}$  - Perda de carga contínua (m)

J – Perda de carga unitária (m/km)

L – Comprimento da conduta (km)

#### 4.4.6. Dimensionamento económico da conduta elevatória do 1º troço

Os diâmetros candidatos utilizados para a escolha do diâmetro mais económico para o dimensionamento foram os seguintes:

- 1- 200 (mm)
- 2- 250 (mm)
- 3- 300 (mm)

O dimensionamento é feito tendo em consideração os seguintes parâmetros:

- Variação da população a abastecer, da respetiva capitação e consumos, para o período de projeto de 25 anos

- Variação dos consumos energéticos, considerando um tempo diário de adução de 24 horas, para os três diâmetros candidatos, para um período de 25 anos
- Variação dos encargos anuais com a energia consumida, para os três diâmetros candidatos
- Variação dos encargos anuais atualizados com a energia consumida, para os três diâmetros candidatos

Para o dimensionamento económico da conduta elevatória do primeiro troço calcula-se a perda de carga contínua ( $P_{cc}$ ) de acordo com a fórmula (4.10) e multiplica pelo valor de fugas e perdas para os três diâmetros considerados. O comprimento da adutora (L) é de 14 100 km. Assim obtêm-se para os três diâmetros:

$$P_{cc1}(200) = 6,56 \times 14\ 100 \times 1,1 = 102 \text{ m}$$

$$P_{cc2}(250) = 2,15 \times 14\ 100 \times 1,1 = 33 \text{ m}$$

$$P_{cc3}(300) = 0,87 \times 14\ 100 \times 1,1 = 13 \text{ m}$$

### Desnível geométrica

Pretende calcular o desnível geométrica ( $H_g$ ) para o dimensionamento da conduta elevatória EE1, a Figura 4.11 representa a localização da  $H_g$  representada cor azul.

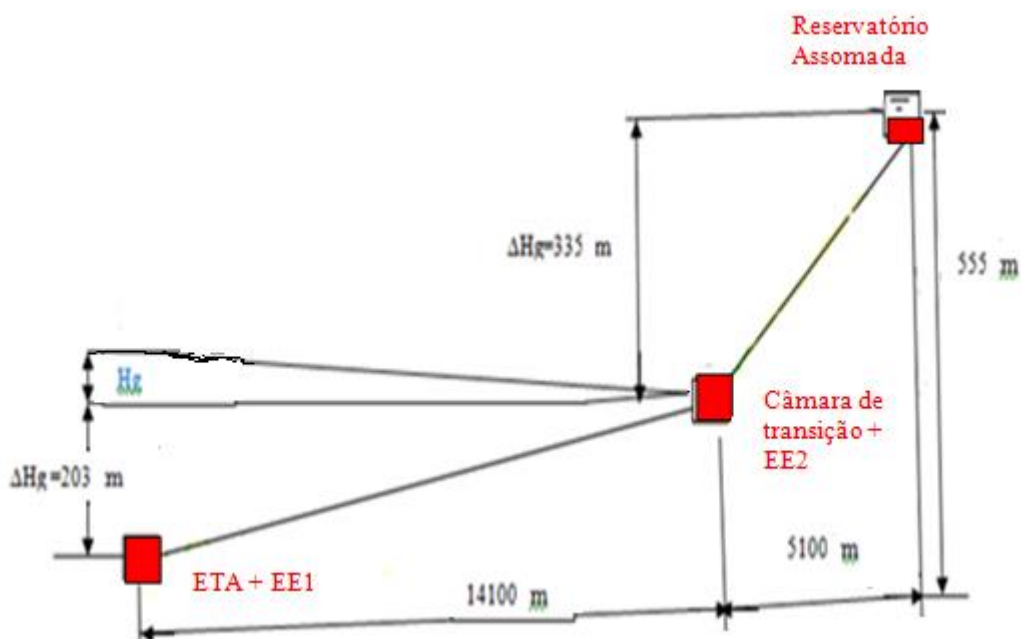


Figura 4. 11 - Conduta adutora EE1 com a representação de  $H_g$

Quanto maior a altura manométrica gerada pela bomba, maior será a declividade da linha piezométrica e menor poderá ser o diâmetro para conduzir a caudal maior custo das estações elevatórias e custos com energia elétrica. Calcula-se utilizando a fórmula (4.11):

$$H_g = \Delta H_{g1} + P_{cc} \quad (4.11)$$

Em que:

$H_g$  - Desnível geométrica (m)

$\Delta H_{g1}$  - Variação geométrica

$P_{cc}$  - Perda de carga contínua

A variação geométrica ( $\Delta H_{g1}$ ) tem um valor de 203 m. Foram calculadas o desnível geométrica a ser vencido para cada diâmetro candidato assim como mostra a seguir:

$$H_g (200) = \Delta H_{g1} + P_{cc1} = 203 + 102 = 305 \text{ m}$$

$$H_g (250) = \Delta H_{g1} + P_{cc2} = 203 + 33 = 236 \text{ m}$$

$$H_g (300) = \Delta H_{g1} + P_{cc3} = 203 + 13 = 216 \text{ m}$$

### **Energia consumida**

Tendo o diâmetro da adutor e a potência (P) da bomba que vai gerar a pressão necessária para vencer o desnível indicado, ao caudal desejada

Para o cálculo de energia consumida tende-se saber qual a potência da bomba (P) referente a cada ano. A potência da bomba é calculada utilizando a Fórmula 4.12:

$$P = \frac{\gamma \times H \times g \times Q}{\eta} \quad (4.12)$$

Em que:

P – Potência da bomba (kW)

$\gamma$  - Peso volúmico da água (9,8 kN/m<sup>3</sup>)

$\eta$  – Rendimento do grupo eletrobomba (considerado igual a 75%)

$H_g$  – Desnível geométrica (m)

Q – Caudal de dimensionamento (m<sup>3</sup>/s)

Tendo o valor do desnível geométrica (m) para cada diâmetro candidato assim como mostra o Quadro 4.11 e o caudal de dimensionamento ( $m^3/s$ ), obtêm-se então o valor da potência da bomba referente a cada diâmetro durante os 25 anos.

Diâmetro (D)	Desnível geométrica (Hg)
200	305
250	236
300	216

Quadro 4. 11 - Diâmetros candidatos e altura geometrica.

Em seguida calcula-se a energia consumida anualmente (kWh) de acordo com a Fórmula 4.13:

$$E_{annual} = 365 \times N_{HBD} \times P \quad (4.13)$$

Em que:

$E_{annual}$  - Energia consumida anualmente (kWh)

$N_{HBD}$  - Número médio de horas de bombeamento por dia (h)

P – Potência da bomba (kW)

A energia consumida é calculada para cada ano assim como mostra no Quadro 4.12:

Ano de projeto	Q (m3/ano)	Energia consumida (kWh)		
		φ300	φ 250	φ 200
1	466 470	366 504	400 048	515 918
2	474 884	373 115	407 265	525 224
3	483 398	379.805	414 566	534 641
4	492 013	386 573	421 954	544 168
5	500 729	393 421	429 429	553 808
6	509 548	400 350	436 992	563 562
7	518 470	407 360	444 644	573 430
8	527 498	414 453	452 386	583 415
9	536 631	421 629	460 219	593 516
10	545 871	428 889	468 143	603 735
11	555 219	436 234	476 160	614 074
12	564 676	443 664	484 271	624 534
13	574 243	451 181	492 476	635 116
14	583 922	458 786	500 776	645 820
15	593 713	466 478	509 173	656 649
16	603 618	474 260	517 667	667 604
17	613 637	482 133	526 260	678 685
18	623 772	490 096	534 952	689 895
19	634 025	498 151	543 745	701 234
20	644 395	506 299	552 639	712 704
21	654 885	514 541	561 635	724 306
22	665 496	522 878	570 735	736 042
23	676 229	531 311	579 939	747 912
24	687 084	539 840	589 249	759 918
25	698 064	548 467	598 666	772 062

Quadro 4. 12 - Energia Consumida a cada ano

#### 4.4.7. Análise de investimento da conduta elevatória do 1º troço

Para a análise de investimento é determinada os custos de exploração, de exploração atualizados, se investimento/instalação e por fim a verificação de encargos totais atualizados.

##### Encargos de exploração

De acordo com estudos económicos de condutas elevatórias, os custos anuais de exploração que se consideram reduzidos aos custos da energia, são traduzidos da seguinte expressão (4.14):

$$C_{\text{energia no ano } i} = E_{\text{anual}} \times C_{\text{kwh}} \quad (4.14)$$

Em que:

$C_{\text{energia no ano } i}$  - Custo da energia consumida no ano  $i$  (€)

$E_{\text{anual}}$  - Energia consumida anualmente (kWh)

$C_{\text{kwh}}$  - Custo unitário médio da energia (0,29 €/kWh ou 31\$45 CVE/kWh)

Calcula-se os encargos de exploração de acordo com os diâmetros candidatos referente a cada ano assim como representa o Quadro 4.13:

Ano de projeto	Encargos exploração (€)		
	φ300	φ 250	φ 200
1	106 286	116 014	149 616
2	108 203	118 107	152 315
3	110 143	120 224	155 046
4	112 106	122 367	157 809
5	114 092	124 534	160 604
6	116 102	126 728	163 433
7	118 135	128 947	166 295
8	120 191	131 192	169 190
9	122 272	133 463	172 120
10	124 378	135 761	175 083
11	126 508	138 086	178 082
12	128 663	140 438	181 115
13	130 843	142 818	184 184
14	133 048	145 225	187 288
15	135 279	147 660	190 428
16	137 536	150 124	193 605
17	139 818	152 615	196 819
18	142 128	155 136	200 070
19	144 464	157 686	203 358
20	146 827	160 265	206 684
21	149 217	162 874	210 049
22	151 635	165 513	213 452
23	154 080	168 182	216 894
24	156 554	170 882	220 376
25	159 055	173 613	223 898

Quadro 4. 13 - Encargos de exploração a cada ano.

O custo de energia atualizado em relação ao ano 0 da totalidade dos custos de energia que se prevê vir a consumir durante os 25 anos (horizonte do projeto). Considera-se que o preço de energia se manterá constante durante o ano da vida útil do projeto.

### **Encargos de exploração atualizados**

Para a determinação de encargo de exploração atualizado que significa o custo de energia consumida no ano  $i$  atualizado ao ano 0, utiliza-se a seguinte expressão (4.15):

$$C_{energia\ ano\ i-0} = \frac{1}{(1+t)^n} \times C_{energia\ ano\ i} \quad (4.15)$$

Em que,

$C_{energia\ ano\ i-0}$  – Custo de energia do ano  $i$ , atualizado no ano 0 (€)

$t$  – Taxa de atualização (3%)

$n$  – Diferença entre o ano  $i$  e o ano 0 (anos)

$\frac{1}{(1+t)^n}$  – Fator de atualização dos custos anuais de energia

$C_{energia\ ano\ i}$  - Custo da energia consumida no ano  $i$  (€)

Calcula-se os encargos de exploração atualizados de acordo com os diâmetros candidatos referente a cada ano assim como mostra o Quadro 4.14.

Ano de projeto	Encargos exploração atualizados (€)		
	φ300	φ 250	φ 200
1	106 286	116 014	149 616
2	105 052	114 667	147 879
3	103 821	113 323	146 146
4	102 593	111 983	144 417
5	101 369	110 647	142 695
6	100 150	109 316	140 979
7	98.936	107 991	139 269
8	97 727	106 671	137 567
9	96 523	105 357	135 873
10	95 325	104 050	134 187
11	94 134	102 749	132 509
12	92 949	101 456	130 841
13	91 770	100 170	129 183
14	90 599	98 891	127 534
15	89 435	97 621	125 896
16	88 279	96 359	124 268
17	87 130	95 105	122 651
18	85 990	93 860	121 045
19	84 857	92 624	119 451
20	83 733	91 397	117 869
21	82 618	90 179	116 299
22	81 511	88 971	114 741
23	80 413	87 773	113 196
24	79 324	86 585	111 663
25	78 245	85 406	110 143

Quadro 4. 14 - Encargos de exploração actualizados.

Os encargos de exploração atualizados para cada diâmetro estão apresentados no Quadro 4.15.

Diâmetro (mm)	Custo de exploração atualizada (€)
200	3 235 916
250	2 509 165
300	2 298 769

Quadro 4. 15 - Custos de exploração actualizados.

### Custo investimento

Os custos de investimentos ou custos de instalação representam o custo do metro linear da conduta de diâmetro (D) devidamente colocada em vala.

Os custos correspondentes ao investimento inicial é calculada tendo em conta a Fórmula 4.16:

$$C_{inv} = \varphi (D) \times L \quad (4.16)$$

Em que,

$\varphi (D)$  - Custo do metro linear (tubulação) (€)

L - Comprimento da conduta (m)

O Quadro 4.16 representa o preço em € da conduta do material ferro fundido dúctil referente a cada diâmetro utilizada neste trabalho com o respetivo comprimento.

Diâmetro (mm)	Comprimento (km)	Custo (€)
200	14 100	109
250	14 100	134
300	14 100	161

Quadro 4. 16 - Valores de diâmetro comprimentos e custos.

Os custos estão de acordo com o preço praticado em Cabo Verde. De acordo com a equação anterior obtêm-se os seguintes custos de investimento para cada diâmetro de acordo com a Quadro 4.17.

Diâmetro (mm)	Comprimento (km)	Custo (€)	Custo investimento (€)
200	14100	109	1 536 900
250	14100	134	1 889 400
300	14100	161	2 270 100

Quadro 4. 17 - Custo de investimento.

### Custos Totais Atualizados

Para a obtenção de custos totais atualizados ( $C_{global}$ ) tende-se a adicionar o custo de investimento ( $C_{inv}$ ) com os respetivos de exploração ( $C_{exp}$ ), assim como representa a fórmula (4.18).

$$C_{global} = C_{inv} + C_{exp} \quad (4.17)$$

Tendo os custos de investimentos e de exploração, calcula-se o custo total e obtêm o valor do custo total assim como mostra o Quadro 4.17.

Diâmetro (mm)	Custo exploração atualizada (€)	Custo investimento (€)	Custo total (€)
200	3 235 916	1 536 900	4 772 816
250	2 509 165	1 889 400	4 398 565
300	2 298 769	2 270 100	4 568 869

Quadro 4. 18 - Custos totais, de investimento e de exploração.

Assim, neste 1º troço, o diâmetro mais económico será o diâmetro de DN250, ao qual corresponde o menor valor do somatório dos respetivos encargos de totais (instalação e exploração).

Encontra-se representado em anexo E, os resultados obtidos na folha de cálculo para o dimensionamento da estação elevatória (EE1).

#### 4.4.8. Dimensionamento económico da conduta elevatória do 2º troço

Os diâmetros candidatos para este projeto são os seguintes:

- 1 - 200 (mm)
- 2 - 250 (mm)
- 3 - 300 (mm)

Para este dimensionamento tem-se em conta os seguintes parâmetros:

- Variação da população a abastecer, da respetiva capitação e consumos, para o período de projeto de 25 anos
- Variação dos consumos energéticos, considerando um tempo diário de adução de 24h, para os três diâmetros candidatos, para um período de 25 anos
- Variação dos encargos anuais com a energia consumida para os três diâmetros candidatos
- Variação dos encargos anuais atualizados com a energia consumida para os três diâmetros candidatos

Para o dimensionamento económico da conduta elevatória do segundo troço calcula-se a perda de carga contínua ( $P_{cc}$ ) de acordo com a fórmula apresentada anteriormente e acresce

ao valor de fugas e perdas para os 3 diâmetros considerados. O comprimento da adutora (L) é de 14 100 km. Assim obtêm-se:

$$P_{cc1}(200) = 6,56 \times 5100 \times 1,1 = 37 \text{ m}$$

$$P_{cc2}(250) = 2,15 \times 5100 \times 1,1 = 12 \text{ m}$$

$$P_{cc3}(300) = 0,87 \times 5100 \times 1,1 = 5 \text{ m}$$

### **Desnível geográfico**

Calcula-se o desnível geográfica utilizando a Fórmula 4.11:

$$H_g = \Delta H_{g2} + P_{cc}$$

Em que:

$H_{g2}$  - Desnível geométrica (m)

$\Delta H_{g2}$  - Variação geométrica

$P_{cc}$  - Perda de carga contínua

A variação geométrica entre a estação elevatória EE2 e o reservatório de distribuição é de 335 m.

Foram calculadas o desnível geométrica a ser vencido para cada diâmetro candidato assim como mostra a seguir:

$$H_g (200) = \Delta H_{g2} + P_{cc1} = 335 + 37 = 372 \text{ m}$$

$$H_g (250) = \Delta H_{g2} + P_{cc2} = 335 + 12 = 347 \text{ m}$$

$$H_g (300) = \Delta H_{g2} + P_{cc3} = 335 + 5 = 340 \text{ m}$$

O desnível geométrico é representado na Figura 4.12 da conduta adutora:

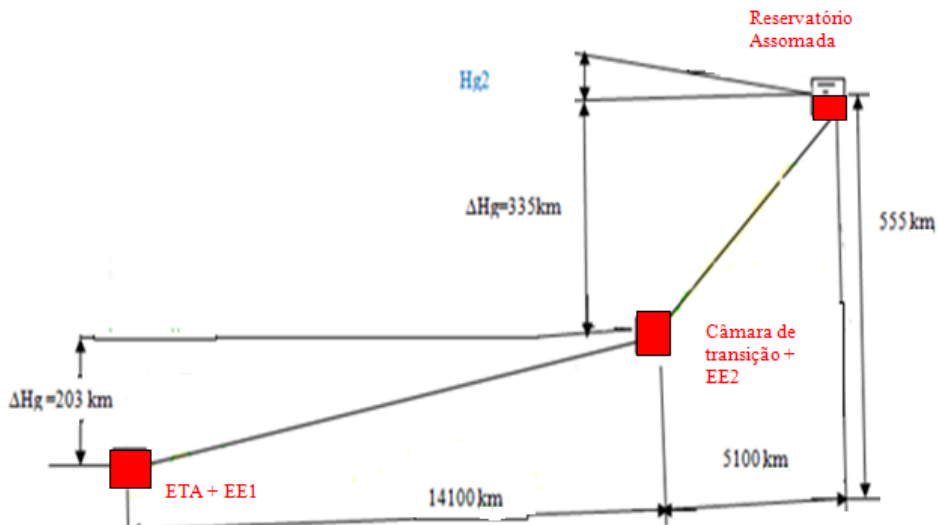


Figura 4. 12 - Condução adutora EE2 com a representação de Hg

### Energia consumida

Tendo o diâmetro da adutora e a potência (P) da bomba que vai gerar a pressão necessária para vencer o desnível indicado, ao caudal desejada.

Para o cálculo de energia consumida tende-se saber qual a potência da bomba (P) referente a cada ano. Calcula-se a potência da bomba utilizando da Fórmula 4.12:

$$P = \frac{\gamma \times H \times g \times Q}{\eta}$$

Em que:

P – Potência (kW)

$\gamma$  - Peso volúmico específico da água (9,8k N/m<sup>3</sup>)

$\eta$  – Rendimento do grupo eletrobomba (considerado igual a 75%)

H<sub>g</sub> – Desnível geométrica (m)

Q – Caudal de dimensionamento (m<sup>3</sup>/s)

Tendo o valor do desnível geométrica (m) para cada diâmetro candidato assim como mostra a Quadro 4.19 seguinte e o Caudal de dimensionamento (m<sup>3</sup>/s) obtêm-se o valor da potência da bomba referente a cada diâmetro durante os 25 anos.

Diâmetro (mm)	Desnível geográfica (m)
200	372
250	347
300	340

Quadro 4. 19 - Diâmetros candidatos e altura total de elevação

Em seguida calcula-se a energia consumida anualmente (kWh) de acordo com a Fórmula 4.13:

$$E_{anual} = 365 \times N_{HBD} \times P$$

Em que:

$E_{anual}$  - Energia consumida anualmente (kWh)

$N_{HBD}$  - Número médio de horas de bombeamento por dia (h)

P – Potência da bomba (kW)

A energia consumida é calculada para cada ano (25 anos) assim como mostra o Quadro 4.20:

Ano de projeto	Q(m <sup>3</sup> /ano)	Energia consumida (kWh)		
		φ300	φ 250	φ 200
1	466 470	575 441	587 574	629 484
2	474 884	585 820	598 172	640 839
3	483 398	596 323	608 897	652 328
4	492 013	606 950	619 748	663 953
5	500 729	617 703	630 727	675 715
6	509 548	628 582	641 835	687 616
7	518 470	639 588	653 074	699 656
8	527 498	650 725	664 445	711 838
9	536 631	661 991	675 949	724 163
10	545 871	673 390	687 588	736 632
11	555 219	684 922	699 363	749 247
12	564 676	696 588	711 275	762 009
13	574 243	708 390	723 327	774 920
14	583 922	720 330	735 518	787 981
15	593 713	732 408	747 851	801 193
16	603 618	744 627	760 327	814 559
17	613 637	756 987	772 948	828 080
18	623 772	769 490	785 714	841 757
19	634 025	782 137	798 628	855 593
20	644 395	794 930	811 691	869 587
21	654 885	807 871	824 905	883 743
22	665 496	820 961	838 270	898 062
23	676 229	834 200	851 789	912 545
24	687 084	847 592	865 463	927 195
25	698 064	861 137	879 294	942 012

Quadro 4. 20 -Energia Consumida a cada ano.

#### 4.4.9. Análise de investimento da conduta elevatória do 2º troço

Para a análise de investimento é determinada os custos de exploração, de exploração atualizados, se investimento/instalação e por fim a verificação de encargos totais atualizados.

##### Encargos de exploração

De acordo com estudos económicos de condutas elevatórias, os custos anuais de exploração que se consideram reduzidos aos custos da energia, são traduzidos da seguinte expressão 4.14:

$$C_{energia\ no\ ano\ i} = E_{anual} \times C_{kWh}$$

Em que :

$C_{energia\ no\ ano\ i}$  - Custo de energia consumida no ano i (€)

$E_{anual}$  – Energia consumida anualmente (kWh)

$C_{kWh}$  - Custo de energia (0,29 €/kWh ou 31\$45 CVE/kWh)

Calcula-se os encargos de exploração de acordo com os diâmetros candidatos referente a cada ano assim como mostra o Quadro 4.21.

Ano de projeto	Encargos exploração (€)		
	φ 300	φ 250	φ 200
1	166 878	170 396	182 550
2	169 888	173 470	185 843
3	172 934	176 580	189 175
4	176 016	179 727	192 546
5	179 134	182 911	195 957
6	182 289	186 132	199 409
7	185 481	189 391	202 900
8	188 710	192 689	206 433
9	191 977	196 025	210 007
10	195 283	199 401	213 623
11	198 627	202 815	217 282
12	202 010	206 270	220 983
13	205 433	209 765	224 727
14	208 896	213 300	228 514
15	212 398	216 877	232 346
16	215 942	220 495	236 222
17	219 526	224 155	240 143
18	223 152	227 857	244 110
19	226 820	231 602	248 122
20	230 530	235 391	252 180
21	234 283	239 222	256 286
22	238 079	243 098	260 438
23	241 918	247 019	264 638
24	245 802	250 984	268 886
25	249 730	254 995	273 183

Quadro 4. 21 - Energia Consumida a cada ano.

O custo de energia atualizado em relação ao ano 0 da totalidade dos custos de energia que se prevê vir a consumir durante os 25 anos (horizonte do projeto). Admite-se que o preço da energia se manterá constante durante esses anos.

#### **Encargos de exploração atualizados**

Para a determinação de encargo de exploração atualizado que significa o custo de energia consumida no ano  $i$  atualizado ao ano 0, utiliza-se a seguinte expressão 4.15:

$$C_{energia\ ano\ i-0} = \frac{1}{(1+t)^n} \times C_{energia\ ano\ i}$$

Em que,

$C_{energia\ ano\ i-0}$  – Custo de energia do ano i, atualizado no ano 0 (€)

t – Taxa de atualização (3%)

n – Diferença entre o ano i e o ano 0 (anos)

$\frac{1}{(1+t)^n}$  – Fator de atualização dos custos anuais de energia

$C_{energia\ ano\ i}$  - Custo da energia consumida no ano i (€)

Calcula-se os encargos de exploração atualizados de acordo com os diâmetros candidatos referente a cada ano assim como mostra Quadro 2.22:

Ano de projeto	Encargos exploração atualizados (€)		
	φ 300	φ 250	φ 200
1	166 878	170 396	182 550
2	164 940	168 417	180 430
3	163 007	166 444	178 316
4	161 079	164 476	176 207
5	159 158	162 514	174 106
6	157 244	160 559	172 012
7	155 337	158 612	169 926
8	153 439	156 674	167 849
9	151 549	154 744	165 782
10	149 668	152 824	163 724
11	147 797	150 914	161 678
12	145 937	149 014	159 643
13	144 087	147 125	157 619
14	142 248	145 247	155 607
15	140 420	143 381	153 608
16	138 605	141 527	151 622
17	136 801	139 686	149 649
18	135 011	137 857	147 690
19	133 233	136 042	145 745
20	131 468	134 240	143 815
21	129 717	132 452	141 899
22	127 979	130 677	139 998
23	126 255	128 917	138 113
24	124 546	127 172	136 243
25	122 850	125 441	134 388

Quadro 4. 22 - Encargos de exploração atualizados

**Custo investimento**

Os custos de investimentos ou custos de instalação representam o custo do metro linear da conduta de diâmetro ( $D$ ) devidamente colocada em vala.

Os custos correspondentes ao investimento inicial é calculada tendo em conta a fórmula 4.16:

$$C_{inv} = \varphi (D) \times L$$

Em que,

$\varphi (D)$  - Custo do metro linear (conduta) (€)

$L$  - Comprimento da conduta

O Quadro 4.23 seguinte representa o preço em € da conduta do material ferro fundido dúctil referente a cada diâmetro utilizada neste trabalho com o respetivo comprimento.

Diâmetro (mm)	Comprimento (km)	Custo (€)
200	5 100	109
250	5 100	134
300	5 100	161

Quadro 4. 23 - Custo da conduta.

Os custos estão de acordo com o preço praticado em Cabo Verde.

De acordo com a equação anterior obtêm-se os seguintes custos de investimento para cada diâmetro de acordo com o Quadro 4.24.

Diâmetro (mm)	Comprimento (km)	Custo (€)	Custo investimento (€)
200	5 100	109	555 900
250	5 100	134	683 400
300	5 100	161	821 100

Quadro 4. 24 - Custo de investimento.

**Custos totais atualizados**

Para a obtenção de custos totais atualizados ( $C_{global}$ ) tende-se a adicionar o custo de investimento ( $C_{inv}$ ) com os respetivos de exploração ( $C_{exp}$ ) utilizando a fórmula 4.17.

$$C_{global} = C_{inv} + C_{exp}$$

Tendo os custos de investimentos e de exploração, calcula-se o custo total de acordo com dados representados no Quadro 4.25.

<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Custo exploração atualizada (€)</b>	<b>Custo investimento (€)</b>	<b>Custo total (€)</b>
200	3 948 219	555 900	4 504 119
250	3 685 352	683 400	4 368 752
300	3 609 251	821 100	4 430 351

Quadro 4. 25 - Custos totais

Igualmente, para o 2º Troço, o diâmetro mais económico será o diâmetro de DN250, ao qual corresponde o menor valor do somatório dos respetivos encargos de totais (de instalação e de exploração).

Encontra-se representado em anexo F, os resultados obtidos na folha de cálculo para o dimensionamento da estação elevatória (EE2).

#### 4.5. Características e material da tubagem

O material utilizado para a conduta do sistema adutor é o ferro fundido dúctil com o objetivo de obter a máxima fiabilidade possível. A seguir apresenta-se uma de uma conduta ( Figura 4.13) de ferro fundido dúctil e a instalação da tubagem ( (Vianna, 2002).



Figura 4. 13 - Ferro fundido dúctil e a Instalação da tubagem.

Este material se introduzir uma pequena quantidade de magnésio, a grafite cristaliza sob a forma de esferas o que torna o material mais elástico, menos frágil e resistente à tração e aos impactos.

São fabricados nos diâmetros de 50 mm a 1 200 mm e comprimentos variáveis de 3 a 7 m,

com revestidos internamente por argamassa de cimento aplicada por centrifugação e externamente recebem uma camada de zinco metálico puro.

#### **4.5.1. Dimensionamento de reservatório de distribuição da Cidade de Assomada**

Este subcapítulo refere os aspetos hidráulicos e funcionais dos reservatórios integrados em sistema de abastecimento.

Em ponto alto adjacente ao centro populacional a abastecer, de Assomada, será implantado um reservatório de distribuição, com as seguintes funções principais associadas: equilíbrio de distribuição, reserva de avarias e/ou reserva para o combate a incêndio.

Os reservatórios de distribuição são as instalações de armazenamento que alimentam diretamente as redes de distribuição. Seguidamente são apresentados os cálculos para cada função atribuída aos reservatórios.

##### **Capacidade do Reservatório de Distribuição**

Segundo Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) a capacidade total de um reservatório deve ser determinada pela soma da capacidade da regularização dos consumos, com a maior das capacidades de avarias ou de combate a incêndios.

Para o cálculo da capacidade da regularização dos consumos foram calculados os seguintes:

- O volume da água necessário ao funcionamento normal deve fazer face à variação do consumo ao longo de 24 horas em qualquer dia do ano. Manter pressão mínima ou constante na rede. Este tem as seguintes finalidades:
  - ✓ Equilíbrio de distribuição
  - ✓ Reserva de avarias/reserva para o combate a incêndio.
- Reserva de regularização diária são definidas as flutuações de consumo a regularizar, a capacidade do reservatório é determinada em função da variação, no tempo, dos caudais de entrada e de saída, através de métodos gráficos. Com bombagem nos períodos de menor custo energético.

Para o dimensionamento deste reservatório foram utilizados os seguintes dados iniciais (Quadro 4.26), já determinados no subcapítulo 4.4.

População (hab)	15 276
Capitação (L/(hab.dia))	125
$Q_{mda}$ (m <sup>3</sup> /dia)	2 100
$Q_{mdmmc}$ (m <sup>3</sup> /dia)	2 731
$Q_{dmax}$ (m <sup>3</sup> /dia)	<b>3 151</b>

Quadro 4. 26 - Dados iniciais para o dimensionamento do reservatório

$Q_{mda}$  - Consumo médio diário anual

$Q_{mdmmc}$  - Consumo médio diário do mês de maior consumo

$Q_{dmax}$  - Consumo médio diário no dia de maior consumo

O caudal do dia de maior consumo tem um valor de 3 151 m<sup>3</sup>/dia.

Para a determinação do volume de regularização mínimo para o reservatório de Assomada que tem como objetivo regularizar as flutuações de consumo ao longo do dia. Determina-se em função da variação, no tempo, dos caudais entrados e saídos do reservatório.

Determina-se para cada hora do dia (0-24 horas) o caudal que entra e o caudal que sai de reservatório. De acordo com a tabela em anexo  $H_i$  - horas do dia e  $H_f$  - horas do dia acumulados. Considera-se que adução se faz em 24 horas.

Para o saber qual o período de funcionamento da adução e a curva de consumos referente a um dia, adota-se um consumo fictícia ( $C_f$ ) em que supõe que o volume de dia de maior consumo é distribuído uniformemente num período limitado de 24 horas. Determina-se então o caudal de ponta previsto que é o quociente entre o consumo diário do dia de maior consumo e o período de funcionamento da adução.

Com o tempo aduzido acumulado obtido do somatório dos consumos fictícios durante um dia é igual a 24 horas.

O Caudal de ponta previsto /caudal aduzido é determinado tendo em conta a fórmula (4.18):

$$Q_{ad} = \frac{Q_{dmax}}{T_{ad}} \quad (4.18)$$

Em que:

$Q_{ad}$  - Caudal aduzido (m<sup>3</sup>/hora)

$Q_{dmax}$  - Consumo médio diário no dia de maior consumo (m<sup>3</sup>/hora)

$T_{ad}$  - Tempo diário de adução (horas)

O caudal médio diário anual é calculado para o ano 25.

Substituindo na fórmula anterior o valor de  $Q_{dmax}$  e  $T_{ad}$ , tem-se:

$$Q_{ad} = \frac{3\,151}{24} = 131\text{m}^3/\text{hora}$$

O volume aduzido é igual para cada hora de adução a fim de o somatório seja igual ao valor de consumo do dia de maior consumo.

Caudal distribuído é produto de caudal de adução e o consumo fictício de acordo com a fórmula (4.19):

$$Q_a = Q_{ad} \times Cf \quad (4.19)$$

Em que,

$Q_a$  - Caudal aduzido (m<sup>3</sup>/hora)

$Q_{ad}$  - Caudal de adução (m<sup>3</sup>/hora)

$Cf$  - Consumo fictício

De acordo com a fórmula anterior calcula-se o caudal aduzido para cada hora de adução, assim como é representado na tabela em anexo H.

Somatório do caudal distribuído das 24 horas é igual ao valor de consumo do dia de maior consumo.

Calcula-se o volume distribuído e volume aduzido, em que:

- Volume distribuído ( $V_d$ ) é o valor acumulado de caudal distribuído ( $Q_d$ ) referente a cada hora de adução durante 24 horas.
- Volume aduzido ( $V_a$ ) é o valor acumulado de caudal aduzido ( $Q_a$ ) a cada hora de adução durante 24 horas.

A seguir é apresentado num gráfico de diagrama de caudais acumulados as curvas de consumos acumulados e de aduções acumulados (Figura 4.14).

Por fim calcula-se o diferencial entre os volumes acumulados aduzidos ( $V_a$ ) e consumidos ( $V_d$ ), através da fórmula (4.20):

$$Diferencial = V_d - V_a \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (4.20)$$

Este diferencial é calculado para cada hora de adução assim como é apresentada na Quadro em Anexo H. Depois obtêm-se o valor do diferencial máximo (189 m<sup>3</sup>) e o valor do diferencial mínimo (-591 m<sup>3</sup>).

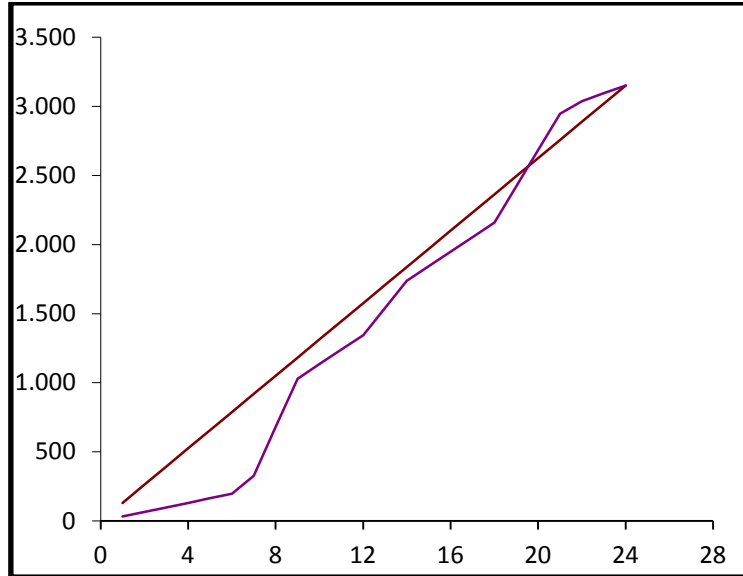


Figura 4.14 - Diagrama de caudais acumulados  
(Cor lilas - volume distribuído; Cor castanho - volume aduzido)

Por conseguinte apresenta-se o diagrama de “CHERRE”, que representa as diferenças entre os volumes acumulados aduzidos e consumidos (Figura 4.15).

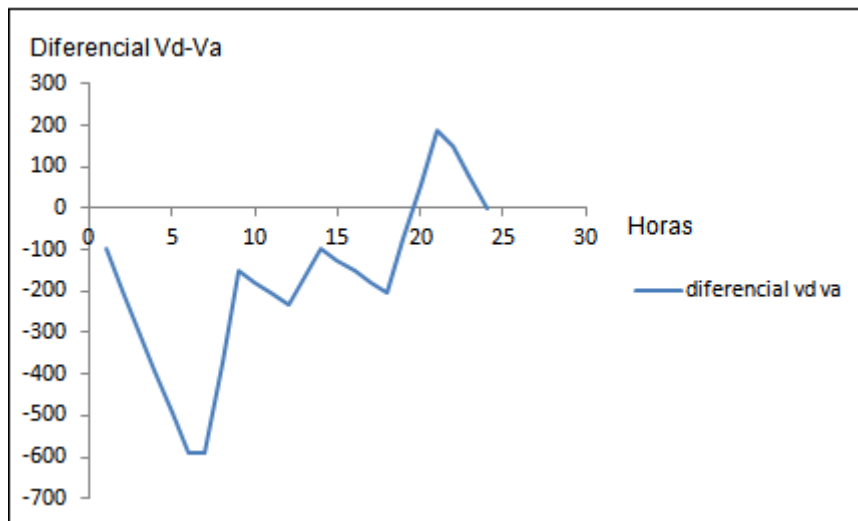


Figura 4.15 - Diagrama de CHERRE

Calcula-se o volume teórico do reservatório (*Vol. Teor* que é a diferença de entre extremos das ordenadas da curva entre volumes acumulados aduzidos e consumidos:

$$Vol. Teor. = Dif_{máx} - Dif_{mín} \quad (5.21)$$

*Vol. Teor* - Volume teórico do reservatório

$Dif_{máx}$  - Diferencial entre volumes acumulados aduzidos e consumidos máximo ( $m^3$ );

$Dif_{mín}$  - Diferencial entre volumes acumulados aduzidos e consumidos mínimo ( $m^3$ );

Obtêm-se:

$$Vol. Teor. = 189 - (-591) = 780 \text{ m}^3$$

Por fim determina-se o volume de regularização com avaria necessário no caso de surgir uma avaria. De acordo com RGSPDADAR considera-se a mais que conduz a um maior volume de avaria.

A reserva de água para avarias calcula-se da seguinte fórmula:

$$V_{avarias} = T_{avaria} \times Q_{ad} \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (5.22)$$

Em que,

$V_{avarias}$  - Volume consumido no tempo de avaria ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )

$T_{avaria}$  - Tempo avaria (6 horas)

$Q_{ad}$  - Caudal de adução ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )

$$V_{avarias} = 6 \times 131 = 788 \text{ (m}^3/\text{hora)}$$

Considera-se o tempo total de avarias de 6 horas. O caudal de aduzido de  $131\text{m}^3/\text{hora}$ .

A capacidade do reservatório ( $C_{res}$ ) é a soma do volume teórico ( $Vol. Teor.$ ) e volume avaria ( $V_{avarias}$ ):

$$C_{res} = Vol. Teor. + V_{avarias} \text{ (m}^3/\text{hora)} \quad (5.23)$$

Em que,

$C_{res}$  - Capacidade do reservatório

$Vol. Teor$  - Volume teórico do reservatório

$V_{avarias}$  - Volume consumido no tempo de avaria ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )

$$C_{res} = 780 + 788$$

$$C_{res} = 1\,567 \text{ (m}^3/\text{hora)}$$

No quadro do Anexo G, está apresentado o cálculo relativo à parcela de equilíbrio de distribuição e reserva de avaria.

Para o efeito, e considerando uma curva de variação horária dos caudais distribuídos de referência e uma adução em 24 horas, será necessário dispor de uma reserva de água de cerca de 780 m<sup>3</sup>.

A esta parcela será adicionada a parcela para reserva de avarias, tendo considerado um tempo máximo de interrupção de 6 horas, a que corresponde um volume de cerca de 800 m<sup>3</sup>.

Desta forma o volume total do reservatório proposto será de 1 500 m<sup>3</sup>, para duas células em paralelo de 750 m<sup>3</sup> cada.

## CAPÍTULO 5 - SÍNTESE DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base nos resultados obtidos conclui-se que a metodologia utilizada para o dimensionamento aparenta ser viável.

Considera-se a escolha do diâmetro mais económico para o sistema adutor instalado a que corresponde o menor valor do somatório dos respetivos encargos de instalação e de exploração.

Chegou assim que o diâmetro mais económico para o sistema adutor é o de 250 mm, para um custo de total de investimento de cerca de € 4 400 000.

É ainda proposto a construção de um reservatório de duas células em paralelo de 750 m<sup>3</sup> cada.

O sistema adutor em estudo integra duas estações elevatórias em linha. De facto, a Cidade de Assomada encontra-se efetivamente a uma cota muito elevada o que fez com que fosse precisa a segunda estação elevatória (EE2) de modo a elevar a água para o reservatório de distribuição, com aplicação dos materiais mais correntes.

No primeiro escalão de bombagem a altura de elevação é de 236 m, sendo no segundo escalão de 347 m.

Fez-se uma análise para cada estação elevatória (EE1, EE2) e também do reservatório de distribuição. A seguir será apresentada uma análise de estudo das duas estações elevatórias e do reservatório de distribuição.

### **Caso de Estudo 1 - Conduto Elevatória (EE1)**

A metodologia será aplicada de modo a se determinar o diâmetro ótimo de uma conduta elevatória com uma variação geográfica de 203 m e uma tubulação de 14 100 m. O caudal adquirido é de 0,037 m<sup>3</sup>/s. É esperado um rendimento de 75% e o peso volúmico de água ( $\gamma$ ) é de 9,8kN/m<sup>3</sup>. O somatório dos coeficientes devido à altura total de elevação é de 236 m. A taxa de juros é de 3% ao ano e o custo de energia é de 0,29 € (ARE), calculado para o período de exploração de 25 anos e período de funcionamento de 24 horas por dia. Deverão ser utilizados tubos de Ferro Fundido Dúctil (rugosidade (k) igual a 0,10 mm). A conduta elevatória será instalada enterrada em vala, a cerca de 0,60 m de profundidade, e equipada com os necessários elementos de controlo e de segurança. Os custos da tubulação são de 134 € por cada km e o custo de exploração é de 2 509 165 €.

Para a verificação do diâmetro mais económico fez-se a escolha de vários diâmetros comerciais e depois uma avaliação de custos de investimento e de exploração correspondente a cada um deles.

Para o cálculo dos diâmetros utilizou-se a fórmula:  $D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$ , e obteve três diâmetros com 200 mm, 250 mm e 300 mm, respetivamente.

Na avaliação dos custos, calculam-se os custos relativos à instalação considerada para uma gama de diâmetros onde se pressupõe que o diâmetro se encontra é o que corresponder ao menor custo e será o ótimo e então é escolhido. Para cada um dos diâmetros foi calculado os diversos custos assim como representa no Quadro 5.1:

Diâmetro	Encargos de exploração	Encargos de investimento	Encargos totais
300	2 298 769	2 270 100	4 568 869
250	2 509 165	1 889 400	4 398 565
200	3 235 916	1 536 900	4 772 816

Quadro 5. 1 – Encargos de exploração, investimento e totais de EE1

A Figura 5.1 abaixo mostra graficamente a variação dos custos de exploração atualizados, de investimento e de encargos totais atualizados.

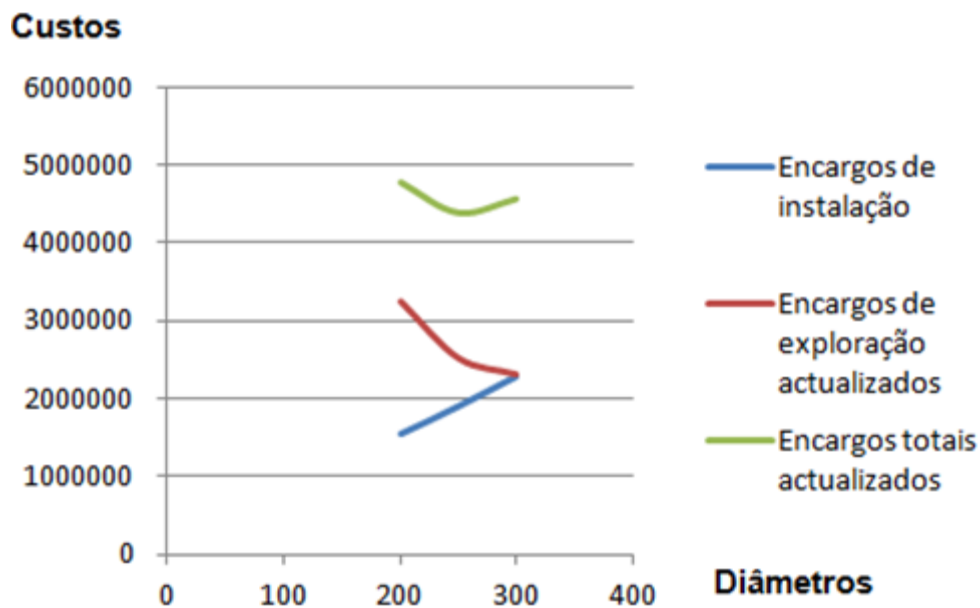


Figura 5. 1 - Variação dos custos anuais com o diâmetro da adutora

Observando o gráfico acima e conclui-se que o mínimo custo é gerado pelo diâmetro de 250 mm. De igual forma fez a análise de resultados para conduta elevatória (EE2).

### **Caso de Estudo - Conduto Elevatória (EE2)**

A metodologia será aplicada de modo a se determinar o diâmetro ótimo de uma conduta elevatória com uma variação geográfica de 335 m e uma tubulação de 5 100 m. O caudal adquirido é de 0,037 m<sup>3</sup>/s. É esperado um rendimento de 75% e o peso específico de água ( $\gamma$ ) é de 9,8kN/m<sup>3</sup>. O somatório dos coeficientes devido à altura total de elevação é de 347 m. A taxa de juros é de 3% ao ano e o custo de energia é de 0,29 € (ARE), calculado para o período de exploração de 25 anos e período de funcionamento de 24 horas por dia. Deverão ser utilizados tubos de Ferro Fundido Dúctil (rugosidade (k) igual a 0,10 mm). A conduta elevatória será instalada enterrada em vala, a cerca de 0,60 metros de profundidade, e equipada com os necessários elementos de controlo e de segurança. Os custos da tubulação são de 134 € por cada km e o custo de exploração é de 3 685 352 €.

Para a verificação do diâmetro mais económico fez-se a escolha de vários diâmetros comerciais e depois uma avaliação de custos de investimento e de exploração correspondente a cada um deles.

Para o cálculo dos diâmetros utilizou-se a fórmula:  $D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$ , e obteve três diâmetros com 200 mm, 250 mm e 300 mm, respetivamente.

Na avaliação real dos custos, calculam-se os custos relativos à instalação considerada para uma gama de diâmetros onde se pressupõe que o diâmetro se encontra o que corresponder ao menor custo e será o ótimo e então é escolhido.

Para cada um dos diâmetros foi calculado os diversos custos assim como representa no Quadro 5.2:

<b>Diâmetro</b>	<b>Encargos de exploração</b>	<b>Encargos de investimento</b>	<b>Encargos totais</b>
300	3 609 251	821 100	4 430 351
250	3 685 352	683 400	4 368 752
200	3 948 219	555 900	4 504 119

Quadro 5. 2 - Encargos de exploração, investimento e totais de EE2

A Figura 5.2 mostra graficamente a evolução dos custos de exploração atualizados, de investimento e de encargos totais atualizados.

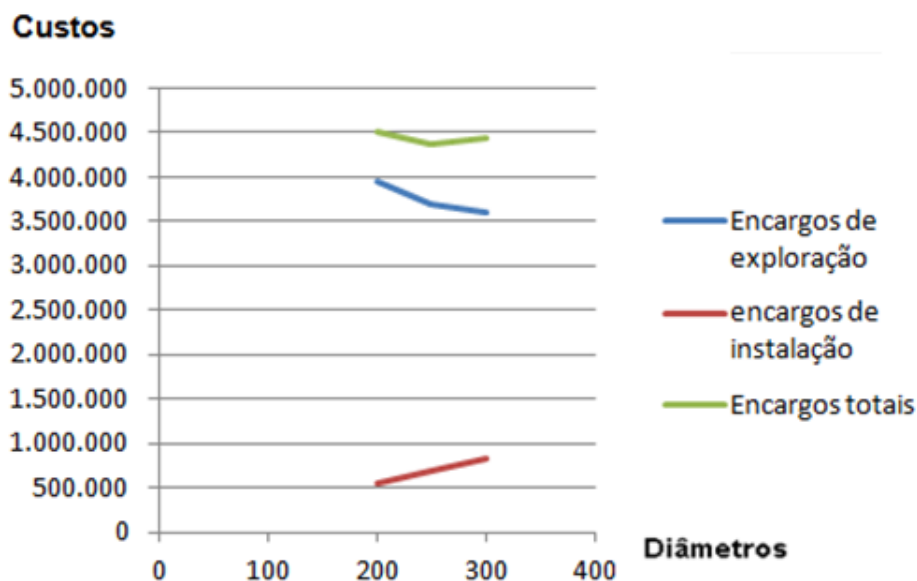


Figura 5. 2 - Variação dos custos anuais com o diâmetro da adutora (ee2)

Observando o gráfico acima (Figura 5.2) e conclui-se que o mínimo custo é gerado pelo diâmetro de 250 mm. De igual forma fez a análise de resultados para conduta elevatória (EE2).

### **Caso de Estudo 3 – Capacidade do Reservatório de Distribuição**

O caudal aduzido é de  $131 \text{ m}^3/\text{hora}$  com um tempo aduzido de 24 horas por dia, possui um volume teórico de  $780 \text{ m}^3$ . Considera-se um tempo máximo de interrupção de 6 horas com um volume consumido no tempo de avaria de  $800 \text{ m}^3/\text{hora}$ . A capacidade do reservatório é o resultado do somatório de volume teórico e o volume de avaria, um valor de  $1\ 567 \text{ m}^3$ , no entanto, o volume total do reservatório proposto será de  $1\ 500 \text{ m}^3$ , para duas células em paralelo de  $750 \text{ m}^3$  cada.

## CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões deste trabalho.

Este trabalho constituiu uma oportunidade para melhorar o meu conhecimento em hidráulica principalmente em termos de técnicas para o abastecimento da água dessalinizada e os devidos tratamentos.

O estudo de conhecimento efetuado permitiu concluir que a dessalinização da água do mar tem tido uma grande importância e evolução nos últimos anos. Os engenheiros têm estado cada vez mais à procura de uma solução mais económica para este processo. Dos processos da dessalinização a osmose inversa é a mais económica.

Verifica-se um constante aumento da população e atualmente a Cidade de Assomada está a verificar uma estratégia para melhorar o abastecimento da água tanto a nível de qualidade como também quantidade. Por esta razão a dessalinização da água do mar tem-se mostrado indispensável num país onde a água é escassa e de difícil acesso.

Para a escolha de localização da estação em estudo procura-se uma área perto da costa de forma a facilitar em termos técnicos e também económicos. Optou-se por construir a estação dessalinizadora no Concelho de Calheta São Miguel derivado a sua localização e por estar a mais próxima da Assomada.

Conclui-se que o diâmetro mais económico para o sistema de conceção preliminar é de 250 mm e tendo em conta o custo total para a construção deste sistema adutor é no valor de € 4 400 000. É proposto um volume total de reservatório para duas células em paralelo de 750 m<sup>3</sup> cada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ACIMIL.** (2006). *Associação comercial internacional para os mercados lusófonos*. Obtido em Maio de 2013, de [http://www.aciml.org.mo/por/psc\\_cape.htm](http://www.aciml.org.mo/por/psc_cape.htm)

Apostila. (s.d.). *Tratamentos de água*. Obtido de <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAboYAF/apostila-tratamento-agua?part=7>

**BEBIANO, J. B.** (1932). *A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde*. Lisboa.

**DAFF .** (2002). *DAFF - Agriculture, Fisheries & Forestry / DETAILED REPORT*. Obtido em 30 de Maio de 2013, de Economic and Technical Assessment of Desalination technologies in Australia: with Particular Reference to National Action Plan Priority Regions: <http://www.environment.gov.au/water/publications/urban/pubs/desalination-full-report.pdf>

**Electra.** (2009). *Jornadas Técnicas de Água e Saneamento da África Sub-Saheliana, Apresentação da Situação de Abastecimento de Água e Saneamento em Cabo Verde*.

**Ferreira, E. M.** (2008). *Síntese optimizada de cogeração e dessalinização*. Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica, faculdade de engenharia do campos de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

**Granados.** (1990). *A infraestructuras de regadios - Redes colectivas de riego a presion*. Caminhos de la universidade politécnica de Madrid, Serviço de publicación de la ETSI, Madrid.

**LEME, F. P.** (1979). *Teoria e técnicas de tratamento de água*. São Paulo: Cetesb.

**Lenntech.** (1993). *Water treatment solution*. Obtido em Junho de 2013, de <http://www.lenntech.com.pt/>

**Maurel, A.** (2006). *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce* (2<sup>o</sup> ed.). Tec et Doc - Lavoisier.

**Monteiro, R. D.** (2013). *Avaliação de recursos hídricos e viabilidade da recarga artificial de aquíferos na bacia hidrográfica dos engenhos na ilha de Santiago - cabo verde*. FCT/UNL.

**Pina, A. F.** (2009). *Hidroquímica e qualidade das água subterrâneas da ilha de Santiago - Cabo Verde*. à Obtenção de grau de Doutor em Geociências, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.

**Prazeres, M.** (2006). *Avaliação da viabilidade técnica e económica da dessalinização como fonte de água*. Dissertação para o grau do mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos, IST, Lisboa.

**RICHTER, C. A.** (1991). *Tratamentos de água*. São Paulo.

**Rodrigues, J. A.** (2007). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. (R. d. Livros, Ed.)

**Selma Jariri, C. d.** (2009). *Le Dessalement d'eau: Un Levier du Developpement Durable ao Maroc*. Office National de L'eau Potable. Casablanca: Expo andalousie Maroc.

**Sousa, J. a.** (2009). *Hidráulica Urbana, Sistemas Abastecimento de água e de drenagens de águas residuais* (Vol. 2ª edição).

**Sousa, J. A.** (2009). *Sistemas abastecimento de água e de drenagens de águas residuais* (Vol. 2ª edição). Hidráulica Urbana.

**Sousa, L. F.** (2006). *Dessalinização como fonte alternativa de água potável* (Vol. 1). (N. científico, Ed.) UFPB: Professor de disciplina de física do ensino médio do CEFET-RR.

**Val S. Frenkel, P. P.** (2011). *Seawater Desalination: Trends and Technologies*, Kennedy/Jenks Consultants. Kennedy/Jenks Consultants, , USA.

**VIANNA, M. R.** (2002). *Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água* (Vol. 4). Belo Horizonte, Imprimatur.

## **ANEXOS**

Em complemento aos resultados já apresentados neste trabalho, os resultados dos censos realizados em cabo verde, apresentam-se as características do sistema adutor com de acordo com os cálculos efetuados em Excel e também o traçado em planta e em perfil do sistema adutor de modo a ser possível perceber todas as características gerais do sistema adutor com as respetivas estratégias para o dimensionamento. Esta secção encontra-se organizada da seguinte forma:

Anexo A - Censo 1990 - Cidade de Assomada

Anexo B - Censo 2000 - Cidade de Assomada

Anexo C - Censo 2010 - Cidade de Assomada

Anexo D – Traçado em Planta

Anexo E – Traçado em Perfil

Anexo F - Conduto elevatória EE1 - Encargos de exploração

Anexo G - Conduto elevatória EE2 - Encargos de exploração

Anexo H - Reservatórios de regularização - Cálculo do volume

**Anexo A - Censo 1990 - Cidade de Assomada**

Zona/Lugar	Total	Masculino	Feminino	Famílias	Unidades de alojamento
<b>Vila de Assomada</b>	<b>3414</b>	<b>1549</b>	<b>1865</b>	<b>671</b>	<b>675</b>
Achada Riba	70	28	42	9	9
Assomada	504	231	273	91	94
Bairro	19	10	9	5	5
Bolanha	262	125	137	54	54
Chã de Santos	571	287	284	101	102
Covão Ribeira	139	55	84	26	26
Cutelo	712	298	414	149	149
Nhagar	879	396	483	181	181
Lem Vieira	15	4	11	2	2
Pedra Barro	12	3	9	1	1
Portãozinho	231	112	119	52	52

Quadro A 1 - Dados da população da Cidade de Assomada no ano de 1990  
 Fonte: INE

**Anexo B – Censo 2000 - Cidade de Assomada**

Zona / Lugar e Sexo	População residente	Agregados por sexo do Chefe	População residente menos de 15 anos	População residente 15 - 64 anos	População residente 64 anos e mais	População residente idade nao Declarado	População residente 4 - 12 anos
Ambos sexos	7.067	1.689	3.017	3.718	319	13	1.883
Masculino	3.215	948	1.453	1.626	126	10	919
Feminino	3.852	741	1.564	2.092	193	3	964
<b>ACHADA RIBA</b>							
Ambos sexos	390	79	191	182	17	-	125
Masculino	173	44	85	81	7	-	53
Feminino	217	35	106	101	10	-	72
<b>VILA DE ASSOMADA</b>							
Ambos sexos	628	150	232	361	35	-	149
Masculino	286	78	110	164	12	-	72
Feminino	342	72	122	197	23	-	77
<b>BOLANHA</b>							
Ambos sexos	454	109	203	234	15	2	137
Masculino	216	67	102	108	5	1	69
Feminino	238	42	101	126	10	1	68
<b>CHÃ DE SANTOS</b>							
Ambos sexos	794	190	341	421	31	1	221
Masculino	351	101	172	167	11	1	112
Feminino	443	89	169	254	20	-	109
<b>COVÃO RIBEIRO</b>							
Ambos sexos	264	53	112	139	13	-	63
Masculino	113	32	53	58	2	-	29
Feminino	151	21	59	81	11	-	34
<b>CUTELO</b>							
Ambos sexos	888	221	353	484	50	1	200
Masculino	401	136	173	207	21	-	98
Feminino	487	85	180	277	29	1	102
<b>NHAGAR</b>							
Ambos sexos	1.070	226	504	510	56	-	323
Masculino	479	98	239	217	23	-	163
Feminino	591	128	265	293	33	-	160
<b>LEM VIEIRA</b>							
Ambos sexos	6	1	-	3	1	2	-
Masculino	5	1	-	3	-	2	-
Feminino	1	-	-	-	1	-	-

<b>PEDRA BARRO</b>							
Ambos sexos	15	3	7	8	-	-	5
Masculino	8	2	3	5	-	-	3
Feminino	7	1	4	3	-	-	2
<b>PORTAOZINHO</b>							
Ambos sexos	528	165	168	339	19	2	84
Masculino	239	100	76	152	9	2	36
Feminino	289	65	92	187	10	-	48
<b>TARAFALINHO</b>							
Ambos sexos	374	103	149	204	17	4	98
Masculino	173	61	79	83	8	3	55
Feminino	201	42	70	121	9	1	43
<b>CUMBEM</b>							
Ambos sexos	369	72	194	162	13	-	135
Masculino	173	45	94	76	3	-	66
Feminino	196	27	100	86	10	-	69
<b>TRAZ EMPA</b>							
Ambos sexos	351	92	150	191	10	-	92
Masculino	167	55	72	90	5	-	44
Feminino	184	37	78	101	5	-	48
<b>ESPINHO BRANCO</b>							
Ambos sexos	72	19	35	35	2	-	21
Masculino	33	9	17	15	1	-	12
Feminino	39	10	18	20	1	-	9
<b>CENTRO VILA</b>							
Ambos sexos	143	42	47	92	4	-	27
Masculino	72	32	26	44	2	-	17
Feminino	71	10	21	48	2	-	10
<b>RUA S.O.S.</b>							
Ambos sexos	30	9	12	18	-	-	5
Masculino	13	4	4	9	-	-	1
Feminino	17	5	8	9	-	-	4
<b>RUA FARP</b>							
Ambos sexos	35	9	8	25	2	-	5
Masculino	18	6	5	11	2	-	3
Feminino	17	3	3	14	-	-	2
<b>CRUZ VERMELHA</b>							
Ambos sexos	26	7	13	13	-	-	8
Masculino	10	4	4	6	-	-	3
Feminino	16	3	9	7	-	-	5
<b>LEIRIA</b>							

Ambos sexos	567	127	267	266	33	1	167
Masculino	253	68	121	116	15	1	73
Feminino	314	59	146	150	18	-	94
<b>ATRÁS BANCO</b>							
Ambos sexos	4	2	1	3	-	-	-
Masculino	3	1	1	2	-	-	-
Feminino	1	1	-	1	-	-	-
<b>CHÃO DE ESPINHO</b>							
Ambos sexos	19	5	11	8	-	-	8
Masculino	8	2	5	3	-	-	4
Feminino	11	3	6	5	-	-	4
<b>PONTA CALABACEIRA</b>							
Ambos sexos	40	5	19	20	1	-	10
Masculino	21	2	12	9	-	-	6
Feminino	19	3	7	11	1	-	4

Quadro A 2 - Dados da população da Cidade de Assomada no ano de 2000

Legenda: (-) Dados não disponíveis

Fonte: INE

## Anexo C - Anexo B – Censo 2010 Cidade de Assomada

Zona/Lugar	Sexo	População residente	Agregados por sexo do representante	Idade			Ativos com 15 anos ou mais
				Menos de 15 anos	Entre 15 e 64	Mais de 65	
	<b>Total</b>	12332	2711	3760	7965	605	5365
	<b>Masculino</b>	5900	1435	1814	3850	234	2847
	<b>Feminino</b>	6432	1276	1946	4115	371	2518
<b>Achada Ribá</b>	Total	1869	403	569	1256	44	827
	Masculino	936	200	286	634	16	455
	Feminino	933	203	283	622	28	372
<b>Atrás de Banco</b>	Total	435	123	122	299	14	228
	Masculino	208	75	63	139	6	119
	Feminino	227	48	59	160	8	109
<b>Bolanha</b>	Total	629	132	174	434	21	266
	Masculino	341	80	98	232	11	161
	Feminino	288	52	76	202	10	105
<b>Centro (Cidade Assomada)</b>	Total	867	213	235	575	57	408
	Masculino	407	122	105	283	19	202
	Feminino	460	91	130	292	38	206
<b>Cha de Santos</b>	Total	1265	281	360	835	69	615
	Masculino	607	160	174	403	29	318
	Feminino	658	121	186	432	40	297
<b>Covão</b>	Total	63	11	29	34	0	20
	Masculino	31	7	15	16	0	8
	Feminino	32	4	14	18	0	12
<b>Covão Ribeiro</b>	Total	625	120	199	397	29	278
	Masculino	291	64	89	190	12	151
	Feminino	334	56	110	207	17	127
<b>Cruz Vermelha</b>	Total	118	42	25	88	5	59
	Masculino	53	21 <sup>95</sup>	10	42	1	37
	Feminino	65	21	15	46	4	22
<b>Cumbém</b>	Total	720	160	258	436	26	251

	Masculino	332	85	119	202	11	125
	Feminino	388	75	139	234	15	126
<b>Cutelo</b>	Total	991	235	280	658	53	490
	Masculino	492	131	135	332	25	274
	Feminino	499	104	145	326	28	216
<b>Cutelo Torre</b>	Total	260	47	95	154	11	99
	Masculino	118	25	41	72	5	50
	Feminino	142	22	54	82	6	49
<b>Espinho Branco</b>	Total	190	34	70	116	4	64
	Masculino	79	13	35	43	1	31
	Feminino	111	21	35	73	3	33
<b>Leiria</b>	Total	130	26	44	73	13	43
	Masculino	67	12	24	37	6	23
	Feminino	63	14	20	36	7	20
<b>Lém Vieira</b>	Total	175	55	34	135	6	114
	Masculino	96	38	18	76	2	65
	Feminino	79	17	16	59	4	49
<b>Matinho</b>	Total	54	7	15	38	1	24
	Masculino	27	3	7	20	0	13
	Feminino	27	4	8	18	1	11
<b>Nhagar</b>	Total	1906	370	619	1153	133	724
	Masculino	860	169	300	515	44	362
	Feminino	1046	201	319	638	89	362
<b>Pedra Barro</b>	Total	568	111	195	329	44	217
	Masculino	260	52	86	159	15	102
	Feminino	308	59	109	170	29	115
<b>Ponta Fonte Lima</b>	Total	172	40	63	100	9	74
	Masculino	78	18	33	42	3	34
	Feminino	94	22	30	58	6	40
<b>Portãozinho</b>	Total	177	62	37	129	11	94
	Masculino	97	37	19	74	4	60
	Feminino	80	25	18	55	7	34
<b>Tarafalinho</b>	Total	740	146	224	480	36	305
	Masculino	342	81	95	234	13	177
	Feminino	398	65	129	246	23	128
<b>Traz D'empa</b>	Total	378	93	113	246	19	165

---

	Masculino	178	42	62	105	11	80
	Feminino	200	51	51	141	8	85

Quadro A 3 - Dados da população da Cidade de Assomada no ano de 2010

Fonte: INE

Anexo D – Sistema Adutor - Traçado em Planta

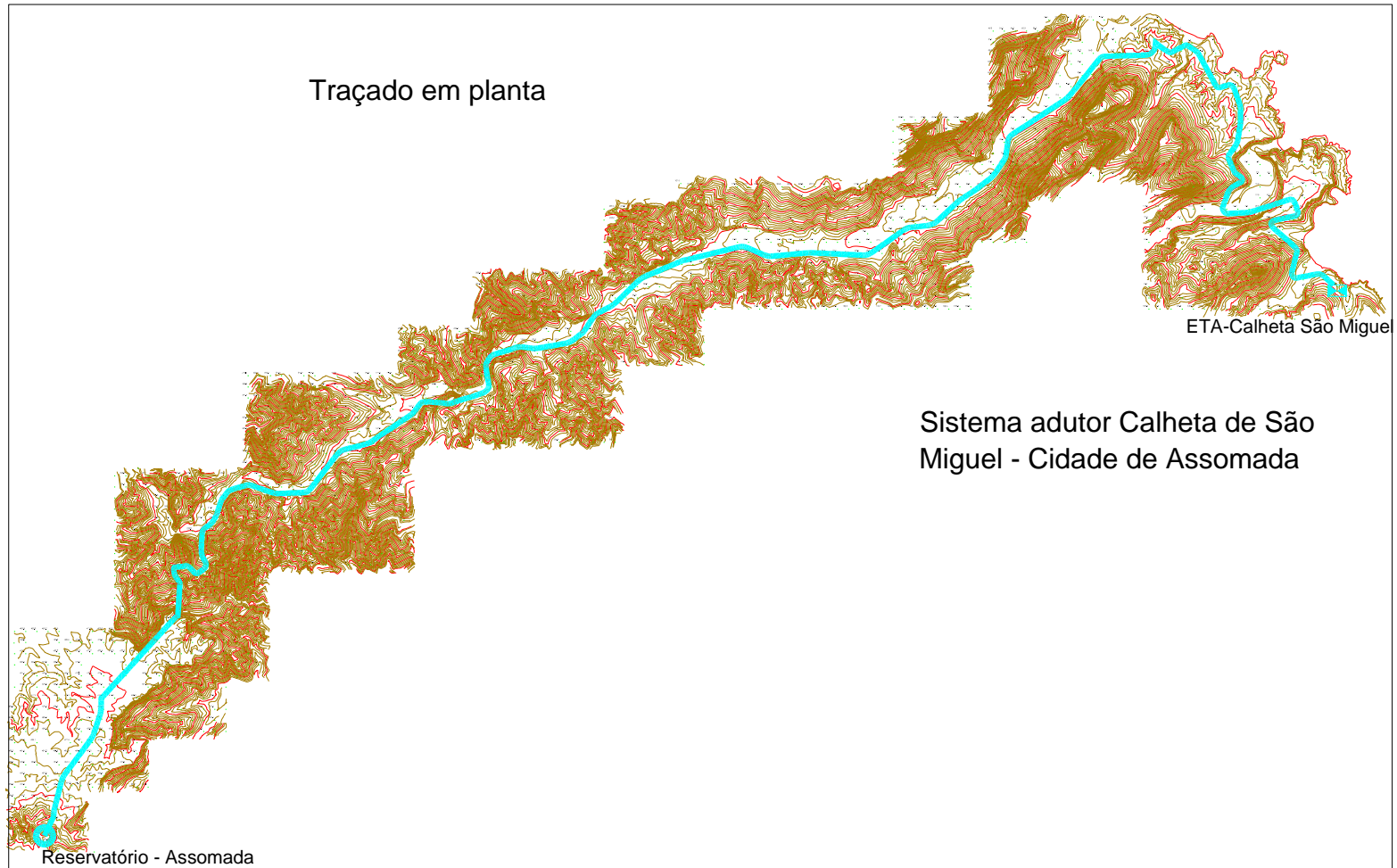


Figura D 1 - Traçado em planta do sistema adutor Assomada - Calheta São Miguel

Anexo E – Sistema Adutor - Traçado em Perfil

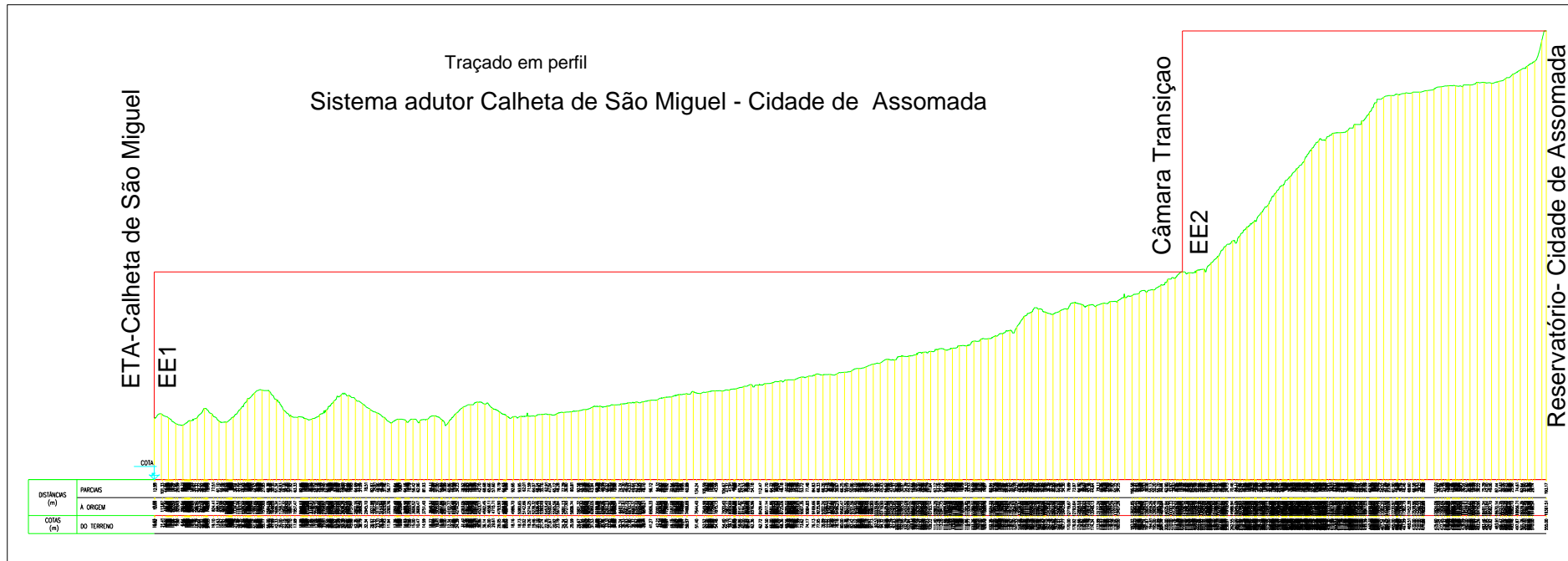


Figura E 1 - Traçado em perfil do sistema adutor Assomada - Calheta São Miguel

## Anexo F - Condução elevatória EE1 encargos de exploração

	POP(hab) v	C(L/hab.d) v		V(m3/d) v	Q(m3/s) v	v(m/s) v	DTe(m) v	DN(m) v	J(m/km) v	L(km) v	Pcc(m) v	Hg (m) >	203
2015	12780	100	Qmda-25 >	2104		k (mm) >	0,1	0,200	6,56	14100	102	305	T. AC.% v
T.Cr.(%) >	1	1	Qmdmmc-25 >	2735		0,5	0,305	0,250	2,15		33	236	3
Pr. En.	€/kWh >	0,29	Qdmax-25 >	3156	0,037	2,0	0,153	0,300	0,87		13	216	

Pr. Proj.	ANOS	POP(hab)	CAP(L/hab.d)	VOL(m3/A)	ENERGIA CONSUMIDA (kWh)			ENCARGOS EXPL. (€)			ENCARGOS EXPL. ACT. (€)		
					300	250	200	300	250	200	300	250	200
1	2015	12780	100	466470	366504	400048	515918	106286	116014	149616	106286	116014	149616
2	2016	12875	101	474884	373115	407265	525224	108203	118107	152315	105052	114667	147879
3	2017	12971	102	483398	379805	414566	534641	110143	120224	155046	103821	113323	146146
4	2018	13068	103	492013	386573	421954	544168	112106	122367	157809	102593	111983	144417
5	2019	13166	104	500729	393421	429429	553808	114092	124534	160604	101369	110647	142695
6	2020	13264	105	509548	400350	436992	563562	116102	126728	163433	100150	109316	140979
7	2021	13363	106	518470	407360	444644	573430	118135	128947	166295	98936	107991	139269
8	2022	13462	107	527498	414453	452386	583415	120191	131192	169190	97727	106671	137567
9	2023	13563	108	536631	421629	460219	593516	122272	133463	172120	96523	105357	135873
10	2024	13664	109	545871	428889	468143	603735	124378	135761	175083	95325	104050	134187
11	2025	13766	111	555219	436234	476160	614074	126508	138086	178082	94134	102749	132509
12	2026	13869	112	564676	443664	484271	624534	128663	140438	181115	92949	101456	130841
13	2027	13972	113	574243	451181	492476	635116	130843	142818	184184	91770	100170	129183
14	2028	14076	114	583922	458786	500776	645820	133048	145225	187288	90599	98891	127534
15	2029	14181	115	593713	466478	509173	656649	135279	147660	190428	89435	97621	125896
16	2030	14287	116	603618	474260	517667	667604	137536	150124	193605	88279	96359	124268
17	2031	14394	117	613637	482133	526260	678685	139818	152615	196819	87130	95105	122651
18	2032	14501	118	623772	490096	534952	689895	142128	155136	200070	85990	93860	121045
19	2033	14609	119	634025	498151	543745	701234	144464	157686	203358	84857	92624	119451
20	2034	14718	120	644395	506299	552639	712704	146827	160265	206684	83733	91397	117869
21	2035	14828	121	654885	514541	561635	724306	149217	162874	210049	82618	90179	116299
22	2036	14939	122	665496	522878	570735	736042	151635	165513	213452	81511	88971	114741
23	2037	15050	123	676229	531311	579939	747912	154080	168182	216894	80413	87773	113196
24	2038	15162	124	687084	539840	589249	759918	156554	170882	220376	79324	86585	111663
25	2039	15276	125	698064	548467	598666	772062	159055	173613	223898	78245	85406	110143
ENCARGOS DE EXPLORAÇÃO, ACTUALIZADOS											2298769	2509165	3235916
ENCARGOS DE INSTALAÇÃO											2270100	1889400	1536900
ENCARGOS TOTAIS ACTUALIZADOS											4568869	4398565	4772816

Quadro F 1 - Cálculos efectuados da conduta elevatória EE1 encargos de exploração

## Anexo G - Conduta elevatória EE2 encargos de exploração

	POP(hab) v	C(L/hab.d) v		V(m3/d) v	Q(m3/s) v	v(m/s) v	DTe(m) v	DN(m) v	J(m/km) v	L(km) v	Pcc(m) v	Hg (m) >	335
2015	12780	100	Omda-25 >	2104		k (mm) >	0,1	0,200	6,56	5100	37	372	T. AC.% v
T.Cr.(%) >	1	1	Qmdmmc-25 >	2735		0,5	0,305	0,250	2,15		12	347	3
Pr. En.	€/kWh >	0,29	Qdmax-25 >	3156	0,037	2,0	0,153	0,300	0,87		5	340	

Pr. Proj.	ANO	POP(hab)	CAP(L/hab.d)	VOL(m3/ano)	ENERGIA CONSUMIDA (kWh)			ENCARGOS EXPL. (€)			ENCARGOS EXPL. ACT. (€)		
					300	250	200	300	250	200	300	250	200
1	2015	12780	100	466470	575441	587574	629484	166878	170396	182550	166878	170396	182550
2	2016	12875	101	474884	585820	598172	640839	169888	173470	185843	164940	168417	180430
3	2017	12971	102	483398	596323	608897	652328	172934	176580	189175	163007	166444	178316
4	2018	13068	103	492013	606950	619748	663953	176016	179727	192546	161079	164476	176207
5	2019	13166	104	500729	617703	630727	675715	179134	182911	195957	159158	162514	174106
6	2020	13264	105	509548	628582	641835	687616	182289	186132	199409	157244	160559	172012
7	2021	13363	106	518470	639588	653074	699656	185481	189391	202900	155337	158612	169926
8	2022	13462	107	527498	650725	664445	711838	188710	192689	206433	153439	156674	167849
9	2023	13563	108	536631	661991	675949	724163	191977	196025	210007	151549	154744	165782
10	2024	13664	109	545871	673390	687588	736632	195283	199401	213623	149668	152824	163724
11	2025	13766	111	555219	684922	699363	749247	198627	202815	217282	147797	150914	161678
12	2026	13869	112	564676	696588	711275	762009	202010	206270	220983	145937	149014	159643
13	2027	13972	113	574243	708390	723327	774920	205433	209765	224727	144087	147125	157619
14	2028	14076	114	583922	720330	735518	787981	208896	213300	228514	142248	145247	155607
15	2029	14181	115	593713	732408	747851	801193	212398	216877	232346	140420	143381	153608
16	2030	14287	116	603618	744627	760327	814559	215942	220495	236222	138605	141527	151622
17	2031	14394	117	613637	756987	772948	828080	219526	224155	240143	136801	139686	149649
18	2032	14501	118	623772	769490	785714	841757	223152	227857	244110	135011	137857	147690
19	2033	14609	119	634025	782137	798628	855593	226820	231602	248122	133233	136042	145745
20	2034	14718	120	644395	794930	811691	869587	230530	235391	252180	131468	134240	143815
21	2035	14828	121	654885	807871	824905	883743	234283	239222	256286	129717	132452	141899
22	2036	14939	122	665496	820961	838270	898062	238079	243098	260438	127979	130677	139998
23	2037	15050	123	676229	834200	851789	912545	241918	247019	264638	126255	128917	138113
24	2038	15162	124	687084	847592	865463	927195	245802	250984	268886	124546	127172	136243
25	2039	15276	125	698064	861137	879294	942012	249730	254995	273183	122850	125441	134388
ENCARGOS DE EXPLORAÇÃO, ACTUALIZADOS											3609251	3685352	3948219
ENCARGOS DE INSTALAÇÃO											821100	683400	555900
ENCARGOS TOTAIS ACTUALIZADOS											4430351	4368752	4504119

Quadro G 1 - Cálculos efectuados da conduta elevatória EE2 encargos de exploração

**Anexo H - Reservatórios de regularização - Cálculo do Volume**

Hi	Hf	Cf.	A	Qd	Qa	Vd	Va	Vd-Va
h	h	(-)	m3/h	m3/h	m3/h	m3	m3	m3
0	1	0,25	131	33	131	33	131	-98
1	2	0,25	131	33	131	66	263	-197
2	3	0,25	131	33	131	98	394	-295
3	4	0,25	131	33	131	131	525	-394
4	5	0,25	131	33	131	164	656	-492
5	6	0,25	131	33	131	197	788	-591
6	7	1	131	131	131	328	919	-591
7	8	2,67	131	350	131	679	1.050	-371
8	9	2,67	131	350	131	1.029	1.181	-152
9	10	0,8	131	105	131	1.134	1.313	-179
10	11	0,8	131	105	131	1.239	1.444	-205
11	12	0,8	131	105	131	1.344	1.575	-231
12	13	1,5	131	197	131	1.541	1.706	-165
13	14	1,5	131	197	131	1.738	1.838	-100
14	15	0,8	131	105	131	1.843	1.969	-126
15	16	0,8	131	105	131	1.948	2.100	-152
16	17	0,8	131	105	131	2.053	2.231	-179
17	18	0,8	131	105	131	2.158	2.363	-205
18	19	2	131	263	131	2.420	2.494	-74
19	20	2	131	263	131	2.683	2.625	58
20	21	2	131	263	131	2.945	2.756	189
21	22	0,7	131	92	131	3.037	2.888	150
22	23	0,43	131	56	131	3.094	3.019	75
23	24	0,43	131	56	131	3.150	3.150	0
<b>DADOS DE BASE</b>	<b>24</b>			<b>3150</b>	<b>3150</b>		Dif-max+	189 m3
Pop	15274	hab					Dif-min-	-591 m3
Cap	125	L/s/hab					Vol.Teor.	780 m3
Cmda	2100	m3/d						
Cmdmmc	2730	m3/d					T. Avaria	6 h
Cdmax	3150	m3/d					Qadu	131 m3/h
Qmed	131	m3/h					V. Avaria	788 m3/h
T-ad	24	h/d						
Q-ad	131	m3/h						
<b>Reservatório-Capacidade Teórica</b>						<b>1.567</b>	<b>m3</b>	

Quadro H 1 - Reservatórios de regularização - Cálculo do Volume

