



CONTRIBUIÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA REDUÇÃO DO CUSTO DE DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA

PAULO JORGE PROENÇA GONÇALVES VARANDAS

Maio de 2021

CONTRIBUIÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA REDUÇÃO DO CUSTO DE DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA

PAULO JORGE PROENÇA GONÇALVES VARANDAS
1920534

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

CONTRIBUIÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PARA REDUÇÃO DO CUSTO DE DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA

Paulo Jorge Proença Gonçalves Varandas
1920534

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Leonardo Ribeiro.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de engenharia mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenados, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Mestre Joaquim Fernandes Monteiro

Técnico Superior, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Adélio Manuel de Sousa Cavadas

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Viana do Castelo

PALAVRAS CHAVE

Dessalinização; Energia Solar; Água Doce; Zonas Áridas.

RESUMO

Existem zonas áridas onde não existe água potável, mas onde há grande insolação. É possível a partir da água salgada, que é imprópria para consumir, produzir água por dessalinização utilizando a energia solar térmica.

Existem vários métodos de fazer a dessalinização, mas o mais em conta consiste em utilizar a energia solar num destilador, pois esta energia é abundante e de custo inferior à eletricidade.

Usou-se um modelo matemático da dessalinização no destilador solar, que se aplicou em 16 localidades do Mediterrâneo e norte de África, de modo a determinar a produtividade e viabilidade económica da dessalinização por via solar. Dentre os locais estudados, verificou-se que a produção de água varia entre 387 l/(m².ano) para Évora e 667 l/(m².ano) para Dikhill, e o rendimento do destilador solar entre 11,5%, para Évora, e 15% para Dikhill.

Analisou-se a viabilidade do destilador solar. Concluiu-se que é um investimento que não é rentável, de modo que deve ser usado só em regiões onde não existam alternativas, devido à pobreza e à falta de gente qualificada.

KEYWORDS

Desalination; Solar Energy; Freshwater; Arid Zones

ABSTRACT

There are arid areas where there is no drinking water, but where there is a lot of sunlight. It is possible from salt water, which is unfit to consume, to produce water by desalination using solar thermal energy.

There are several methods of desalination, but the most important thing is to use solar energy in a distiller, as this energy is abundant and has a lower cost than electricity.

A mathematical model of desalination was used in the solar distiller, which was applied in 16 locations in the Mediterranean and North Africa, in order to determine the productivity and economic viability of solar desalination. Among the studied sites, it was found that water production varies between 387 l / (m².year) for Évora and 667 l / (m².year) for Dikhill, and the solar distiller yield between 11.5%, for Évora, and 15% for Dikhill.

The viability of the solar still was analyzed. It was concluded that it is an investment that is not profitable, so it should be used only in regions where there are no alternatives, due to poverty and the lack of qualified people.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de símbolos latinos

Termo	Designação	Unidades
G	irradiação	W/m ²
h	coeficiente de convecção do ar exterior	W/m ² /K
h' _c	coeficiente de convecção do ar no interior do destilador	W/m ² /K
h _{fg}	calor latente de vaporização	J/kg
h _m	coeficiente de convecção médio diário do ar exterior	W/m ² /K
L	comprimento característico	m
m _d	fluxo de água evaporada	kg/m ² /s
p _b	pressão de saturação da água à temperatura da bacia	mmHg
p _g	pressão de saturação da água à temperatura da cobertura	mmHg
Q _c	fluxo térmico de convecção	W/m ²
Q _e	fluxo térmico de evaporação	W/m ²
Q _r	fluxo térmico de radiação	W/m ²
t	tempo	s
t _a	temperatura do ar	K
t _b	temperatura da água na bacia	K
t _{bh}	temperatura bolbo húmido do ar	K
t _{céu}	temperatura do céu	K
t _g	temperatura da cobertura	K
t _m	temperatura média diária mensal	K
V	velocidade do ar	m/s

Lista de símbolos gregos

Termo	Designação	Unidades
ε	emissibilidade total hemisférica	-
α	coeficiente de absorção total hemisférica	-
σ	constante de Stefan-Boltzmann	W/m ² /K ⁴
τ	coeficiente de transmissão total hemisférica	-
η _t	rendimento térmico do destilador	-

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Lista de abreviaturas

Termo	Designação
ED	Eletrodialise
MED	Destilação multi-efeito
MSF	Destilação multi-estágios instantânea
MVC	Destilação por compressão de vapor
RO	Osmose inversa
VAL	Valor atual líquido
TIR	Taxa interna de rentabilidade
TVC	Destilação por termo-compressão de vapor

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE UMA PLANTA DE UM DESTILADOR DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS DE VAPOR INSTANTÂNEO. ADAPTADO (BUROS, 2000)	29
FIGURA 2. ESQUEMA DE UMA PLANTA DE UM DESTILADOR DE MÚLTIPLO EFEITO. ADAPTADO (MECHEL & LESIKARAR, 2017)	29
FIGURA 3. ESQUEMA DE UM DESTILADOR POR COMPRESSÃO DE VAPOR. ADAPTADO (AL-KARAGHOULI & KAZMERSKI, 2013)	30
FIGURA 4. ESQUEMA DE UM PROCESSO DE OSMOSE INVERSA. (GAIO, 2016)	30
FIGURA 5. ESQUEMA DE UM PROCESSO DE ELETRODIÁLISE ADAPTADO DE (WATERIONS, 2019)	31
FIGURA 6. CAPACIDADE INSTALADA ACUMULADA (GLADE, 2013)	32
FIGURA 7. CAPACIDADE INSTALADA POR PROCESSO TÉRMICO POR PAÍS (GLADE, 2013)	32
FIGURA 8. CAPACIDADE INSTALADA POR MEMBRANA POR PAÍS (GLADE, 2013)	33
FIGURA 9. COMPONENTES DE UM DESTILADOR SOLAR ADAPTADO (MECHEL & LESIKARAR, 2017)	33
FIGURA 10. FLUXOS DE CALOR NUM DESTILADOR SOLAR (DUFFIE & BECKMAN, 2013)	36
FIGURA 11. MAPA COM AS LOCALIZAÇÕES ESTUDADAS.	40
FIGURA 12. MASSA DE DESTILADO EM KG/M2/DIA.	40
FIGURA 13. TEMPERATURAS EM 1 DE JANEIRO EM LARGEAU_FAYA.	41
FIGURA 14: TEMPERATURAS EM 1 DE JULHO EM LARGEAU_FAYA.	41
FIGURA 15 - VARIAÇÃO DE M_D NAS VÁRIAS CIDADES.	43
FIGURA 16. VARIAÇÃO DE M_D E G PARA DIKHILL	44
FIGURA 176. VARIAÇÃO DE M_D E G PARA ÉVORA	44
FIGURA 18.VARIAÇÃO DE M_D E G PARA ÉVORA	44
FIGURA 19 - VARIAÇÃO DE M_D E G PARA DIKHILL E ÉVORA	45
FIGURA 20. VARIAÇÃO DE M_D E T_M PARA DIKHILL	45
FIGURA 21. VARIAÇÃO DE M_D E T_M PARA ÉVORA	46
FIGURA 22. VARIAÇÃO DE M_D E T_M PARA DIKHILL E ÉVORA	46
FIGURA 24. RENDIMENTO E M_D PARA AS VÁRIAS LOCALIZAÇÕES	47

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. ENERGIA CONSUMIDA NO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO (AL-KARAGHOULI & KAZMERSKI, 2013).	31
TABELA 2. TABELA ADAPTADA (BELESSIOTIS, KALOGIROU, & DELYANNIS, 2017).	34
TABELA 3. LISTA DE LOCALIZAÇÕES ESTUDADA	39
TABELA 4. PERCENTAGEM DO RENDIMENTO FAMILIAR GASTO EM ÁGUA E GASTO ANUAL POR PAÍS. (BANCO MUNDIAL, 2019).	42
TABELA 5 PRODUÇÃO DE DESTILADO E RENDIMENTO ANUAL PARA AS VÁRIAS LOCALIZAÇÕES.	43
TABELA 6. CUSTO DOS COMPONENTES DE UM DESTILADOR SOLAR, PARA UM DESTILADOR A MONTAR EM SANTIAGO.	48
TABELA 7. CUSTO PROTEÇÃO CONTRA O VENTO.	49
TABELA 8. VALORES DO PERÍODO DE RETORNO, VAL E TIR PARA ÉVORA AO LONGO DE 20 ANOS	49
TABELA 9. FLUXOS DE CAIXA PARA UM EQUIPAMENTO INSTALADO EM ÉVORA PARA UM CICLO DE VIDA DE 20 ANOS	50
TABELA 10 VALORES DE GANHOS E PERDAS PARA ÉVORA AO LONGO DE 20 ANOS EM MODULAR COM PROTEÇÃO	51
TABELA 11. VALORES DO PERÍODO DE RETORNO, VAL E TIR PARA AS VÁRIAS LOCALIZAÇÕES AO LONGO DE 20 ANOS	52
TABELA 12. VALORES DE PERÍODO DE RETORNO, VAL E TIR PARA AS VÁRIAS LOCALIZAÇÕES AO LONGO DE 20 ANOS EM MODULAR COM PROTEÇÃO	53
TABELA 13. DADOS DAS LOCALIZAÇÕES	67
TABELA 14 M_D , G , T_M E H_M PARA ALMERIA	68
TABELA 15. M_D , G , T_M E H_M PARA ATAR	69
TABELA 16. M_D , G , T_M E H_M PARA BILMA	70
TABELA 17. M_D , G , T_M E H_M PARA DAKHA	71
TABELA 18. M_D , G , T_M E H_M PARA DIKHILL	72
TABELA 19. M_D , G , T_M E H_M PARA ÉVORA	73
TABELA 20. M_D , G , T_M E H_M PARA FASHIR	74
TABELA 21. M_D , G , T_M E H_M PARA LARGEAU_ FAYA	75
TABELA 22. M_D , G , T_M E H_M PARA MALAKAL	76
TABELA 23. M_D , G , T_M E H_M PARA MASSAWA	77
TABELA 24. M_D , G , T_M E H_M PARA MEKELELE	78
TABELA 25. M_D , G , T_M E H_M PARA MOGADISCIO	79
TABELA 26. M_D , G , T_M E H_M PARA RASA_ ABU	80
TABELA 27. M_D , G , T_M E H_M PARA SANTIAGO	81
TABELA 28. M_D , G , T_M E H_M PARA ST.LOUIS	82
TABELA 29. M_D , G , T_M E H_M PARA TESSALIT	83
TABELA 30. FLUXOS DE CAIXA NO MODELAR SEM PROTEÇÃO PARA ALMERIA	84
TABELA 31. FLUXOS DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO EM ATAR	85
TABELA 32. FLUXOS DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA BILMA	86

TABELA 33. FLIXOS DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA DAKHA	87
TABELA 34. FLUXOS DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA DIKHILL	88
TABELA 35. FLUXOS DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA FASHIR	89
TABELA 36. FLUXOS DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA LARGEAU FAYA	90
TABELA 37 FLUXO DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA MALAKAL	91
TABELA 38 FLUXO DE CAIXA EM MODELAR SEM PROTEÇÃO PARA MASSAWA	92
TABELA 39FLUXO DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA MEKELELE	93
TABELA 40 FLUXO DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA MOGADÍSCIO	94
TABELA 41 FLUXO DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA RASA_ABU	95
TABELA 42 FLUXO DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO EM SANTIAGO	96
TABELA 43 FLUXO DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA ST. LOUIS	97
TABELA 44 FLUXOS DE CAIXA EM MODULAR SEM PROTEÇÃO PARA TESSALIT	98
TABELA 45. FLUXO DE CAIXA EM MODELAR COM PROTEÇÃO PARA ALMERIA	99
TABELA 46. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA ATAR	100
TABELA 47. FLUXOS DE CAIXA PARA MODULAR COM PROTEÇÃO PARA BILMA	101
TABELA 48. FLUXO DE CAIXA EM MODELAR COM PROTEÇÃO PARA DAKHA	102
TABELA 49. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA DIKHILL	103
TABELA 50. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA FASHIR	104
TABELA 51. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA LARGEAU_FAYA	105
TABELA 52. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA MALAKAL	106
TABELA 53. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA MASSWA	107
TABELA 54. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA MEKELELE	108
TABELA 55. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA MOGADISCIO	109
TABELA 56. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA RASA_ABU	110
TABELA 57. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA SANTIAGO	111
TABELA 58. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA ST. LOUIS	112
TABELA 59. FLUXO DE CAIXA EM MODULAR COM PROTEÇÃO PARA TESSALIT	113

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	25
4.1.	Introdução.....	25
4.2.	Objetivos	25
4.3.	Organização.....	25
2.1.	Identificação e caracterização de tecnologias de dessalinização	29
2.2.	Capacidade instalada de dessalinização	32
2.3.	Modelo matemático.....	34
3.	DESENVOLVIMENTO	39
3.1.	Análise de resultados	43
3.1.1.	Produção de destilado	43
3.1.2.	Variação da produção com a radiação solar.....	44
3.1.3.	Variação da produção de m_d com t_m	45
3.2.	Análise económica	47
4.	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	57
4.4.	CONCLUSÕES.....	57
4.5.	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	57
5.	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	61
6.	ANEXOS.....	67
6.1.	Dados das localizações.....	67
6.2.	Produção detalhada	68

6.3.	Cálculos económicos detalhados – sem proteção	84
6.4.	Cálculos económicos detalhados – com proteção	99

INTRODUÇÃO

- 1.1 Introdução
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Organização

1 INTRODUÇÃO

4.1. Introdução

Uma vez que a água é essencial ao ser humano e não havendo forma de a obter por outros meios, a dessalinização pode ser uma opção. Tendo água salgada, imprópria para consumo humano, para a indústria e agricultura, pode, se lhe retirarmos o sal, estar disponível para essas necessidades. Trata-se de uma possibilidade de poder ter água própria para consumir e para a indústria e agricultura em regiões onde não há água de outra forma, por exemplo em zonas áridas, mas próximas ao mar.

4.2. Objetivos

O objetivo do trabalho foi estudar os dessalinizadores que utilizam a tecnologia de destilação solar determinando:

- Produtividade e eficiência do equipamento para diferentes localizações geográficas;
- Viabilidade económica para as mesmas localizações geográficas.

4.3. Organização

No capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de identificar alguns exemplos de tecnologias de dessalinização existentes e que são utilizadas no mundo; descreveram-se as mesmas. Descreveu-se também o modelo matemático do destilador solar.

No capítulo 3 selecionaram-se localizações a estudar, principalmente zonas dos trópicos onde a falta de água é mais problemática; analisaram-se os resultados, nomeadamente no tocante à produção da massa de água destilada e à viabilidade económica (o período de retorno, VAL e TIR).

No capítulo 4 tiraram-se as conclusões e fizeram-se recomendações para trabalhos futuros.

No capítulo 5 foi apresentada a bibliografia utilizada para a realização da tese.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Identificação e caracterização das tecnologias de dessalinização

2.2. Capacidade instalada de dessalinização

2.3 Modelo matemático

2.1. Identificação e caracterização de tecnologias de dessalinização

Existem várias centrais de dessalinização onde se produz água potável.

Na Arábia Saudita, porque há recursos energéticos próprios elevados e capacidade económica, existem as maiores centrais de dessalinização do tipo vapor instantâneo de múltiplos estágios. Estas centrais produzem água dessalinizada a partir de água do mar. Na Figura 1 temos um exemplo em que água salgada atravessa várias câmaras e aquece até estar em contacto com o vapor da caldeira; depois entra na primeira câmara, e parte evapora e condensa em contacto com os tubos onde circula água salina mais fria, depois entra na câmara seguinte onde se repete este ciclo até se obter o concentrado de sais. A água dessalinizada sai e é recolhida.

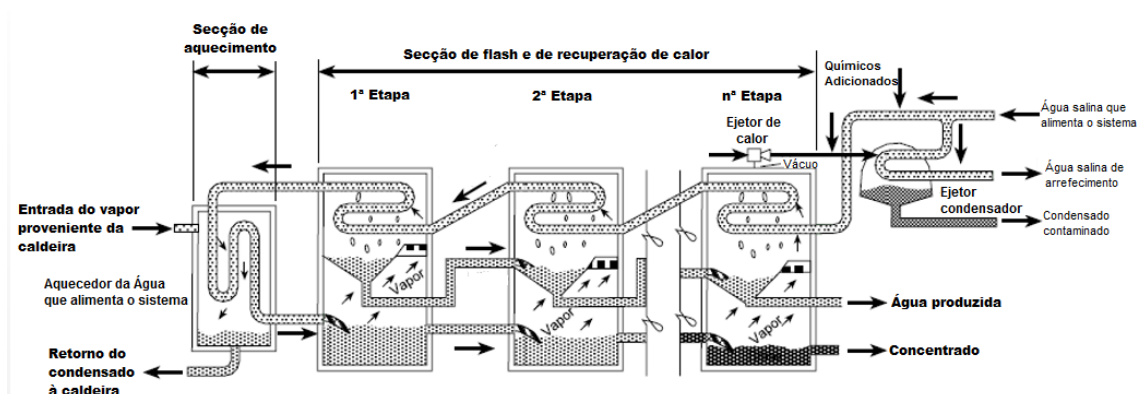


Figura 1. Esquema de uma planta de um destilador de múltiplos estágios de vapor instantâneo. Adaptado (Buros, 2000)

Existe também a destilação de múltiplo efeito em que a água salgada é pulverizada sobre tubos com vapor. Na Figura 2 temos um exemplo, em que a água salgada evapora e se transforma em vapor que vai alimentar a câmara seguinte com vapor, e condensa dentro dos tubos; o processo repete-se na câmara seguinte até se obter a água pura e o concentrado de sais.

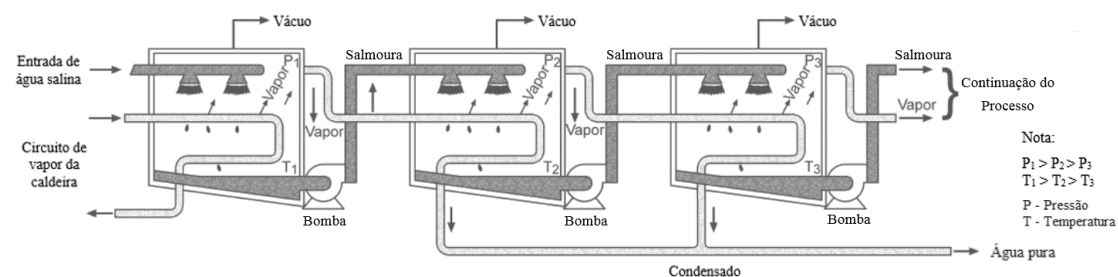


Figura 2. Esquema de uma planta de um destilador de múltiplo efeito. Adaptado (Mechel & Lesikarar, 2017)

Na destilação por compressão do vapor, a água salgada entra e é pulverizada sobre tubos com vapor, e parte evapora e é recolhida nos tubos que por sua vez vão fazer evaporar a água salgada seguinte; a parte que não evapora é recolhida e reciclada em parte, a outra parte vai para descarga. Este processo utiliza um compressor de vapor; na Figura 3 temos um exemplo.

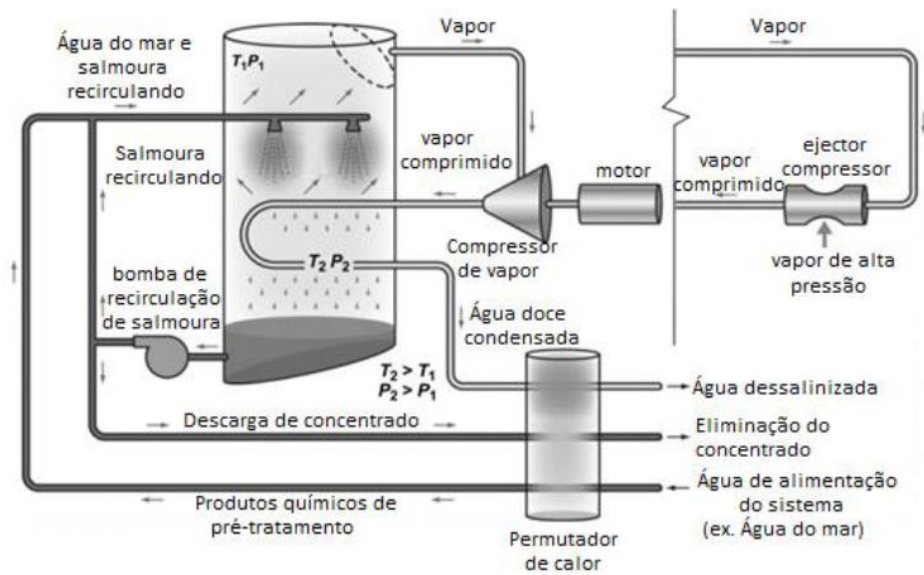


Figura 3. Esquema de um destilador por compressão de vapor. Adaptado (Al-Karaghoulí & Kazmerski, 2013)

Também a separação de sais da água se pode obter por osmose, que é um processo de separação por membrana, ver Figura 4 um exemplo. A membrana deixa passar a água e retém os sais.

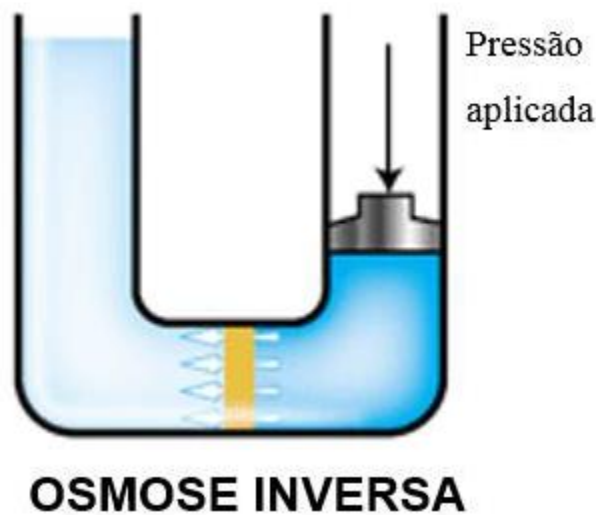


Figura 4. Esquema de um processo de osmose inversa. (Gaio, 2016)

Também existe a eletrodialise que é a separação dos sais da água através dos iões, que se formam com a corrente elétrica. Os iões negativos são atraídos para o ânodo e os iões positivos para o cátodo. Há também membranas que separam a água boa da água com os sais ao deixarem sair os iões com o sinal oposto e reter os iões do mesmo sinal. Na Figura 5 temos um exemplo deste tipo de sistema.

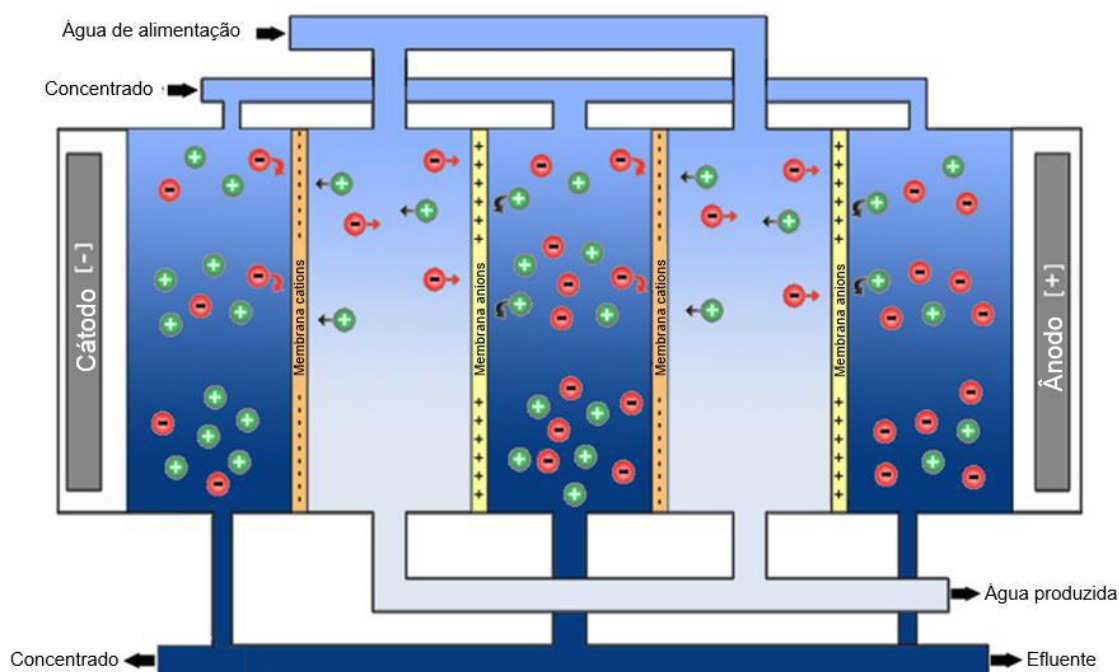


Figura 5. Esquema de um processo de eletrodialise adaptado de (Waterions, 2019)

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo das tecnologias de dessalinização com a indicação dos principais parâmetros de funcionamento.

Tabela 1. Energia consumida no processo de dessalinização (Al-Karaghoulis & Kazmerski, 2013).

Propriedades	MSF	MED	MVC	TVC	RO	ED
Tamanho unidade (m ³ /dia)	50000-70000	5000-15000	100-3000	10000-30000	Até 128000	2-145000
Consumo elétrico (KWh/m ³)	2,5-5	2-2,5	7-12	1,6-1,8	4-6	0,7-5,5
Consumo térmico (Mj/m ³)	190-282	145-230	0	227	0	0
Consumo elétrico equivalente ao consumo térmico (KWh/m ³)	15,8-23,5	12,2-19,1	0	14,5	0	0
Total consumo elétrico (KWh/m ³)	19,6-27,3	14,5-23,5	7-12	16,3	4,6	0,7-5,5
Qualidade da água (ppm)	10	10	10	10	200-500	150-500
Exemplos localização (Belessiotis, Kalogirou, & Delyannis, 2017)	Qatar	Bahrain	Israel	Arábia Saudita	Arábia Saudita	Japão

2.2. Capacidade instalada de dessalinização

A dessalinização por membrana tem aumentado, mas a dessalinização por processo térmico também, como mostra a Figura 6.

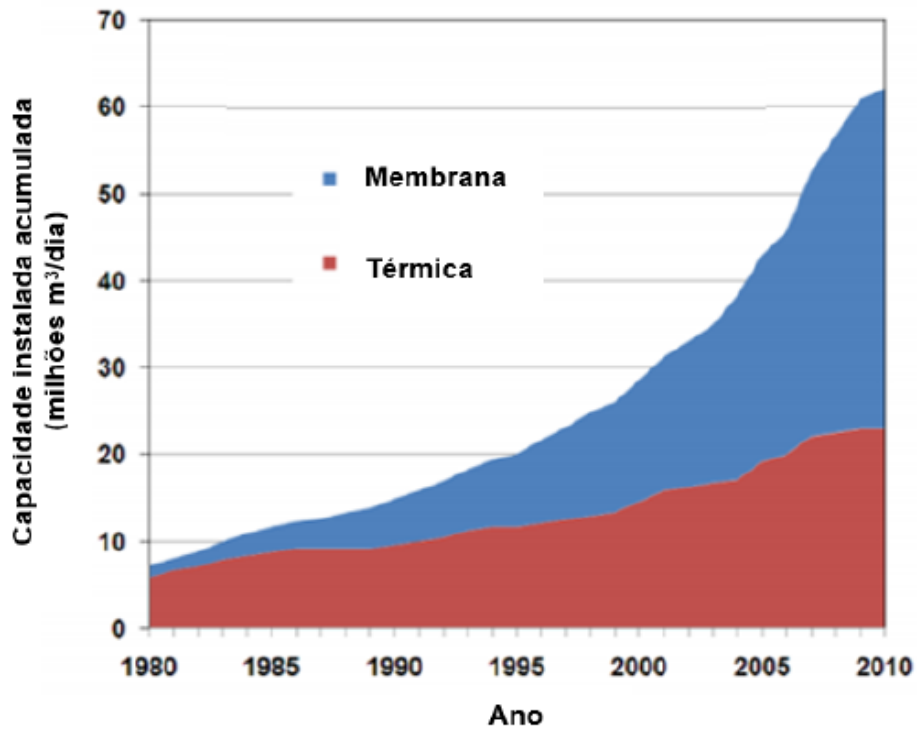


Figura 6. Capacidade instalada acumulada, adaptado (Glade, 2013).

Na Figura 7 podemos ver a lista de países e correspondentes capacidades instaladas desde 1945, usando processos térmicos. Verificamos que a maioria destes países se encontra no Médio Oriente.

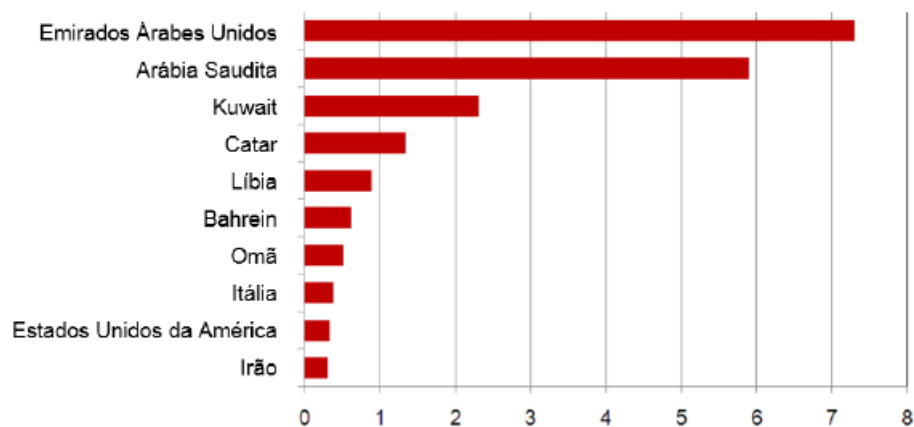


Figura 7. Capacidade instalada por processo térmico por país, adaptado (Glade, 2013).

Na Figura 8 podemos ver a lista de países e a correspondente capacidade instalada usando o processo RO, desde 1945.

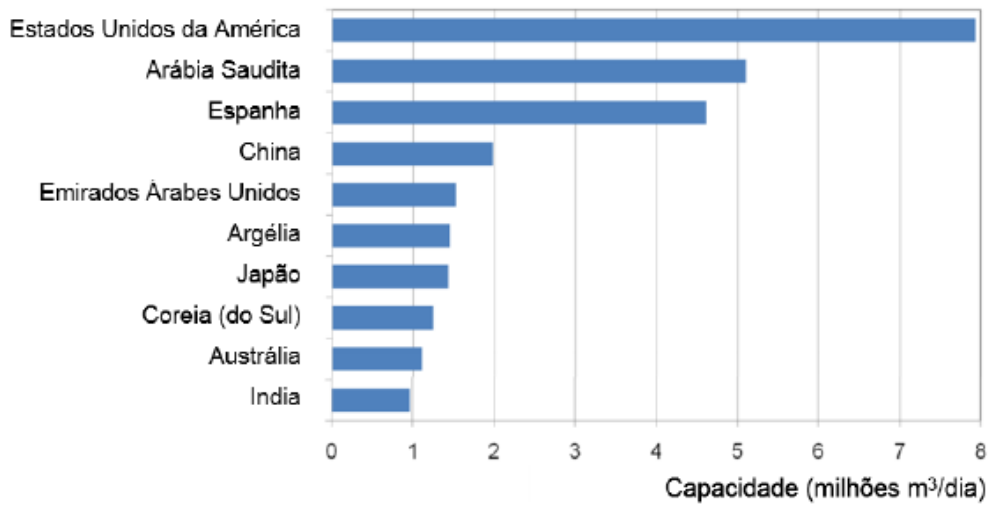


Figura 8. Capacidade instalada por membrana por país, adaptado (Glade, 2013)

O objetivo da dessalinização é produzir água para as populações, indústria e agricultura onde ela não existe. Existe água do mar, mas essa é imprópria para consumo porque contém muito sal. Existem vários métodos de produzir água, mas o mais simples é a destilação solar: é um método de evaporação/condensação em que temos uma bacia com água, que evapora com a ajuda da energia solar, condensa num vidro e é recolhida numa calha ligada a um coletor de condensado. Uma vez que a água assim obtida não terá sais será preciso adicioná-los. Na Figura 9 temos um exemplo:

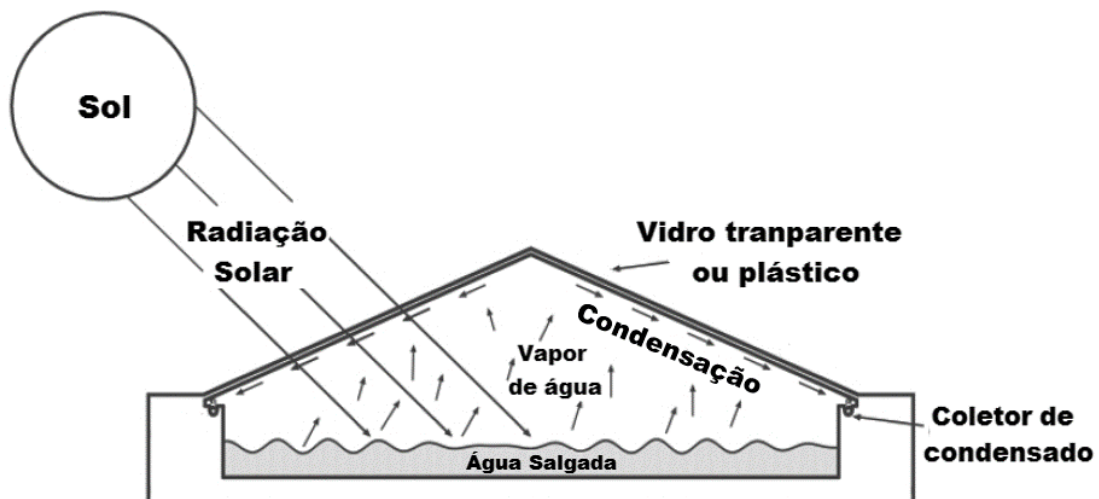


Figura 9. Componentes de um destilador solar adaptado (Mechel & Lesikarar, 2017).

Este método tem um custo económico baixo, porque usa materiais baratos e funciona como absorvedor de calor, criando vapor que condensa na cobertura, exige pouca manutenção e deve ser orientado a sul.

Uma vez que há necessidade de água também nas regiões áridas, este método é uma grande ajuda para as respectivas populações.

O método de destilação que interessa neste trabalho mais estudar é a destilação solar.

Parâmetros que interessam:

Coeficiente de absorção (α) é a capacidade do material de absorver a radiação solar

Emissibilidade (ϵ) é razão entre a intensidade emitida pela cobertura e a intensidade emitida por um corpo negro á mesma temperatura.

Coeficiente de transmissão (τ) é a propriedade dum material transparente de permitir que a radiação solar seja transmitida através de si.

Radiação global (G) é a radiação total incidente em (W/m^2).

Radiação do céu, o céu é considerado um corpo negro que absorve toda energia e emite à temperatura $t_{céu}$.

Tabela 2. Tabela adaptada (Belessiotis, Kalogirou, & Delyannis, 2017).

Ângulo de incidência	0	30	45	60
Vidro de cobertura				
Absortividade %	5	5	5	5
Transmissividade %	90	90	89	85
Reflexão %	5	5	6	10
Água na bacia				
Absortividade %	30	30	30	30
Transmissividade %	68	68	67	64
Reflexão %	2	2	3	6

2.3. Modelo matemático

(Dunkle, 1961) escreve que um balanço térmico para a água na bacia é em (W/m^2):

$$G \cdot \tau \cdot \alpha = Q_e + Q_r + Q_c \quad (1)$$

em que

Q_e é o calor de evaporação

Q_r é o calor de radiação da bacia para o vidro

Q_c é o calor de convexão da bacia para o vidro

$$Q_e = 9,15 \cdot 10^{-7} \cdot h'_c \cdot (p_b - p_g) \cdot h_{fg} \quad (2)$$

em que

$$h'_c = 0,884 \cdot [(t_b - t_g) \cdot \left(\frac{p_b - p_g}{2016 - p_b}\right) \cdot t_b]^{1/3} \quad (3)$$

p_b é a pressão do vapor de água em milímetros de mercúrio à temperatura t_b

p_g é a pressão do vapor de água em milímetros de mercúrio à temperatura t_g

$$p_b = 4,58 \cdot 10^{\frac{7,5 + t_b}{237 + t_b}} \quad (4)$$

h_{fg} é o calor latente de vaporização da água

$$Q_r = 0,9 \cdot \sigma \cdot (t_b^4 - t_g^4) \quad (5)$$

em que $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ e em que as temperaturas estão em K

$$Q_c = h'_c \cdot (t_b - t_g) \quad (6)$$

Para a cobertura um balanço de energia é:

$$G \cdot \tau \cdot \alpha = Q_c + Q_r$$

$$Q_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (t_g^4 - t_{céu}^4) \quad (7)$$

e

$$Q_c = h \cdot (t_g - t_a) \quad (8)$$

$$h = \frac{8,6 \cdot V^{0,6}}{L^{0,4}} \quad (9)$$

e

$$t_{céu} = t_a [0,711 + 0,0056 \cdot t_{bh} + 0,000073 \cdot t_{bh}^2 + 0,013 \cdot \cos(15 \cdot t)]^{1/4} \quad (10)$$

em que t_{bh} é a temperatura de bolbo húmido e t é o tempo em horas.

Na Figura 10 temos os fluxos de calor num destilador solar.

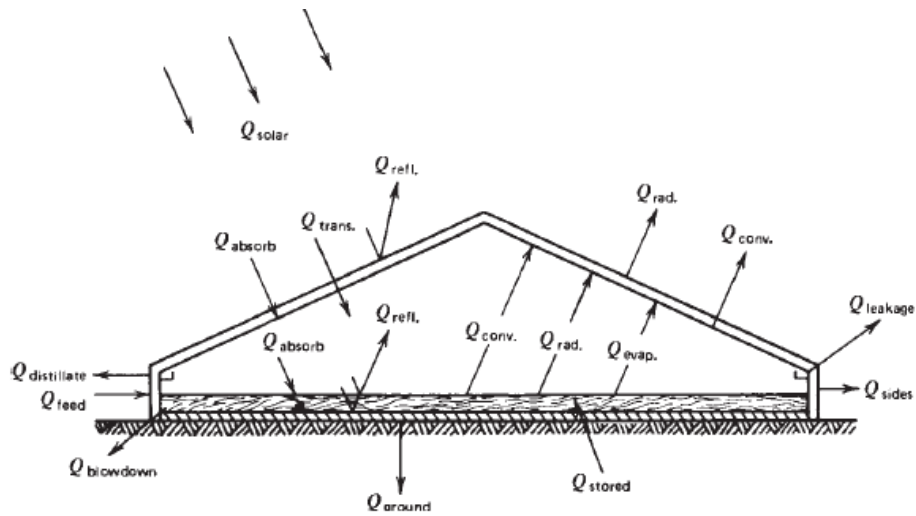


Figura 10. Fluxos de calor num destilador solar (Duffie & Beckman, 2013).

A massa de destilado (l/h) pode ser obtida pela equação 10:

$$m_d = 9,15 \cdot 10^{-7} \cdot h'_c \cdot (p_b - p_g). \quad (11)$$

O rendimento é dado pela equação 12

$$\eta_t = \frac{Q_e}{G}. \quad (12)$$

DESENVOLVIMENTO

- 3.1. Análise de resultados
- 3.2. Variação da produção com a radiação solar
- 3.3. Variação da produção de m_d com t_m
- 3.4. Análise económica

3. DESENVOLVIMENTO

Considerando que a falta de água afeta mais as regiões áridas, selecionou-se uma lista de cidades em África e Mediterrâneo para estudar a dessalinização, pois África e o Mediterrâneo são mais propícios à boa eficiência dos destiladores solares. Nessas cidades a falta de água é premente. Na Tabela 3 estão apresentadas as cidades estudadas com as suas principais características geográficas e climáticas.

Tabela 3. Lista de localizações estudadas

Cidade	Pais	Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (m)	T _{med} anual (° C)	G anual (kWh/m ² /ano)
Almeria	Espanha	36,8	-2,3	21	18,7	1880
Atar	Mauritânia	20,5	-13,0	231	27,0	2404
Bilma	Níger	18,7	12,9	357	26,4	2428
Dakha	Saara	23,7	-15,9	10	19,7	2005
Dikhil	Djibouti	11,1	42,3	490	25,3	2584
Évora	Portugal	38,5	-7,8	246	16,3	1849
Fashir	Sudão	13,6	25,3	730	25,0	2482
Largeau_Faya	Chade	17,9	19,1	235	24,4	2455
Malakal	Sudão do Sul	9,5	31,6	394	26,7	2351
Massawa	Eritreia	15,6	39,4	10	29,3	2183
Mekelele	Etiópia	13,4	39,5	2254	16,5	2386
Mogadishu	Somália	2,0	45,3	3	27,0	2238
Rasa_Abu	Egipto	28,9	33,1	8	23,7	2223
St.Louis	Senegal	16,0	-16,4	3	25,2	2174
Tessalit	Mali	20,2	0,97	494	27,8	2439



Figura 11. Mapa com as localizações estudadas.

Os valores típicos da massa do destilado em $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ para um dia de inverno (1 de janeiro) e um dia de verão (1 de julho), para essas cidades, estão na Figura 12:

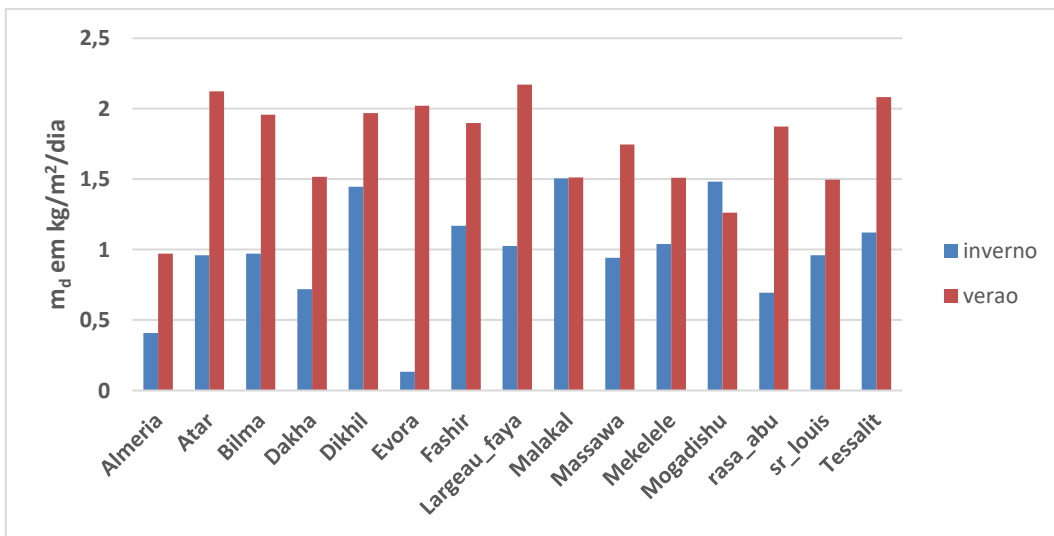


Figura 12. Massa de destilado em $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$.

Vendo que a cidade que produz mais água no verão é Largeau Faya, interessa conhecer melhor a produtividade dessa cidade. Temos para o dia 1 de janeiro na Figura 13:

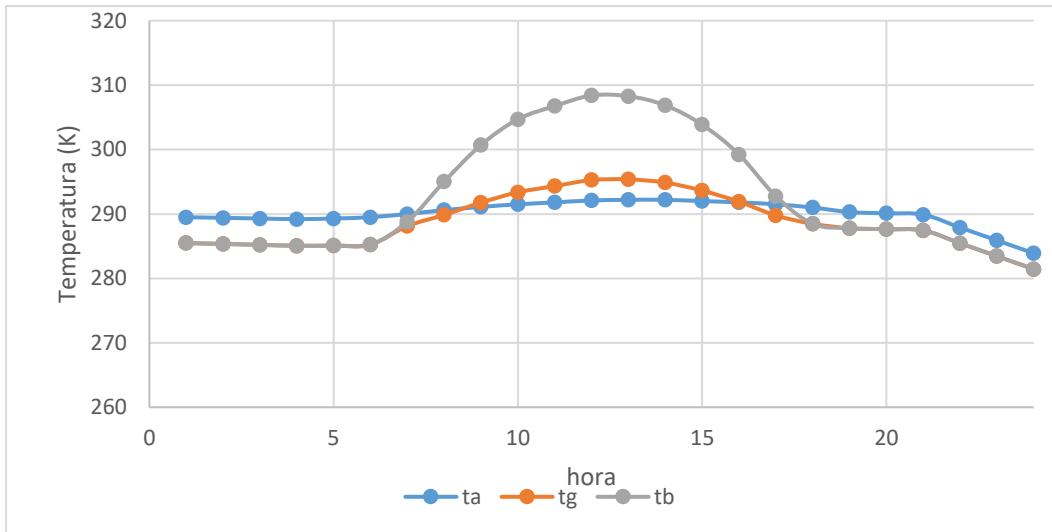


Figura 13. Temperaturas em 1 de janeiro em Largeau Faya.

Em que:

t_a é a temperatura do ar

t_g é a temperatura do vidro

t_b é a temperatura da bacia

E para o dia 1 de julho temos como mostra na Figura 14:

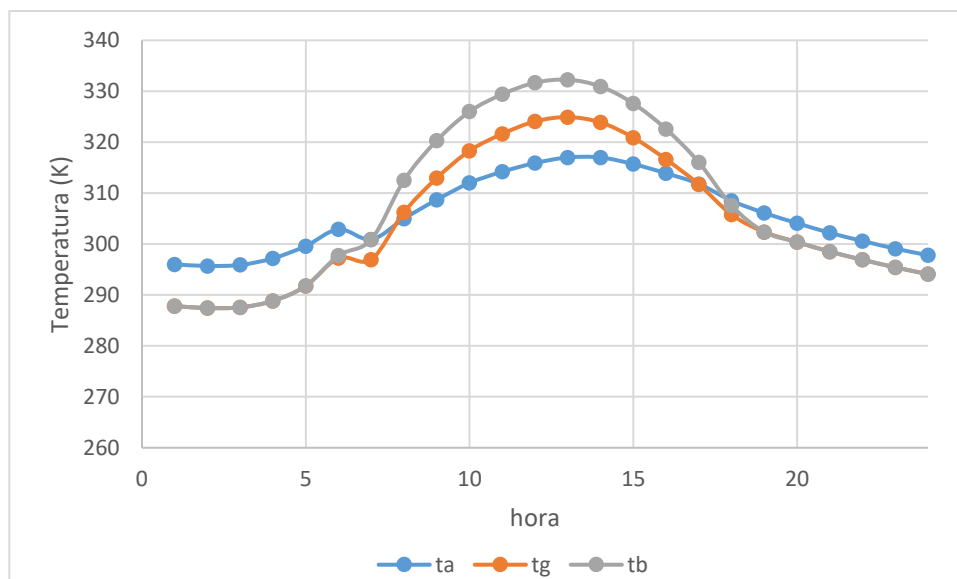


Figura 14: temperaturas em 1 de julho em Largeau Faya.

Vendo-se que durante a noite não existe evaporação e que durante o dia a temperatura da bacia é maior que a temperatura do vidro. A massa de destilado é maior no verão do

que no inverno porque o G é maior no verão. A temperatura máxima atingida no verão foi de 332 K. A temperatura máxima no inverno é de 308,4 K. A diferença máxima entre temperaturas da bacia e do vidro foi de 8 K no verão e 13 K no inverno.

O consumo de água é desigual no mundo, havendo sítios onde há água disponível e outros sítios onde não há tanta água disponível. Assim o consumo não é o mesmo pelo mundo fora como mostra a Tabela 4. Para as cidades mencionadas atrás não existem dados, mas só para os respetivos países, que foram adotados como válidos para as cidades desse país.

Tabela 4. Percentagem do rendimento familiar gasto em água e gasto anual por país. (Banco Mundial, 2019).

País	Rendimento gasto em água (%)	Gasto anual em água (M\$)	Água para consumo (m ³ /pessoa/ano)
Chade	0,11	6,9	0,5
Djibouti	3,28	38,2	na
Egipto	0,68	412,4	7,5
Eritreia	na	na	0,8
Espanha	na	na	11,7
Etiópia	0,41	143,6	0,5
Mali	0,68	39,6	5,5
Mauritânia	2,28	59,5	5,7
Mundo	0,60	na	6,8
Níger	1,43	72,1	0,8
Portugal	na	na	10,5
Saara (Marrocos)	1,29	604,9	4,2
Senegal	1,46	103,1	1,0
Somália	na	na	na
Sudão	na	na	2,8
Sudão do Sul	na	na	na

3.1. Análise de resultados

3.1.1. Produção de destilado

A produção de destilado mensal para as várias localizações está apresentado na Figura 15.

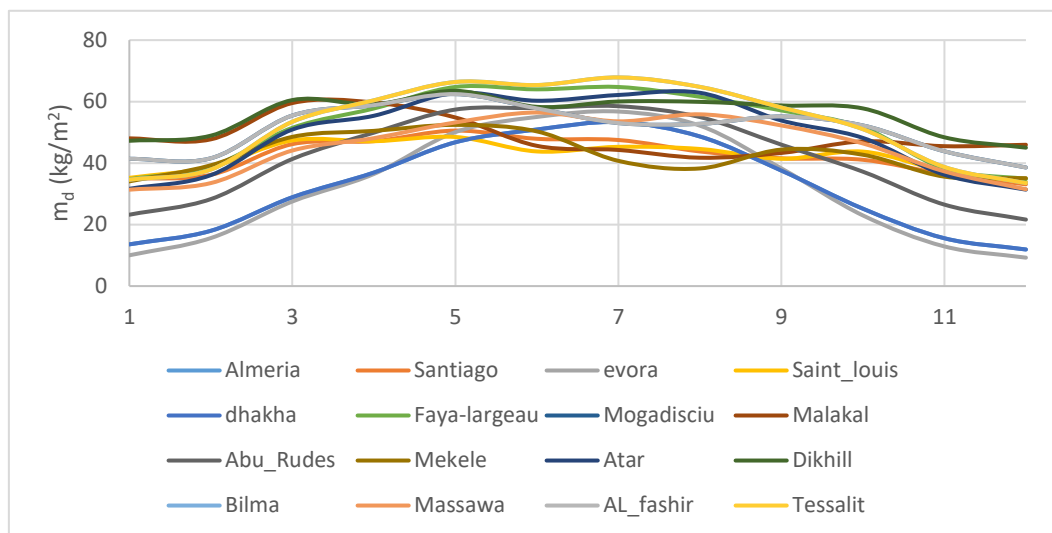


Figura 15 - Variação de m_d nas várias cidades.

A cidade que produz mais é Dikhill (667,5 l/ano) e a que produz menos é Évora (387,1 l/ano) conforme indica a Tabela 6.

Tabela 5 Produção de destilado e rendimento anual para as várias localizações.

Localização	Produção (l/ano)	Rendimento (%)
Almeria	387,3	11,83
Atar	591,9	14,65
Bilma	632,2	15,19
Dakha	387,3	11,84
Dikhill	667,5	15,06
Évora	387,1	11,57
Fashir	613,2	14,44
Largeau_Faya	619,6	14,73
Malakal	583,4	14,71
Massawa	543,7	14,73
Mekelele	511,9	12,36
Mogadiscio	613,2	14,44
Rasa Abu	502,9	13,38
Santiago	507,9	13,46
St. Louis	507,0	13,83
Tessalit	632,0	15,19

3.1.2. Variação da produção com a radiação solar

Na Figura 16 é apresentada a produção mensal de destilado por m^2 de instalação e o valor mensal da radiação global horizontal para Dikhill.

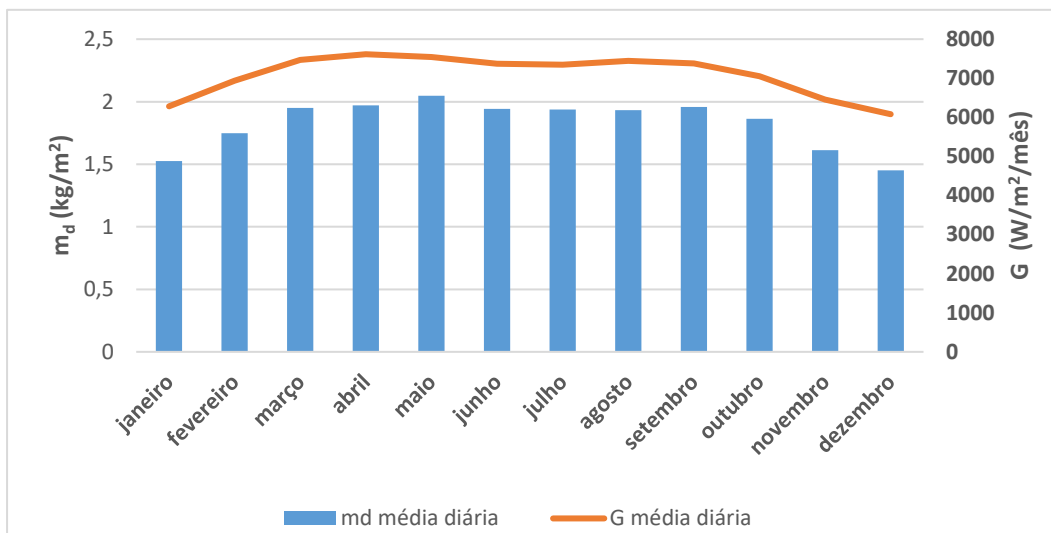


Figura 16. Variação de m_d e G para Dikhill.

O valor médio mensal de produção é $1,82 \text{ kg/m}^2/\text{dia}$. O valor mínimo é $1,45 \text{ kg/m}^2/\text{dia}$ para dezembro ($6079 \text{ W/m}^2/\text{mês}$) que corresponde a $-20,3\%$, e o valor máximo é $2,05 \text{ kg/m}^2/\text{dia}$ para maio ($7541 \text{ W/m}^2/\text{mês}$) que corresponde a $+12,6\%$. Vê-se que a produção de destilado não varia muito, sendo maior quanto maior for a radiação.

Na Figura 18 é apresentada a produção mensal de destilado por m^2 de instalação, e o valor mensal da radiação global horizontal para Évora.

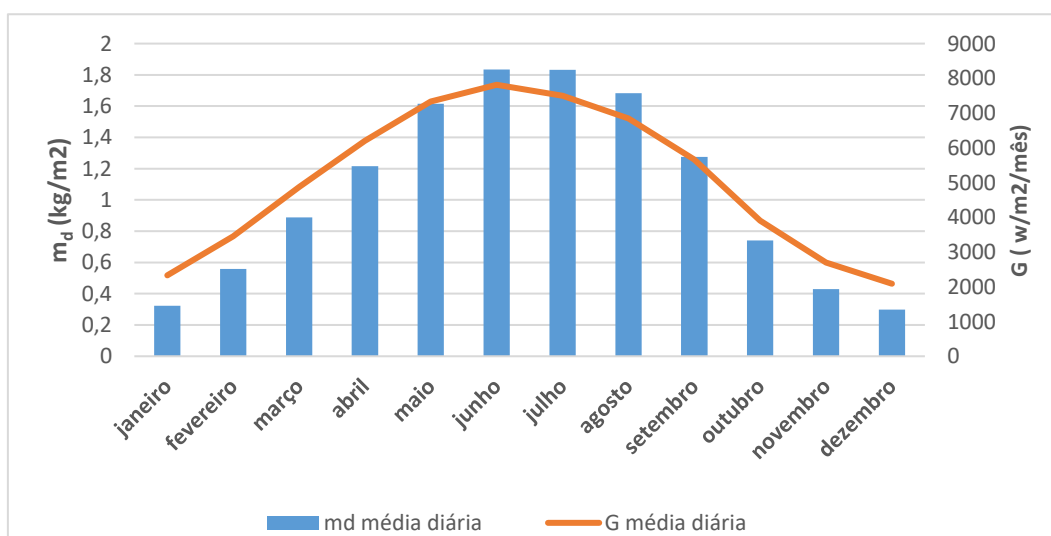


Figura 18. Variação de m_d e G para Évora.

O valor médio mensal de produção é $1,06 \text{ kg/m}^2/\text{dia}$. O valor mínimo é $0,29 \text{ kg/m}^2/\text{dia}$ para dezembro ($2087 \text{ W/m}^2/\text{mês}$) que corresponde a $-72,6\%$, e o valor máximo é $1,83 \text{ kg/m}^2/\text{dia}$ para junho ($7813 \text{ W/m}^2/\text{mês}$) que corresponde a $+72,6\%$. Vê-se que a produção de destilado varia muito.

Comparando as duas vê-se que em Évora há maior variação da massa de destilado e em Dikhill a massa de destilado é mais constante e maior que em Évora.

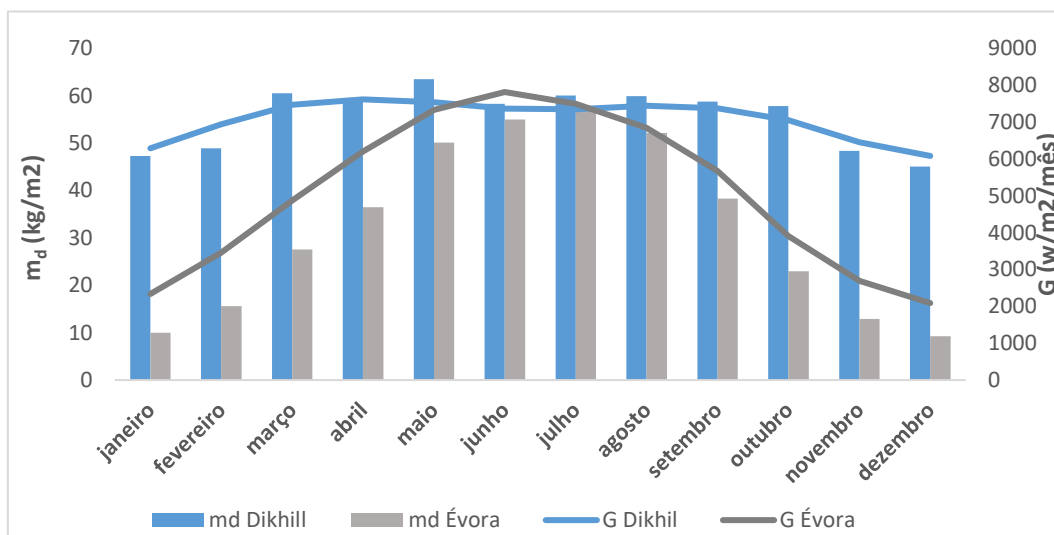


Figura 19 - Variação de m_d e G para Dikhill e Évora

3.1.3. Variação da produção de m_d com t_m

Na Figura 20 é apresentada a produção mensal de destilado por m^2 de instalação e a temperatura média diária para Dikhill.

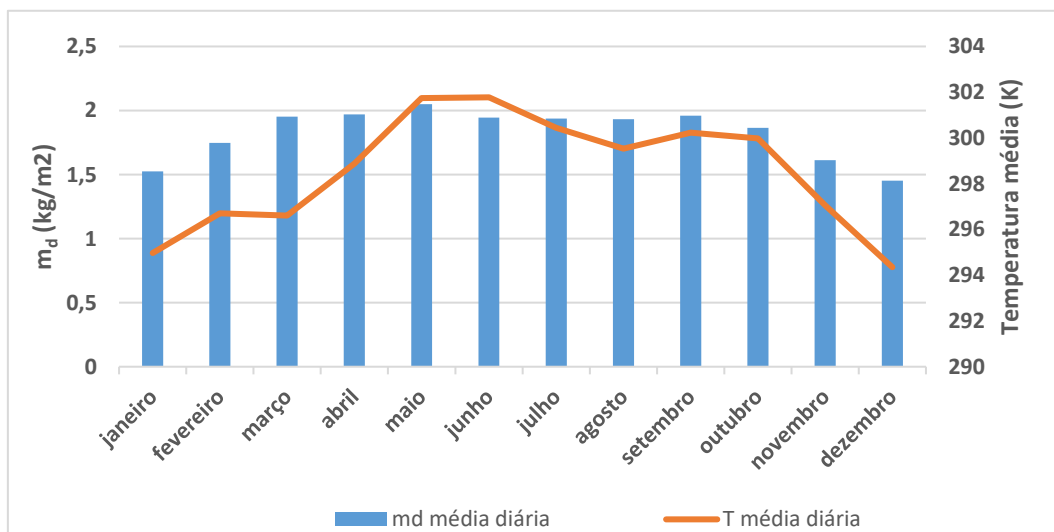


Figura 20. Variação de m_d e t_m para Dikhill.

A temperatura média diária é de $298,5 \text{ K}$. O valor mínimo é $294,4 \text{ K}$ ocorre em dezembro que corresponde a $-1,3 \%$ e o valor máximo é $301,8 \text{ K}$ ocorre em junho que corresponde

a +1,1%. Como previsto, a produção de destilado é superior nos meses em que a temperatura média é mais elevada.

Na Figura 21 é apresentada a produção mensal de destilado por m^2 de instalação e a temperatura média diária para Évora.

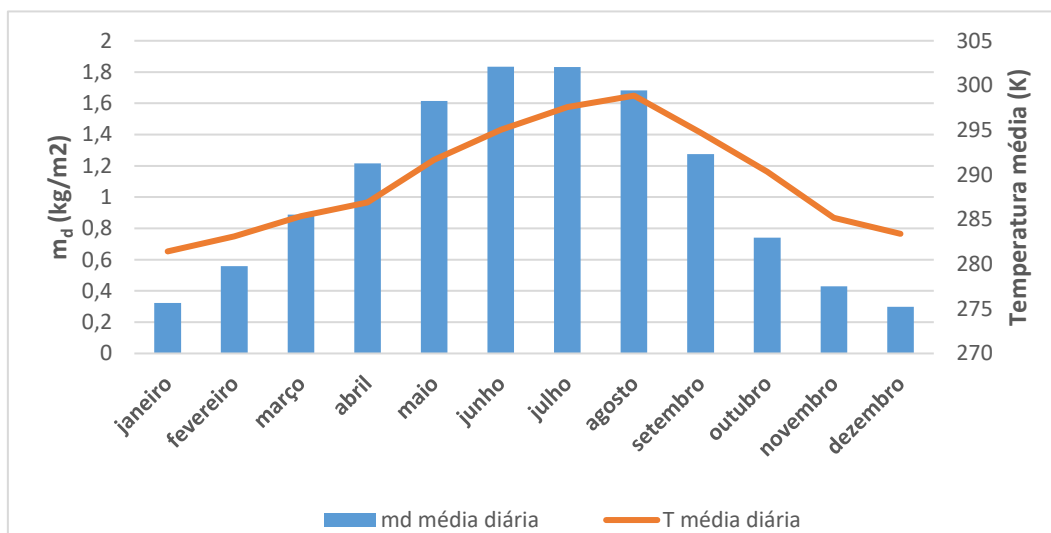


Figura 21. Variação de m_d e t_m para Évora

A temperatura média é 289,5 K. O valor mínimo é 281,4 K ocorre em janeiro que corresponde a -2,8% e o valor máximo é 298,8 K ocorre em agosto corresponde a +3,2%. Como previsto, a produção de destilado é superior nos meses em que a temperatura média é mais elevada.

Vê-se que a temperatura mais alta ocorre em Dikhill e há menor variação de temperatura que em Évora, logo a produção de destilado é mais estável ao longo do ano.

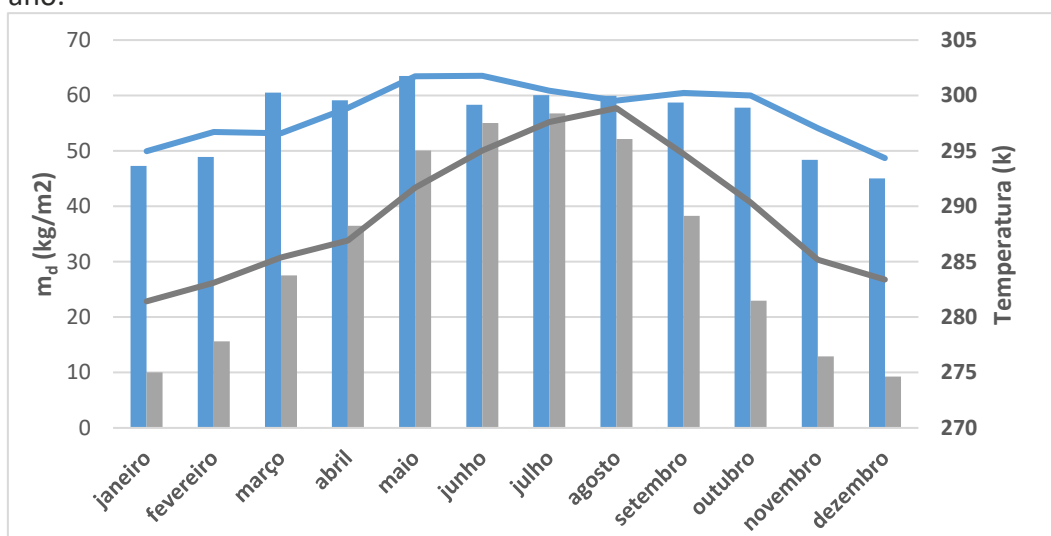


Figura 22. Variação de m_d e t_m para Dikhill e Évora

Rendimento anual e produção de destilado para as várias cidades:

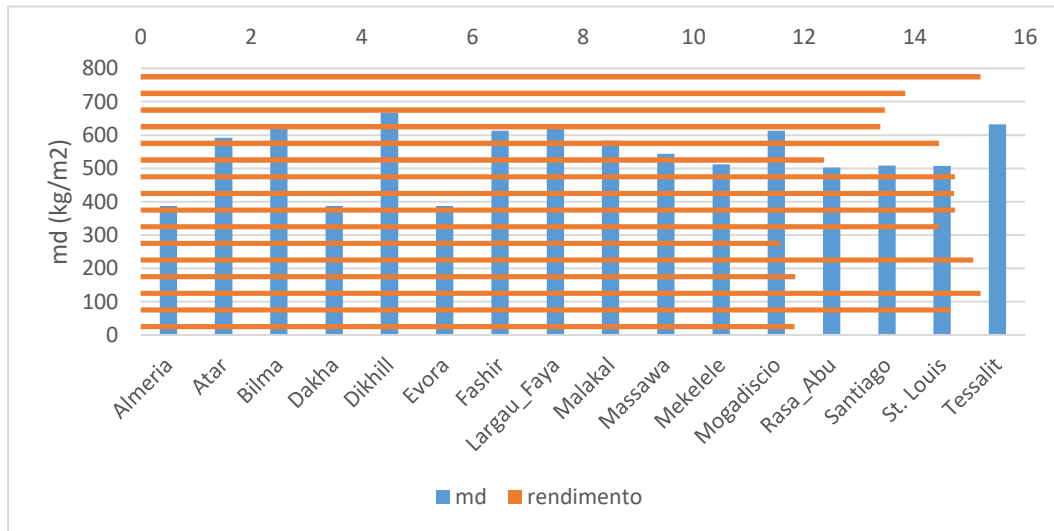


Figura 23. Rendimento e m_d para as várias localizações

3.2. Análise económica

O Período de retorno é o tempo necessário para pagar o investimento que fizemos na instalação.

$$\text{Período de retorno} = \frac{\text{investimento}}{\text{ganhos } 1^{\text{a}} \text{ ano}} \quad (12)$$

O Valor Atual Líquido (VAL) de um investimento é a soma de todos os fluxos de dinheiro durante a vida útil de um projeto, sendo esse valor atualizado para o momento presente.

$$VAL = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} \quad (13)$$

em que FC representa os fluxos de caixa; n é nº de períodos; i é o custo de capital; t é o t ésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto.

O VAL maior que 0 é viável. Assim o VAL é o cálculo de quanto os futuros pagamentos somados a um custo inicial valem na atualidade.

Taxa interna de rentabilidade (TIR) é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento com os respetivos retornos futuros ou saldos de caixa gerados em cada período, significa taxa de retorno de um projeto. Um investimento atrativo é quando o TIR for maior que o custo dos capitais investidos.

Para encontrar a taxa interna de rentabilidade calcula-se a taxa que satisfaz a equação

$$VAL = 0 = \textit{investimento inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad (14)$$

em que F_t representa os fluxos de caixa; N é o nº de períodos; t é o enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto; TIR é a taxa interna de rentabilidade

Para ilustrar o referido acima, estudou-se a viabilidade económica da instalação de destiladores solares em todas as localidades consideradas neste trabalho. Para isso usou-se um gerador de preços, cuja referência é (CYPE, 2019). Os preços obtidos por este programa baseiam-se em custos de Cabo Verde, que se assumiu serem semelhantes aos preços de todas as restantes localidades, pois situam-se maioritariamente em África. De resto, não houve possibilidades de gerar esses preços para cada uma das ditas localidades, por inexistência de dados. Assim, na Tabela 6 está a lista de materiais e respectivos preços, para Santiago.

Tabela 6. Custo dos componentes de um destilador solar, para um destilador a montar em Santiago.

Componente	Dimensões (mm)			Material	Qt.	Custo	Área (m ²)	Custo Final
	C	L	E					
Cobertura	518	1000	4	Vidro	2	26,79 €	0,52	53,58 €
Paredes	1000	200	5	Alumínio Anodizado	4	9,49 €	0,20	7,59 €
Base	1000	1000	5	Alumínio Anodizado	1	9,49 €	1	9,49 €
Chapa Lateral	1000	268	5	Alumínio Anodizado	2	9,49 €	0,27	5,09 €
Calha	1000	-	-	Alumínio	2	25,63 €	-	51,26 €
Est. Apoio	800	-	-	Alumínio	4	3,48 €	-	13,92 €
Isolamento Base	1000	1000	20	Poliestireno	1	6,30 €	1	6,30 €
Isolamento Paredes	1000	200	20	Poliestireno	4	6,30 €	0,80	20,16 €
Vedante/Adesivo	-	-	-	Silicone	1	4,53 €	-	4,53 €
Total								171,92€

Na Tabela 7 considera-se o acréscimo de custos, em relação aos da Tabela 6, devidos à introdução de melhorias no destilador com o objectivo de reduzir as perdas por convecção; também estes custos foram gerados pelo mesmo gerador de custos, e por iguais razões, consideraram-se os mesmos para todas as localidades.

Tabela 7. Custo proteção contra o vento.

Proteção contra vento			
Componente	Material	Quantidade	Custo Final
Estacas (6 uni)	Madeira	1	8,98€
Pano	Algodão	16 m ²	9,07€
Total			18,05€

A título de exemplo, para demonstrar os cálculos de análise económica, escolheu-se a cidade de Évora. Existiu a necessidade de contabilizar os custos relativos à operação do equipamento. Considerou-se que os custos anuais de operação e manutenção representavam 1% do valor de construção do equipamento. Considerou-se que os custos anuais de mão-de-obra representavam 1% do valor de construção do equipamento. Considerou-se como taxa de atualização de capital o valor de 2% ao ano. Na tabela 8 estão apresentados os valores do período de retorno, VAL e TIR para Évora, considerando um período de vida de equipamento de 20 anos, para as situações em que o equipamento dispõe de proteção contra a ação do vento e sem proteção contra a ação do vento. O valor da tarifa da água apresentado na tabela 8 foi obtido de (CM Évora, 2019).

Tabela 8. Valores do período de retorno, VAL e TIR para Évora ao longo de 20 anos

	Sem proteção	Com proteção
Construção	171,92 €	189,97 €
Operação	1%	1%
Manutenção	1%	1%
Produção (l/m ²)	387	414
Tarifa (€/m ³)	0,51 €	0,51 €
Investimento	171,92 €	189,97 €
Retorno (€/ano)	0,20 €	0,21 €
Período de retorno (Anos)	876	904
Juros	2%	2%
Inflação	2%	2%
Mão-de-obra	1%	1%
VAL	-230,87 €	-260,35 €
TIR	-	-

Na tabela 9 e tabela 10 estão apresentados os fluxos de caixa para um equipamento instalado em Évora para um ciclo de vida de 20 anos, sem e com proteção contra a ação do vento.

Tabela 9. Fluxos de caixa para um equipamento instalado em Évora para um ciclo de vida de 20 anos

Solução 1 - Modular sem proteção				
Ano	n	Gastos	Ganhos	Fluxo de Caixa
2019	0	171,92 €	-	-171,92 €
2020	1	3,44 €	0,20 €	- 3,24 €
2021	2	3,51 €	0,20 €	- 3,31 €
2022	3	3,58 €	0,20 €	- 3,37 €
2023	4	3,65 €	0,21 €	- 3,44 €
2024	5	3,72 €	0,21 €	- 3,51€
2025	6	3,80 €	0,22 €	- 3,58 €
2026	7	3,87 €	0,22 €	- 3,65 €
2027	8	3,95 €	0,23 €	- 3,72 €
2028	9	4,03 €	0,23 €	- 3,80 €
2029	10	4,11 €	0,23 €	- 3,87 €
2030	11	4,19 €	0,24 €	- 3,95 €
2031	12	4,28 €	0,24 €	- 4,03 €
2032	13	4,36 €	0,25 €	- 4,11 €
2033	14	4,45 €	0,25 €	- 4,19 €
2034	15	4,54 €	0,26 €	- 4,28 €
2035	16	4,63 €	0,26 €	- 4,36 €
2036	17	4,72 €	0,27 €	- 4,45 €
2037	18	4,81 €	0,27 €	- 4,54 €
2038	19	4,91 €	0,28 €	- 4,63 €
2039	20	5,01 €	0,29 €	- 4,72 €
				- 250,70 €

No equipamento sem proteção contra a ação do vento, verifica-se que os fluxos de caixa são sempre negativos, com um grande aumento no primeiro ano devido ao investimento que se fez. O valor dos fluxos de caixa ao longo de 20 anos é de -250,70 €.

Solução 2 - Modular com proteção				
DESENVOLVIMENTO		Gastos	Ganhos	Fluxo de Caixa
Ano	n			
2019	0	189,97 €	-	-189,97 €
2020	1	3,80 €	0,21 €	- 3,59 €
2021	2	3,88 €	0,21 €	- 3,66 €
2022	3	3,95 €	0,22 €	- 3,73 €
2023	4	4,03 €	0,22 €	- 3,81 €
2024	5	4,11 €	0,23 €	- 3,89 €
2025	6	4,19 €	0,23 €	- 3,96 €
2026	7	4,28 €	0,24 €	- 4,04 €
2027	8	4,36 €	0,24 €	- 4,12 €
2028	9	4,45 €	0,25 €	- 4,21 €
2029	10	4,54 €	0,25 €	- 4,29 €
2030	11	4,63 €	0,26 €	- 4,38 €
2031	12	4,72 €	0,26 €	- 4,46 €
2032	13	4,82 €	0,27 €	- 4,55 €
2033	14	4,91 €	0,27 €	- 4,64 €
2034	15	5,01 €	0,28 €	- 4,74 €
2035	16	5,11 €	0,28 €	- 4,83 €
2036	17	5,22 €	0,29 €	- 4,93 €
2037	18	5,32 €	0,29 €	- 5,03 €
2038	19	5,43 €	0,30 €	- 5,13 €
2039	20	5,54 €	0,31 €	- 5,23 €
				-277,18 €

No equipamento com proteção contra a ação do vento, verifica-se que os fluxos de caixa são sempre negativos, com um grande aumento no primeiro ano devido ao investimento que se fez. O valor dos fluxos de caixa ao longo de 20 anos é de -277,18 €.

Podemos verificar que apesar da instalação contra a ação do vento providenciar um aumento da produção de água, esse acréscimo não compensa em termos económicos, pois ao analisarmos um ciclo do equipamento de 20 anos, concluímos que os indicadores económicos pioram

Na Tabela 11, o valor do investimento foi considerado igual para todas as localizações. Para o seu cálculo foi utilizada a ferramenta (CYPE, 2019) para a cidade de Santiago (Cabo Verde). Esta opção foi tomada devido a dificuldade da obtenção dos custos de

materiais de construção para todas as localizações estudadas e assumiu-se que a construção do equipamento não será feita localmente, devido a inexistência de capacidade técnica.

Tabela 11. Valores do período de retorno, VAL e TIR para as várias localizações ao longo de 20 anos.

Localização	Investimento	Tarifa	Período de retorno (anos)	VAL
Almeria	171,92 €	0,67 € (Aqualia.com/es/, 2019)	664	- 229,67 €
Atar	171,92 €	5,95 € (PSeau.org, 2019) ²	49	- 166,95 €
Bilma	171,92 €	0,22 € (SEEN Niger, 2019)	1247	- 232,00 €
Dakha	171,92 €	0,46 € (Chohin_Strosser, 2019)	966	- 231,22 €
Dikhill	171,92 €	0,45 € (Djibout Invest, 2019)	575	- 228,90 €
Évora	171,92 €	0,51 € (CM Évora, 2019)	876	- 230,87 €
Fashir	171,92 €	0,77 € ¹	366	- 225,62 €
Largeau_Faya	171,92 €	0,77 € (Société-Tchadienne-des-Eaux, 2019)	362	- 225,52 €
Malakal	171,92 €	0,77 € ¹	385	- 226,06 €
Massawa	171,92 €	0,45 € ³	706	- 229,96 €
Mekelele	171,92 €	0,45 € ³	750	- 230,24 €
Mogadiscio	171,92 €	0,45 € ³	729	- 230,12 €
Rasa Abu	171,92 €	0,17 € (Global Water Intel, 2019)	2047	- 233,03 €
Santiago	171,92 €	4,23 € (Electra Cabo Verde, 2019) ⁴	80	- 193,35 €
St. Louis	171,92 €	5,95 € ⁵	57	-176,64 €
Tessalit	171,92 €	0,21 € (CREE Mali, 2019)	1314	- 232,13 €

¹ valor utilizado de Largeau_Faya; ² suprimento em bidões de 200 litros; ³ valor utilizado de Dikhill; ⁴ suprimento em auto-tanque; ⁵ valor utilizado em Atar

Verifica-se que o período de retorno é alto variando entre 49 anos (Atar) e 2047 anos (Rasa Abu). Porque em Atar o valor da tarifa água é cara logo o período de retorno é menor, em Rasa Abu a tarifa da água é barata logo o período de retorno é maior.

O VAL é sempre negativo para todas as localizações.

Não existe TIR por não ter rentabilidade.

Na Tabela 12 estão apresentados os valores para o destilador utilizando proteção contra o vento. Os pressupostos para os valores do investimento inicial e da tarifa da água são idênticos aos utilizados na tabela 10.

Tabela 12. Valores de período de retorno, VAL e TIR para as várias localizações ao longo de 20 anos em modular com proteção.

Localização	Investimento	Tarifa	Período de retorno (anos)	VAL
Almeria	189,97 €	0,67€ (Aqualia.com/es/, 2019)	676	- 258,96 €
Atar	189,97 €	5,95€ (PSeau.org, 2019) ²	50	- 189,29 €
Bilma	189,97 €	0,22€ (SEEN Niger, 2019)	1339	- 261,69 €
Dakha	189,97 €	0,46€ (Chohin_Strosser, 2019)	902	- 217,82 €
Dikhill	189,97 €	0,45€ (Djibout Invest, 2019)	623	- 258,49 €
Évora	189,97 €	0,51€ (CM Évora, 2019)	904	- 260,35 €
Fashir	189,97 €	0,77€ ¹	386	- 254,82 €
Largeau_Faya	189,97 €	0,77€ (Société-Tchadienne-des-Eaux, 2019)	408	- 255,34 €
Malakal	189,97 €	0,77€ ¹	400	- 255,16 €
Massawa	189,97 €	0,45€ ³	623	- 258,49 €
Mekelele	189,97 €	0,45€ ³	757	- 259,54 €
Mogadiscio	189,97 €	0,45€ ³	727	- 259,35 €
Rasa_Abu	189,97 €	0,17€ (Global Water Intel, 2019)	2086	- 262,68 €
Santiago	189,97 €	4,23€ (Electra Cabo Verde, 2019) ⁴	80	- 217,82 €
St. Louis	189,97 €	5,95€ ⁵	58	- 200,06 €
Tessalit	189,97 €	0,21€ (CREE Mali, 2019)	1344	- 261,70 €

¹ valor utilizado de Largeau Faya; ² suprimento em bidões de 200 litros; ³ valor utilizado de Dikhill; ⁴ suprimento em auto-tanque; ⁵ valor utilizado em Atar

Verifica-se que o período de retorno é alto variando entre 50 anos (Atar) e 2086 anos (Rasa Abu). Porque em Atar o valor da tarifa água é cara logo o período de retorno é menor, em Rasa Abu a tarifa da água é barata logo o período de retorno é maior. O VAL é negativo para todas as localizações. Não existe TIR por não ter rentabilidade.

Verifica-se que a proteção contra o vento piorou o período de retorno e o VAL porque os indicadores económicos são piores, embora se produza mais água.

Nos anexos estão apresentadas as tabelas detalhadas para o cálculo económico das restantes localizações

CONCLUSÕES

4.1. CONCLUSÕES

4.2. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.4. CONCLUSÕES

Sendo a água essencial e como nalguns países não há água disponível nas quantidades necessárias pode ser necessário recorrer a dessalinização como forma de ter água disponível. Já a dessalinização com a ajuda da energia solar é uma forma de ter essa água disponível com custos reduzidos.

A cidade que produz mais é Dikhill (667,5 l/ano) e a cidade que produz menos é Évora (387,1 l/ano). O rendimento varia entre 15,19 % em Tessalit e Bilma e 11,83 % em Almeria.

Visto que a produção em Évora é menor que em Dikhill pode também ser necessário acumular água para melhor atender às necessidades de água das populações.

No entanto o valor do período de retorno é elevado e o *VAL* é negativo para todas as localizações estudadas, o que sugere que nunca se pagava o investimento que tinha sido feito. Trata-se de um investimento que não seria rentável. Para o modelo sem proteção o *VAL* varia entre -166,95 € para Atar e -233,03 € para Rasa Abu e o período de retorno entre 49 anos para Atar e 2047 anos para Rasa Abu. Não existe *TIR* porque não há rentabilidade.

Utilizando a energia solar poupava-se combustível ou eletricidade que é necessário nas outras formas de dessalinização o que tornaria a destilação solar atrativa se se quer poupar energia. A água destilada por destilação solar torna-se atrativa quando se quer água em pequena escala tornando-se necessário recorrer a outro método de dessalinização quando se quer água em grande quantidade

4.5. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de trabalhos futuros, recomenda-se o estudo dos seguintes assuntos:

- Estudar a localização do destilador solar noutras localizações;
- Analisar a qualidade da água á saída do destilador e avaliar a necessidade da utilização de um pós-processamento;
- Estudar a influência da altura da água na bacia no rendimento do destilador;
- Estudar a influência da cobertura no rendimento do destilador.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5. BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Al-Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2013). Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 345-356. doi:10.1016/j.rser.2012.12.064
- Aqualia.com/es/. (2019). Obtido em 17 de outubro de 2019, de https://www.aqualia.com/documents/373313/374060/Almer%C3%ADa_TARIFAS+ABASTECIMIENTO.pdf/d9a04334-9c2a-425c-924d-4866c7a10802
- Banco Mundial. (2019). *Relatório consumo energia*. New York: BM.
- Belessiotis, V., Kalogirou, S., & Delyannis, E. (2017). *Desalination Methods for Producing Drinking Water*.
- Buros, O. K. (2000). *The ABCs of Desalting*. Topsfield, USA/Massachusetts: International Desalination Association.
- Chohin_Strosser. (17 de junho de 2019). Obtido de [http://www.dwa.de/portale/ewa/ewa.nsf/C125723B0047EC38/90E45AEC74290744C1257563003484E7/\\$FILE/EWA2008_Chohin_Strosser_conf.pdf](http://www.dwa.de/portale/ewa/ewa.nsf/C125723B0047EC38/90E45AEC74290744C1257563003484E7/$FILE/EWA2008_Chohin_Strosser_conf.pdf)
- CM Évora. (2019). *Tarifário geral e tarifários sociais da água e saneamento*. Obtido em 10 de Outubro de 2019, de <http://www.cm-evora.pt/pt/servicos/aguas/Paginas/Tarif%C3%A1rios.aspx>
- CREE Mali. (2019). Obtido em 17 de outubro de 2019, de] http://www.creemali.ml/documents/TARIFS_EAU_2013.pdf
- CYPE. (2019). *CYPE-Gerador de preços*. Obtido em 20 de 09 de 2019
- Djibout Invest. (2019). Obtido em 17 de outubro de 2019, de http://www.djiboutinvest.com/index.php?option=com_content&view=article&id=289&Itemid=521
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Solar Process* (4th ed.). Hoboken , New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dunkle, R. (1961). Solar Water Distillation: The Roof Type Still and a Multiple Effect Diffusion Still. *International Developments in Heat Transfer*, (p. 895). Denver.
- Electra Cabo Verde. (2019). Obtido em 15 de outubro de 2019, de <http://www.electra.cv/index.php/2014-05-20-16-30-16/2014-06-08-00-47-39/tarifas>
- Gaio, S. (2016). Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica. *Tese de Mestrado*. Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa.
- Glade, H. (2013). Thermal processes for water desalination. *Sustainable water technologies*. 18-20 February 2013, Cairo, Egypt.

-
- Global Water Intel. (2019). Obtido em 17 de outubro de 2019, de https://www.globalwaterintel.com/news/2017/31/egypt-to-slash-subsidies-in-water-and-wastewater?dm_i=36G3,IGWK,2MX9NG,1XJV0,1
- Mechel, J., & Lesikarar, B. (2017). *Desalination Methods for Producing Drinking Water*.
- PSeau.org. (2019). Obtido em 17 de outubro de 2010, de https://www.pseau.org/outils/ouvrages/gret_distribution_eau_potable_ville_nouakchott_analyse_points_d_eau.pdf
- SEEN Niger. (2019). Obtido em 17 de outubro de 2019, de <https://www.seen-niger.com/fr/activites/relation-clientele/nos-tarifs>
- Société-Tchadienne-des-Eaux. (2019). Obtido em 17 de julho de 2019, de Tarifa água Chade: [https://unhabitat.org/wpcontent/uploads/2015/12/Soci%C3%A9t%C3%A9%20Tchadienne%20des%20Eaux%20\(Chad\).pdf](https://unhabitat.org/wpcontent/uploads/2015/12/Soci%C3%A9t%C3%A9%20Tchadienne%20des%20Eaux%20(Chad).pdf)
- Waterions. (2019). Obtido em 25 de novembro de 2019, de <http://waterions.aceenvironment.com/edr>

ANEXOS

6.1 ANEXO1

6. ANEXO

6.1. Dados das localizações

Tabela 13. Dados das localizações.

Cidade	País	Lat (°)	Long (°)	Alt (m)	Tmed anual (°C)	Tmed jan (°C)	Tmed jul (°C)	G anual (kWh/m ² /ano)	G jan (kWh/m ² /ano)	G jul (kWh/m ² /ano)	md kg/dia janeiro	md kg/dia julho
Almeria	Espanha	36,8	-2,3	21	18,7	11,1	21,7	1880	2,625	4,854	0,409	0,971
Atar	Mauritânia	20,5	-13	231	27	8,2	38,6	2404	4,815	7,813	0,959	2,124
Bilma	Níger	18,6	12,9	357	26,4	16,6	31,8	2428	4,941	7,439	0,971	1,957
Dakha	saara	23,7	-15,9	10	19,7	17,2	21,4	2005	3,868	6,988	0,72	1,517
Dikhil	Djibouti	11,1	42,3	490	25,3	21,2	28,8	2584,3	6,064	7,341	1,446	1,969
Évora	Portugal	38,5	-7,8	245,8	16,3	12,2	26,4	1849,1	1,112	8,137	0,132	2,022
Fashir	Sudão	13,6	25,3	729,4	25	17,4	30,1	2482,2	5,606	7,411	1,168	1,898
Largeau_faya	Chade	17,9	19,1	235	24,4	17	33,7	2455,5	5,286	7,846	1,027	2,171
Malakal	Sudão do sul	9,5	31,6	393,5	26,7	27,3	25,7	2351	5,979	6,388	1,505	1,513
Massawa	Eritreia	15,6	39,4	10	29,3	25,4	35,8	2183,5	4,356	6,664	0,941	1,745
Mekelele	Etiópia	13,4	39,5	2254,3	16,5	12,8	16,3	2386	5,191	6,94	1,04	1,509
Mogadishu	Somália	2	45,3	3	27	26,6	27,1	2238,7	6,33	5,503	1,483	1,263
Abu Rudeis	Egipto	28,9	33,1	8	23,7	13,3	27,1	2223	3,82	7,902	0,694	1,874
Saint_Louis	Senegal	16	-16,4	2,7	25,1	20,7	27,7	2174,3	4,68	6,202	0,959	1,495
Tessalit	Mali	20,2	0,97	494,1	27,8	22,6	34,5	2439,8	5,077	7,735	1,122	2,083
Santiago	Cabo Verde	14,9	-23,5	95	24,7	22,5	25,8	2245,3	5,332	6,615	1,126	1,532

6.2. Produção detalhada

Almeria

Tabela 14 m_d , G , t_m e h_m para Almeria.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (k)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	13,6	2802,8	285,4	18,9
fevereiro	18,0	3762,0	286,3	18,0
março	28,9	5083,8	287,7	19,6
abril	36,9	6234,0	289,9	20,2
maio	46,8	7152,1	292,1	20,2
junho	50,9	7493,3	296,0	16,6
julho	53,3	7337,4	298,2	17,0
agosto	48,7	6662,1	299,7	17,6
setembro	37,6	5617,9	297,1	17,8
outubro	25,2	4104,1	293,5	18,6
novembro	15,6	3011,7	289,0	17,1
dezembro	11,9	2470,9	286,5	17,6

Atar

Tabela 15. m_d , G, t_m e h_m para Atar.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G media diária (W/m ²)	t media diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	31,6	5078,9	291,5	20,2
fevereiro	36,1	5800,8	294,0	19,2
março	50,9	6794,2	297,3	21,0
abril	55,4	7576,2	299,7	19,3
maio	62,8	7782,6	303,4	15,2
junho	60,3	7709,7	306,7	22,6
julho	62,2	7560,1	307,2	20,2
agosto	62,9	7371,5	305,9	22,0
setembro	53,9	6727,3	305,8	24,5
outubro	48,2	6108,9	302,0	19,4
novembro	36,2	5392,3	297,7	19,7
dezembro	31,4	4876,6	293,5	14,6

Bilma

Tabela 16. m_d , G , t_m e h_m para Bilma.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	34,6	5318,0	291,5	16,2
fevereiro	37,9	5928,5	294,8	12,7
março	53,4	6861,6	299,1	12,7
abril	60,4	7598,9	301,8	13,2
maio	66,4	7746,5	306,2	14,2
junho	65,4	7756,9	307,5	13,7
julho	67,9	7679,0	306,6	15,3
agosto	64,8	7426,9	305,4	13,0
setembro	58,1	7082,0	304,2	13,3
outubro	51,0	6303,8	303,7	13,7
novembro	38,7	5471,3	297,1	11,3
dezembro	33,5	5003,7	293,2	12,7

Dakha

Tabela 17. m_d , G, t_m e h_m para Dakha.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	13,6	2802,8	285,4	18,9
fevereiro	18,0	3762,0	286,3	18,0
março	28,9	5083,8	287,7	19,6
abril	36,9	6234,0	289,9	20,2
maio	46,8	7152,1	292,1	20,2
junho	50,9	7493,3	296,0	16,6
julho	53,3	7337,4	298,2	17,0
agosto	48,7	6662,1	299,7	17,6
setembro	37,6	5617,9	297,1	17,8
outubro	25,2	4104,1	293,5	18,6
novembro	15,6	3011,7	289,0	17,1
dezembro	11,9	2470,9	286,5	17,6

Dikhill

Tabela 18. m_d , G, t_m e h_m para Dikhill.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	47,3	6285,9	295,0	5,7
fevereiro	48,9	6934,4	296,7	5,8
março	60,5	7468,6	296,6	5,6
abril	59,1	7614,8	298,9	7,7
maio	63,5	7541,5	301,7	6,4
junho	58,3	7367,6	301,8	9,8
julho	60,0	7347,6	300,4	6,6
agosto	59,9	7443,7	299,5	8,3
setembro	58,8	7375,6	300,2	9,8
outubro	57,8	7050,7	300,0	5,7
novembro	48,4	6453,3	297,1	5,9
dezembro	45,0	6079,8	294,4	5,6

Évora

Tabela 19. m_d , G, t_m e h_m para Évora.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	10	2333,7	281,4	19,1
fevereiro	15,6	3456,2	283,1	16,6
março	27,5	4870,5	285,4	17,3
abril	36,5	6203,3	286,9	17,6
maio	50,1	7330,9	291,7	18,3
junho	55	7813,6	295	17,6
julho	56,8	7494,5	297,6	17,1
agosto	52,2	6844,9	298,9	17,9
setembro	38,3	5666,8	294,7	16,6
outubro	23	3908,9	290,4	16,4
novembro	12,9	2694,6	285,2	16,6
dezembro	9,3	2087,9	283,4	15,3

Fashir

Tabela 20. m_d , G , t_m e h_m para Fashir.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	41,4	6002,2	292,0	7,6
fevereiro	41,6	6674,4	293,1	14,1
março	55,5	7323,0	298,0	13,9
abril	58,8	7531,0	301,9	11,2
maio	62,4	7572,1	302,9	11,6
junho	57,8	7330,6	301,9	11,6
julho	53,0	6861,7	300,7	11,4
agosto	52,8	6858,7	298,4	11,7
setembro	55,2	6909,7	300,5	6,3
outubro	52,2	6791,0	299,6	12,5
novembro	43,8	6055,0	296,6	6,7
dezembro	38,6	5704,5	292,7	11,2

Largeau Faya

Tabela 21. m_d , G, t_m e h_m para Largeau Faya.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	34,7	5430,6	289,6	25,3
fevereiro	38,9	5523,1	291,4	25,3
março	51,5	7035,7	293,6	28,9
abril	57,8	7384,9	299,4	19,4
maio	64,8	7648,7	302,2	17,3
junho	64,0	7705,2	303,9	15,0
julho	64,8	7604,6	303,1	14,6
agosto	61,6	7353,2	302,4	14,1
setembro	57,1	7033,3	302,5	15,8
outubro	51,6	6540,6	299,5	18,6
novembro	38,2	5575,6	285,1	24,0
dezembro	34,8	5268,3	289,1	22,2

Malakal

Tabela 22. m_d , G , t e h_m para Malakal.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	48,1	6322,7	298,4	14,0
fevereiro	47,7	6895,4	300,8	17,8
março	59,5	7357,6	303,5	15,7
abril	59,7	7482,5	304,0	12,4
maio	54,8	6955,0	302,1	15,0
junho	45,6	6181,9	299,4	10,8
julho	44,3	6104,5	298,5	14,6
agosto	41,8	5671,9	298,0	11,0
setembro	43,3	5869,0	298,3	13,1
outubro	47,1	6106,9	299,4	10,6
novembro	45,5	6247,2	299,3	12,7
dezembro	46,0	6149,5	297,2	17,1

Massawa

Tabela 23. m_d , G , t_m e h_m para Massawa.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	31,4	4577,4	298,3	23,9
fevereiro	33,5	5218,3	298,5	21,9
março	44,1	6008,8	299,6	23,4
abril	48,1	6554,6	300,6	22,8
maio	53,2	6695,6	303,5	14,3
junho	56,5	7105,6	305,3	22,4
julho	53,6	6510,1	306,3	24,5
agosto	55,9	6795,9	307,2	22,1
setembro	52,2	6624,0	305,8	23,1
outubro	46,4	5935,0	303,7	24,5
novembro	37,3	5175,0	301,0	24,1
dezembro	31,5	4556,7	299,2	22,1

Mekelele

Tabela 24. m_d , G, t_m e h_m para Mekelele.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	34,1	5611,2	286,8	25,8
fevereiro	39,3	6568,1	289,2	27,6
março	48,5	7098,5	290,4	25,0
abril	50,5	7458,3	292,0	23,4
maio	52,4	7459,1	291,6	18,4
junho	50,3	7269,1	292,8	15,1
julho	40,7	6297,3	289,2	16,5
agosto	38,3	5923,8	289,1	15,4
setembro	44,4	6684,2	289,7	18,3
outubro	42,7	6554,4	288,6	24,5
novembro	35,6	5856,3	288,7	22,4
dezembro	35,1	5702,0	287,3	26,2

Mogadíscio

Tabela 25. m_d , G , t_m e h_m para Mogadíscio.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	41,4	6002,2	292,0	7,6
fevereiro	41,6	6674,4	293,1	14,1
março	55,5	7323,0	298,0	13,9
abril	58,8	7531,0	301,9	11,2
maio	62,4	7572,1	302,9	11,6
junho	57,8	7330,6	301,9	11,6
julho	53,0	6861,7	300,7	11,4
agosto	52,8	6858,7	298,4	11,7
setembro	55,2	6909,7	300,5	6,3
outubro	52,2	6791,0	299,6	12,5
novembro	43,8	6055,0	296,6	6,7
dezembro	38,6	5704,5	292,7	11,2

Rasa Abu

Tabela 26. m_d , G, t_m e h_m para Rasa Abu.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (k)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	23,2	4060,6	288,5	11,7
fevereiro	28,3	5068,6	290,6	13,3
março	41,3	6267,9	293,4	18,2
abril	49,9	7267,0	296,3	15,6
maio	57,4	7771,0	299,4	17,4
junho	57,9	7882,3	301,9	17,5
julho	58,5	7695,1	303,2	21,9
agosto	55,0	7225,4	303,8	22,5
setembro	46,0	6409,7	302,3	19,4
outubro	37,2	5332,5	298,7	18,1
novembro	26,5	4305,7	294,5	15,2
dezembro	21,6	3752,1	290,0	13,6

Santiago

Tabela 27. m_d , G , t_m e h_m para Santiago.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	34,9	5332,1	295,6	29,7
fevereiro	36,2	6059,9	294,7	27,8
março	46,2	6664,7	296,3	26,6
abril	47,1	6942,9	296,3	25,7
maio	50,6	7127,0	297,3	28,0
junho	47,9	6934,3	298,1	24,3
julho	47,5	6615,5	298,9	21,9
agosto	45,4	6208,7	300,0	19,0
setembro	41,6	5874,9	300,5	18,9
outubro	41,1	5664,8	300,0	22,8
novembro	36,4	5410,2	298,7	26,9
dezembro	33,1	4991,3	296,7	27,7

St. Louis

Tabela 28. m_d , G, t_m e h_m para St.Louis.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	35,2	5230,1	295,4	18,9
fevereiro	38,7	6044,8	295,9	20,2
março	47,4	6541,2	296,5	22,8
abril	47,1	6836,2	296,1	23,9
maio	48,5	6758,9	296,9	22,6
junho	43,8	6310,2	298,8	22,1
julho	45,3	6144,1	300,5	18,4
agosto	44,6	5987,8	301,3	18,9
setembro	41,4	5708,4	301,7	19,0
outubro	43,7	5695,2	301,5	16,0
novembro	37,4	5297,6	299,0	17,6
dezembro	33,8	4950,2	296,5	19,2

Tessalit

Tabela 29. m_d , G, t_m e h_m para Tessalit.

	m_d total mensal (kg/m ²)	G média diária (W/m ²)	t média diária (K)	h média diária (W/m ² K)
janeiro	34,6	5318,0	291,5	16,2
fevereiro	37,9	5928,5	294,8	12,7
março	53,4	6861,6	299,1	12,7
abril	60,4	7598,9	301,8	13,2
maio	66,4	7746,5	306,2	14,2
junho	65,4	7756,9	307,5	13,7
julho	67,9	7679,0	306,6	15,3
agosto	64,8	7426,9	305,4	13,1
setembro	58,1	7082,0	304,2	13,3
outubro	51,0	6303,8	303,7	13,7
novembro	38,7	5471,3	297,1	11,3
dezembro	33,5	5003,7	293,2	12,7

6.3. Cálculos económicos detalhados – sem proteção

Tabela 30. Fluxos de caixa no Modelar sem proteção para Almeria.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,26	-€	3,18
2021	2	€	3,51	€	0,26	-€	3,24
2022	3	€	3,58	€	0,27	-€	3,31
2023	4	€	3,65	€	0,27	-€	3,37
2024	5	€	3,72	€	0,28	-€	3,44
2025	6	€	3,80	€	0,29	-€	3,51
2026	7	€	3,87	€	0,29	-€	3,58
2027	8	€	3,95	€	0,30	-€	3,65
2028	9	€	4,03	€	0,30	-€	3,73
2029	10	€	4,11	€	0,31	-€	3,80
2030	11	€	4,19	€	0,32	-€	3,88
2031	12	€	4,28	€	0,32	-€	3,95
2032	13	€	4,36	€	0,33	-€	4,03
2033	14	€	4,45	€	0,33	-€	4,11
2034	15	€	4,54	€	0,34	-€	4,20
2035	16	€	4,63	€	0,35	-€	4,28
2036	17	€	4,72	€	0,36	-€	4,36
2037	18	€	4,81	€	0,36	-€	4,45
2038	19	€	4,91	€	0,37	-€	4,54
2039	20	€	5,01	€	0,38	-€	4,63
						-€	249,17

Tabela 31. Fluxos de caixa em Modular sem proteção em Atar.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	3,52	€	0,08
2021	2	€	3,51	€	3,59	€	0,08
2022	3	€	3,58	€	3,66	€	0,09
2023	4	€	3,65	€	3,74	€	0,09
2024	5	€	3,72	€	3,81	€	0,09
2025	6	€	3,80	€	3,89	€	0,09
2026	7	€	3,87	€	3,97	€	0,09
2027	8	€	3,95	€	4,05	€	0,10
2028	9	€	4,03	€	4,13	€	0,10
2029	10	€	4,11	€	4,21	€	0,10
2030	11	€	4,19	€	4,29	€	0,10
2031	12	€	4,28	€	4,38	€	0,10
2032	13	€	4,36	€	4,47	€	0,11
2033	14	€	4,45	€	4,56	€	0,11
2034	15	€	4,54	€	4,65	€	0,11
2035	16	€	4,63	€	4,74	€	0,11
2036	17	€	4,72	€	4,83	€	0,11
2037	18	€	4,81	€	4,93	€	0,12
2038	19	€	4,91	€	5,03	€	0,12
2039	20	€	5,01	€	5,13	€	0,12
						-€	169,90

Tabela 32. Fluxos de caixa em Modular sem proteção para Bilma.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,14	-€	3,30
2021	2	€	3,51	€	0,14	-€	3,37
2022	3	€	3,58	€	0,14	-€	3,43
2023	4	€	3,65	€	0,15	-€	3,50
2024	5	€	3,72	€	0,15	-€	3,57
2025	6	€	3,80	€	0,15	-€	3,64
2026	7	€	3,87	€	0,16	-€	3,72
2027	8	€	3,95	€	0,16	-€	3,79
2028	9	€	4,03	€	0,16	-€	3,87
2029	10	€	4,11	€	0,16	-€	3,94
2030	11	€	4,19	€	0,17	-€	4,02
2031	12	€	4,28	€	0,17	-€	4,10
2032	13	€	4,36	€	0,17	-€	4,19
2033	14	€	4,45	€	0,18	-€	4,27
2034	15	€	4,54	€	0,18	-€	4,36
2035	16	€	4,63	€	0,19	-€	4,44
2036	17	€	4,72	€	0,19	-€	4,53
2037	18	€	4,81	€	0,19	-€	4,62
2038	19	€	4,91	€	0,20	-€	4,71
2039	20	€	5,01	€	0,20	-€	4,81
						-€	252,12

Tabela 33. Fluxos de caixa em Modular sem proteção para Dakha.

Solução 2 - Modular sem proteção						
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa
2019	0	€	171,92		-	-€ 171,92
2020	1	€	3,44	€	0,18	-€ 3,26
2021	2	€	3,51	€	0,18	-€ 3,33
2022	3	€	3,58	€	0,19	-€ 3,39
2023	4	€	3,65	€	0,19	-€ 3,46
2024	5	€	3,72	€	0,19	-€ 3,53
2025	6	€	3,80	€	0,20	-€ 3,60
2026	7	€	3,87	€	0,20	-€ 3,67
2027	8	€	3,95	€	0,20	-€ 3,75
2028	9	€	4,03	€	0,21	-€ 3,82
2029	10	€	4,11	€	0,21	-€ 3,90
2030	11	€	4,19	€	0,22	-€ 3,97
2031	12	€	4,28	€	0,22	-€ 4,05
2032	13	€	4,36	€	0,23	-€ 4,13
2033	14	€	4,45	€	0,23	-€ 4,22
2034	15	€	4,54	€	0,23	-€ 4,30
2035	16	€	4,63	€	0,24	-€ 4,39
2036	17	€	4,72	€	0,24	-€ 4,48
2037	18	€	4,81	€	0,25	-€ 4,57
2038	19	€	4,91	€	0,25	-€ 4,66
2039	20	€	5,01	€	0,26	-€ 4,75
						-€ 251,14

Tabela 34. Fluxos de caixa em Modular sem proteção para Dikhill.

Solução 2 - Modular sem proteção						
Ano	n	Gastos	Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€ 171,92		-	-€	171,92
2020	1	€ 3,44	€	0,30	-€	3,14
2021	2	€ 3,51	€	0,31	-€	3,20
2022	3	€ 3,58	€	0,31	-€	3,27
2023	4	€ 3,65	€	0,32	-€	3,33
2024	5	€ 3,72	€	0,32	-€	3,40
2025	6	€ 3,80	€	0,33	-€	3,47
2026	7	€ 3,87	€	0,34	-€	3,54
2027	8	€ 3,95	€	0,34	-€	3,61
2028	9	€ 4,03	€	0,35	-€	3,68
2029	10	€ 4,11	€	0,36	-€	3,75
2030	11	€ 4,19	€	0,36	-€	3,83
2031	12	€ 4,28	€	0,37	-€	3,90
2032	13	€ 4,36	€	0,38	-€	3,98
2033	14	€ 4,45	€	0,39	-€	4,06
2034	15	€ 4,54	€	0,39	-€	4,14
2035	16	€ 4,63	€	0,40	-€	4,23
2036	17	€ 4,72	€	0,41	-€	4,31
2037	18	€ 4,81	€	0,42	-€	4,40
2038	19	€ 4,91	€	0,43	-€	4,48
2039	20	€ 5,01	€	0,44	-€	4,57
					-€	248,20

Tabela 35. Fluxos de caixa em Modular sem proteção para Fashir.

Solução 2 - Modular sem proteção						
Ano	n	Gastos	Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€ 171,92		-	-€	171,92
2020	1	€ 3,44	€	0,47	-€	2,97
2021	2	€ 3,51	€	0,48	-€	3,03
2022	3	€ 3,58	€	0,49	-€	3,09
2023	4	€ 3,65	€	0,50	-€	3,15
2024	5	€ 3,72	€	0,51	-€	3,21
2025	6	€ 3,80	€	0,52	-€	3,28
2026	7	€ 3,87	€	0,53	-€	3,34
2027	8	€ 3,95	€	0,54	-€	3,41
2028	9	€ 4,03	€	0,55	-€	3,48
2029	10	€ 4,11	€	0,56	-€	3,55
2030	11	€ 4,19	€	0,57	-€	3,62
2031	12	€ 4,28	€	0,58	-€	3,69
2032	13	€ 4,36	€	0,60	-€	3,77
2033	14	€ 4,45	€	0,61	-€	3,84
2034	15	€ 4,54	€	0,62	-€	3,92
2035	16	€ 4,63	€	0,63	-€	4,00
2036	17	€ 4,72	€	0,64	-€	4,08
2037	18	€ 4,81	€	0,66	-€	4,16
2038	19	€ 4,91	€	0,67	-€	4,24
2039	20	€ 5,01	€	0,68	-€	4,32
					-€	244,05

Tabela 36. Fluxos de caixa em Modular sem proteção para Largeau Faya.

Solução 2 - Modular sem proteção						
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa
2019	0	€	171,92		-	-€ 171,92
2020	1	€	3,44	€	0,47	-€ 2,96
2021	2	€	3,51	€	0,48	-€ 3,02
2022	3	€	3,58	€	0,49	-€ 3,08
2023	4	€	3,65	€	0,50	-€ 3,15
2024	5	€	3,72	€	0,51	-€ 3,21
2025	6	€	3,80	€	0,52	-€ 3,27
2026	7	€	3,87	€	0,53	-€ 3,34
2027	8	€	3,95	€	0,55	-€ 3,40
2028	9	€	4,03	€	0,56	-€ 3,47
2029	10	€	4,11	€	0,57	-€ 3,54
2030	11	€	4,19	€	0,58	-€ 3,61
2031	12	€	4,28	€	0,59	-€ 3,69
2032	13	€	4,36	€	0,60	-€ 3,76
2033	14	€	4,45	€	0,61	-€ 3,83
2034	15	€	4,54	€	0,63	-€ 3,91
2035	16	€	4,63	€	0,64	-€ 3,99
2036	17	€	4,72	€	0,65	-€ 4,07
2037	18	€	4,81	€	0,66	-€ 4,15
2038	19	€	4,91	€	0,68	-€ 4,23
2039	20	€	5,01	€	0,69	-€ 4,32
						-€ 243,93

Tabela 37 Fluxo de caixa em modular sem proteção para Malakal.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,45	-€	2,99
2021	2	€	3,51	€	0,46	-€	3,05
2022	3	€	3,58	€	0,46	-€	3,11
2023	4	€	3,65	€	0,47	-€	3,17
2024	5	€	3,72	€	0,48	-€	3,24
2025	6	€	3,80	€	0,49	-€	3,30
2026	7	€	3,87	€	0,50	-€	3,37
2027	8	€	3,95	€	0,51	-€	3,44
2028	9	€	4,03	€	0,52	-€	3,51
2029	10	€	4,11	€	0,53	-€	3,58
2030	11	€	4,19	€	0,54	-€	3,65
2031	12	€	4,28	€	0,56	-€	3,72
2032	13	€	4,36	€	0,57	-€	3,79
2033	14	€	4,45	€	0,58	-€	3,87
2034	15	€	4,54	€	0,59	-€	3,95
2035	16	€	4,63	€	0,60	-€	4,03
2036	17	€	4,72	€	0,61	-€	4,11
2037	18	€	4,81	€	0,63	-€	4,19
2038	19	€	4,91	€	0,64	-€	4,27
2039	20	€	5,01	€	0,65	-€	4,36
						-€	244,61

Tabela 38 Fluxo de caixa em modelar sem proteção para Massawa.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,24	-€	3,19
2021	2	€	3,51	€	0,25	-€	3,26
2022	3	€	3,58	€	0,25	-€	3,32
2023	4	€	3,65	€	0,26	-€	3,39
2024	5	€	3,72	€	0,26	-€	3,46
2025	6	€	3,80	€	0,27	-€	3,53
2026	7	€	3,87	€	0,27	-€	3,60
2027	8	€	3,95	€	0,28	-€	3,67
2028	9	€	4,03	€	0,29	-€	3,74
2029	10	€	4,11	€	0,29	-€	3,82
2030	11	€	4,19	€	0,30	-€	3,89
2031	12	€	4,28	€	0,30	-€	3,97
2032	13	€	4,36	€	0,31	-€	4,05
2033	14	€	4,45	€	0,32	-€	4,13
2034	15	€	4,54	€	0,32	-€	4,22
2035	16	€	4,63	€	0,33	-€	4,30
2036	17	€	4,72	€	0,33	-€	4,39
2037	18	€	4,81	€	0,34	-€	4,47
2038	19	€	4,91	€	0,35	-€	4,56
2039	20	€	5,01	€	0,35	-€	4,65
						-€	249,55

Tabela 39 Fluxo de caixa em modular sem proteção para Mekelele.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,23	-€	3,21
2021	2	€	3,51	€	0,23	-€	3,27
2022	3	€	3,58	€	0,24	-€	3,34
2023	4	€	3,65	€	0,24	-€	3,41
2024	5	€	3,72	€	0,25	-€	3,47
2025	6	€	3,80	€	0,25	-€	3,54
2026	7	€	3,87	€	0,26	-€	3,61
2027	8	€	3,95	€	0,26	-€	3,69
2028	9	€	4,03	€	0,27	-€	3,76
2029	10	€	4,11	€	0,27	-€	3,84
2030	11	€	4,19	€	0,28	-€	3,91
2031	12	€	4,28	€	0,29	-€	3,99
2032	13	€	4,36	€	0,29	-€	4,07
2033	14	€	4,45	€	0,30	-€	4,15
2034	15	€	4,54	€	0,30	-€	4,23
2035	16	€	4,63	€	0,31	-€	4,32
2036	17	€	4,72	€	0,31	-€	4,41
2037	18	€	4,81	€	0,32	-€	4,49
2038	19	€	4,91	€	0,33	-€	4,58
2039	20	€	5,01	€	0,33	-€	4,67
						-€	249,89

Tabela 40 Fluxo de caixa em modular sem proteção para Mogadísio.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,24	-€	3,20
2021	2	€	3,51	€	0,24	-€	3,27
2022	3	€	3,58	€	0,25	-€	3,33
2023	4	€	3,65	€	0,25	-€	3,40
2024	5	€	3,72	€	0,26	-€	3,47
2025	6	€	3,80	€	0,26	-€	3,54
2026	7	€	3,87	€	0,27	-€	3,61
2027	8	€	3,95	€	0,27	-€	3,68
2028	9	€	4,03	€	0,28	-€	3,75
2029	10	€	4,11	€	0,28	-€	3,83
2030	11	€	4,19	€	0,29	-€	3,90
2031	12	€	4,28	€	0,29	-€	3,98
2032	13	€	4,36	€	0,30	-€	4,06
2033	14	€	4,45	€	0,30	-€	4,14
2034	15	€	4,54	€	0,31	-€	4,23
2035	16	€	4,63	€	0,32	-€	4,31
2036	17	€	4,72	€	0,32	-€	4,40
2037	18	€	4,81	€	0,33	-€	4,48
2038	19	€	4,91	€	0,34	-€	4,57
2039	20	€	5,01	€	0,34	-€	4,67
						-€	249,74

Tabela 41 Fluxo de caixa em modular sem proteção para Rasa Abu.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,08	-€	3,35
2021	2	€	3,51	€	0,09	-€	3,42
2022	3	€	3,58	€	0,09	-€	3,49
2023	4	€	3,65	€	0,09	-€	3,56
2024	5	€	3,72	€	0,09	-€	3,63
2025	6	€	3,80	€	0,09	-€	3,70
2026	7	€	3,87	€	0,09	-€	3,78
2027	8	€	3,95	€	0,10	-€	3,85
2028	9	€	4,03	€	0,10	-€	3,93
2029	10	€	4,11	€	0,10	-€	4,01
2030	11	€	4,19	€	0,10	-€	4,09
2031	12	€	4,28	€	0,10	-€	4,17
2032	13	€	4,36	€	0,11	-€	4,25
2033	14	€	4,45	€	0,11	-€	4,34
2034	15	€	4,54	€	0,11	-€	4,43
2035	16	€	4,63	€	0,11	-€	4,51
2036	17	€	4,72	€	0,12	-€	4,60
2037	18	€	4,81	€	0,12	-€	4,70
2038	19	€	4,91	€	0,12	-€	4,79
2039	20	€	5,01	€	0,12	-€	4,89
						-€	253,42

Tabela 42 Fluxo de caixa em modular sem proteção em Santiago.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	2,15	-€	1,29
2021	2	€	3,51	€	2,19	-€	1,32
2022	3	€	3,58	€	2,24	-€	1,34
2023	4	€	3,65	€	2,28	-€	1,37
2024	5	€	3,72	€	2,33	-€	1,40
2025	6	€	3,80	€	2,37	-€	1,42
2026	7	€	3,87	€	2,42	-€	1,45
2027	8	€	3,95	€	2,47	-€	1,48
2028	9	€	4,03	€	2,52	-€	1,51
2029	10	€	4,11	€	2,57	-€	1,54
2030	11	€	4,19	€	2,62	-€	1,57
2031	12	€	4,28	€	2,67	-€	1,60
2032	13	€	4,36	€	2,73	-€	1,64
2033	14	€	4,45	€	2,78	-€	1,67
2034	15	€	4,54	€	2,84	-€	1,70
2035	16	€	4,63	€	2,89	-€	1,74
2036	17	€	4,72	€	2,95	-€	1,77
2037	18	€	4,81	€	3,01	-€	1,81
2038	19	€	4,91	€	3,07	-€	1,84
2039	20	€	5,01	€	3,13	-€	1,88
						-€	203,25

Tabela 43 Fluxo de caixa em modular sem proteção para St. Louis.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	3,02	-€	0,42
2021	2	€	3,51	€	3,08	-€	0,43
2022	3	€	3,58	€	3,14	-€	0,44
2023	4	€	3,65	€	3,20	-€	0,45
2024	5	€	3,72	€	3,27	-€	0,46
2025	6	€	3,80	€	3,33	-€	0,46
2026	7	€	3,87	€	3,40	-€	0,47
2027	8	€	3,95	€	3,47	-€	0,48
2028	9	€	4,03	€	3,54	-€	0,49
2029	10	€	4,11	€	3,61	-€	0,50
2030	11	€	4,19	€	3,68	-€	0,51
2031	12	€	4,28	€	3,75	-€	0,52
2032	13	€	4,36	€	3,83	-€	0,53
2033	14	€	4,45	€	3,90	-€	0,54
2034	15	€	4,54	€	3,98	-€	0,56
2035	16	€	4,63	€	4,06	-€	0,57
2036	17	€	4,72	€	4,14	-€	0,58
2037	18	€	4,81	€	4,23	-€	0,59
2038	19	€	4,91	€	4,31	-€	0,60
2039	20	€	5,01	€	4,40	-€	0,61
						-€	182,15

Tabela 44 Fluxos de caixa em modular sem proteção para Tessalit.

Solução 2 - Modular sem proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	171,92		-	-€	171,92
2020	1	€	3,44	€	0,13	-€	3,31
2021	2	€	3,51	€	0,13	-€	3,37
2022	3	€	3,58	€	0,14	-€	3,44
2023	4	€	3,65	€	0,14	-€	3,51
2024	5	€	3,72	€	0,14	-€	3,58
2025	6	€	3,80	€	0,14	-€	3,65
2026	7	€	3,87	€	0,15	-€	3,72
2027	8	€	3,95	€	0,15	-€	3,80
2028	9	€	4,03	€	0,15	-€	3,88
2029	10	€	4,11	€	0,16	-€	3,95
2030	11	€	4,19	€	0,16	-€	4,03
2031	12	€	4,28	€	0,16	-€	4,11
2032	13	€	4,36	€	0,17	-€	4,19
2033	14	€	4,45	€	0,17	-€	4,28
2034	15	€	4,54	€	0,17	-€	4,36
2035	16	€	4,63	€	0,18	-€	4,45
2036	17	€	4,72	€	0,18	-€	4,54
2037	18	€	4,81	€	0,18	-€	4,63
2038	19	€	4,91	€	0,19	-€	4,72
2039	20	€	5,01	€	0,19	-€	4,82
						-€	252,28

6.4. Cálculos económicos detalhados – com proteção

Tabela 45. Fluxo de caixa em modelar com proteção para Almeria.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,28	-€	3,52
2021	2	€	3,88	€	0,29	-€	3,59
2022	3	€	3,95	€	0,29	-€	3,66
2023	4	€	4,03	€	0,30	-€	3,73
2024	5	€	4,11	€	0,30	-€	3,81
2025	6	€	4,19	€	0,31	-€	3,88
2026	7	€	4,28	€	0,32	-€	3,96
2027	8	€	4,36	€	0,32	-€	4,04
2028	9	€	4,45	€	0,33	-€	4,12
2029	10	€	4,54	€	0,34	-€	4,20
2030	11	€	4,63	€	0,34	-€	4,29
2031	12	€	4,72	€	0,35	-€	4,37
2032	13	€	4,82	€	0,36	-€	4,46
2033	14	€	4,91	€	0,36	-€	4,55
2034	15	€	5,01	€	0,37	-€	4,64
2035	16	€	5,11	€	0,38	-€	4,74
2036	17	€	5,22	€	0,39	-€	4,83
2037	18	€	5,32	€	0,39	-€	4,93
2038	19	€	5,43	€	0,40	-€	5,03
2039	20	€	5,54	€	0,41	-€	5,13
						-€	275,46

Tabela 46. Fluxo de caixa em modular com proteção para Atar.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	3,83	€	0,03
2021	2	€	3,88	€	3,91	€	0,04
2022	3	€	3,95	€	3,99	€	0,04
2023	4	€	4,03	€	4,07	€	0,04
2024	5	€	4,11	€	4,15	€	0,04
2025	6	€	4,19	€	4,23	€	0,04
2026	7	€	4,28	€	4,32	€	0,04
2027	8	€	4,36	€	4,40	€	0,04
2028	9	€	4,45	€	4,49	€	0,04
2029	10	€	4,54	€	4,58	€	0,04
2030	11	€	4,63	€	4,67	€	0,04
2031	12	€	4,72	€	4,77	€	0,04
2032	13	€	4,82	€	4,86	€	0,04
2033	14	€	4,91	€	4,96	€	0,04
2034	15	€	5,01	€	5,06	€	0,05
2035	16	€	5,11	€	5,16	€	0,05
2036	17	€	5,22	€	5,26	€	0,05
2037	18	€	5,32	€	5,37	€	0,05
2038	19	€	5,43	€	5,48	€	0,05
2039	20	€	5,54	€	5,59	€	0,05
						-€	189,13

Tabela 47. Fluxos de caixa para modular com proteção para Bilma.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,14	-€	3,66
2021	2	€	3,88	€	0,14	-€	3,73
2022	3	€	3,95	€	0,15	-€	3,81
2023	4	€	4,03	€	0,15	-€	3,88
2024	5	€	4,11	€	0,15	-€	3,96
2025	6	€	4,19	€	0,16	-€	4,04
2026	7	€	4,28	€	0,16	-€	4,12
2027	8	€	4,36	€	0,16	-€	4,20
2028	9	€	4,45	€	0,17	-€	4,29
2029	10	€	4,54	€	0,17	-€	4,37
2030	11	€	4,63	€	0,17	-€	4,46
2031	12	€	4,72	€	0,18	-€	4,55
2032	13	€	4,82	€	0,18	-€	4,64
2033	14	€	4,91	€	0,18	-€	4,73
2034	15	€	5,01	€	0,19	-€	4,83
2035	16	€	5,11	€	0,19	-€	4,92
2036	17	€	5,22	€	0,19	-€	5,02
2037	18	€	5,32	€	0,20	-€	5,12
2038	19	€	5,43	€	0,20	-€	5,22
2039	20	€	5,54	€	0,21	-€	5,33
						-€	278,84

Tabela 48. Fluxo de caixa em modelar com proteção para Dakha.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,21	-€	3,59
2021	2	€	3,88	€	0,21	-€	3,66
2022	3	€	3,95	€	0,22	-€	3,73
2023	4	€	4,03	€	0,22	-€	3,81
2024	5	€	4,11	€	0,23	-€	3,88
2025	6	€	4,19	€	0,23	-€	3,96
2026	7	€	4,28	€	0,24	-€	4,04
2027	8	€	4,36	€	0,24	-€	4,12
2028	9	€	4,45	€	0,25	-€	4,20
2029	10	€	4,54	€	0,25	-€	4,29
2030	11	€	4,63	€	0,26	-€	4,37
2031	12	€	4,72	€	0,26	-€	4,46
2032	13	€	4,82	€	0,27	-€	4,55
2033	14	€	4,91	€	0,27	-€	4,64
2034	15	€	5,01	€	0,28	-€	4,74
2035	16	€	5,11	€	0,28	-€	4,83
2036	17	€	5,22	€	0,29	-€	4,93
2037	18	€	5,32	€	0,29	-€	5,03
2038	19	€	5,43	€	0,30	-€	5,13
2039	20	€	5,54	€	0,31	-€	5,23
						-€	277,17

Tabela 49. Fluxo de caixa em modular com proteção para Dikhill.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,31	-€	3,49
2021	2	€	3,88	€	0,31	-€	3,56
2022	3	€	3,95	€	0,32	-€	3,64
2023	4	€	4,03	€	0,32	-€	3,71
2024	5	€	4,11	€	0,33	-€	3,78
2025	6	€	4,19	€	0,34	-€	3,86
2026	7	€	4,28	€	0,34	-€	3,94
2027	8	€	4,36	€	0,35	-€	4,01
2028	9	€	4,45	€	0,36	-€	4,09
2029	10	€	4,54	€	0,36	-€	4,18
2030	11	€	4,63	€	0,37	-€	4,26
2031	12	€	4,72	€	0,38	-€	4,34
2032	13	€	4,82	€	0,39	-€	4,43
2033	14	€	4,91	€	0,39	-€	4,52
2034	15	€	5,01	€	0,40	-€	4,61
2035	16	€	5,11	€	0,41	-€	4,70
2036	17	€	5,22	€	0,42	-€	4,80
2037	18	€	5,32	€	0,43	-€	4,89
2038	19	€	5,43	€	0,44	-€	4,99
2039	20	€	5,54	€	0,44	-€	5,09
						-€	274,87

Tabela 50. Fluxo de caixa em modular com proteção para Fashir.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,49	-€	3,31
2021	2	€	3,88	€	0,50	-€	3,37
2022	3	€	3,95	€	0,51	-€	3,44
2023	4	€	4,03	€	0,52	-€	3,51
2024	5	€	4,11	€	0,53	-€	3,58
2025	6	€	4,19	€	0,54	-€	3,65
2026	7	€	4,28	€	0,55	-€	3,72
2027	8	€	4,36	€	0,57	-€	3,80
2028	9	€	4,45	€	0,58	-€	3,87
2029	10	€	4,54	€	0,59	-€	3,95
2030	11	€	4,63	€	0,60	-€	4,03
2031	12	€	4,72	€	0,61	-€	4,11
2032	13	€	4,82	€	0,62	-€	4,19
2033	14	€	4,91	€	0,64	-€	4,28
2034	15	€	5,01	€	0,65	-€	4,36
2035	16	€	5,11	€	0,66	-€	4,45
2036	17	€	5,22	€	0,68	-€	4,54
2037	18	€	5,32	€	0,69	-€	4,63
2038	19	€	5,43	€	0,70	-€	4,72
2039	20	€	5,54	€	0,72	-€	4,82
						-€	270,32

Tabela 51. Fluxo de caixa em modular com proteção para Largeau Faya.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,47	-€	3,33
2021	2	€	3,88	€	0,47	-€	3,40
2022	3	€	3,95	€	0,48	-€	3,47
2023	4	€	4,03	€	0,49	-€	3,54
2024	5	€	4,11	€	0,50	-€	3,61
2025	6	€	4,19	€	0,51	-€	3,68
2026	7	€	4,28	€	0,52	-€	3,75
2027	8	€	4,36	€	0,53	-€	3,83
2028	9	€	4,45	€	0,55	-€	3,91
2029	10	€	4,54	€	0,56	-€	3,98
2030	11	€	4,63	€	0,57	-€	4,06
2031	12	€	4,72	€	0,58	-€	4,15
2032	13	€	4,82	€	0,59	-€	4,23
2033	14	€	4,91	€	0,60	-€	4,31
2034	15	€	5,01	€	0,61	-€	4,40
2035	16	€	5,11	€	0,63	-€	4,49
2036	17	€	5,22	€	0,64	-€	4,58
2037	18	€	5,32	€	0,65	-€	4,67
2038	19	€	5,43	€	0,66	-€	4,76
2039	20	€	5,54	€	0,68	-€	4,86
						-€	270,98

Tabela 52. Fluxo de caixa em modular com proteção para Malakal.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,47	-€	3,32
2021	2	€	3,88	€	0,48	-€	3,39
2022	3	€	3,95	€	0,49	-€	3,46
2023	4	€	4,03	€	0,50	-€	3,53
2024	5	€	4,11	€	0,51	-€	3,60
2025	6	€	4,19	€	0,52	-€	3,67
2026	7	€	4,28	€	0,53	-€	3,74
2027	8	€	4,36	€	0,55	-€	3,82
2028	9	€	4,45	€	0,56	-€	3,90
2029	10	€	4,54	€	0,57	-€	3,97
2030	11	€	4,63	€	0,58	-€	4,05
2031	12	€	4,72	€	0,59	-€	4,13
2032	13	€	4,82	€	0,60	-€	4,22
2033	14	€	4,91	€	0,61	-€	4,30
2034	15	€	5,01	€	0,63	-€	4,39
2035	16	€	5,11	€	0,64	-€	4,47
2036	17	€	5,22	€	0,65	-€	4,56
2037	18	€	5,32	€	0,66	-€	4,66
2038	19	€	5,43	€	0,68	-€	4,75
2039	20	€	5,54	€	0,69	-€	4,84
						-€	270,76

Tabela 53. Fluxo de caixa em modular com proteção para Massawa.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,31	-€	3,49
2021	2	€	3,88	€	0,31	-€	3,56
2022	3	€	3,95	€	0,32	-€	3,64
2023	4	€	4,03	€	0,32	-€	3,71
2024	5	€	4,11	€	0,33	-€	3,78
2025	6	€	4,19	€	0,34	-€	3,86
2026	7	€	4,28	€	0,34	-€	3,94
2027	8	€	4,36	€	0,35	-€	4,01
2028	9	€	4,45	€	0,36	-€	4,09
2029	10	€	4,54	€	0,36	-€	4,18
2030	11	€	4,63	€	0,37	-€	4,26
2031	12	€	4,72	€	0,38	-€	4,34
2032	13	€	4,82	€	0,39	-€	4,43
2033	14	€	4,91	€	0,39	-€	4,52
2034	15	€	5,01	€	0,40	-€	4,61
2035	16	€	5,11	€	0,41	-€	4,70
2036	17	€	5,22	€	0,42	-€	4,80
2037	18	€	5,32	€	0,43	-€	4,89
2038	19	€	5,43	€	0,44	-€	4,99
2039	20	€	5,54	€	0,44	-€	5,09
						-€	274,87

Tabela 54. Fluxo de caixa em modular com proteção para Mekelele.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,25	-€	3,55
2021	2	€	3,88	€	0,26	-€	3,62
2022	3	€	3,95	€	0,26	-€	3,69
2023	4	€	4,03	€	0,27	-€	3,77
2024	5	€	4,11	€	0,27	-€	3,84
2025	6	€	4,19	€	0,28	-€	3,92
2026	7	€	4,28	€	0,28	-€	4,00
2027	8	€	4,36	€	0,29	-€	4,08
2028	9	€	4,45	€	0,29	-€	4,16
2029	10	€	4,54	€	0,30	-€	4,24
2030	11	€	4,63	€	0,31	-€	4,33
2031	12	€	4,72	€	0,31	-€	4,41
2032	13	€	4,82	€	0,32	-€	4,50
2033	14	€	4,91	€	0,32	-€	4,59
2034	15	€	5,01	€	0,33	-€	4,68
2035	16	€	5,11	€	0,34	-€	4,78
2036	17	€	5,22	€	0,34	-€	4,87
2037	18	€	5,32	€	0,35	-€	4,97
2038	19	€	5,43	€	0,36	-€	5,07
2039	20	€	5,54	€	0,37	-€	5,17
						-€	276,18

Tabela 55. Fluxo de caixa em modular com proteção para Mogadísio.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,26	-€	3,54
2021	2	€	3,88	€	0,27	-€	3,61
2022	3	€	3,95	€	0,27	-€	3,68
2023	4	€	4,03	€	0,28	-€	3,75
2024	5	€	4,11	€	0,28	-€	3,83
2025	6	€	4,19	€	0,29	-€	3,91
2026	7	€	4,28	€	0,29	-€	3,98
2027	8	€	4,36	€	0,30	-€	4,06
2028	9	€	4,45	€	0,31	-€	4,15
2029	10	€	4,54	€	0,31	-€	4,23
2030	11	€	4,63	€	0,32	-€	4,31
2031	12	€	4,72	€	0,32	-€	4,40
2032	13	€	4,82	€	0,33	-€	4,49
2033	14	€	4,91	€	0,34	-€	4,58
2034	15	€	5,01	€	0,34	-€	4,67
2035	16	€	5,11	€	0,35	-€	4,76
2036	17	€	5,22	€	0,36	-€	4,86
2037	18	€	5,32	€	0,37	-€	4,95
2038	19	€	5,43	€	0,37	-€	5,05
2039	20	€	5,54	€	0,38	-€	5,15
						-€	275,94

Tabela 56. Fluxo de caixa em modular com proteção para Rasa Abu.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,09	-€	3,71
2021	2	€	3,88	€	0,09	-€	3,78
2022	3	€	3,95	€	0,09	-€	3,86
2023	4	€	4,03	€	0,10	-€	3,94
2024	5	€	4,11	€	0,10	-€	4,01
2025	6	€	4,19	€	0,10	-€	4,09
2026	7	€	4,28	€	0,10	-€	4,18
2027	8	€	4,36	€	0,10	-€	4,26
2028	9	€	4,45	€	0,11	-€	4,34
2029	10	€	4,54	€	0,11	-€	4,43
2030	11	€	4,63	€	0,11	-€	4,52
2031	12	€	4,72	€	0,11	-€	4,61
2032	13	€	4,82	€	0,12	-€	4,70
2033	14	€	4,91	€	0,12	-€	4,80
2034	15	€	5,01	€	0,12	-€	4,89
2035	16	€	5,11	€	0,12	-€	4,99
2036	17	€	5,22	€	0,13	-€	5,09
2037	18	€	5,32	€	0,13	-€	5,19
2038	19	€	5,43	€	0,13	-€	5,30
2039	20	€	5,54	€	0,13	-€	5,40
						-€	280,07

Tabela 57. Fluxo de caixa em modular com proteção para Santiago.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	2,38	-€	1,42
2021	2	€	3,88	€	2,43	-€	1,45
2022	3	€	3,95	€	2,48	-€	1,48
2023	4	€	4,03	€	2,52	-€	1,51
2024	5	€	4,11	€	2,58	-€	1,54
2025	6	€	4,19	€	2,63	-€	1,57
2026	7	€	4,28	€	2,68	-€	1,60
2027	8	€	4,36	€	2,73	-€	1,63
2028	9	€	4,45	€	2,79	-€	1,66
2029	10	€	4,54	€	2,84	-€	1,70
2030	11	€	4,63	€	2,90	-€	1,73
2031	12	€	4,72	€	2,96	-€	1,77
2032	13	€	4,82	€	3,02	-€	1,80
2033	14	€	4,91	€	3,08	-€	1,84
2034	15	€	5,01	€	3,14	-€	1,87
2035	16	€	5,11	€	3,20	-€	1,91
2036	17	€	5,22	€	3,27	-€	1,95
2037	18	€	5,32	€	3,33	-€	1,99
2038	19	€	5,43	€	3,40	-€	2,03
2039	20	€	5,54	€	3,47	-€	2,07
						-€	224,47

Tabela 58. Fluxo de caixa em modular com proteção para St. Louis.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	3,29	-€	0,51
2021	2	€	3,88	€	3,35	-€	0,52
2022	3	€	3,95	€	3,42	-€	0,54
2023	4	€	4,03	€	3,49	-€	0,55
2024	5	€	4,11	€	3,56	-€	0,56
2025	6	€	4,19	€	3,63	-€	0,57
2026	7	€	4,28	€	3,70	-€	0,58
2027	8	€	4,36	€	3,77	-€	0,59
2028	9	€	4,45	€	3,85	-€	0,60
2029	10	€	4,54	€	3,93	-€	0,61
2030	11	€	4,63	€	4,00	-€	0,63
2031	12	€	4,72	€	4,08	-€	0,64
2032	13	€	4,82	€	4,17	-€	0,65
2033	14	€	4,91	€	4,25	-€	0,67
2034	15	€	5,01	€	4,33	-€	0,68
2035	16	€	5,11	€	4,42	-€	0,69
2036	17	€	5,22	€	4,51	-€	0,71
2037	18	€	5,32	€	4,60	-€	0,72
2038	19	€	5,43	€	4,69	-€	0,73
2039	20	€	5,54	€	4,79	-€	0,75
						-€	202,47

Tabela 59. Fluxo de caixa em modular com proteção para Tessalit.

Solução 4 - Modular com proteção							
Ano	n	Gastos		Ganhos		Fluxo de Caixa	
2019	0	€	189,97		-	-€	189,97
2020	1	€	3,80	€	0,14	-€	3,66
2021	2	€	3,88	€	0,14	-€	3,73
2022	3	€	3,95	€	0,15	-€	3,81
2023	4	€	4,03	€	0,15	-€	3,88
2024	5	€	4,11	€	0,15	-€	3,96
2025	6	€	4,19	€	0,16	-€	4,04
2026	7	€	4,28	€	0,16	-€	4,12
2027	8	€	4,36	€	0,16	-€	4,20
2028	9	€	4,45	€	0,17	-€	4,29
2029	10	€	4,54	€	0,17	-€	4,37
2030	11	€	4,63	€	0,17	-€	4,46
2031	12	€	4,72	€	0,18	-€	4,55
2032	13	€	4,82	€	0,18	-€	4,64
2033	14	€	4,91	€	0,18	-€	4,73
2034	15	€	5,01	€	0,19	-€	4,83
2035	16	€	5,11	€	0,19	-€	4,92
2036	17	€	5,22	€	0,19	-€	5,02
2037	18	€	5,32	€	0,20	-€	5,12
2038	19	€	5,43	€	0,20	-€	5,22
2039	20	€	5,54	€	0,21	-€	5,33
						-€	278,85