



# **BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO DE VAPOR SOLAR NUMA REFINARIA DE AÇÚCAR**

**EDUARDO EMANUEL LEAL DA COSTA**

novembro de 2021

# **BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO DE VAPOR SOLAR NUMA REFINARIA DE AÇÚCAR**

Eduardo Emanuel Leal da Costa  
1161608

**2021**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





# **BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO DE VAPOR SOLAR NUMA REFINARIA DE AÇÚCAR**

Eduardo Emanuel Leal da Costa  
1161608

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação do Prof. Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras.

**2021**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





# JÚRI

## **Presidente**

Prof. Doutora Nídia de Sá Caetano

Professora Coordenadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Prof. Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Supervisor**

Mestre Luís Miguel Domingos Peixoto Braga

Diretor do Departamento de Energia e Projetos da RAR Açúcar

## **Arguente**

Prof. Doutora Ana Isabel Palmero Marrero

Investigadora do INEGI e Docente Convidada da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Terminada esta jornada, é altura de refletir nestes 5 anos de história e no culminar deste momento.

Gostaria de exprimir a minha gratidão a todos os que contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Carlos Felgueiras e Engenheiro Luís Braga,

Ao João Fernandes, ao Leonardo, ao Stefan e ao Tiago,

À Andreia, à Filipa, equipa DEP e fogueiros,

Ao João e restantes amigos de mestrado,

Aos meus amigos da licenciatura, desde o Pinhão até Sandim,

À Ana e à Márcia,

Aos meus amigos de infância, a Ana, o Dani, a Inês e a Marisa,

Ao Afonso e à Bia,

À minha irmã e restante família,

Muito obrigado!



*The noblest pleasure is the joy of understanding.*

*Leonardo da Vinci*



## PALAVRAS CHAVE

Coletores solares; Energias Renováveis; Princípio Fresnel; SHIP2FAIR; Sustentabilidade

## RESUMO

A temática das alterações climáticas constitui um peso considerável nas agendas políticas e mediáticas, inclusive em Portugal e na União Europeia. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram estabelecidos em 2015, no âmbito da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, onde países de todo o globo se comprometem, entre outras, a encontrar soluções de desenvolvimento próspero e sustentável. A indústria tem um papel preponderante neste desenvolvimento, uma vez que apresenta uma quota elevada de emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera e, como tal, é necessário investir na descarbonização deste setor.

O presente trabalho expõe precisamente uma análise técnico-económica, da implementação de um parque solar ao abrigo do programa SHIP2FAIR (*Solar Heat for Industrial Process towards Food and Agro Industries Commitment in Renewables*), onde se procura evoluir para uma indústria mais limpa e sustentável. O parque solar a ser instalado, composto por coletores LF-11, da autoria da *Industrial Solar*, recorre ao princípio de Fresnel para produção de vapor solar. Assim, existirá uma substituição direta de fonte de energia, mantendo os requisitos de vapor necessários à laboração da refinaria.

Os resultados obtidos são francamente encorajadores, dada a diminuição direta da emissão de 143 ton/ano de gases com efeito de estufa, redução do consumo de 46 ton/ano de combustível fóssil e poupança em licenças de emissão. Adicionalmente, permite concluir que a integração de vapor solar nas indústrias agroalimentares não só é possível como viável, competindo com o recurso ao combustível fóssil, e indo de encontro aos objetivos ditados pela EU, que visa a neutralidade carbónica a atingir nos próximos 30 anos.



**KEYWORDS**

*Fresnel principle; Renewable energies; SHIP2FAIR; Solar collectors; Sustainability*

**ABSTRACT**

*The topic of climate change has a considerable weight in the European Union's, as well as Portugal's, political and media agendas. The Sustainable Development Goals (SDG's) were established in 2015 to support the 2030 Agenda for Sustainable Development, where many countries set out to find solutions to promote a better future. The industry plays an important role in this, since it's responsible for a large sum of greenhouse gas emissions, which makes investing in the decarbonization of this sector vital.*

*In this regard, the following work is an analysis of the technical and financial viability of the implementation of a solar park under the SHIP2FAIR program (Solar Heat for Industrial Process towards Food and Agro Industries Commitment in Renewables), which seeks to aid the generalization of more eco-friendly industrial practices. The aforementioned solar park, composed of Industrial Solar LF-11 solar collectors, relies on the Fresnel principle for solar steam production, that while meeting the steam requirements for the refinery's operation, also increases its share of renewable energy usage.*

*The results of this analysis are promising, as this new energy source leads to a direct reduction of 143 ton/year of greenhouse gas emissions and consumption of 46 ton/year of fossil fuels, as well as a reduction of costs associated with emission allowances. Furthermore, it could be concluded that the use of solar steam in the agri-food sector is possible, viable and a good alternative for the use of fossil fuels, therefore meeting the objectives set out by the EU to reach carbon neutrality in the next 30 years.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Siglas

BTE	Baixo teor de Enxofre
CDN	Contributos determinados a nível nacional
CELE	Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CSP	<i>Concentrated Solar Power</i>
EA-19	<i>Euro area (19 countries)</i>
Fuelóleo equivalente	Fuelóleo nº4 BTE equivalente
H2020	Horizonte 2020
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IS	<i>Industrial Solar</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
LFC	<i>Linear Fresnel Collectors</i>
PCI	Poder Calorífico Inferior
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
PT	Portugal
PV	<i>Photovoltaic</i>
RAR	Refinarias de Açúcar Reunidas
RARA	RAR Açúcar
RCOG	RAR Cogeração
RFA	<i>Renewable Fuels Association</i>
RNC	Roteiro para a Neutralidade Carbónica
SHIP2FAIR	<i>Solar Heat for Industrial Process towards Food and Agro Industries Commitment in Renewables</i>
UE	União Europeia

## Lista de Abreviaturas

$\Delta$	diferença entre duas variáveis
%	percentagem
bar	unidade de pressão absoluta
barg	unidade de pressão manométrica
Cp	calor específico
GJ	gigajoule
GWh	gigawatt-hora
kg	quilograma
kgCO <sub>2</sub> e	quilogramas de CO <sub>2</sub> equivalente
kJ	quilojoule
kWh	quilowatt-hora
m <sup>2</sup>	metro quadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
MWh	megawatt-hora
Nm <sup>3</sup>	normal metro cúbico
T	temperatura
tep	toneladas equivalentes de petróleo
ton	toneladas
tonCO <sub>2</sub> e	toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
$\rho$	massa volúmica

## Lista de Unidades

---

°C	grau Celsius
€/kg	euro por quilograma
€/ton	euro por tonelada
GJ/ton	gigajoule por tonelada
kg/m <sup>3</sup>	quilograma por metro cúbico
kgCO <sub>2</sub> /GJ	quilograma de CO <sub>2</sub> por gigajoule
kgCO <sub>2</sub> e/tep	quilogramas de CO <sub>2</sub> equivalente por tonelada equivalente de petróleo
kJ/kg	quilojoule por quilograma
kJ/kg.°C	quilojoules por quilograma Celsius
kJ/MWh	quilojoule por megawatt-hora
kWh/m <sup>2</sup>	quilowatt-hora por metro quadrado
MJ/kg	megajoule por quilograma
MWh/ano	megawatt-hora por ano
tep/ton	toneladas equivalentes de petróleo por tonelada
ton/ano	toneladas por ano

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOGÓTIPO DA RAR AÇÚCAR [3].....	2
FIGURA 2. GRÁFICO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA, NA UE, ENTRE 2000 E 2019, EM MILHÕES DE TEP (ADAPTADO DE [5]). .....	8
FIGURA 3. GRÁFICO DE ENERGIA FINAL CONSUMIDA POR SETOR DE ATIVIDADE, NA UE, DE 2000 A 2019 EM MILHÕES DE TEP (ADAPTADO DE [5]).....	9
FIGURA 4. GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DOS PRINCIPAIS INDICADORES DE ENERGIA E CLIMA EM PORTUGAL (ADAPTADO DE [6], [7]). .....	9
FIGURA 5. MAPA DE DISPONIBILIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR NA EUROPA [22]. .....	11
FIGURA 6. ESQUEMA RESUMO DO CONCEITO FRESNEL LINEAR (ADAPTADO DE [25]). .....	13
FIGURA 7. ESQUEMA DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO COLETOR LF-11 (ADAPTADO DE [25]).....	15
FIGURA 8. ESQUEMA DE UM SISTEMA DE 3 MÓDULOS LF-11, EM QUE (1) É A ESTRUTURA DE SUPORTE, (2) SÃO OS REFLETORES PRIMÁRIOS E (3) É O RECETOR COMPOSTO POR UM REFLETOR SECUNDÁRIO E UM TUBO DE ABSORÇÃO A VÁCUO (ADAPTADO DE [25]).....	15
FIGURA 9. DELIMITAÇÃO DO CAMPUS DO GRUPO RAR NA RUA MANUEL PINTO DE AZEVEDO, NO PORTO (ADAPTADO DE [39]).....	19
FIGURA 10. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DAS CENTRAIS DE COGERAÇÃO DA RAR AÇÚCAR E DA RAR COGERAÇÃO.....	21
FIGURA 11. DIAGRAMA DAS ETAPAS DE REFINAÇÃO DO AÇÚCAR (ADAPTADO DE [40]).....	22
FIGURA 12. CONSUMOS EM TEP DE GÁS NATURAL E FUELÓLEO EQUIVALENTE, PARA O ANO DE 2020. .	26
FIGURA 13. GRÁFICO DO CONSUMO DE VAPOR MENSAL PARA OS ANOS DE 2019 E 2020. ....	27
FIGURA 14. ESBOÇO DE INSTALAÇÃO DE COLETORES LF-11 NA COBERTURA DO PARQUE DE ESTACIONAMENTO (ADAPTADO DE [42]).....	28
FIGURA 15. GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO MENSAL DE IRRADIAÇÃO DIRETA NORMAL E IRRADIAÇÃO DIFUSA HORIZONTAL (ADAPTADO DE [42]).....	29



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. COMPARATIVO DE CONSUMO DE ENERGIA FÓSSIL E RENOVÁVEL, NA UNIÃO EUROPEIA, ZONA EURO E PORTUGAL EM 2019 (ADAPTADO DE [5]).	8
TABELA 2. TIPOS DE COLETORES SOLARES TÉRMICOS (ADAPTADO DE [20]).	12
TABELA 3. SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS DOS PARQUES SOLARES COM COLETORES FRESNEL (ADAPTADO DE [26]–[38]).	14
TABELA 4. CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTAÇÃO DAS CALDEIRAS DA RAR COGERAÇÃO.	20
TABELA 5. CONSUMOS DE GÁS NATURAL E FUELÓLEO NO ANO DE 2020.	24
TABELA 6. FATORES DE CONVERSÃO EM TEP (ADAPTADO DE [41]).	25
TABELA 7. CONSUMOS DE ENERGIA DA RAR AÇÚCAR NO ANO DE 2020.	25
TABELA 8. FATORES DE CONVERSÃO PARA EMISSÕES GASOSAS (KGCO <sub>2</sub> E) (ADAPTADO DE [41]).	26
TABELA 9. TOTAL DE EMISSÕES GASOSAS (TCO <sub>2</sub> E).	26
TABELA 10. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO PARQUE SOLAR (ADAPTADO DE [42]).	28
TABELA 11. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DE PERFORMANCE (ADAPTADO DE [42]).	29
TABELA 12. FATORES DE CONVERSÃO DE ACORDO COM O INERPA (2013) (ANEXO 3).	33
TABELA 13. FATORES DE CONVERSÃO.	35
TABELA 14. CÁLCULO DA POUPANÇA TOTAL PARA O ANO DE 2022.	36
TABELA 15. COMPARAÇÃO ENTRE O PARQUE SOLAR DA QUEIJARIA <i>NUOVA SARDA INDUSTRIA CASEARIA</i> E A SIMULAÇÃO OBTIDA PARA O PARQUE SOLAR A INSTALAR NA RAR AÇÚCAR (ADAPTADO DE [26], [27]).	37



# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Projeto SHIP2FAIR .....	1
1.1.1	RAR Açúcar .....	2
1.2	Objetivos .....	2
2	ESTADO DA ARTE .....	7
2.1	Alterações Climáticas .....	7
2.1.1	Panorama nacional .....	9
2.2	Energias renováveis .....	10
2.3	Energia solar .....	10
2.3.1	Tecnologias de concentração solar .....	11
2.4	Coletores Fresnel .....	12
2.4.1	Instalações LFC .....	13
2.4.2	Coletor Fresnel LF-11 .....	15
3	CASO DE ESTUDO .....	19
3.1	Avaliação introdutória .....	19
3.2	Instalações e funcionamento .....	20
3.3	Síntese do Processo .....	21
3.3.1	Afinação .....	22
3.3.2	Dissolução .....	22
3.3.3	Carbonatação .....	23
3.3.4	Filtração .....	23
3.3.5	Descoloração .....	23
3.3.6	Evaporação .....	23
3.3.7	Cristalização .....	23
3.3.8	Recuperação .....	24

3.4	Consumos energéticos .....	24
3.4.1	Consumo de vapor .....	26
3.5	Proposta de solução .....	27
3.5.1	Parque solar LF-11 .....	27
3.5.2	Simulação .....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
4.1	Produção de vapor .....	33
4.1.1	Vapor não consumido .....	34
4.2	Análise final .....	35
4.2.1	Aprovação institucional .....	38
4.3	Métodos utilizados .....	38
5	CONCLUSÕES .....	41
5.1	Sugestões de trabalhos futuros .....	41
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
7	ANEXOS .....	51
7.1	Anexo 1 – Disponibilidade solar em Portugal e na Europa .....	51
7.2	Anexo 2 – Folha de dados do equipamento LF-11 .....	54
7.3	Anexo 3 – Poder Calorífico Inferior, Fator de Emissão e Fator de Oxidação .....	56

# INTRODUÇÃO



# 1 INTRODUÇÃO

O Desenvolvimento Sustentável é um dos grandes desafios deste século. Até 2100, espera-se alcançar a marca de 10,9 mil milhões de pessoas, com uma taxa de crescimento anual inferior a 0,1 % [1]. A demanda energética está a crescer rapidamente, de forma a acompanhar este acréscimo populacional e, como tal, a prevenção de uma crise energética acaba por ser um problema recorrente no século XXI, em que cada país define as suas próprias estratégias, planos, políticas e medidas de controlo.

Os combustíveis fósseis promovem um crescimento insustentável, acompanhado de alterações climáticas, aquecimento global, poluição, entre outros problemas. Existe, portanto, urgência no desenvolvimento e otimização de tecnologia de energia renovável, para lidar com os desafios políticos, económicos e ambientais que advêm da produção de energia. É imperativo criar, inovar e aprimorar, e acima de tudo assumir um compromisso de mudança.

## 1.1 Projeto SHIP2FAIR

O Horizonte 2020 (H2020) foi um dos maiores programas de investigação e inovação da União Europeia. No centro da estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo, procura-se excelência científica, liderança industrial e desafios sociais. Uma das áreas de maior interesse é precisamente o da Energia, e que é o motor da economia moderna, estando a Europa excessivamente dependente da energia proveniente do resto do globo, produzida a partir de combustíveis fósseis e que, portanto, aceleram as alterações climáticas. O financiamento ao abrigo do programa Horizonte 2020 desempenhará um papel fundamental na transição energética europeia para um mundo mais sustentável. O projeto SHIP2FAIR (*Solar Heat for Industrial Process towards Food and Agro Industries Commitment in Renewables*), ao abrigo deste programa, surge para colmatar esta dependência de energia fóssil por parte do setor industrial. O principal objetivo deste projeto é fomentar a integração do calor solar nos processos industriais do setor agroalimentar, através do desenvolvimento e demonstração de um conjunto de ferramentas e métodos para todo o ciclo de vida de projetos industriais de aproveitamento solar [2].

Na indústria agroalimentar, a maior parte dos processos requer temperaturas abaixo dos 250 °C, pelo que é compatível o recurso a tecnologias solares, tais como os *Linear Fresnel Collectors* (LFC).

Com um financiamento de cerca de oito milhões de euros, procura-se demonstrar que esta integração de energia solar pode constituir uma alternativa real ao uso de

combustíveis fósseis. O projeto está dimensionado para um total de 2,9 MW de calor solar produzido nos *demo-sites*, localizados em França, Itália, Portugal e Espanha, resultando numa redução do consumo de combustíveis fósseis de 4 GWh por ano, evitando-se assim a emissão de 1.145 ton/ano de CO<sub>2</sub>. A duração expectável do projeto é de cerca de 4 anos (2018-2022).

### 1.1.1 RAR Açúcar

Até à década de 60 a indústria portuguesa de refinação de açúcar era composta por algumas dezenas de unidades de pequena dimensão, grande parte funcionando em termos artesanais, com equipamento muito rudimentar, incapazes de produzir açúcar de qualidade. A política de condicionamento industrial então vigente impôs a criação de unidades industriais de refinação de açúcar modernas, de maior dimensão e melhor apetrechadas tecnologicamente, obrigando assim à transformação do Sector Industrial de Refinação de Açúcar.

A RAR Açúcar é constituída em 1962, em resultado da concentração de 9 pequenas unidades de refinação de açúcar existentes no Norte do País, daí RAR (Refinarias de Açúcar Reunidas). A empresa passou a comercializar a produção existente dessas pequenas unidades até ao arranque da refinaria projetada para substituir essas unidades. Iniciada no ano seguinte a construção das suas instalações, a RAR entra em laboração no ano de 1967, com uma capacidade de produção instalada de 25.000 toneladas por ano. As vendas da RAR, em 1967, atingiram cerca de 22.000 toneladas, correspondendo a 11,78 % da produção do País. Atualmente tem uma capacidade produtiva superior a 240.000 toneladas por ano [3].



Figura 1. Logótipo da RAR Açúcar [3].

## 1.2 Objetivos

Pretende-se, com a elaboração deste trabalho, estudar o impacto da integração de vapor proveniente de uma fonte de energia renovável – o sol. Para a concretização deste objetivo, propõe-se as seguintes atividades:

- Análise técnico-económica da integração de vapor solar;
- Verificação da performance dos coletores solares nas condições de instalação;
- Proposta de expansão do parque solar;

- Acompanhamento da instalação do parque solar.

Ao longo dos seguintes capítulos será feito um enquadramento geral, nomeadamente quanto às alterações climáticas e energias renováveis, aproveitamento de energia solar e respetivas tecnologias, detalhando a tecnologia LFC e casos industriais de implementação de parques solares com esta tecnologia. Posteriormente, analisar-se-á o caso de estudo, onde será descrita a proposta de solução e, na discussão de resultados, estudar-se-á em detalhe essa alternativa. No final do documento, serão elaboradas as conclusões do mesmo e enunciadas sugestões de trabalhos futuros.



# ESTADO DA ARTE



## 2 ESTADO DA ARTE

Atualmente, atravessa-se um momento crucial em que se pode atingir um ponto sem retorno, relativamente ao clima e biodiversidade do planeta. A ação humana que causou este problema também o pode alterar, começando pela redução em grande escala das emissões de gases com efeito de estufa. Com a consequente neutralidade carbónica, prevê-se assim uma limitação dos acontecimentos catastróficos derivados da subida das temperaturas e da intensificação dos fenómenos meteorológicos.

### 2.1 Alterações Climáticas

A questão das alterações climáticas exige que todos os países do mundo trabalhem em colaboração. Em 2015, os líderes mundiais chegaram a acordo sobre novos objetivos ambiciosos em matéria de luta contra as alterações climáticas [4].

O Acordo de Paris inclui um plano de ação para limitar o aquecimento global. Os seus principais elementos são [4]:

- Um objetivo a longo prazo: os governos acordaram em manter o aumento da temperatura média mundial bem abaixo dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais e em envidar esforços para limitar o aumento a 1,5 °C;
- Contributos: antes e durante a conferência de Paris, os países apresentaram planos de ação nacionais abrangentes (designados CDN – contributos determinados a nível nacional) no domínio das alterações climáticas para reduzirem as suas emissões;
- Ambição: os governos acordaram em apresentar os seus planos de ação de cinco em cinco anos, estabelecendo metas cada vez mais ambiciosas;
- Transparência: os países concordaram em apresentar relatórios aos outros governos e ao público sobre o seu desempenho no alcance das metas estabelecidas, para assegurar a transparência e a supervisão;
- Solidariedade: os Estados-Membros da UE e outros países desenvolvidos continuarão a prestar financiamento à luta contra as alterações climáticas para ajudar os países em desenvolvimento a reduzirem as emissões e a criarem resiliência aos efeitos das alterações climáticas.

O Acordo de Paris entrou em vigor a 4 de novembro de 2016, uma vez cumprida a condição de ratificação por, pelo menos, 55 países, que representavam no mínimo 55 % das emissões mundiais de gases com efeito de estufa. Todos os países da UE ratificaram o acordo [4].

Verifica-se que a tendência de transição energética, na União Europeia, está em linha com os objetivos estabelecidos, onde existe um crescimento gradual da produção de energia com recurso a fontes renováveis. A figura 2 apresenta a quantidade de energia primária produzida por tipo de combustível, de 2000 a 2019, na União Europeia, em milhões de tep, corroborando esse mesmo crescimento.

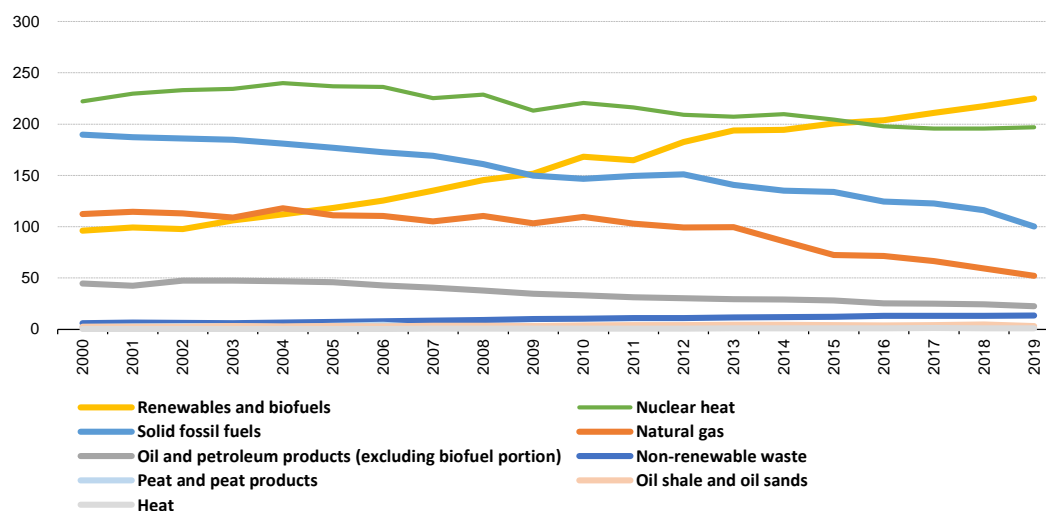


Figura 2. Gráfico de produção de energia primária, na UE, entre 2000 e 2019, em milhões de tep (adaptado de [5]).

Explorando a tabela 1, constata-se que a quota de energias renováveis em Portugal, é superior à média da União Europeia e Zona Euro. Em contraponto regista-se que o consumo português de produtos petrolíferos é superior.

Tabela 1. Comparativo de consumo de energia fóssil e renovável, na União Europeia, Zona Euro e Portugal em 2019 (adaptado de [5]).

	Combustíveis fósseis sólidos (%)	Produtos petrolíferos (%)	Gás natural (%)	Energias renováveis e biocombustíveis (%)
<b>EU</b>	11,6	34,5	23,1	15,8
<b>EA-19</b>	8,3	36,2	24,8	15,1
<b>PT</b>	11,2	42,6	21,0	25,4

A partir da figura 3, afere-se que a indústria é um dos maiores consumidores energéticos na União Europeia e, conseqüentemente, trata-se um ótimo setor de investimento e oportunidade para mitigar estes problemas e atingirem-se os objetivos supracitados.

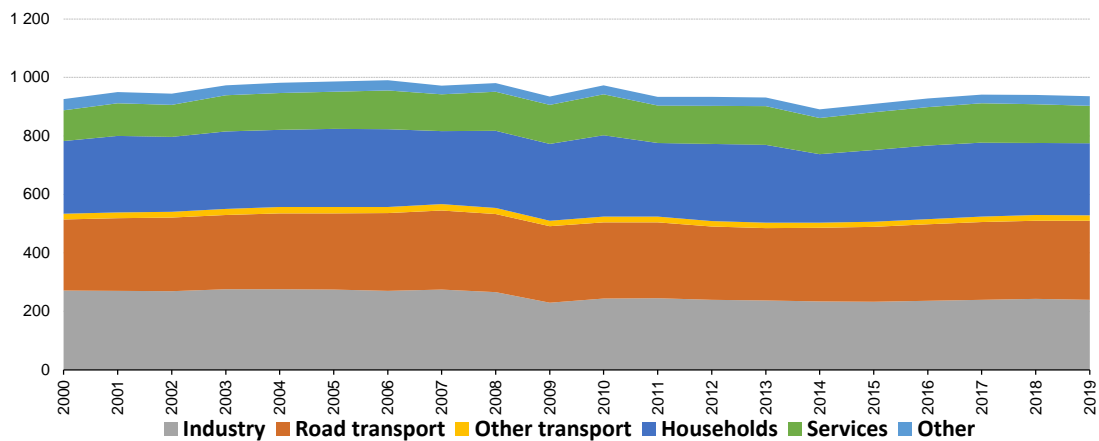


Figura 3. Gráfico de energia final consumida por setor de atividade, na UE, de 2000 a 2019 em milhões de tep (adaptado de [5]).

### 2.1.1 Panorama nacional

Portugal tem procurado incorporar níveis cada vez mais elevados de fontes renováveis nos vários setores. O PNEC 2030 (Plano Nacional Energia e Clima 2030) estabelece novas metas nacionais de redução de emissões de gases com efeito de estufa, incorporação de energia proveniente de fontes renováveis, e de eficiência energética. Para além destas metas, são também apresentadas neste documento as linhas de ação e medidas a adotar para a descarbonização e transição energética do país, em articulação com o RNC2050 (Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050), e medidas relativas ao mercado interno de energia e à segurança energética. A análise da figura 4 salienta uma grande dependência energética do exterior, algo que pode ser colmatado com recurso às energias renováveis.

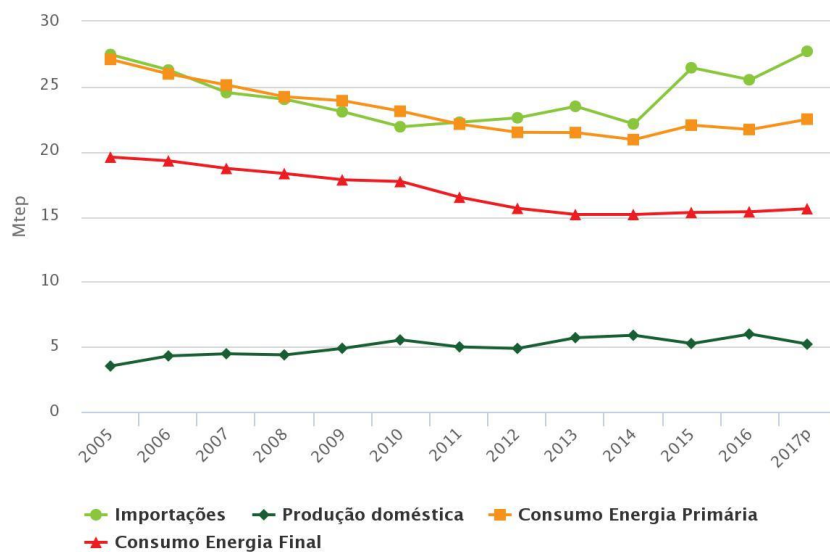


Figura 4. Gráfico da evolução dos principais indicadores de energia e clima em Portugal (adaptado de [6], [7]).

## 2.2 Energias renováveis

Uma das definições de fontes renováveis de energia é que estas são recursos naturais, capazes de se regenerarem num curto espaço de tempo e de um modo sustentável [8]. Entre outras vantagens, as energias renováveis apresentam uma evolução de preços mais estável em relação aos combustíveis fósseis, devido às limitações da capacidade de oferta e da dependência do mercado internacional destes combustíveis [9]–[15]. Assim, evita-se a importação de combustíveis fósseis, que implica diretamente a diminuição de emissão de gases com efeito de estufa, e promove-se uma maior sustentabilidade económica e ambiental.

## 2.3 Energia solar

O Sol é um recurso de energia inesgotável, acessível a quase todo o globo e com inúmeras vantagens, que serão abordadas ao longo deste capítulo. A energia solar é considerada uma das fontes mais promissoras de energia renovável e sustentável [16]–[19]. O aproveitamento desta energia, proveniente da radiação do sol, dá-se através do efeito solar fotovoltaico, em que existe conversão da radiação solar diretamente em eletricidade ou efeito solar térmico, onde tem lugar a transformação da radiação em calor que é transferido para um fluido. Teoricamente, a energia solar possui o potencial para satisfazer a demanda energética global, caso as tecnologias para a sua exploração e fornecimento estivessem prontamente disponíveis [20], [21]. Para além da sua temperatura média ambiental, que permite uma exploração eficaz do recurso solar, Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação, como se verifica no anexo I e na figura 5.

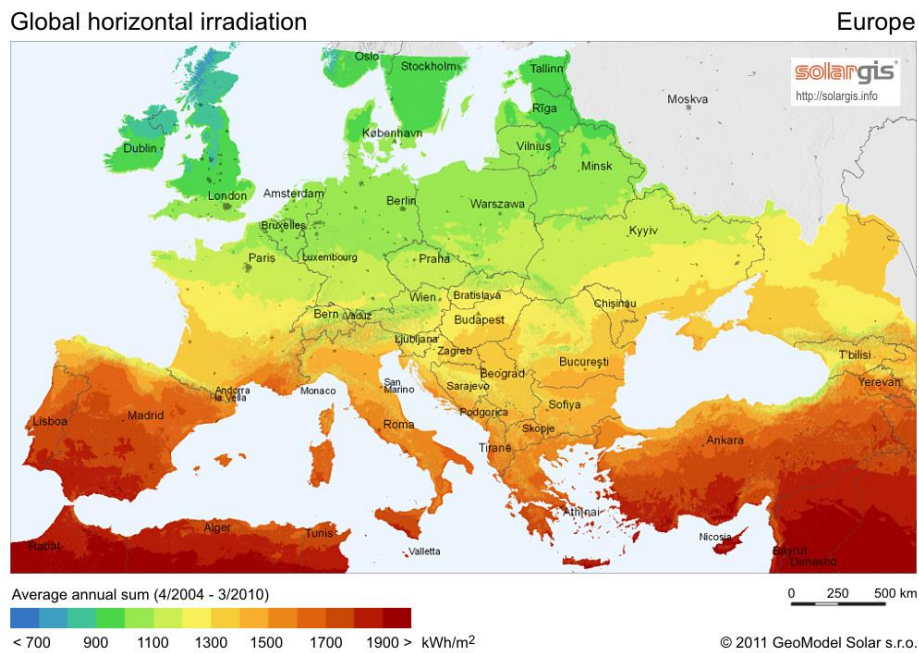


Figura 5. Mapa de disponibilidade de radiação solar na Europa [22].

### 2.3.1 Tecnologias de concentração solar

Os coletores solares captam energia proveniente do Sol e transferem-na para fluidos como água, ar ou óleo. No caso dos coletores solares concentradores e coletores solares planos, ambos têm um recetor e um concentrador, ou sistema ótico. O recetor é a parte do coletor que absorve a radiação solar e a converte noutra forma de energia. O concentrador ou sistema ótico é a parte do coletor que direciona a radiação solar para o recetor.

As diferentes tecnologias são aplicadas em função, sobretudo, da gama de temperaturas de operação. Os coletores solares térmicos de concentração caracterizam-se pela sua capacidade de *solar tracking*, onde existe movimentação dos concentradores, que permite o acompanhamento da posição solar ao longo dia, mas também pelo seu rácio de concentração. A partir da análise da tabela 2 infere-se que, em condições normais, estes fatores estão intrinsecamente relacionados com o intervalo de temperatura da operação.

Tabela 2. Tipos de coletores solares térmicos (adaptado de [20]).

Movimento	Tipo de coletor	Tipo de concentração	Rácio de concentração	Intervalo de temperatura (°C)
Estacionário	<i>Flate plate collector (FPC)</i>	Plano	1	30-80
	<i>Evacuated tube collector (ETC)</i>	Tubular	1	50-200
	<i>Compound parabolic collector (CPC)</i>	Tubular	1-5	60-240
Seguidor de um eixo	<i>Linear Fresnel reflector (LFR)</i>	Tubular	10-40	60-250
	<i>Parabolic trough collector (PTC)</i>	Tubular	15-45	60-300
	<i>Cylindrical trough collector (CTC)</i>	Tubular	10-50	60-300
Seguidor de dois eixos	<i>Parabolic dish reflector (PDR)</i>	Pontual	100-1000	100-500
	<i>Heliostat field collector (HFC)</i>	Pontual	100-1500	150-2000

Cerca de 90% da capacidade instalada para produção comercial de grande escala de energia é com recurso a concentradores *parabolic trough collector* (PTC) [23]. Uma fração pequena, mas em crescimento, da restante produção mundial constitui sistemas linear *Fresnel reflectors* (LFR) [24].

## 2.4 Coletores Fresnel

A tecnologia Fresnel tem por base o princípio das lentes de Fresnel, onde se recria uma parábola virtual, caracterizando-se pela existência de um absorvedor tubular localizado

na mediatriz do campo de espelhos planos, acima destes. A figura 6 representa simplificada a tecnologia de lentes de Fresnel.

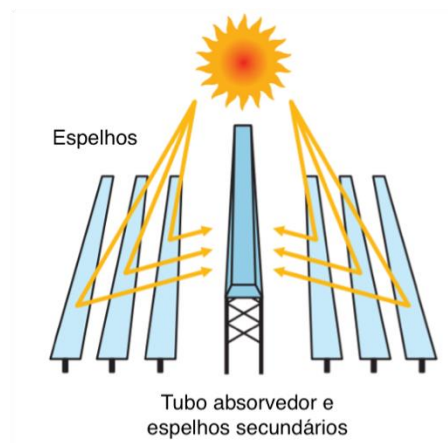


Figura 6. Esquema resumo do conceito Fresnel Linear (adaptado de [25]).

A separação entre os espelhos e o absorvedor não exige um sistema de controlo muito complexo, simplificando a reflexão, que acaba por ser mais precisa. Neste sistema, as principais vantagens são o baixo custo dos espelhos planos, a simplicidade do controlo, a proteção solar em ambientes áridos, reservas de água e áreas de cultivo ou pastagem e, durante a noite, com os espelhos na posição horizontal, é conferida alguma proteção contra as baixas temperaturas. Como desvantagem podemos indicar que, durante o dia, o tubo absorvedor acabará por projetar uma sombra indesejada sobre os espelhos.

#### 2.4.1 Instalações LFC

No setor agroalimentar já existem algumas instalações com coletores Fresnel. Na tabela 3 está elaborada uma síntese dos dados disponibilizados relativamente às características desses parques solares.

Tabela 3. Síntese das características dos parques solares com coletores Fresnel (adaptado de [26]–[38]).

Empresa	<i>MAFRICA</i>	<i>MTN</i>	<i>Nuova Sarda Industria Casearia</i>	<i>RAM</i>	<i>JTI</i>
Localização	Espanha	África do Sul	Itália	Jordânia	Jordânia
Ano	2012	2014	2015	2015	2017
Fornecedor dos coletores	<i>Aira Termosolar</i>	<i>Industrial Solar</i>	<i>CSP-F Solar</i>	<i>Industrial Solar</i>	<i>Industrial Solar</i>
Temperatura do vapor (°C)	-	180	200	160	220
Pressão do vapor (bar)	-	16	12	6	-
Disposição	-	2 x 11	2 x 17	-	-
Área total (m <sup>2</sup> )	2800	-	995	-	-
Superfície de refletores primários (m <sup>2</sup> )	-	484	995	390	1254
Capacidade instalada (kW)	1600	280	470	220	700
Produção de energia (MWh/ano)	1680	390	500	350	1350
Produção de vapor (ton/ano)	-	-	800	-	-
Redução de emissões de CO <sub>2</sub> (ton/ano)	-	200	180	200	500
Poupança de fuel (€/ano)	-	-	35.000	-	-

### 2.4.2 Coletor Fresnel LF-11

A *Industrial Solar* é uma empresa alemã, com sede em Friburgo, que oferece soluções sob medida para energias renováveis e eficiência energética na faixa de potência média para clientes industriais e comerciais. No SHIP2FAIR a empresa é um dos parceiros fornecedores de tecnologia solar – o coletor Fresnel LF-11. Este é composto por fileiras de espelhos com rastreamento uniaxial que direcionam a radiação para um tubo absorvedor central, onde circula o fluido de transferência de calor – a água. O princípio de funcionamento está representado na figura 7. A folha de dados do equipamento pode ser consultada no anexo 2. É de realçar que a potência térmica, em condições de referência, atinge os 13,82 kW por cada módulo LF-11.

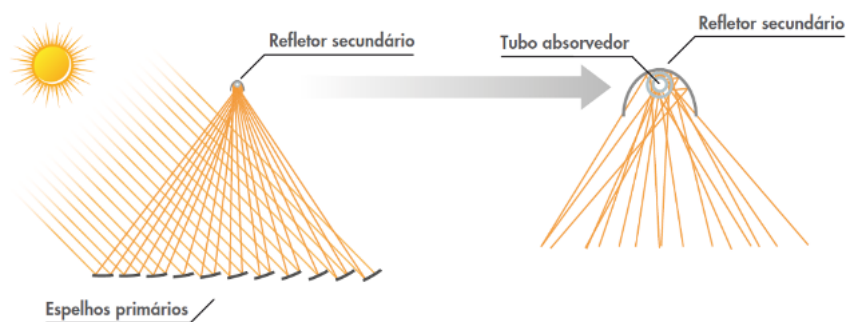


Figura 7. Esquema do princípio de funcionamento do coletor LF-11 (adaptado de [25]).

A instalação é feita com recurso a módulos, em que a o tubo absorvedor é comum, como ilustrado na figura 8, e requer horizontalidade.

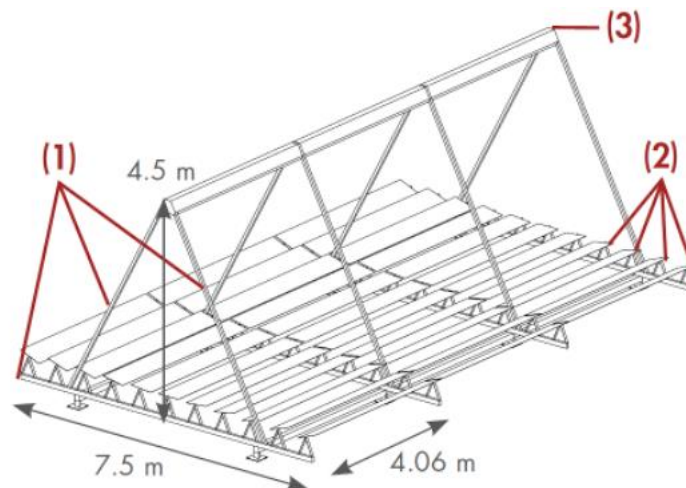


Figura 8. Esquema de um sistema de 3 módulos LF-11, em que (1) é a estrutura de suporte, (2) são os refletores primários e (3) é o recetor composto por um refletor secundário e um tubo de absorção a vácuo (adaptado de [25]).



# CASO DE ESTUDO



### 3 CASO DE ESTUDO

O campus, onde se encontram as instalações da RAR Açúcar, é também composto por outras empresas do Grupo RAR. Ao longo deste capítulo serão focadas as empresas RAR Açúcar e RAR Cogeração, onde se pretende realizar uma análise técnico-económica à integração de vapor solar. Primeiramente, tratou-se de fazer um levantamento das instalações, para que fosse possível esquematizar o sistema onde o vapor solar será integrado. De seguida, foi necessário compreender o processo da refinaria e quais as suas necessidades energéticas, para as quantificar e deduzir quais os benefícios da incorporação deste vapor.

Em virtude de se tratar de um trabalho realizado nas instalações industriais de uma empresa, todos os valores apresentados foram adulterados, por questões de confidencialidade.

#### 3.1 Avaliação introdutória

A partir de reconhecimento do terreno, e prévia análise da planta do campus, verifica-se que apenas é possível efetuar a instalação de equipamentos solares em altura, nas coberturas dos edifícios disponíveis, dado que existe circulação constante de veículos de grandes dimensões para cargas e descargas. Procedeu-se à divisão da área livre em zonas de Embalagem, Refinaria e Administração, conforme apresentado na figura 9.



Figura 9. Delimitação do campus do Grupo RAR na Rua Manuel Pinto de Azevedo, no Porto (adaptado de [39]).

A avaliação preliminar ao demo-site RAR Açúcar revela que o trabalho estrutural de acomodação dos equipamentos solares representará grande parte dos custos totais do projeto. A tecnologia solar a instalar será o coletor Fresnel LF-11, fornecida pela *Industrial Solar*.

Tornou-se assim necessário perceber qual a melhor localização para a instalação do parque solar, de modo que exista uma simbiose entre potencial de funcionamento do próprio equipamento e uma menor necessidade de reforço estrutural.

### 3.2 Instalações e funcionamento

A RAR Açúcar possui uma empresa autónoma, a RAR Cogeração, e ambas produzem energia elétrica e térmica. A central de cogeração da RAR Cogeração é composta por três caldeiras aquatubulares, especificadas na tabela 4, e uma turbina a vapor – a turbina KKK.

Tabela 4. Características de alimentação das caldeiras da RAR Cogeração.

Caldeira 1	Regime misto de gás natural e fuelóleo nº4 BTE
Caldeira 2	Regime misto de fuelóleo nº4 BTE e fuelóleo nº 3
Caldeira 3	Regime misto de gás natural e fuelóleo nº4 BTE

As caldeiras aquatubulares, genericamente, consistem numa fornalha que é trespassada por uma rede de tubos, onde a água aquece até evaporar. Estes são equipamentos destinados à produção de vapor de alta pressão, com recurso ao aquecimento de água que está a circular no interior dos tubos, através da utilização de gases de combustão, no exterior dos tubos. No caso da RAR Cogeração, este vapor atravessa a turbina KKK, onde é produzida energia elétrica.

No caso da central de cogeração da RAR Açúcar, existe uma turbina a gás – a turbina Centrax, e uma caldeira de recuperação, que através dos gases de combustão da Centrax, produz vapor que é injetado na refinaria, juntamente com o vapor oriundo da RAR Cogeração. A Centrax, tal como a KKK, produz energia elétrica.

Um diagrama simplificado das duas centrais de cogeração encontra-se representado na figura 10, onde o vapor é enviado para a refinaria após a passagem pela turbina KKK. O vapor produzido pelo parque solar será injetado diretamente na rede de distribuição de vapor.

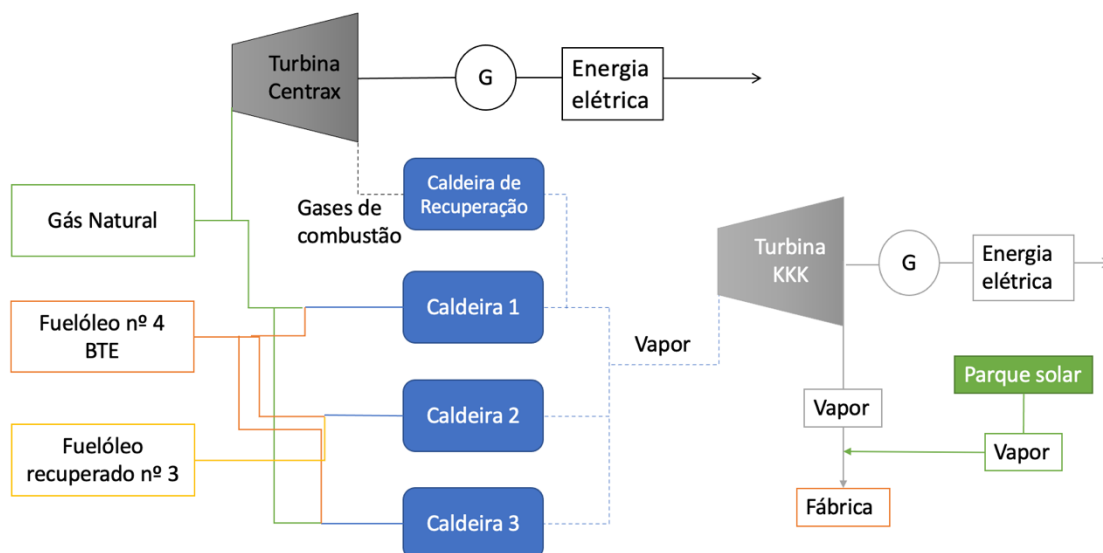


Figura 10. Diagrama simplificado das centrais de cogeração da RAR Açúcar e da RAR Cogeração.

O vapor é distribuído numa rede metálica, em anel, a uma pressão de cerca de 1 bar, exceto uma pequena quantidade para desencravamento de tubagens e operação das bombas de condensados, onde este é consumido a 5 bar.

### 3.3 Síntese do Processo

Na RAR Açúcar, o processo tem como matéria-prima a rama, para a produção de cristais de açúcar refinado. A rama consiste em cristais de açúcar que possuem uma película de xarope envolvente, na qual se concentram grande parte das impurezas, que lhes confere uma cor acastanhada. Esta película permite o transporte da rama a granel, sem alteração das suas propriedades físicas e químicas, daí a cana-de-açúcar ser proveniente de várias geografias, como por exemplo Brasil, Cuba, Ilhas Maurícias, Costa Marim, Austrália e Zimbabué. A refinação tem como propósito extrair a máxima quantidade de sacarose existente na rama e, através de processos de cristalização, obter os cristais de açúcar. Este processo é constituído, genericamente, pelas etapas enumeradas na figura 11. De seguida, será apresentado um resumo relativo a cada etapa enunciada.

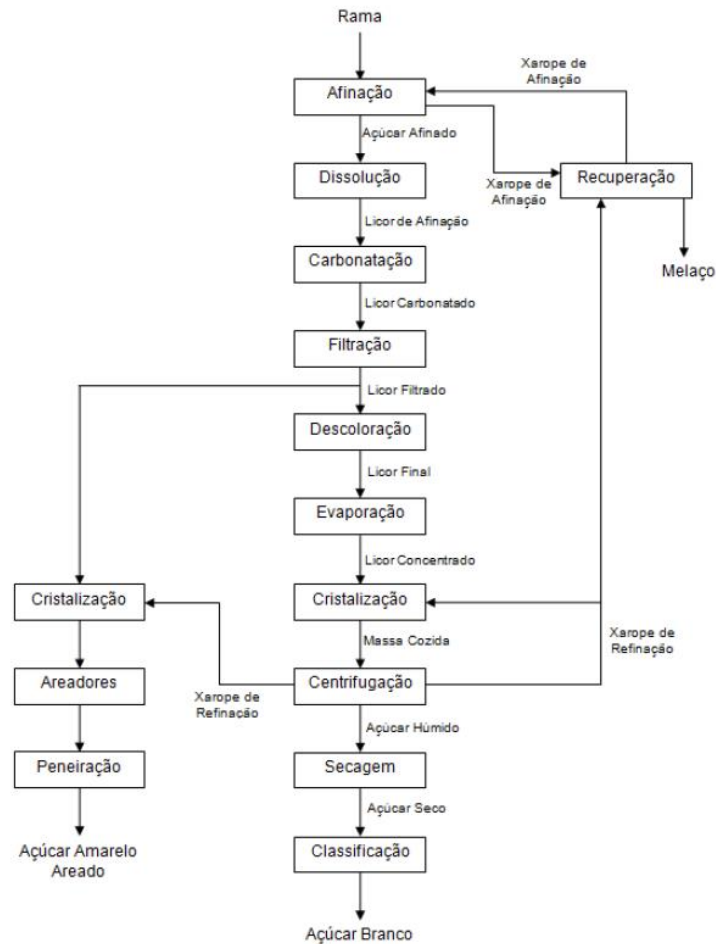


Figura 11. Diagrama das etapas de refinação do açúcar (adaptado de [40]).

### 3.3.1 Afinação

A afinação é a primeira etapa do processo de refinação e o seu objetivo é a remoção das impurezas superficiais da rama. Assim, é adicionado xarope de afinação quente, que amolece a película superficial da rama onde se encontram estas impurezas. Este xarope de afinação é aquecido previamente num permutador de calor alimentado a vapor e, após a sua adição, a mistura é encaminhada para cristalizadores e, posteriormente, para as centrifugadoras de afinação, de onde resulta açúcar afinado e xarope de afinação.

### 3.3.2 Dissolução

A dissolução do açúcar juntamente com “águas doces”, no dissolvedor, ocorre com recurso ao aquecimento por vapor, auxiliando o processo. O licor afinado daí resultante é encaminhado para o tanque dissolvedor, onde se mistura com o licor recuperado, proveniente da recuperação. Por fim, parte é encaminhado para dois permutadores de calor, em paralelo, alimentados a vapor, e o restante procede para a carbonatação.

### 3.3.3 Carbonatação

Na carbonatação removem-se as impurezas do licor, a partir da adição de uma solução de hidróxido de cálcio, nos saturadores, onde se dá a reação com recurso a vapor circulante. Posteriormente, uma corrente de gás, constituída por dióxido de carbono e ar, entra em contacto com a mistura, precipitando o hidróxido de cálcio sob forma de carbonato de cálcio, arrastando as impurezas em suspensão no licor, originando o licor carbonatado.

### 3.3.4 Filtração

A filtração ocorre para que sejam removidos os precipitados resultantes da etapa anterior, a carbonatação. É nesta fase que surge a divergência entre a produção de açúcar branco e amarelo. O primeiro segue para a descoloração, enquanto o segundo é encaminhado para a cristalização.

### 3.3.5 Descoloração

Nesta fase ocorre a remoção da cor do licor filtrado, através de permuta iónica – originando o licor final.

### 3.3.6 Evaporação

O licor final é aquecido no permutador de licor final, e encaminhado para um evaporador, de modo a concentrar a solução que será posteriormente cristalizada.

### 3.3.7 Cristalização

- Açúcar Branco

O licor concentrado, proveniente da evaporação, mistura-se com o xarope de refinação (solução saturada de sacarose) num tacho de vácuo, onde ocorre a cozedura. Esta mistura, a massa cozida, segue para um depósito cristalizador que contém um agitador. À saída do cristalizador, esta massa é encaminhada para uma centrífuga. Aqui ocorre a separação entre xarope de refinação, que repetirá esta etapa, e o açúcar húmido, que segue para a secagem, obtendo-se açúcar branco seco.

- Açúcar Amarelo

A cristalização do açúcar amarelo é efetuada com licor proveniente da fase de filtração, e xarope de refinação de uma cozedura de licor filtrado. Concentra-se a solução e promove-se o aparecimento espontâneo de cristais, que serão descarregados nos areadores, para eliminação de água, onde, se obtém o açúcar amarelo.

### 3.3.8 Recuperação

Nesta fase existe reaproveitamento de xarope de refinação e águas doces, resultantes do processo. Origina-se licor recuperado, proveniente de açúcar recuperado, xarope de afinação e melaço (produto de baixa pureza).

### 3.4 Consumos energéticos

Nas instalações da RAR – Refinarias de Açúcar Reunidas S.A., é consumida gasolina e gasóleo, eletricidade e vapor (produzido com recurso a gás natural e fuelóleo). Os consumos de gasolina, gasóleo e eletricidade serão desprezados, visto não serem pertinentes para o intuito desta dissertação. O consumo mensal para o ano de 2020 de gás natural e fuelóleo é apresentado na tabela 5.

Tabela 5. Consumos de gás natural e fuelóleo no ano de 2020.

	<b>Gás Natural (Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Fuelóleo nº3 (ton)</b>	<b>Fuelóleo nº4 BTE (ton)</b>
<b>Jan/20</b>	121 687	172	1 049
<b>Fev/20</b>	111 163	163	1 005
<b>Mar/20</b>	127 201	112	1 073
<b>Abr/20</b>	108 891	28	887
<b>Mai/20</b>	74 162	0	614
<b>Jun/20</b>	87 755	0	716
<b>Jul/20</b>	121 259	78	898
<b>Ago/20</b>	100 432	24	740
<b>Set/20</b>	137 129	61	1 057
<b>Out/20</b>	128 654	16	923
<b>Nov/20</b>	128 654	26	882
<b>Dez/20</b>	112 672	49	802
<b>Total</b>	<b>1 359 659</b>	<b>728</b>	<b>10 645</b>

Como o fuelóleo nº3 representa cerca de 6% do consumo anual de fuelóleo, optou-se por calcular um valor total de fuelóleo equivalente (fuelóleo nº4 BTE equivalente), a partir da equação 1. O consumo de fuelóleo equivalente, no ano de 2020, foi de 11.406 toneladas.

$$\text{Fuelóleo equivalente nº4 BTE (kg)} = \text{Fuelóleo nº4 BTE (kg)} + \text{Fuelóleo nº3 (kg)} \times \frac{42030 \text{ (PCI Fuelóleo nº3 em } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}{40200 \text{ (PCI Fuelóleo nº4 BTE em } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})} \quad (1)$$

De modo a estabelecer uma comparação entre estes consumos, é necessário calcular as respetivas tep, onde se recorreu aos fatores de conversão da tabela 6.

Tabela 6. Fatores de conversão em tep (adaptado de [41]).

Forma de Energia	Fator de conversão	
Gás Natural	1,077	tep/ton
Fuelóleo equivalente <sup>1</sup>	0,960	tep/ton

<sup>1</sup>Para o cálculo deste fator realizou-se uma interpolação para um PCI de fuelóleo de 40,2 MJ/kg

A tabela 7 resume, para o ano de 2020, os consumos da RAR Açúcar.

Tabela 7. Consumos de energia da RAR Açúcar no ano de 2020.

Forma de Energia	Consumo	Unidade	tep
Gás Natural	1 359 659	Nm <sup>3</sup>	1 231 <sup>1</sup>
Fuelóleo	11 406	ton	10 950
Total			12 181

<sup>1</sup>Para o cálculo deste valor utilizou-se um fator de conversão para o gás natural de 0,8404 (kg/Nm<sup>3</sup>)

Na figura 12 verifica-se que cerca de 90% dos consumos energéticos de 2020 da empresa foram de fuelóleo equivalente.

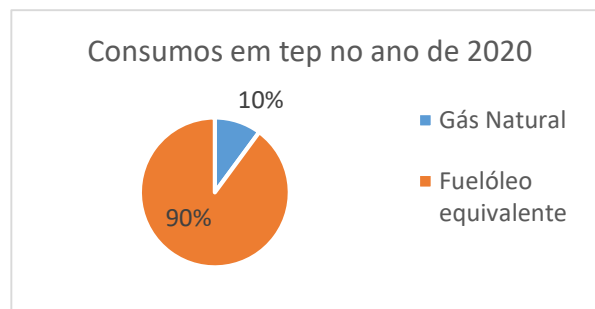


Figura 12. Consumos em tep de gás natural e fuelóleo equivalente, para o ano de 2020.

Com base nos consumos totais, é possível determinar o total de emissões de gases com efeito de estufa para o ano de 2020, com recurso aos fatores de conversão da tabela 8.

Tabela 8. Fatores de conversão para Emissões Gasosas ( $\text{kgCO}_2\text{e}$ ) (adaptado de [41]).

Forma de Energia	Fator de conversão	
Gás Natural	2 683,7	$\text{kgCO}_2\text{e/tep}$
Fuelóleo equivalente	3 236,4	$\text{kgCO}_2\text{e/tep}$

A tabela 9 resume, para o ano de 2020, a quantidade de emissões de gases com efeito de estufa.

Tabela 9. Total de Emissões Gasosas ( $\text{tCO}_2\text{e}$ ).

Forma de Energia	Emissões Gasosas ( $\text{tCO}_2\text{e}$ )
Gás Natural	3 303
Fuelóleo equivalente	35 439
<b>Total</b>	<b>38 742</b>

### 3.4.1 Consumo de vapor

A RAR Açúcar é um consumidor intensivo de energia. O consumo dos combustíveis analisados anteriormente destina-se exclusivamente à produção de vapor. Este é envolvido diretamente no processo de produção de açúcar. A figura 13 apresenta o

consumo de vapor ao longo dos últimos dois anos, onde a média mensal é de cerca de 16.000 toneladas e a média anual é de cerca de 194.000 toneladas.

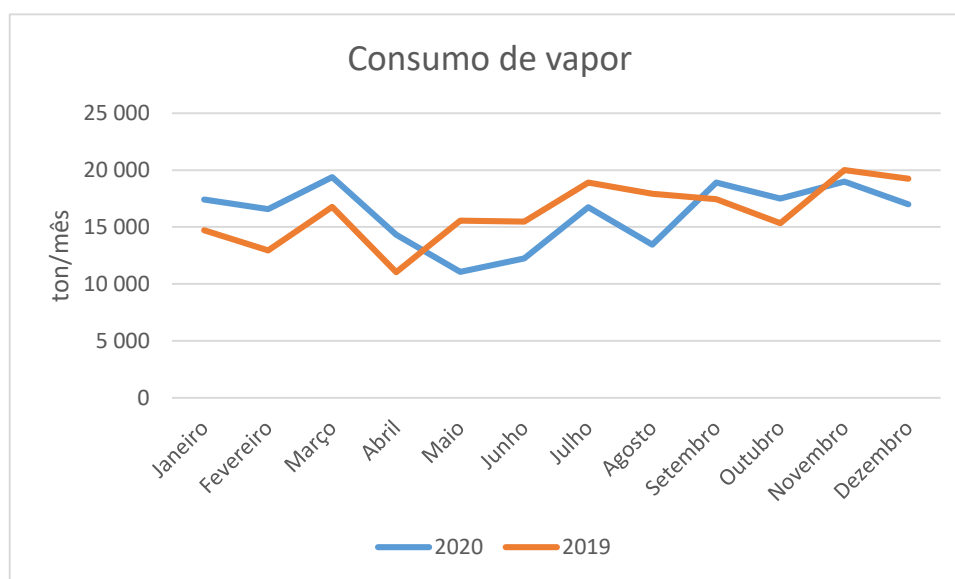


Figura 13. Gráfico do consumo de vapor mensal para os anos de 2019 e 2020.

### 3.5 Proposta de solução

Verifica-se a necessidade da incorporação de vapor na refinaria proveniente de fontes renováveis, para a redução de emissões de gases com efeito de estufa. Neste tópico será apresentada uma solução com recurso à instalação de coletores LF-11.

#### 3.5.1 Parque solar LF-11

Após o estudo das coberturas disponíveis, por parte de uma empresa especializada, concluiu-se que a cobertura do parque de estacionamento, visível na figura 14, na zona da embalagem, apresenta o melhor rácio entre o potencial de produção de vapor solar e o custo dos trabalhos estruturais.

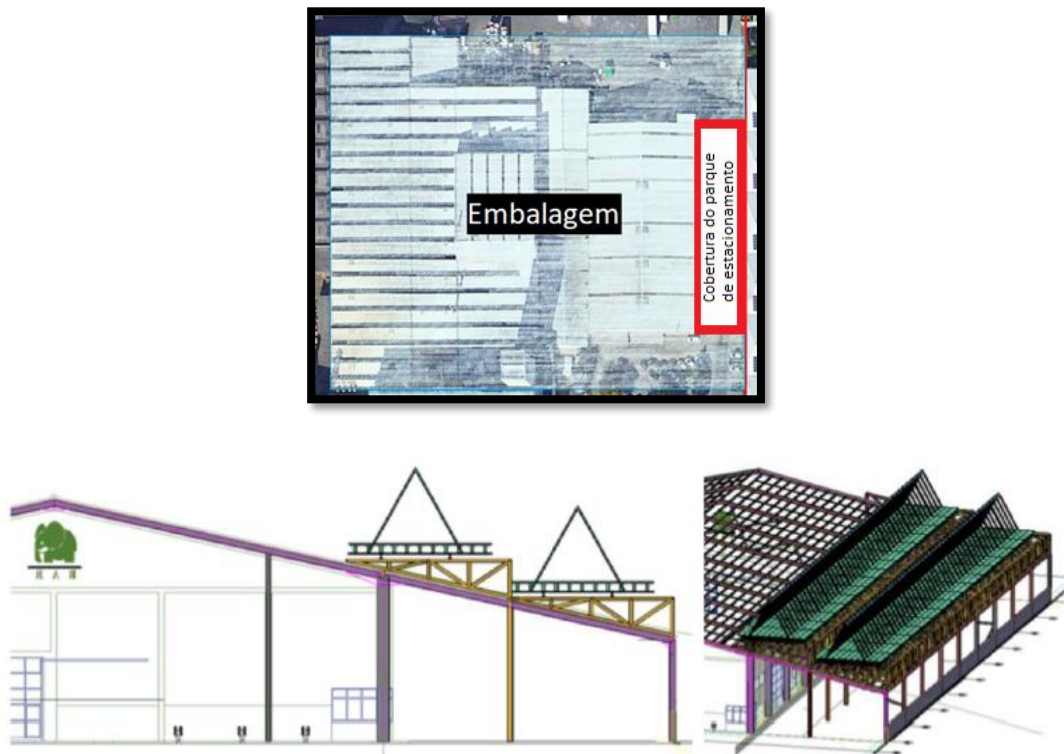


Figura 14. Esboço de instalação de coletores LF-11 na cobertura do parque de estacionamento (adaptado de [42]).

Esta é uma solução que consiste na instalação de 30 módulos, atendendo às condições detalhadas na tabela 10, que requerem uma subestrutura, dado que é condição obrigatória a horizontalidade dos módulos.

Tabela 10. Características geométricas do parque solar (adaptado de [42]).

Número de módulos	30
Disposição	2 x 15 módulos
Área total da instalação	926 m <sup>2</sup>
Superfície de refletores primários (área ocupada pelos espelhos primários)	690 m <sup>2</sup>

### 3.5.2 Simulação

A performance deste parque solar, elaborada pelo fornecedor, assenta nas premissas da tabela 11.

Tabela 11. Características do sistema para simulação de performance (adaptado de [42]).

Localização	Porto, Portugal (N41°10'49"; W8°35'49")
Pressão média do sistema (vapor saturado)	5,2 bar <sub>g</sub>
Temperatura média de operação	160 °C
Dados meteorológicos <sup>1</sup>	Meteonorm 7.3

<sup>1</sup>Atualmente, existe a versão Meteonorm 8.0.4, no entanto verificou-se que as alterações não eram significativas.

Na figura 15 é possível verificar a distribuição mensal, no Porto, de irradiação direta normal e irradiação difusa horizontal, em que a primeira é a radiação direcional, proveniente do Sol, sem interferências, e a segunda é proveniente de todas as direções, resultante de reflexão das nuvens e das partículas no ar. A partir desta, afere-se que anualmente, no Porto, a irradiação direta normal é de cerca de 1632 kWh/m<sup>2</sup> e que a irradiação difusa horizontal é de cerca de 623 kWh/m<sup>2</sup>. Estima-se a produção anual de energia deste parque solar em cerca de 448 MWh.

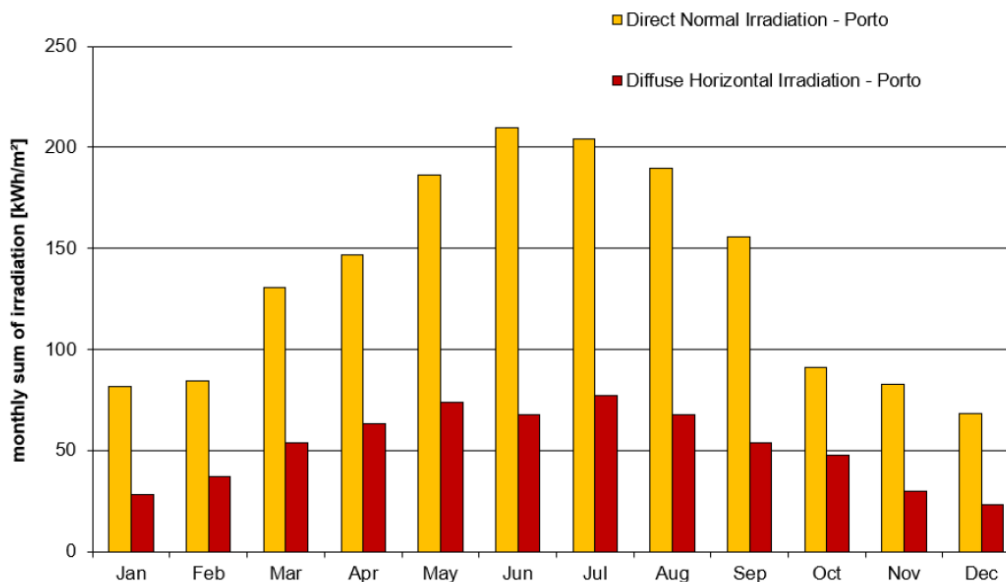


Figura 15. Gráfico da distribuição mensal de irradiação direta normal e irradiação difusa horizontal (adaptado de [42]).



# RESULTADOS E DISCUSSÃO



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto SHIP2FAIR é um projeto co-financiado pela União Europeia, e, portanto, terá sempre investimento por parte da RAR Açúcar. Como em qualquer investimento é necessário verificar-se a viabilidade deste, garantindo o cumprimento do orçamento estabelecido no acordo. Ao longo deste capítulo serão abordados os benefícios da incorporação do vapor solar no sistema. Em particular, será quantificada a poupança anual relativa à substituição de parte da produção de vapor pela nova fonte solar.

### 4.1 Produção de vapor

Os fornecedores avaliam, a partir da simulação mencionada no capítulo anterior, uma eficiência média, do parque solar, de 40 % [36]. De modo a verificar-se qual o impacto na produção de vapor, utilizaram-se os fatores de conversão enunciados na tabela 12.

Tabela 12. Fatores de conversão de acordo com o INERPA (2013) (anexo 3).

		Fator de conversão
	Energia	3,6 x 10 <sup>6</sup> kJ/MWh
	Vapor	2706,53 kJ/kg
	PCI	40,2 GJ/ton
Fuelóleo <sup>1</sup>	Fator de Emissão	78,7 kg CO <sub>2</sub> /GJ
	Fator de Oxidação	0,991

<sup>1</sup>Fatores calculados para um PCI de fuelóleo de 40,2 MJ/kg

A partir da equação 2, o parque solar, com uma produção estimada de 448 MWh/ano, fornece cerca de 596 toneladas de vapor anuais.

$$\text{Total de vapor produzido (ton)} = \frac{\text{energia produzida (kJ)}}{\text{entalpia do vapor } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)} \times 10^{-3} \quad (2)$$

No entanto, com a fábrica a laborar de segunda a sexta-feira, o vapor produzido, para uma média de 250 dias úteis anuais, é de cerca de 408 toneladas.

Atendendo ao poder calorífico inferior (PCI) do fuelóleo, e ao rendimento das caldeiras de 88 %, a partir da equação 3, verifica-se que a produção de vapor solar evita a queima de cerca de 31 ton/ano de fuelóleo.

$$\text{Total de fuelóleo necessário(ton)} = \frac{\text{energia do vapor produzido (kJ)}}{\text{PCI do fuelóleo } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)} \times \text{rendimento das caldeiras}^{-1}(\%) \times 10^{-3} \quad (3)$$

Utilizou-se a equação 4 para avaliar a emissão de CO<sub>2</sub> que resultaria da queima das 31 toneladas de fuelóleo, e concluiu-se que são evitadas cerca de 98 ton/ano de emissões.

$$\text{Emissão de CO}_2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ano}}\right) = \text{Combustível consumido} \left(t \text{ ou } \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}\right) \times \text{PCI do combustível} \left(\frac{\text{GJ}}{t} \text{ ou } \text{m}^3\right) \times \text{Fator de emissão} \left(\frac{\text{kg}}{\text{GJ}}\right) \times \text{Fator de Oxidação} \quad (4)$$

#### 4.1.1 Vapor não consumido

O parque solar encontrar-se-á a trabalhar em contínuo, todo o ano, o que significa que existe vapor a ser produzido e não consumido, durante o fim-de-semana. Foi necessário perceber onde é que este vapor será útil. Na central de cogeração, existe um desgaseificador, por onde passa a água de alimentação das caldeiras, de modo a ser removido o ar e gases dissolvidos, com recurso a vapor. Este, por sua vez, é alimentado com água proveniente do tanque N.721 que possui um volume de 40 m<sup>3</sup>.

O tanque N.721 encontra-se à temperatura ambiente no arranque da refinaria, à segunda-feira, e, na paragem, à sexta-feira, encontra-se a uma temperatura variável, dado que se efetua recuperação de condensados, que aumentam a temperatura em função da quantidade de água recuperada, e da respetiva temperatura. A temperatura de alimentação de água às caldeiras é de cerca de 100 °C, portanto há necessidade de aquecimento da água de alimentação, que se encontra à temperatura ambiente. Como o vapor gerado durante a semana será de injeção direta na rede de vapor, devido à alta demanda, apenas o vapor gerado ao fim-de-semana servirá para aquecimento do tanque N.721. Com base na tabela 13, a partir da equação 5, verifica-se que, à temperatura ambiente média de 20 °C, são necessários cerca de 13 GJ para aquecer o tanque N.721 até aos 100 °C.

Tabela 13. Fatores de conversão.

Fator de conversão para T = 60 °C		
Cp	4,184	kJ/kg.°C
ρ	982,8	kg/m <sup>3</sup>

$$Energia\ necessária\ (GJ) = \frac{Volume\ (m^3) \times \rho\ \left(\frac{kg}{m^3}\right) \times Cp\ \left(\frac{kJ}{kg.\text{°C}}\right) \times \Delta T\ (\text{°C})}{10^6} \quad (5)$$

Para uma média de 100 dias não úteis, ou seja, sem trabalho de refinaria, produzem-se cerca de 163 toneladas de vapor, traduzindo-se em aproximadamente 3 toneladas por fim-de-semana. Adaptando a equação 5, conclui-se que este vapor satisfaz cerca de 74% da necessidade de aquecimento do tanque, evitando-se o consumo de cerca de 250 kg de fuelóleo, que originaria cerca de 783 kg de emissões de CO<sub>2</sub>, a cada arranque.

Existem cerca de 15 dias não úteis, anuais, que serão em regime de feriado ou equiparado. Como tal, optou-se por discriminar a produção obtida durante estes dias para um outro efeito, de cerca de 24 toneladas de vapor. Para dar início ao processo de refinação de açúcar, no arranque, ou na existência de contaminação, é necessário limpar a rede de vapor (dada a existência de condensados remanescentes) e encher a mesma, para o consumo direto do processo. Este procedimento poderá ser efetuado com auxílio deste vapor, produzido durante a possível paragem da refinaria.

Atendendo a um consumo total da produção de vapor em torno de 596 ton/ano evita-se a necessidade de, sensivelmente, 46 ton/ano de fuelóleo e a emissão de aproximadamente 143 ton/ano de CO<sub>2</sub>.

## 4.2 Análise final

Para além do fator ambiental, existem também poupanças associados à diminuição do consumo do combustível fóssil, nomeadamente a poupança direta, e a indireta, devido à redução da emissão de gases com efeito de estufa (CELE). O cálculo destas poupanças, para o ano de 2022, resulta da multiplicação do fuelóleo evitado (kg) e das emissões de gases com efeito de estufa (ton) pelos respetivos coeficientes apresentados na tabela 14.

Tabela 14. Cálculo da poupança total para o ano de 2022.

Considerações	Saving
Preço Fuelóleo <sup>1</sup> = 0,75 €/kg	34 355,90 €
CELE estimado = 50 €/ton	7 147,98 €
<b>Total</b>	<b>41 503,87 €</b>

<sup>1</sup>Considerando que o custo é incrementado de acordo com a fórmula:

Custo Atualizado = Custo base x (1 + (1,01 + Δanos x 0,01)), onde o custo base é de 0,72 €/kg (fonte: DGEG 2018)

Optou-se por estabelecer uma comparação direta com a queijaria *Nuova Sarda Industria Casearia*, na tabela 15, uma vez que, para além das condições de instalação, é um dos sistemas analisados com mais dados disponibilizados e, sobretudo, semelhantes ao parque solar da RAR Açúcar, visto que utiliza coletores de concentração Fresnel, é uma indústria do setor agroalimentar e possui resultados idênticos, demonstrando a viabilidade do *demo-site* RAR Açúcar no projeto SHIP2FAIR. Embora a produção de vapor seja superior na queijaria, verifica-se que a poupança é idêntica, o que poderá ser explicado pela disparidade entre o custo de fuelóleo e o respetivo rendimento da queima entre as duas centrais, que poderá não ser o mesmo.

Tabela 15. Comparação entre o parque solar da queijaria *Nuova Sarda Industria Casearia* e a simulação obtida para o parque solar a instalar na RAR Açúcar (adaptado de [26], [27]).

Empresa	<i>Nuova Sarda Industria Casearia</i>	RAR Açúcar
Localização	Itália	Portugal
Ano	2015	-
Fornecedor dos coletores	<i>CSP-F Solar</i>	<i>Industrial Solar</i>
Temperatura do vapor de alimentação (°C)	200	160
Pressão do vapor de alimentação (bar)	12	1
Disposição	2 x 17	2 x 15
Área total (m <sup>2</sup> )	995	926
Superfície de refletores primários (m <sup>2</sup> )	995	690
Capacidade instalada (kW)	470	415
Produção de energia (MWh/ano)	500	448
Produção de vapor (ton/ano)	800	596
Redução de emissões de CO <sub>2</sub> (ton/ano)	180	143
<i>Saving fuel</i> (€)	35.000	34.356

Em suma, para a solução proposta, verificam-se os seguintes benefícios:

- Avanço significativo no rumo à descarbonização da empresa;
- Demonstração da viabilidade da utilização de energia solar em processos industriais, contribuindo para os objetivos de descarbonização do setor.
- Diminuição da dependência de combustíveis fósseis para produção de vapor;
- Melhorias na qualidade do ar da cidade do Porto;

- *Saving* total de 41.503,87 € no ano de 2022 (em regime de consumo total);

Conclui-se que a RAR Açúcar apresenta dados semelhantes a outras instalações, indo de encontro a um dos objetivos do projeto, que é a parametrização do processo. Paralelamente a isso, a partir das vantagens apresentadas, infere-se que esta solução assenta nas premissas dos seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável:

- ODS 7: Energias Renováveis e Acessíveis
- ODS 9: Indústria, Inovação e Infraestruturas
- ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis
- ODS 12: Produção e Consumo Sustentáveis
- ODS 13: Ação Climática
- ODS 17: Parcerias para a Implementação dos Objetivos

#### 4.2.1 Aprovação institucional

Os resultados apresentados neste trabalho foram aprovados institucionalmente e apresentados, para análise de continuidade da empresa como um *demo-site* do projeto SHIP2FAIR.

#### 4.3 Métodos utilizados

Para a realização deste trabalho foi necessário estudar as instalações e, sobretudo, o processo de produção de vapor. Como mencionado anteriormente, todos os dados apresentados, da RAR Açúcar e da RAR Cogeração, provenientes de índices de *Key Performance Indicators* (KPI) internos, foram adulterados de modo a garantir confidencialidade.

Recorreu-se a várias ferramentas de software, nomeadamente:

- *Autodesk Viewer* para a visualização de esquemas e plantas;
- *Google Earth* para observação da vista satélite do campus;
- *Meteonorm* para validação dos dados meteorológicos utilizados na simulação efetuada pelo fornecedor do equipamento solar;
- *Microsoft Excel* para cálculo numérico e estatístico;
- *Microsoft Word* para elaboração do documento.

# CONCLUSÕES



## 5 CONCLUSÕES

A RAR Açúcar começou o seu caminho de transição energética com a integração de gás natural e, posteriormente, o fuelóleo nº 3. Neste momento, procura-se adicionar uma nova fonte de energia, que reduza o consumo de fuelóleo, daí o principal objetivo deste trabalho ter sido a caracterização das vantagens da incorporação de vapor, proveniente de um parque solar, co-financiado pela União Europeia, através do projeto SHIP2FAIR. A energia solar é um recurso inesgotável, renovável, com um enorme potencial de aproveitamento em Portugal, apresentando um papel preponderante no futuro das energias renováveis, onde o maior entrave assume-se ser o investimento. Visto ser limpa, gratuita e inesgotável, a energia solar é cada vez mais relevante na indústria energética em todo o mundo. Devido à sua disponibilidade [43]–[46], a energia solar é uma alternativa crescente em muitos países com radiação solar abundante, nomeadamente os que se encontram mais próximos do equador[47].

A elaboração deste documento permitiu perceber qual o enquadramento em termos de energias renováveis, na União Europeia e em Portugal, e quais os benefícios da instalação de um parque solar numa refinaria de açúcar. Embora existam custos elevados de instalação, devido às condições estruturais, conclui-se que as vantagens da incorporação de vapor solar são mais um passo rumo à descarbonização, dado que se evita o consumo de cerca de 46 ton/ano de fuelóleo e a emissão de 143 ton/ano de CO<sub>2</sub>.

Embora a produção do parque solar seja pouco representativa face ao consumo de vapor da RAR Açúcar, dada a produção de cerca de 600 ton/ano de vapor e a necessidade em torno de 194.000 ton/ano, existem vantagens da integração deste vapor solar no *mix* energético da empresa, nomeadamente a redução das emissões de CO<sub>2</sub> que, para além da poupança total de aproximadamente 41.500€/ano, melhora a qualidade do ar na cidade do Porto. Assim, demonstra-se que esta implementação fará parte de um futuro mais sustentável, por parte da empresa, mas também trará dados úteis do interesse da UE, que é um dos objetivos do projeto SHIP2FAIR.

Relativamente aos objetivos inicialmente delineados, cumpriram-se os objetivos mais técnicos. Devido à pandemia, não foi possível elaborar uma proposta de expansão por falta de recursos, e o próprio projeto sofreu um atraso muito significativo, o que levou ao não cumprimento do último objetivo – a instalação do parque solar.

### 5.1 Sugestões de trabalhos futuros

Na sequência do presente trabalho surgiram alguns aspetos que se revelaram interessantes para uma abordagem mais detalhada, nomeadamente:

- A análise da eficiência de alimentação do vapor à rede de distribuição e da própria rede de vapor;
- Comparação com outra tecnologia solar, por exemplo os coletores MT-Power, da autoria da *TVP Solar*, que é um dos parceiros fornecedores de tecnologia ao consórcio;
- O estudo de expansão do parque solar, em coberturas já existentes e/ou instalação de novas coberturas, como, por exemplo, um novo coberto de estacionamento.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cilluffo Anthony and N. G. Ruiz, “World population growth is expected to nearly stop by 2100 | Pew Research Center.” <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2019/06/17/worlds-population-is-projected-to-nearly-stop-growing-by-the-end-of-the-century/> (acedido a Out. 27, 2021).
- [2] “SHIP2FAIR | Innovation and Networks Executive Agency.” <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/solar-energy/ship2fair> (acedido a Out. 27, 2021).
- [3] “A marca - RAR Açúcar.” <http://docerar.pt/a-marca/> (acedido a Out. 27, 2021).
- [4] “Acordo de Paris sobre alterações climáticas - Consilium.” <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/paris-agreement/> (acedido a Out. 27, 2021).
- [5] “Home - Eurostat.” <https://ec.europa.eu/eurostat/> (acedido a Out. 27, 2021).
- [6] “Energia Solar.” <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/energia-solar/> (acedido a Out. 27, 2021).
- [7] “Produção e consumo de energia | Relatório do Estado do Ambiente.” <https://rea.apambiente.pt/content/produ%C3%A7%C3%A3o-e-consumo-de-energia> (acedido a Out. 27, 2021).
- [8] “APREN - Destaques.” <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/destaques> (acedido a Out. 27, 2021).
- [9] E. Deniz and S. Çınar, “Energy, exergy, economic and environmental (4E) analysis of a solar desalination system with humidification-dehumidification,” *Energy Conversion and Management*, vol. 126, pp. 12–19, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.07.064.
- [10] C. Tzivanidis, E. Bellos, and K. A. Antonopoulos, “Energetic and financial investigation of a stand-alone solar-thermal Organic Rankine Cycle power plant,” *Energy Conversion and Management*, vol. 126, pp. 421–433, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.08.033.
- [11] O. Ellabban, H. Abu-Rub, and F. Blaabjerg, “Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, pp. 748–764, Nov. 2014, doi: 10.1016/J.RSER.2014.07.113.
- [12] E. Bellos, E. Mathioulakis, C. Tzivanidis, V. Belessiotis, and K. A. Antonopoulos, “Experimental and numerical investigation of a linear Fresnel solar collector with

- flat plate receiver,” *Energy Conversion and Management*, vol. 130, pp. 44–59, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.10.041.
- [13] P. Tsekouras, C. Tzivanidis, and K. Antonopoulos, “Optical and thermal investigation of a linear Fresnel collector with trapezoidal cavity receiver,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 135, pp. 379–388, May 2018, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.02.082.
- [14] B. Corona, E. Cerrajero, D. López, and G. San Miguel, “Full environmental life cycle cost analysis of concentrating solar power technology: Contribution of externalities to overall energy costs,” *Solar Energy*, vol. 135, pp. 758–768, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.SOLENER.2016.06.059.
- [15] D. Pulido-Iparraguirre, L. Valenzuela, J. J. Serrano-Aguilera, and A. Fernández-García, “Optimized design of a Linear Fresnel reflector for solar process heat applications,” *Renewable Energy*, vol. 131, pp. 1089–1106, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.08.018.
- [16] B. Dudley, “BP Statistical Review of World Energy,” 2019.
- [17] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, and K. H. Kim, “Solar energy: Potential and future prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 894–900, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2017.09.094.
- [18] M. Yousefzadeh and M. Lenzen, “Performance of concentrating solar power plants in a whole-of-grid context,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 114, p. 109342, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.109342.
- [19] M. Shahabuddin, M. A. Alim, T. Alam, M. Mofijur, S. F. Ahmed, and G. Perkins, “A critical review on the development and challenges of concentrated solar power technologies,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, p. 101434, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.SETA.2021.101434.
- [20] V. v. Tyagi, S. C. Kaushik, and S. K. Tyagi, “Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 3, pp. 1383–1398, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.RSER.2011.12.013.
- [21] T. Blaschke, M. Biberacher, S. Gadocha, and I. Schardinger, “‘Energy landscapes’: Meeting energy demands and human aspirations,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 55, pp. 3–16, Aug. 2013, doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2012.11.022.
- [22] “Solar Irradiance data | Solargis.” <https://solargis.com/> (acedido a Out. 27, 2021).
- [23] L. F. L. de Souza, N. Fraidenraich, C. Tiba, and J. M. Gordon, “Linear aplanatic Fresnel reflector for practical high-performance solar concentration,” *Solar Energy*, vol. 222, pp. 259–268, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.SOLENER.2021.05.002.
- [24] Z. Wang, *Design of solar thermal power plants*. Elsevier, 2019. doi: 10.1016/C2017-0-03007-0.

- [25] Industrial Solar, “Company Brochure - Portuguese version,” 2021.
- [26] “Italian Concentrated Solar Power fresnel plant in the agrobusiness – HELIOSCSP.” <https://helioscsp.com/italian-concentrated-solar-power-fresnel-plant-in-the-agrobusiness/> (acedido a Nov. 04, 2021).
- [27] P. Fazzino, “Nuova Sarda Industria Casearia | Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) Plants Database.” [http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/194-nuova-sarda-industria-casearia-italy?collector\\_type=6&industry\\_sector=4](http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/194-nuova-sarda-industria-casearia-italy?collector_type=6&industry_sector=4) (acedido a Nov. 04, 2021).
- [28] “Tobacco Production with Solar Process Heat in Jordan.” <https://www.xn--solare-prozesswrme-ztb.info/en/best-practice-en/tobacco-production-with-solar-process-heat/> (acedido a Nov. 06, 2021).
- [29] “Solar steam for process heat and air conditioning | Solarthermalworld.” <https://www.solarthermalworld.org/news/solar-steam-process-heat-and-air-conditioning> (acedido a Nov. 06, 2021).
- [30] S. Garud *et al.*, “UNDP-GEF CSH Project INTERNATIONAL DEVELOPMENTS ON CSTs FOR PROCESS HEAT.” [Online]. (acedido a Nov. 06, 2021).
- [31] “Nuovo impianto rinnovabili in provincia di Oristano | PowerZine.” <https://www.powerzine.it/rinnovabili-a-regime-impianto-csp-in-provincia-di-oristano/> (acedido a Nov. 06, 2021).
- [32] “Jordan: Fresnel Collectors Supply 160 °C Steam to Pharmaceuticals Producer Ram Pharma | Solarthermalworld.” <https://www.solarthermalworld.org/news/jordan-fresnel-collectors-supply-160-degc-steam-pharmaceuticals-producer-ram-pharma> (acedido a Nov. 06, 2021).
- [33] “Using solar energy to power MTN’s air conditioning - Hypertext.” <https://htxt.co.za/2014/07/using-solar-energy-to-power-mtns-air-conditioning/> (acedido a Nov. 06, 2021).
- [34] “Captador Lineal Fresnel para MAFRICA”, (acedido a Nov. 06, 2021).
- [35] “Margalida Girona | Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) Plants Database.” [http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/371-margalida-girona-spain?collector\\_type=6&industry\\_sector=4](http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/371-margalida-girona-spain?collector_type=6&industry_sector=4) (acedido a Nov. 06, 2021).
- [36] “Mafrica | Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) Plants Database.” [http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/374-mafrica-spain?collector\\_type=6&industry\\_sector=4](http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/374-mafrica-spain?collector_type=6&industry_sector=4) (acedido a Nov. 06, 2021).
- [37] “Grasas del Guadalquivir | Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) Plants Database.” [http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/373-grasas-del-guadalquivir-spain?collector\\_type=6&industry\\_sector=4](http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/373-grasas-del-guadalquivir-spain?collector_type=6&industry_sector=4) (acedido a Nov. 06, 2021).

- [38] “Dadelos Valencia | Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) Plants Database.” [http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/372-dadelos-valencia-spain?collector\\_type=6&industry\\_sector=4](http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/372-dadelos-valencia-spain?collector_type=6&industry_sector=4) (acedido a Nov. 06, 2021).
- [39] “Google Earth.” <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/> (acedido a Nov. 06, 2021).
- [40] “Auditoria Energética - RAR, 2018.”
- [41] “Diário da República, 2.ª série-N.º 122-26 de Junho de 2008.”
- [42] Industrial Solar, “Detailed Engineering - RAR,” 2020.
- [43] U. Desideri, F. Zepparelli, V. Morettini, and E. Garroni, “Comparative analysis of concentrating solar power and photovoltaic technologies: Technical and environmental evaluations,” *Applied Energy*, vol. 102, pp. 765–784, Feb. 2013, doi: 10.1016/J.APENERGY.2012.08.033.
- [44] H. Hou, J. Wu, Y. Yang, E. Hu, and S. Chen, “Performance of a solar aided power plant in fuel saving mode,” *Applied Energy*, vol. 160, pp. 873–881, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.APENERGY.2015.01.092.
- [45] E. Hu, Y. P. Yang, A. Nishimura, F. Yilmaz, and A. Kouzani, “Solar thermal aided power generation,” *Applied Energy*, vol. 87, no. 9, pp. 2881–2885, Sep. 2010, doi: 10.1016/J.APENERGY.2009.10.025.
- [46] L. Zhou, Y. Li, E. Hu, J. Qin, and Y. Yang, “Comparison in net solar efficiency between the use of concentrating and non-concentrating solar collectors in solar aided power generation systems,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 75, pp. 685–691, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2014.09.063.
- [47] E. J. C. Cavalcanti and H. P. Motta, “Exergoeconomic analysis of a solar-powered/fuel assisted Rankine cycle for power generation,” *Energy*, vol. 88, pp. 555–562, Aug. 2015, doi: 10.1016/J.ENERGY.2015.05.081.

**ANEXOS**





Mapa de recursos solares

# IRRADIAÇÃO NORMAL GLOBAL

## Portugal



### DESCRIÇÃO

Faça o teste de recursos solares globais em território de referência. Este mapa disponibiliza para consulta de energia solar global, em Portugal. Este mapa mostra a irradiação normal global (H<sub>0</sub>) em Portugal, em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)). A irradiação normal global (H<sub>0</sub>) é a soma da irradiação direta e difusa, com o ângulo de incidência perpendicular ao plano do terreno. Este mapa mostra a irradiação normal global (H<sub>0</sub>) em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)).

Este mapa mostra a irradiação normal global (H<sub>0</sub>) em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)). Este mapa mostra a irradiação normal global (H<sub>0</sub>) em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)).

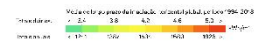
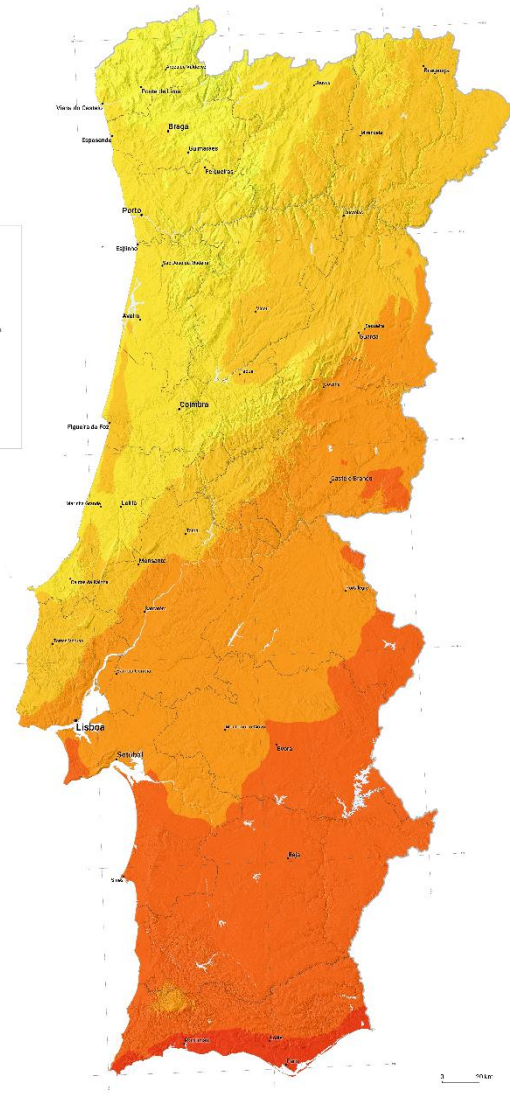
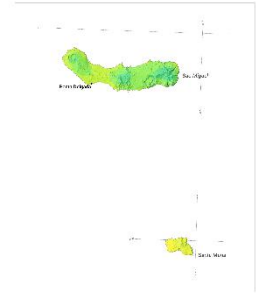
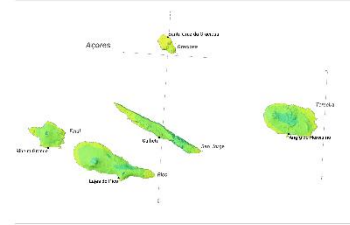
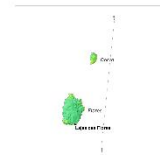
### INFORMAÇÃO GERAL

O Mapa de Recursos Solares Globais (H<sub>0</sub>) em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)). Este mapa mostra a irradiação normal global (H<sub>0</sub>) em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)).

Para obter mais e informações adicionais, visite: <http://portalenergia.mec.gov.pt>

### NOTAS

Este mapa mostra a irradiação normal global (H<sub>0</sub>) em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)). Este mapa mostra a irradiação normal global (H<sub>0</sub>) em Portugal, com base em dados de longo prazo (período de 30 anos (1981-2010)).



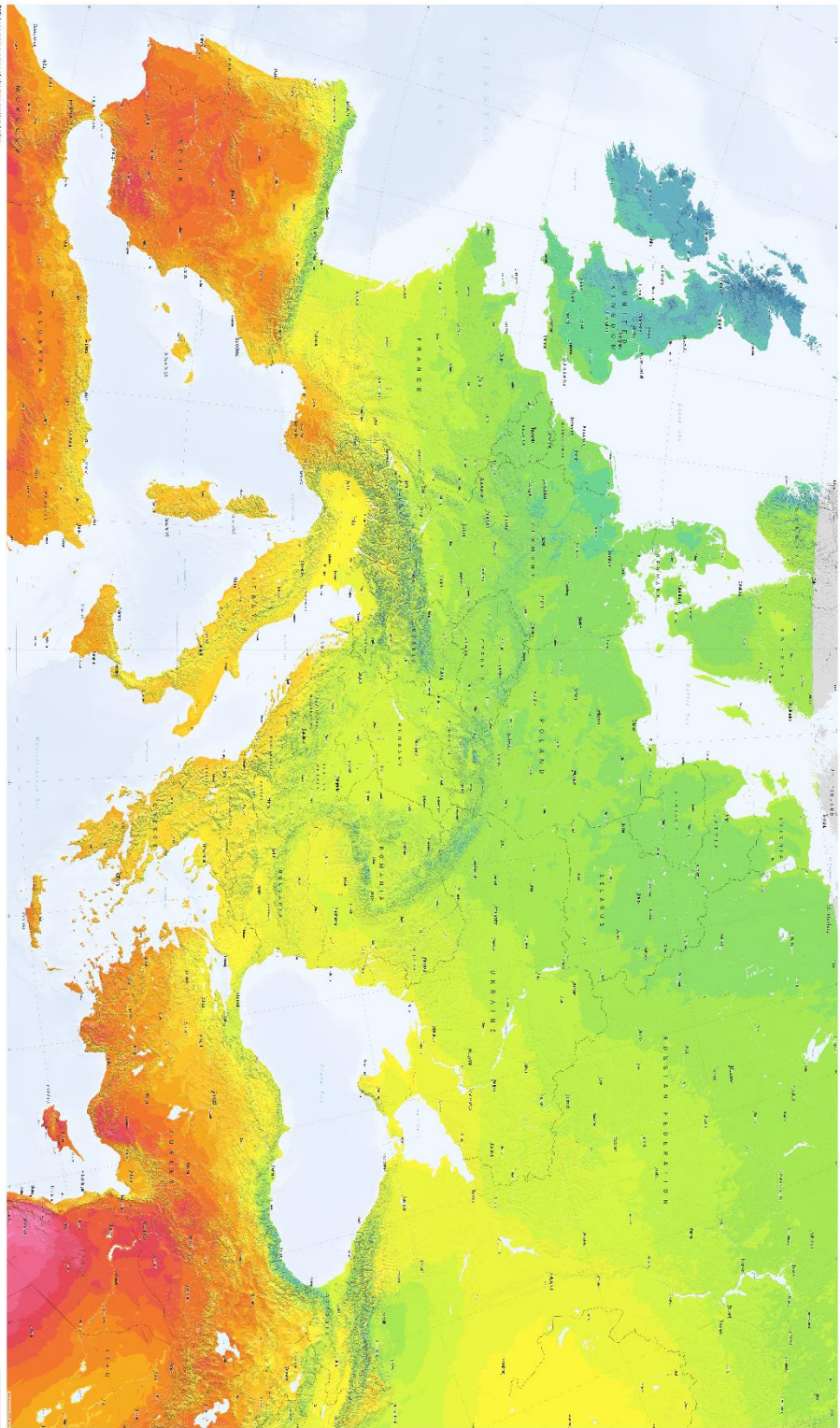
# DIRECT NORMAL IRRADIATION EUROPE

**DESCRIPTION:** This chart shows the distribution of direct normal irradiation (DNI) over Europe. The data is based on a 10-year period from 1998 to 2007. The map uses a color scale to represent the amount of DNI received at each location. The highest values are found in the southern part of the continent, particularly in the Mediterranean region, where DNI can reach up to 3000 kWh/m<sup>2</sup>/year. The lowest values are found in the northern part of the continent, where DNI is generally below 1000 kWh/m<sup>2</sup>/year. The map also shows the distribution of DNI by month, with the highest values occurring in the summer months (June, July, and August) and the lowest values occurring in the winter months (December, January, and February).

**UNIT:** kWh/m<sup>2</sup>/year

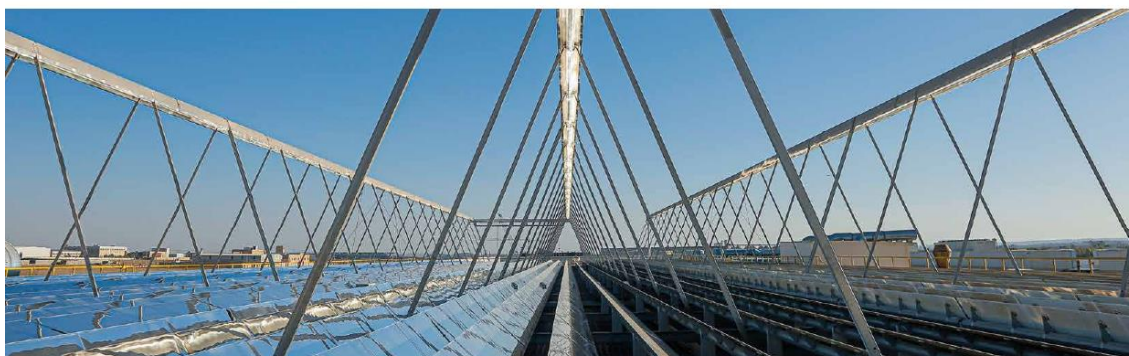
**SCALE:** 0 to 3000

**Legend:** 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000



## 7.2 Anexo 2 – Folha de dados do equipamento LF-11

INDUSTRIAL SOLAR  
renewables onsite

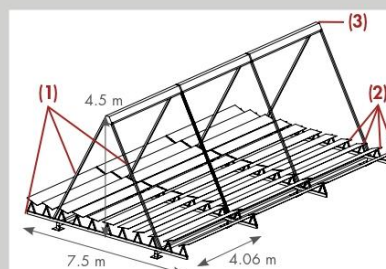


### ○ Folha de dados do coletor Fresnel LF-11

O coletor Fresnel LF-11 utiliza componentes de alta qualidade da indústria de CSP, como espelhos de vidro e tubos absorvedores à vácuo altamente eficientes. O coletor opera com segurança e mínima intervenção humana, garantindo um máximo aproveitamento do recurso solar.

### ○ Dados gerais de cada módulo

Largura do módulo: 7.5 m
Comprimento do módulo: 4.06 m
Superfície de refletores primários: 23 m <sup>2</sup>
Área ocupada por cada módulo: 30.45 m <sup>2</sup>
Altura do receptor sobre o refletor primário: 4.0 m
Altura do refletor primário sobre o solo: 0.5 m
Distância mínima entre filas paralelas: 0.2 m
Peso específico: 26.2 kg/m <sup>2</sup> (por área instalada)
Velocidade máxima do vento em funcionamento: 100km/h
Velocidade máxima do vento em posição de repouso: 180 km/h
Vida útil: +25 anos



- 1. Estrutura de suporte
- 2. Refletores primários
- 3. Receptor composto por um refletor secundário e um tubo de absorção à vácuo

### ○ Características de performance óptica

Eficiência óptica independente do ângulo (com refletores primários e secundários e tubo receptor de vidro 100% limpos)

- $\eta_0 = 0.686$  (para o sol em zênite)
- $\eta_{max} = 0.709$  (para o sol no ângulo de 5° transversal do zênite)

## ○ Características de performance térmica

O desempenho térmico é independente da velocidade do vento devido ao tubo de absorção à vácuo.

✓ **Temperatura máxima de operação: 400°C**

✓ **Perda térmica por área primária do refletor**

(de acordo com o DLR):

•  $u_1 = 0.032913 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

•  $u_4 = 1.4838 \times 10^{-9} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

✓ **Potência térmica (em condições de referência\*)**

• 13.82 kW por módulo padrão

• 601 W/m<sup>2</sup> em termos de área de superfície dos refletores primários

• 454 W/m<sup>2</sup> em termos de superfície total de instalação

\*condições de referência:

30°C temperatura ambiente

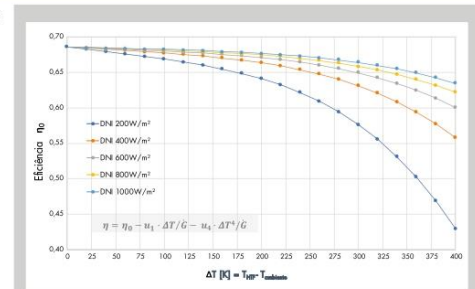
160°C temperatura de entrada

180°C temperatura de saída

900 W/m<sup>2</sup> irradiação direta normal

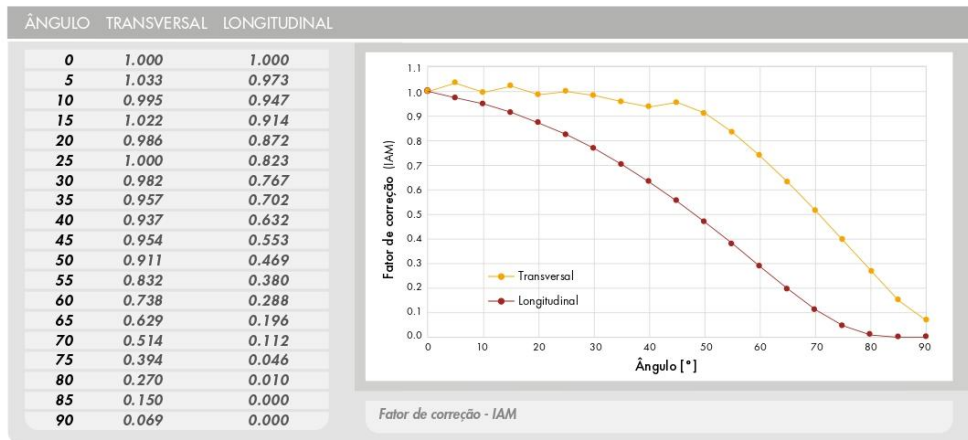
Ângulo azimute 90°

Ângulo zênite 30°



Curva característica do coletor Fresnel LF-11

## ○ Fator de correção (IAM – Modificador do ângulo incidente)



Fator de correção - IAM

## ○ Características adicionais

✓ Estrutura leve

✓ Posição de repouso para autolimpeza

✓ Boa acessibilidade para manutenção

✓ Sistema automático de calibração dos espelhos

✓ Alta eficiência de uso do solo

✓ Tela sensível ao toque HMI

✓ Sistema elétrico de acordo com normas de caldeiras de vapor

✓ Limpeza automática (opcional)

Industrial Solar GmbH

Basler Str. 115  
D-79115 Freiburg

T +49 761 767111-0  
F +49 761 767111-99

info@industrial-solar.de  
www.industrial-solar.de

## 7.3 Anexo 3 – Poder Calorífico Inferior, Fator de Emissão e Fator de Oxidação



### Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) 2013-2020

#### Poder Calorífico Inferior, Fator de Emissão e Fator de Oxidação

Valores a serem utilizados na determinação das emissões de CO<sub>2</sub> ao abrigo do regime CELE e de acordo com as regras estabelecidas no Regulamento (UE) N.º 601/2012 da Comissão, de 21 de junho, sendo aplicáveis a fluxos-fonte enquadráveis no nível metodológico 2a de PCI e FE, e no nível metodológico 2 de FO.

Especificamente para a biomassa deverá ser considerado a definição constante do ponto 20 do artigo 3.º do Regulamento (UE) N.º 601/2012.

Estes dados foram obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA) publicado em 2013, disponível no sítio de internet desta Agência, no link <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=150>

Combustível	Fator de Emissão (kg CO <sub>2</sub> /GJ)	Fator de Oxidação	Poder Calorífico Inferior	
Gás Natural	56,6	0,995	38,44	GJ/(Nm <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup> )
Fuelóleo	78,9	0,993	40,28	GJ/t
Gás Petróleo Liquefeito	63,1	0,995	48,45	GJ/t
Gasóleo	74,1	0,990	43,07	GJ/t
Gasolina	73,7	0,990	44,00	GJ/t
Coque Petróleo	100,8	0,990	32,20	GJ/t
Coque Carvão	102,0	0,980	29,40	GJ/t
Antracite	96,1	0,980	30,95	GJ/t
Carvão Betuminoso	94,1	0,992	25,88	GJ/t
Querosene	71,9	0,990	43,75	GJ/t
Biomassa	0*	1	15,6	GJ/t

\*\_Só aplicável quando a fração de biomassa no combustível seja igual ou superior a 97%.

13-12-2013

