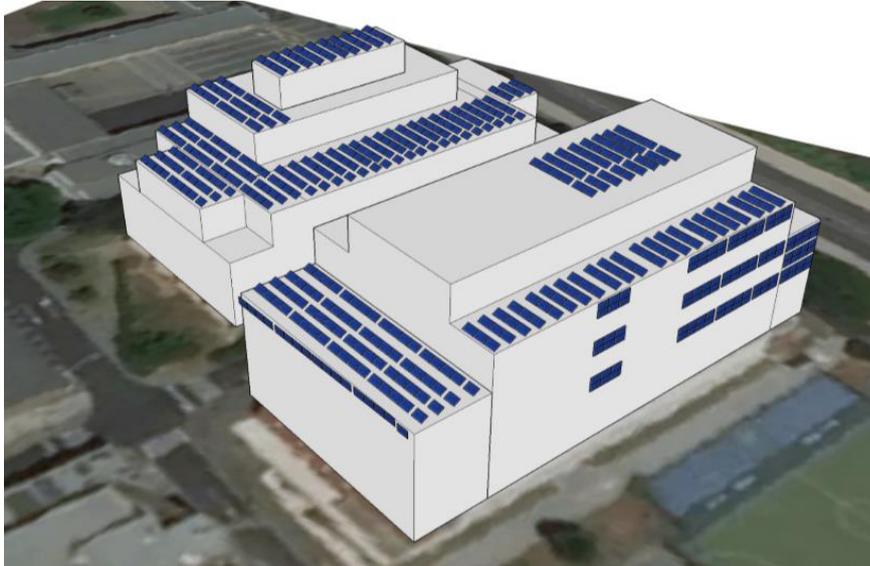




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação



Aplicação de painéis solares em edifícios públicos para autoconsumo fotovoltaico

ANA CATARINA CAVACO MONTEIRO
(Licenciada em Engenharia Electrotécnica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Electrotécnica – Ramo de Energia

(Documento Definitivo)

Orientadores:

Prof.^a Cristina Inês Camus

Prof. Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Júri:

Presidente: Professor Luís Manuel dos Santos Redondo

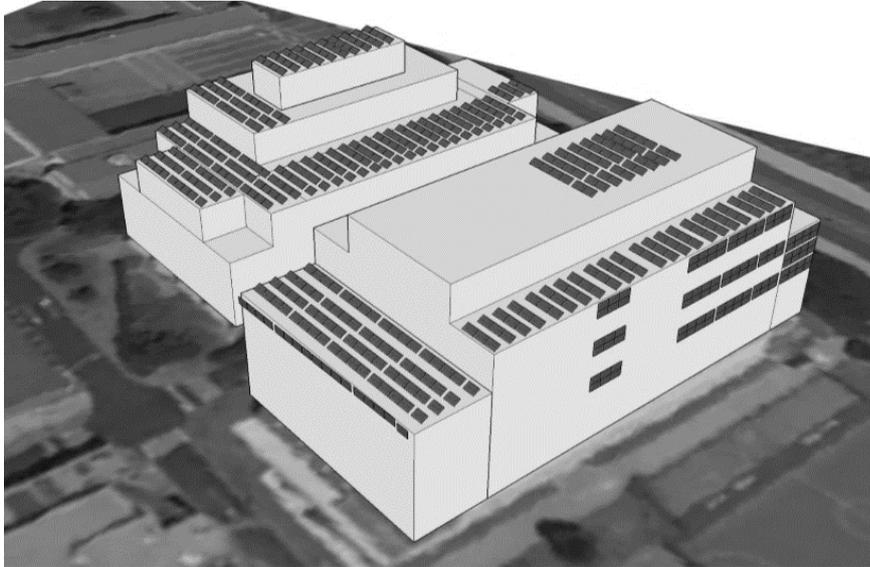
Vogais: Professor Jorge de Sousa

Professora Cristina Camus

Fevereiro de 2018



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação



Aplicação de painéis solares em edifícios públicos para autoconsumo fotovoltaico

ANA CATARINA CAVACO MONTEIRO
(Licenciada em Engenharia Electrotécnica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Electrotécnica – Ramo de Energia

(Documento Definitivo)

Orientadores:

Prof.^a Cristina Inês Camus
Prof. Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Presidente: Professor Luís Manuel dos Santos Redondo
Vogais: Professor Jorge de Sousa
Professora Cristina Camus

Fevereiro de 2018

Dissertação realizada sob orientação de:

Professora Cristina Inês Camus

Professora Adjunta da Área Departamental
de Engenharia de Eletrotécnica de Energia e Automação

Professor Eduardo Adelino Eusébio

Professor Adjunto da Área Departamental
de Engenharia de Eletrotécnica de Energia e Automação

I know not what tomorrow will bring

Fernando Pessoa

Lisboa 13/06/1888 – Lisboa 30/11/1935

Resumo

Nos dias de hoje é imperativo utilizar as energias renováveis como fonte para a produção de electricidade.

A modalidade de produção através de autoconsumo e o baixo custo destes equipamentos veio criar um mercado de aplicação de painéis fotovoltaicos. Uma unidade de produção em autoconsumo desperdiça quase toda a produção diária pois, caso não existam baterias, quase toda a energia gerada é vendida à rede. De modo reverter esta situação propõe-se a instalação destes painéis, não nas casas de habitação, mas sim nos locais de trabalhos, ou seja, edifícios públicos/privados ou que alberguem serviços, onde a produção fotovoltaica coincide com o pico do diagrama de carga da instalação, diminuindo a quantidade de energia vendida à rede.

Acrescenta-se ainda que a descentralização da geração eléctrica, evita as perdas de energia durante o seu transporte e distribuição, reduz o número de grandes instalações eléctricas, contribuindo significativamente para o sucesso das metas acordadas na Conferência de Paris que pretendem abrandar o ritmo das alterações climáticas.

Em resumo, o presente trabalho tem como principal objectivo estudar e avaliar os impactos económicos e energéticos da instalação de painéis fotovoltaicos em edifícios públicos, tendo estes revelando-se bastante satisfatórios, não só a nível de energia produzida, com 377 MWh por ano, mas também a nível económico, apresentando uma TIR de 14,5 % com um Pay-Back de 8 anos.

Palavras-chave: Energias renováveis, painéis fotovoltaicos, autoconsumo, avaliação económica

Abstract

Nowadays, it is imperative to use renewable energy as source for electricity production.

Energy production by self-consumption and lower costs photovoltaic panels has created a market for an increase in distributed PV generation. A self-consumption unit wastes almost all-day production if it doesn't match consumption and if there are no batteries in system. In this case, most part of the energy generated is sold to the public grid. To avoid this situation, these panels should be installed, not in habitation houses, but in people's workplace, that is, public/private buildings, or harbor services, where photovoltaic production coincides with the load diagram peak of the building, reducing the amount of energy sold to the public grid.

In addition, electricity generation decentralization avoids energy losses during transportation and distribution and reduces the number of large electrical plants, significantly contributing to the success of Paris Conference targets that are intended to slow down the climate changes.

In summary, the main objective of this work is to study and evaluate the economic and energy impacts of photovoltaic panels installation in public buildings, which are proving to be quite satisfactory, not only at the level of energy produced, with 377 MWh per year, but also at an economic level, with a 14.5% IRR with an 8-year Pay-Back.

Key-words: Renewable energies, photovoltaic panels, self-consumption, economic evaluation

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço à minha orientadora, Engenheira Cristina Camus e ao meu orientador Engenheiro Eduardo Eusébio pela sugestão do tema da minha Dissertação, por toda a motivação e disponibilidade mostradas ao longo do meu percurso académico e ajuda ao longo do desenvolvimento desta Dissertação.

Em segundo lugar quero agradecer a toda a minha família, em particular aos meus pais, Jorge Monteiro e Ana Maria Monteiro, pelo exemplo que sempre foram e sempre serão como pais e pela educação que me proporcionaram. Quero agradecer também à minha irmã, Ana Beatriz, por todas as brincadeiras e apoio que sempre me deu.

Em terceiro lugar quero agradecer ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa pela cedência dos dados de consumo ao longo de um ano bem como de todos os restantes factores necessários à realização desta Dissertação.

De seguida, quero agradecer ao meu namorado, Jaime Leitão, pela sua disponibilidade e pelo apoio que sempre me deu e continua a dar, e principalmente, pela paciência que teve comigo mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço também a todos os meus amigos Iselinanos que estiveram comigo desde o início do meu percurso académico, por toda a força que sempre me deram e por todas as aprendizagens que tivemos em conjunto.

Por último, mas nunca menos importante, agradeço às minhas amigas Inês Oliveira e Inês Sousa, por toda a amizade demonstrada ao longo dos anos.

Esta Dissertação é dedicada à minha Avó Catarina.

Índice Geral

Capítulo 1	21
1. Introdução.....	23
1.1. Enquadramento.....	23
1.2. Motivação.....	24
1.3. Objecto de Estudo	26
1.4. Estrutura do Documento.....	26
1.5. Notação.....	27
Capítulo 2	29
2. Estado da Arte	31
2.1. Breve História da Energia Fotovoltaica.....	31
2.2. Recurso Solar	39
2.2.1. Na Europa	39
2.2.2. Em Portugal	40
2.3. Tecnologias Fotovoltaicas	42
2.3.1. Tecnologias de Primeira Geração.....	42
2.3.2. Novas Tecnologias	44
2.3.2.1. Tecnologias de Alto Rendimento.....	44
2.3.2.2. Tecnologias de Concentração.....	45
2.3.3. Tecnologias de Segunda Geração.....	46
2.3.3.1. Células de Telureto de Cádmio, CdTe	46
2.3.3.2. Células de Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio, CIGS.....	47
2.3.3.3. Células de Silício Amorfo, a-Si	48
2.3.3.4. Células de Silício microcristalino, μ -Si	49
2.3.3.5. Células de Silício microamorfo, μa -Si	49
2.3.3.6. Células de Silício cristalino em vidro, CSG.....	50

Índice Geral

2.3.4. Tecnologias de Terceira Geração	50
2.3.4.1. Células sensibilizadas por corante.....	50
2.3.4.2. Células Orgânicas.....	51
2.3.4.3. Nanoantenas	51
2.3.5. Resumo Técnico	52
Capítulo 3	53
3. Metodologia	55
3.1. Introdução.....	55
3.1.1. Aplicações de Grande e Média Potência	55
3.2. Modelos Matemáticos.....	56
3.2.1. Modelo de um díodo e três parâmetros	57
3.2.1.1. Determinação do Modelo	57
3.2.1.2. Condições de Referência.....	59
3.2.1.3. Potência-pico, Rendimento e Factor de Forma	60
3.2.1.4. Potência Eléctrica.....	61
3.2.1.5. Desenvolvimento do Modelo	62
3.2.1.6. Variação da Curva I-V com a temperatura e com a radiação incidente	63
3.2.1.7. Incorporação da influência da temperatura e da radiação incidente	64
3.2.1.8. Método de cálculo simplificado da potência de saída.....	65
3.2.2. Modelo de um díodo e cinco parâmetros.....	66
3.2.3. Comparação entre os dois Modelos.....	68
3.3. Sistemas Fotovoltaicos	69
3.3.1. Módulos e Painéis.....	70
3.3.2. Seguidor de Potência Máxima e Inversor.....	71
3.4. Cálculo Energético.....	74
3.5. Autoconsumo	75

Índice Geral

3.5.1. Breve panorâmica das políticas e tecnologias de autoconsumo FV	75
3.5.2. Definições	75
3.5.2.3. Factores Importantes	77
3.5.3. Opções para o Aumento do Autoconsumo	79
3.5.3.1. Gestão da Procura (<i>Demand Side Management – DSM</i>)	79
3.5.3.2. Tecnologias de Armazenamento	80
3.6. Avaliação Económica	80
3.6.1. Definições Gerais	80
3.6.2. <i>Cash – Flow</i>	82
3.6.3. Valor Actual Líquido	82
3.6.4. Taxa Interna de Rentabilidade	83
3.6.5. <i>Pay – Back</i>	83
3.6.6. <i>Levelized Cost Of Energy</i>	83
3.3.7. Demonstração de Resultados	87
Capítulo 4	89
4. Caso de Estudo	91
5.2. Introdução	91
4.2. O Campus do ISEL	92
4.2.1. Localização Geográfica	92
4.2.2. Espaço Edificado	92
4.2.3. Ligação à Rede Eléctrica	94
4.4.1. Exposição Solar	97
4.2.4.1. Radiação e Temperatura estimadas	98
4.4.1. Perfil de Consumo do ISEL	100
4.4.1. Espaço Disponível e Modelização	102
4.3. Modelo Matemático Utilizado	104

Índice Geral

4.4. Especificações dos Equipamentos	104
4.4.1. Painéis FV	104
4.4.2. Esquemas de Ligações	105
4.4.3. MPPT e Inversor	106
4.4.4. Equipamentos Auxiliares	107
4.5. Perfil de Produção.....	108
4.6. Análise Económica	110
4.6.1. Autoconsumo e autonomia	110
4.6.2. Custos.....	111
4.6.3. Proveitos	112
4.6.3.1. Tarifário.....	112
4.6.3.2. Poupança	113
4.6.4. Rentabilidade	114
4.6.5. Avaliação a 25 anos	115
4.6.6. Simulação de alteração da composição do tarifário de acesso às redes públicas de electricidade.....	115
4.7. Análise e Comparação dos Resultados Obtidos	117
Capítulo 5	119
5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	121
5.1. Conclusões	121
5.2. Desenvolvimentos Futuros.....	122
Referências Bibliográficas.....	123
Apêndices	
Anexos	

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Irradiação anual em Portugal com módulos montados horizontalmente e com optimização.....	41
Tabela 3.1 – Valor do $VCIEG, t$ [87].....	86
Tabela 4.1 – Infra – Estruturas do ISEL [92]	94
Tabela 4.2 – Energia Consumida pelo ISEL em 2015	102
Tabela 4.3 – Especificações Eléctricas do Painei FV.....	105
Tabela 4.4 – Correntes e Tensões máximas obtidas pelos painéis FV	105
Tabela 4.5 – Especificações Eléctricas dos Inversores.....	106
Tabela 4.6 – Suportes para os Painéis FV	107
Tabela 4.7 – Energia produzida através das diferentes inclinações e orientações	108
Tabela 4.8 – Autonomia mensal e total	111
Tabela 4.9 – Investimento Inicial	111
Tabela 4.10 – Parcela variável da tarifa	114
Tabela 4.11 – Indicadores Económicos do projecto.....	115
Tabela 4.12 – Indicadores Económicos com alteração da composição tarifária.....	116

Índice de Tabelas

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Tipos e Formas de Energia Solar	23
Figura 2.1 – a) Edmond Becquerel; b) Primeiro Método de geração de foto-electricidade de Edmond Becquerel.....	31
Figura 2.2 – Dispositivo sólido de produção de electricidade através de exposição solar de W. G. Adams e R. E. Day	31
Figura 2.3 – Resultados típicos do efeito fotovoltaico [7], traduzido para português....	32
Figura 2.4 –O Efeito Fotovoltaico [7]	33
Figura 2.5 – Albert Einstein	34
Figura 2.6 – Gerald Pearson, Daryl Chapin e Calvin Fuller (da esquerda para a direita), inventores da Célula Solar.....	35
Figura 2.7 – Extracto da patente da primeira célula solar, registada em 1954.....	35
Figura 2.8 – Primeira aplicação de uma célula solar de silício foi na alimentação de uma linha telefónica da rede local, estado da Georgia, Estados Unidos da América, 1955...	36
Figura 2.9 – <i>Vanguard I</i> , o primeiro satélite com células solares lançado em Março de 1958	36
Figura 2.10 – a) ISS; b) <i>Mars Rover</i>	37
Figura 2.11 – a) Braço da Universidade de New South Wales, Austrália; b) Dick Swanson.....	38
Figura 2.12 – Irradiação anual na Europa [kWh/m ²] [24].....	40
Figura 2.13 –a) Irradiação anual em Portugal com módulos montados horizontalmente [kWh/m ²]; b) Irradiação anual em Portugal com módulos montados na inclinação óptima [kWh/m ²] [24]	41
Figura 2.14 – Diagrama de Carga de Portugal Continental (7 a 11 de Maio de 2016) [26]	42
Figura 2.15 – a) Célula FV de silício monocristalino; a) Célula FV de silício multicristalino.....	43
Figura 2.16 – Possível configuração de uma célula FV multijunção	44
Figura 2.17 – Sistema FV de concentração solar	45
Figura 2.18 – Sistema FV de CdTe	47
Figura 2.19 – Sistema FV de CIGS	48
Figura 2.20 – Sistema FV de Silício Amorfo	49
Figura 2.21 – Células sensibilizadas por corante	50
Figura 2.22 – Células Orgânicas	51

Índice de Figuras

Figura 3.1 – Central Fotovoltaica da Amareleja, Moura; vista geral [75].....	56
Figura 3.2 – Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica, modelo de um diódo e três parâmetros [3].....	57
Figura 3.3 – Variação da curva I-V com o valor do factor de forma [76].....	61
Figura 3.4 – Curva I-V para uma célula de silício típica em condições STC [76].....	63
Figura 3.5 – Variação da curva I-V com a temperatura [77].....	64
Figura 3.6 – Variação da curva I-V com a irradiância [77].....	64
Figura 3.7 – Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica, modelo de um diódo e cinco parâmetros [3]	67
Figura 3.8 – Hierarquia Fotovoltaica [83]	70
Figura 3.9 – Módulo Fotovoltaico	71
Figura 3.10 – Painel Fotovoltaico	71
Figura 3.11 – Esquema de um gerador fotovoltaico.....	72
Figura 3.12 – Rendimento típico de um Inversor em função da potência AC [3]	74
Figura 3.13 – Diagrama de carga (A + C) e Diagrama FV (B + C) com Autoconsumo (C) para um prédio [84]	76
Figura 3.14 – Sistema PV com uma potência baixa (esq.) e com uma potência alta (drt) que alimentam a mesma instalação [84].....	78
Figura 3.15 – Diferença do autoconsumo PV ao usar dados de 10 minutos (esq) e de uma hora (drt) [84]	78
Figura 3.16 – Efeito da suavização da carga (L) em 181 edifícios em comparação com um. A geração FV (P) também é ilustrada [84].....	79
Figura 4.1 – Fotografia Aérea sobre Lisboa Oriental [89]	92
Figura 4.2 – Fotografias do Campus do ISEL na década de 70 [90].....	93
Figura 4.3 – Fotografias do Campus do ISEL na actualidade [91]	93
Figura 4.4 – Modelo tridimensional do Campus do ISEL [92].....	94
Figura 4.5 – a) Posto de Transformação 1; b) Posto de Transformação 2	95
Figura 4.6 – Planta com Esquema Eléctrico em MT [93]	95
Figura 4.7 – a) Celas EDP; b) TP ₂ do PT ₁ ; c) QGBT e BC do PT ₁	96
Figura 4.8 – Planta e Esquema Eléctrico do PT ₁ [93]	96
Figura 4.9 – a) TP do PT ₂ ; b) QGBT do PT ₂	97
Figura 4.10 – Planta e Esquema Eléctrico do PT ₂ [93]	97
Figura 4.11 – Variação da inclinação e azimute solar anual em relação ao Campus do ISEL [94]	98

Índice de Figuras

Figura 4.12 – Irradiância total mensal a 90° de inclinação e orientada a Este em Lisboa [95]	99
Figura 4.13 – Temperatura ambiente média mensal em Lisboa [95]	99
Figura 4.14 – Diagrama de Carga de Janeiro de 2016.....	100
Figura 4.15 – Diagrama de Carga de Junho de 2016.....	101
Figura 4.16 – Medidas retiradas através do Google Maps do Edifício C a) vista de cima; b) vista Este	103
Figura 4.17 – Modelo 3D do Edifício C.....	103
Figura 4.18 – Exemplo do Esquema de Ligações Edifício A, Sul 33°, sistema 2x9	106
Figura 4.19 – Energia Produzida pelo conjunto dos módulos de acordo com a inclinação e orientação.....	109
Figura 4.20 – Energia diária produzida em Janeiro e o diagrama de carga num dia de semana e num dia de fim de semana	110
Figura 4.21 – Energia diária produzida em Junho e o diagrama de carga num dia de semana e num dia de fim de semana	110
Figura 4.22 – Rentabilidade do projecto	115

Índice de Figuras

Lista de Acrónimos

§ AC	<i>Alternate Current</i>
§ AM	<i>Air Mass</i>
§ APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
§ AT	Alta Tensão
§ BC	Baterias de Condensadores
§ BSF	<i>Back Surface Field</i>
§ BT	Baixa Tensão
§ CIEG	Custos de Interesse Económico Geral
§ CIGS	Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio
§ CPV	<i>Concentration Photovoltaics</i>
§ CSG	Silício cristalino em vidro
§ DC	<i>Direct Current</i>
§ DSM	<i>Demand Side Management</i>
§ EDP	Energias de Portugal
§ ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
§ FV	Fotovoltaico
§ IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
§ IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
§ IET	<i>Institute for Energy and Transport</i>
§ ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
§ ISS	<i>International Space Station</i>
§ IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
§ LCOE	<i>Levelized Cost Of Energy</i>
§ MAT	Muito Alta Tensão
§ MIBEL	Mercado Ibérico de Electricidade
§ MPP	<i>Maximum Power Point</i>
§ MPPT	Seguidor de Potência Máxima ou <i>Maximum Power Point Tracker</i>
§ MT	Média Tensão
§ NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
§ NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
§ PT	Posto de Transformação
§ PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
§ QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
§ REN	Redes Energéticas Nacionais
§ RESP	Rede Eléctrica Portuguesa de Serviço Público
§ STC	<i>Standard Test Conditions</i>
§ TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
§ TP	Transformador de Potência
§ UE	União Europeia
§ UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
§ VAL	Valor Actual Líquido

Lista de Acrónimos

Lista de Símbolos

A	Área da célula	m^2
a-Si	Silício amorfo	
CdTe	Telureto de Cádmio	
E	Energia Produzida	Wh
E_a	Energia Produzida Anualmente	Wh
f	Frequência	Hz
FF	Factor de Forma	
G	Irradiância Incidente	W/m^2
G^r	Irradiância Incidente em condições STC	W/m^2
GaAs	Arseneto de Gálio	
I	Intensidade de corrente	A
I_0	Intensidade de corrente de saturação do díodo	A
I^r_0	Intensidade de corrente de saturação do díodo em condições STC	A
I_{CC}	Intensidade de corrente de curto-circuito	A
I^r_{CC}	Intensidade de corrente de curto-circuito em condições STC	A
I_D	Intensidade de corrente que se fecha através do díodo	A
I_{MP}	Intensidade de corrente de máxima potência	A
I^r_{MP}	Intensidade de corrente de máxima potência em condições STC	A
InP	Fosfato de Índio	
K	Constante de Boltzmann	J/K
$L(t)$	Consumo instantâneo de energia	Wh
$M(t)$	Parte instantaneamente sobreposta dos perfis de geração e carga	Wh
m	Factor de idealidade do díodo	
n	Número de períodos de tempo considerados	
P	Potência Activa	W
$P(t)$	Geração instantânea de energia FV	Wh
P_{DC}	Potência DC	W
P^r_{DC}	Potência DC em condições STC	W
P_{MP}	Ponto de máxima potência	W
P_p	Potência-pico	W
P_v	Preço de Venda da Energia	€/Wh
q	Carga eléctrica do electrão	C
Q	Potência Reactiva	VA
R	Resistência	Ω
R_b	Receita Bruta	€
R_s	Resistência representante da queda de tensão até aos contactos	Ω
R_{sh}	Resistência representante da corrente de fuga	Ω
S	Potência Aparente	VA _r
$S(t)$	Energia de e para a unidade de armazenamento	Wh
SnO ₂	Óxido de Estanho	
T	Temperatura Absoluta	K
T^r	Temperatura Absoluta da célula em condições STC	K
TiO ₂	Dióxido de Titânio	
V	Tensão Simples	V
V_{ca}	Tensão de Circuito Aberto	V
V^r_{ca}	Tensão de Circuito Aberto em condições STC	V
V_{MP}	Tensão de máxima potência	V

Lista de Símbolos

V_{MP}^r	Tensão de máxima potência em condições STC	V
V_T	Potencial Térmico	V
V_T^r	Potencial Térmico em condições STC	V
Δt	Intervalo de tempo considerado	h
ε	Hiato do semicondutor	eV
η	Rendimento da célula	
η^r	Rendimento da célula em condições STC	
η_{inv}	Rendimento do Inversor	
η_{MPPT}	Rendimento do MPPT	
η_{total}	Rendimento Total	
θ^r	Temperatura da célula em condições STC	°C
μ -Si	Silício microcristalino	
μa -Si	Silício microamorfo	
φ_{AC}	Autoconsumo	
φ_{At}	Autonomia	

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo é efectuada a abordagem à temática. Realiza-se o enquadramento da problemática em estudo, enunciando os pontos essenciais que motivaram a realização deste trabalho. Enuncia-se qual o objecto de estudo implícito. É também especificada a organização do documento, bem como a notação utilizada.

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A quantidade de energia que provem do Sol é imensa. Esta energia é suficientemente grande para gerar as correntes oceânicas e as atmosféricas, o ciclo de evaporação e condensação da água que devolve a água fresca aos rios e aos lençóis freáticos. Esta energia gera também forças destruidoras como furacões e tornados. As reservas mundiais de petróleo estão estimadas em três triliões de barris. Estes contêm $1,7 \times 10^{22}$ J, energia esta que o Sol entrega em 1,5 dias à Terra. A quantidade de energia usada anualmente, pelos Seres Humanos, ronda os $4,6 \times 10^{20}$ J, sendo esta a energia entregue pelo Sol em cada hora [1].

Esta energia pode dar origem a outras formas de energia, seja em combustíveis químicos (fotossíntese), a calor (uso directo) e directamente para a produção de electricidade através da excitação de electrões numa célula fotovoltaica.

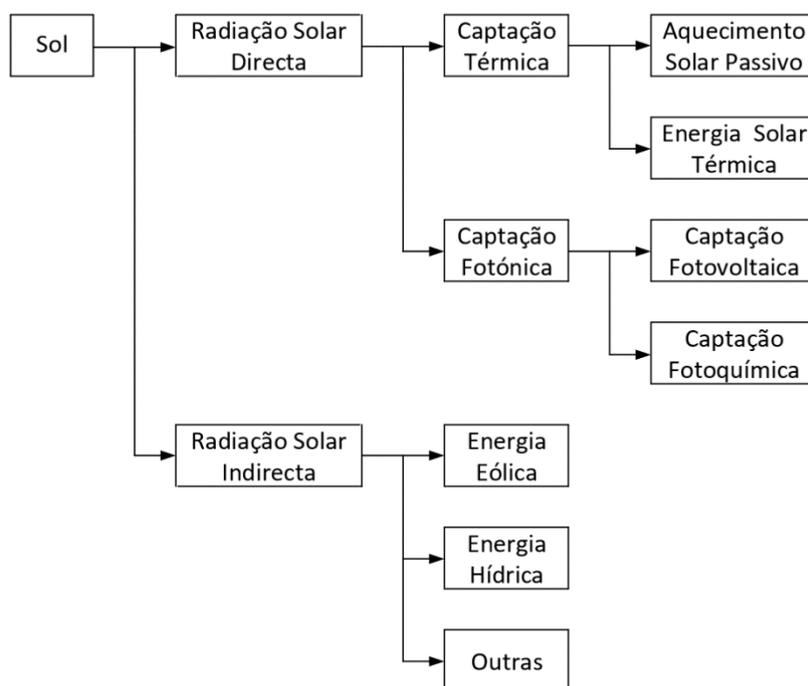


Figura 1.1 – Tipos e Formas de Energia Solar

Introdução

Antigamente, o desenvolvimento de conversores de energia fotovoltaica em electricidade tinha por base o silício cristalino. As células fotovoltaicas mais comuns no mercado são constituídas por um material semicondutor (silício) ao qual são adicionadas substâncias, chamadas dopantes, de tal forma que criam um meio favorável ao estabelecimento do efeito fotovoltaico. Existe assim a conversão directa da potência de radiação solar em potência eléctrica DC.

Para descrever todo o sistema em si é necessário começar do início. A célula fotovoltaica é o elemento mais pequeno de todo o sistema fotovoltaico (FV). Estas células geram 1,5 W DC, aproximadamente, correspondendo a uma tensão de 0,5 V e a uma corrente de 3 A, também valores aproximados. De modo a obter potências maiores, estas células são ligadas em série e/ou em paralelo, formando módulos FV. Estes obtêm uma potência gerada na ordem dos 100 W a 200 W. A anexação destes módulos dá origem aos painéis FV. Se o intuito é realizar a ligação destes painéis à rede eléctrica é necessário um conversor DC / AC (inversor) de modo a transformar a tensão contínua gerada em tensão alternada, existente na rede eléctrica.

O silício é um material caro e o rendimento da conversão não é muito elevado. Também é necessário ter em conta que a luz solar só está disponível entre o nascer e o pôr-do-sol, e, que no Inverno este tempo é ainda mais reduzido. Nestas condições, é natural que o desenvolvimento deste tipo de conversão de energia tenha obtido alguns obstáculos. A verdade é que a indústria fotovoltaica tem dado uma resposta muito positiva a estes grandes desafios. Observam-se no mercado o surgimento de novas tecnologias, que pretende ganhar destaque neste meio das energias renováveis.

No âmbito de tecnologias fotovoltaicas, as tecnologias de filmes finos estão a começar a ganhar mercado, sendo cada vez mais competitivas e tornando-se uma forte concorrência para os painéis de silício. Outra vertente desta tecnologia é a integração da mesma em edifícios, sendo cada vez mais uma realidade.

1.2. Motivação

A exploração da energia fotovoltaica está em constante crescimento, sendo que cada vez mais tem vindo a ser implementada, não só no mundo como em Portugal. Como é uma tecnologia ainda em fase de desenvolvimento, tem ainda muito para oferecer à Humanidade estando a potência instalada em expansão, levando ao

Introdução

desenvolvimento não só de grandes parques fotovoltaicos como de pequenos consumidores-produtores.

Mesmo estes consumidores-produtores necessitam de transformar a potência gerada pelos painéis, DC, em potência dita “utilizável” nas nossas casas, AC. Sendo por isso, o projecto e a capacidade de autoconsumo determinantes para a instalação eléctrica.

Existe a necessidade crescente do renovável, uma vez que as fontes tradicionais de energia, como o petróleo, são finitas. Estas fontes de energia renováveis são também as maiores aliadas ao combate do efeito de estufa, causado pela queima de combustíveis fósseis. Por outro lado, os combustíveis fósseis, são em grande medida provenientes de países exteriores à União Europeia (UE), tornando-a assim economicamente vulnerável. Dada a inexistência de fontes petrolíferas na UE e em Portugal em larga escala, a dependência externa é enorme. A solução deste problema passa, inevitavelmente, pelas energias renováveis.

A implementação de painéis solares em edifícios tem vindo a crescer, nomeadamente para aquecimento de águas. No entanto, os produtores-consumidores têm, cada vez mais um papel importante no perfil da rede eléctrica, uma vez que a implementação de painéis solares para a produção de electricidade tem crescido consideravelmente nos últimos anos.

Para tornar o autoconsumo mais eficaz é necessário que grande parte da energia produzida pelos painéis seja consumida pela instalação. Tal não acontece uma vez que o pico solar não ocorre no mesmo período que o pico do diagrama de carga de uma família típica.

Esta dissertação tem como principal objectivo o estudo da implementação de painéis solares, para autoconsumo, no local onde as pessoas se encontram quando o pico solar ocorre, ou seja, os seus locais de trabalho, sendo o caso de estudo o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

1.3. Objecto de Estudo

Numa primeira fase será analisado a solução para o cálculo da potência de saída de um módulo FV, sendo estudado qual o melhor método a aplicar para a solução pretendida.

Depois deste estudo inicial será elaborada a solução matemática, através do modelo escolhido. Esta solução matemática será implementada em Excel ou em Matlab que permite, através de programação, calcular a potência de saída disponível.

Por último, será realizado o estudo económico, de forma a determinar se a implementação dos painéis fotovoltaicos, no local anteriormente determinado, é ou não economicamente viável.

1.4. Estrutura do Documento

O documento apresentado encontra-se dividido em cinco capítulos principais, sendo eles a Introdução, o Estado da Arte, a Metodologia, o Caso de Estudo e por fim Conclusões e Desenvolvimentos Futuros. No início de cada um deles é realizado um pequeno resumo correspondente a cada capítulo. Estes pretendem enquadrar o leitor na temática desta dissertação iniciando com uma abrangência do problema em si.

Antes do desenvolvimento do documento são apresentados três índices, o geral, o de tabelas e o de figuras onde é possível consultar o nome respectivo e a página correspondente. São também apresentadas duas listas, a de acrónimos e a de símbolos.

No primeiro capítulo é realizado o enquadramento da tecnologia fotovoltaica, indicada a motivação por detrás desta dissertação e o objecto de estudo da mesma. É enunciada estrutura do documento escrito, bem como a notação utilizada no mesmo.

No segundo capítulo é realizado o Estado da Arte. Este é feito através de artigos científicos e documentos, sendo exposta a actualidade da temática da energia fotovoltaica bem como a sua relevância para o documento aqui realizado.

No terceiro capítulo é realizada uma análise teórica ao modelo matemático da representação dos conversores fotovoltaicos. São exibidas as formas de cálculo retiradas do circuito equivalente de uma célula fotovoltaica, para desta forma se poder calcular a potência de saída do módulo. Seguidamente é definido o conceito de autoconsumo

Introdução

fotovoltaico bem como a autonomia do mesmo. Por último, é descrita a avaliação económica a efectuar.

No quarto capítulo é apresentado o caso de estudo, através da obtenção de resultados de cálculo de potência de saída do módulo FV. Posteriormente estes resultados são comparados e analisados, dando origem aos resultados obtidos.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões retiradas do estudo elaborado e descrito neste documento e indicados possíveis desenvolvimentos futuros para a instalação.

No final do documento são presentes os apêndices e os anexos referentes ao mesmo.

1.5. Notação

Neste documento a numeração das expressões matemáticas é apresentada através de “Eq.” Seguido de dois algarismos sendo que o primeiro diz respeito ao capítulo em questão e o segundo à ordem sequencial das expressões. A mesma numeração foi dada às tabelas e às figuras. Seguidamente ao índice de tabelas e ao índice de figuras é apresentada a lista de acrónimos e símbolos. É também importante referir que as expressões estrangeiras estão apresentadas em formato itálico e que as citações encontram-se apresentadas entre aspas.

As referências bibliográficas estão apresentadas de acordo com a norma do *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE, sendo estas apresentadas através de parênteses rectos []. As siglas referentes aos acrónimos encontram-se apresentadas entre parênteses curvos ().

O presente texto encontra-se escrito de acordo com o Acordo Ortográfico de 1945.

Introdução

Capítulo 2

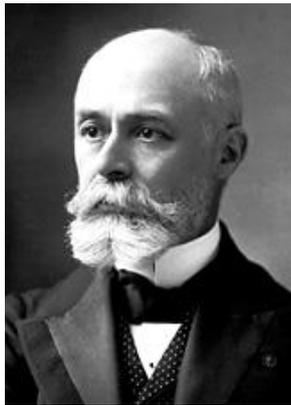
Estado da Arte

Neste capítulo é realizado o Estado da Arte. Este é feito através da pesquisa realizada a documentos e artigos científicos. É exposta a actualidade da temática da energia fotovoltaica bem como a sua relevância para o documento aqui realizado.

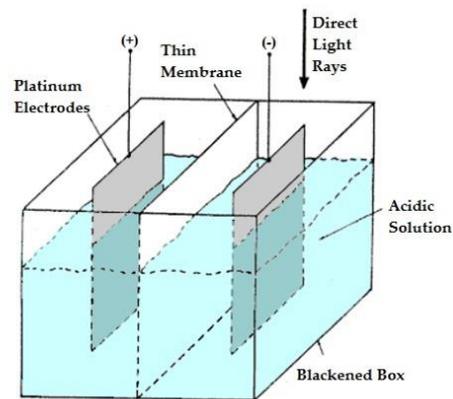
2. Estado da Arte

2.1. Breve História da Energia Fotovoltaica

Edmond Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico em 1839. Verificou que placas metálicas (prata ou platina), mergulhadas num eletrólito, produziam uma ligeira diferença de potencial, mas apenas quando expostas à luz solar [4].



a)



b)

Figura 2.1 – a) Edmond Becquerel; b) Primeiro Método de geração de foto-electricidade de Edmond Becquerel

Em 1877 foi produzido o primeiro dispositivo sólido de produção de electricidade através da exposição solar. Para tal foram utilizadas as propriedades fotocondutoras do selénio. Este dispositivo foi construído por dois norte americanos, W. G. Adams e R.E. Day [5]. Este dispositivo tratava-se de um filme de selénio depositado num substrato de ferro, tinha também um segundo filme de ouro semitransparente, que servia de contacto frontal. No entanto, este possuía uma baixa eficiência, na ordem dos 0,5 %.

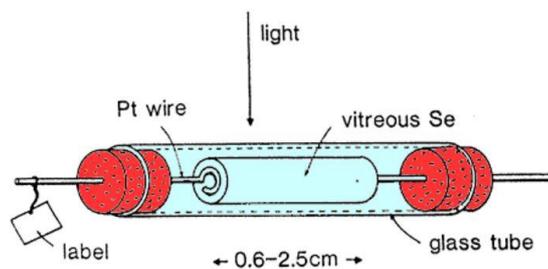
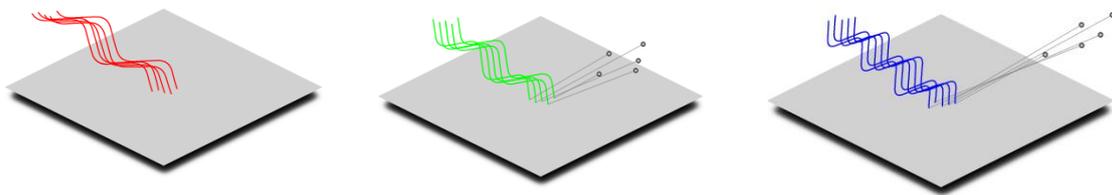


Figura 2.2 – Dispositivo sólido de produção de electricidade através de exposição solar de W. G. Adams e R. E. Day

Estado da Arte

Para o grande desenvolvimento da energia fotovoltaica foi necessário esperar pelos desenvolvimentos científicos ocorridos na primeira metade do século XX, nomeadamente com a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein em 1905, com o qual foi galardoado com o Nobel da Física em 1921 [6].

O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez em 1887, por Heinrich Hertz, quando realizava experiências com um *spark-gap generator*. No entanto, foi o físico americano Robert Milikan que descobriu que a luz com frequências inferiores a um determinado valor não ejectam fotoelectrões da superfície metálica, independente da intensidade da fonte luminosa, sendo este resultado completamente inesperado. Esta é denominada por Frequência de *Threshold*.



A luz vermelha não remove fotoelectrões (mesmo que seja muito brilhante)

A luz verde ejecta fotoelectrões (mesmo que seja muito fraca)

A luz azul ejecta foto electrões com mais energia do que a luz verde (mesmo que seja muito fraca)

Figura 2.3 – Resultados típicos do efeito fotovoltaico [7], traduzido para português

No entanto, estes resultados não são na verdade tão típicos como seria de esperar uma vez que a maioria dos elementos têm frequências de Threshold na região dos raios ultravioleta. Os materiais com frequências mais baixas são todos semicondutores sendo que alguns têm esta frequência na zona infravermelha do espectro electromagnético.

A luz, pelo modelo da física clássica, é descrita como uma onda electromagnética. Esta natureza da luz foi confirmada aquando da aplicação em fenómenos ópticos, como a reflexão, a refacção e a difracção. No entanto, esta explicação não era compatível com o fenómeno fotoelétrico uma vez que este não prevê a relação energia-frequência, mas sim uma relação da amplitude de energia.

Como se não fosse suficiente, os fotoelectrões parecem surgir da superfície. Quando a intensidade da luz é baixa, a taxa de energia entregue à superfície é lenta, tal deveria fazer com que o tempo de captura da energia pelo electrão também fosse lento. No entanto, não é o que acontece. No momento em que a luz com a frequência

apropriada atinge a superfície, pelo menos um electrão aparecerá imediatamente. Nenhuma onda mecânica se comporta desta maneira, mas a luz sim.

Com esta problemática apareceu uma nova ideia. Existem dois factores que afectam directamente a energia cinética máxima dos fotoelectrões que são a frequência da radiação e o material da superfície atingida. Tal como ilustrado na Figura 2.4, a energia aumenta de forma linear com a frequência. Também é possível verificar que todas as curvas possuem a mesma inclinação, sendo igual à Constante de Planck. Como tal, demonstra-se que a relação energia-frequência é igual em todos os materiais.

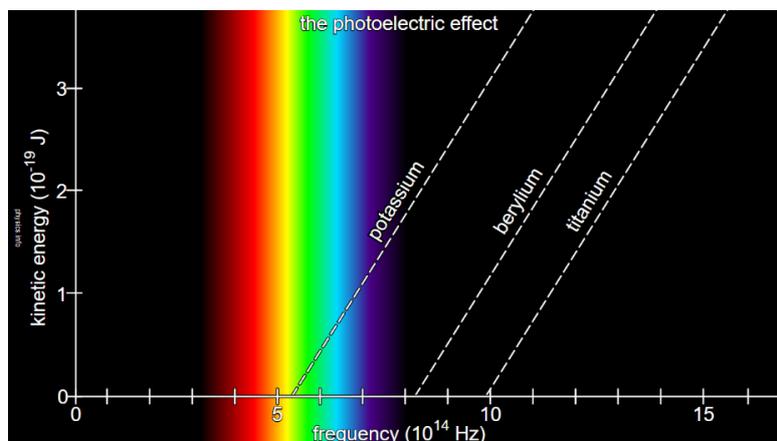


Figura 2.4 –O Efeito Fotovoltaico [7]

Em 1905, Albert Einstein percebeu que a luz comportava-se como se fosse composta por pequenas partículas e que a energia destas era proporcional à frequência de radiação electromagnética de que fazia parte. Estas partículas foram inicialmente chamadas de quanta, sendo mais tarde denominadas por fótons [7].

“In fact, it seems to me that the observations on "black-body radiation", photoluminescence, the production of cathode rays by ultraviolet light and other phenomena involving the emission or conversion of light can be better understood on the assumption that the energy of light is distributed discontinuously in space. According to the assumption considered here, when a light ray starting from a point is propagated, the energy is not continuously distributed over an ever increasing volume, but it consists of a finite number of energy quanta, localised in space, which move without being divided and which can be absorbed or emitted only as a whole.” [7]

Albert Einstein, 1905

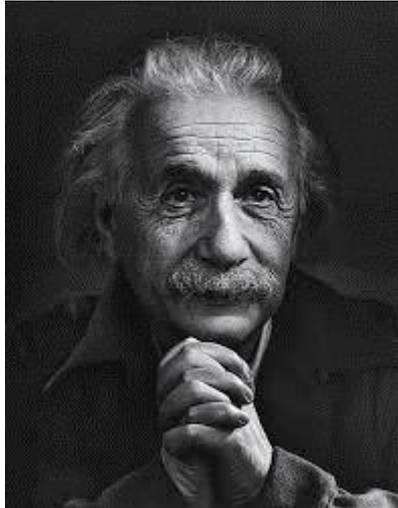


Figura 2.5 – Albert Einstein

Em Março de 1953, Calvin Fuller, químico dos *Bell Laboratories* nos Estados Unidos, desenvolveu um novo processo para introduzir impurezas nos cristais de silício. Estas impurezas permitiam controlar as propriedades eléctricas do silício. Foi assim produzida uma barra de silício com uma pequena concentração de gálio (cargas positivas “tipo p”). Seguidamente a barra foi mergulhada num banho de lítio quente, pelo físico Gerald Pearson, criando na superfície da barra uma zona com excesso de electrões livres (cargas negativas “tipo n”). Na região onde o silício “tipo n” fica em contacto com o silício “tipo p” cria-se um campo eléctrico permanente, sendo esta zona denominada “junção p-n”.

Ao expor a amostra à luz solar, Pearson verificou que esta produzia uma corrente eléctrica, tendo sido inventada a primeira célula solar de silício. [8]

Após o sucesso da amostra, Pearson contactou com o engenheiro Daryl Chapin. Este ultimo estudava soluções para substituir as baterias eléctricas das redes telefónicas remotas. Chapin ensaiava células solares de selénio, já conhecidas há muito, embora com resultados muito inferiores aos esperados. Com a nova célula, foi possível verificar uma eficiência na conversão da energia perto dos 4%, muito superior às células de selénio que possuíam uma eficiência muito inferior a 1%.

Estado da Arte



Figura 2.6 – Gerald Pearson, Daryl Chapin e Calvin Fuller (da esquerda para a direita), inventores da Célula Solar

Continuado o estudo da nova célula rapidamente foram encontrados sérios obstáculos. Para solucionar estes problemas foram feitas diversas alterações ao modelo original, sendo a mais importante a substituição do gálio por arsénio seguido por uma difusão de boro, sendo que revelaram uma eficiência recorde de 6%.

Após estes resultados e depois da autorização do Pentágono, a primeira célula solar foi apresentada na reunião anual da *National Academy of Sciences*, Washington, e anunciada numa conferência de imprensa a 25 de Abril de 1954. Os resultados foram publicados no *Journal of Applied Physics* [9] e foi também registada a patente [10].

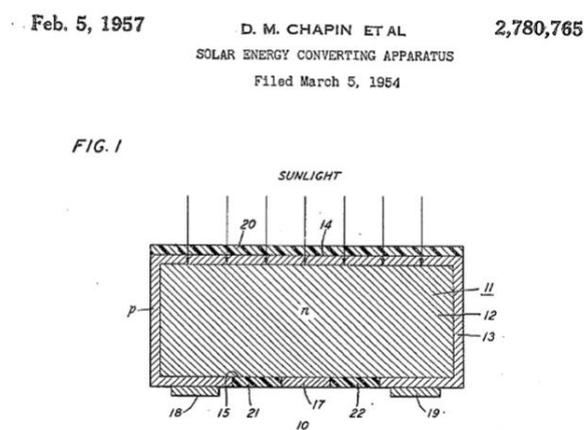


Figura 2.7 – Extracto da patente da primeira célula solar, registada em 1954

A primeira aplicação desta nova célula foi numa linha telefónica isolada de uma cidade do estado da Geórgia, Estados Unidos da América. Os resultados foram bastante satisfatórios, no entanto, o painel rapidamente ficou coberto por fezes de pássaros [11].

Estado da Arte



Figura 2.8 – Primeira aplicação de uma célula solar de silício foi na alimentação de uma linha telefónica da rede local, estado da Georgia, Estados Unidos da América, 1955

Após algum tempo de funcionamento, rapidamente se compreendeu que as células solares possuíam um custo demasiado elevado, sendo a sua utilização apenas competitiva economicamente em aplicações específicas. Estas aplicações têm como principal foco produzir electricidade no espaço.

No início, os satélites utilizavam pilhas químicas ou pilhas baseadas em isótopos radioactivos. Só com grande esforço é que as células solares foram incorporadas pela NASA, mas apenas como *back-up*, na *Vanguard I*, lançado em Março de 1958. A pilha química deste falhou, mas o painel com cerca de 100 cm² manteve o transmissor (5 mW) a funcionar durante oito anos. Apenas após esta demonstração de durabilidade e de fiabilidade associadas ao baixo peso do painel, o programa espacial norte-americano adoptou as células solares, como fonte de energia essencial nos seus satélites.

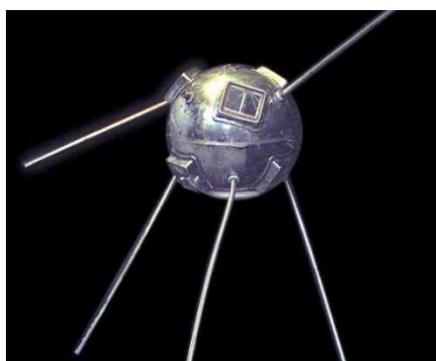


Figura 2.9 – *Vanguard I*, o primeiro satélite com células solares lançado em Março de 1958

Não foi só o programa espacial norte-americano que incorporou células solares, o programa soviético também o fez, como fonte de energia inesgotável para os seus

satélites. Dois meses após o lançamento da *Vanguard I*, foi a vez do lançamento do *Sputnik-3*, pertencente à União Soviética. Hoje em dia, todos os veículos espaciais estão equipados com células solares, como por exemplo a *International Space Station (ISS)* e o *Mars Rover*.



a)



b)

Figura 2.10 – a) ISS; b) *Mars Rover*

Foram desenvolvidas células cada vez mais eficientes para a utilização no espaço, levando assim a alguns avanços tecnológicos importantes na década de sessenta [12] e [13].

Um dos avanços mais significativos foi a denominada “célula violeta”, dos *COMSAT Laboratories* [14]. Esta possuía uma zona “tipo n” significativamente mais fina do que as células anteriores, permitindo eliminar a zona inactiva existente anteriormente à superfície (melhorando a resposta na luz azul). A célula violeta obteve uma eficiência de 13,5%, um recorde para a altura. Destaque ainda para a utilização, na superfície posterior à célula, de um campo eléctrico *Back Surface Field (BSF)* (melhorando a resposta na luz vermelha) [15], e a texturização da superfície frontal para reduzir as perdas por reflexão [16].

Nos anos sessenta surgiram também as primeiras aplicações terrestres para células solares, nomeadamente o caso das células *SOLAREX*, uma empresa de Josph Lindmeyer. Esta empresa começou a produzir aplicações de células solares para boias de navegação e sistemas de telecomunicações remotos. Este tipo de aplicações era muito específico, principalmente devido à inexistência de fontes de energia nas proximidades.

No ano de 1973 houve uma crise petrolífera que gerou imenso pânico pelo mundo. Esta crise levou a um súbito investimento em programas de investigação de

modo a reduzir os custos de produção das células solares. Algumas tecnologias financiadas nestes programas mudaram completamente o paradigma da energia solar, como é o caso do silício multicristalino [17].

Em termos de eficiência, a universidade de New South Wales, Austrália, conseguiu pela primeira vez ultrapassar a barreira dos 20 % [18] enquanto Dick Swanson e a sua equipa conseguiu atingir 25% de eficiência em células com concentrador [19].



Figura 2.11 – a) Brazão da Universidade de New South Wales, Austrália; b) Dick Swanson

A crescente consciência da ameaça das alterações climáticas, nomeadamente devido à queima de combustíveis fósseis, levou a um grande investimento em programas de financiamento desta forma de energia, nos anos oitenta e noventa. Os poderes políticos perceberam que a criação de um grande mercado fotovoltaico não poderia apenas basear-se no desenvolvimento tecnológico, mas teria de basear-se numa economia de escala: quantas mais células forem fabricadas menor será o custo unitário [20].

Em 1998 foi atingindo o recorde de eficiência, com células em silício monocristalino, sendo este de 24,7% [21]. Em 2003, o *Fraunhofer Institut for Solar Energy* anunciou uma eficiência de 20% para células de silício multicristalino [22]. As células de multijunção, que consistem na sobreposição de várias camadas de células semicondutoras, cada uma dimensionada e otimizada para um determinado comprimento de onda de radiação solar. Estas células permitem atingir rendimentos na ordem dos 34% [23].

Após mais de meio século desde a construção da primeira célula solar de silício, a tecnologia fotovoltaica atingiu uma maturidade que pode antecipar um futuro bastante promissor para esta forma de energia nas próximas décadas. É também importante não esquecer que hoje em dia é dada muita importância ao desenvolvimento do mercado de electricidade solar sustentável que, nos próximos anos, possa levar esta energia a muitos lares do planeta.

2.2. Recurso Solar

2.2.1. Na Europa

O recurso solar disponível na Europa varia significativamente com a latitude dos países. Nos países mais a sul, como Portugal e Itália, a irradiação solar anual chega a atingir valores perto do dobro dos países do norte da Europa, como a Noruega e a Dinamarca.

Como era de prever, Portugal apresenta uma das melhores condições, a nível Europeu, para a implementação de painéis fotovoltaicos com a finalidade de produção de electricidade. Na actualidade, a Alemanha é o país europeu que possui a maior capacidade de potência instalada em painéis fotovoltaicos, apresentado valores de irradiação muito inferiores aos de Portugal.

Na Figura 2.12 é apresentada a irradiação anual para a Europa, medida em kWh/m². É de notar que esta figura é apresentada com valores orientados a sul e com a inclinação óptima, uma vez que permite captar o máximo de radiação solar anualmente. Na mesma figura e, na mesma escala de cores (localizada do lado direito da escala de irradiação), está representada a utilização anual da potência-pico [kWh/kWp] prevista para sistemas FV fixos, com inclinação óptima e com um factor de desempenho de 0,75 [24].

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

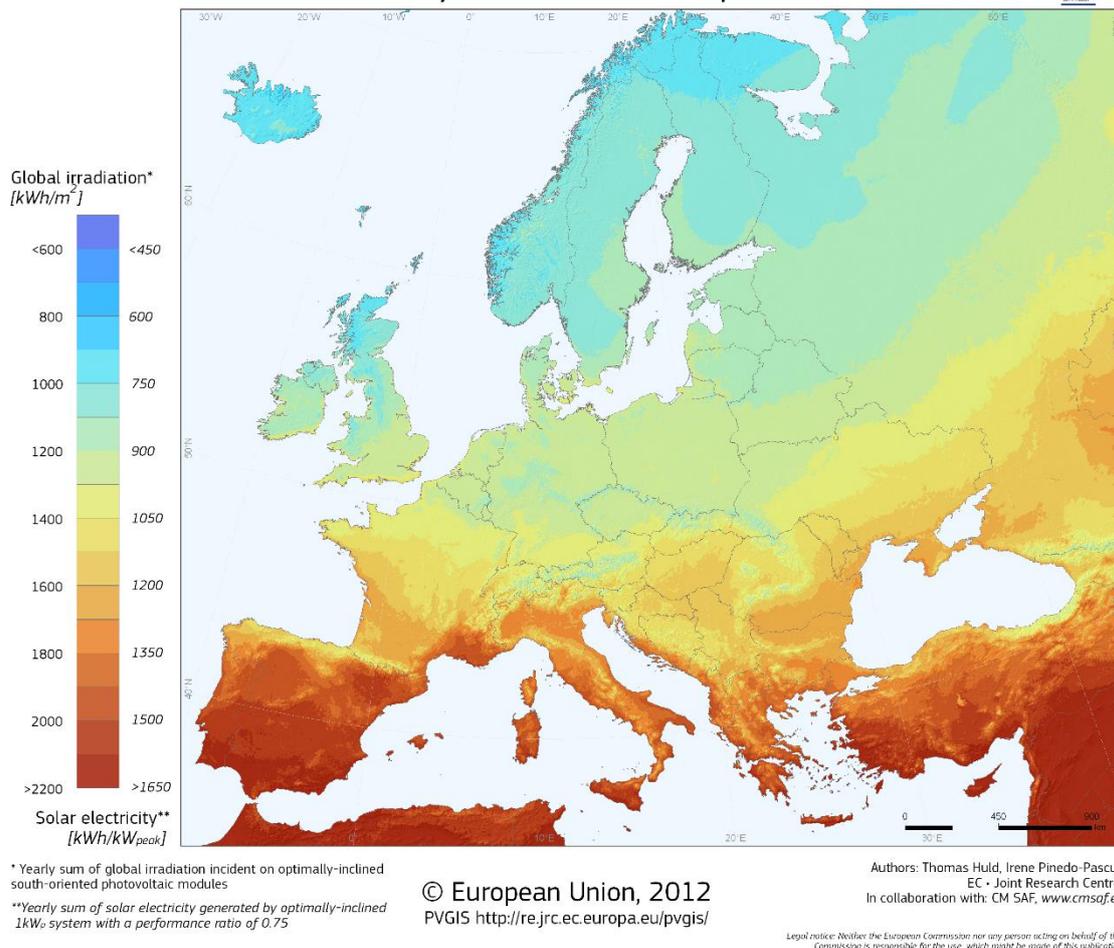
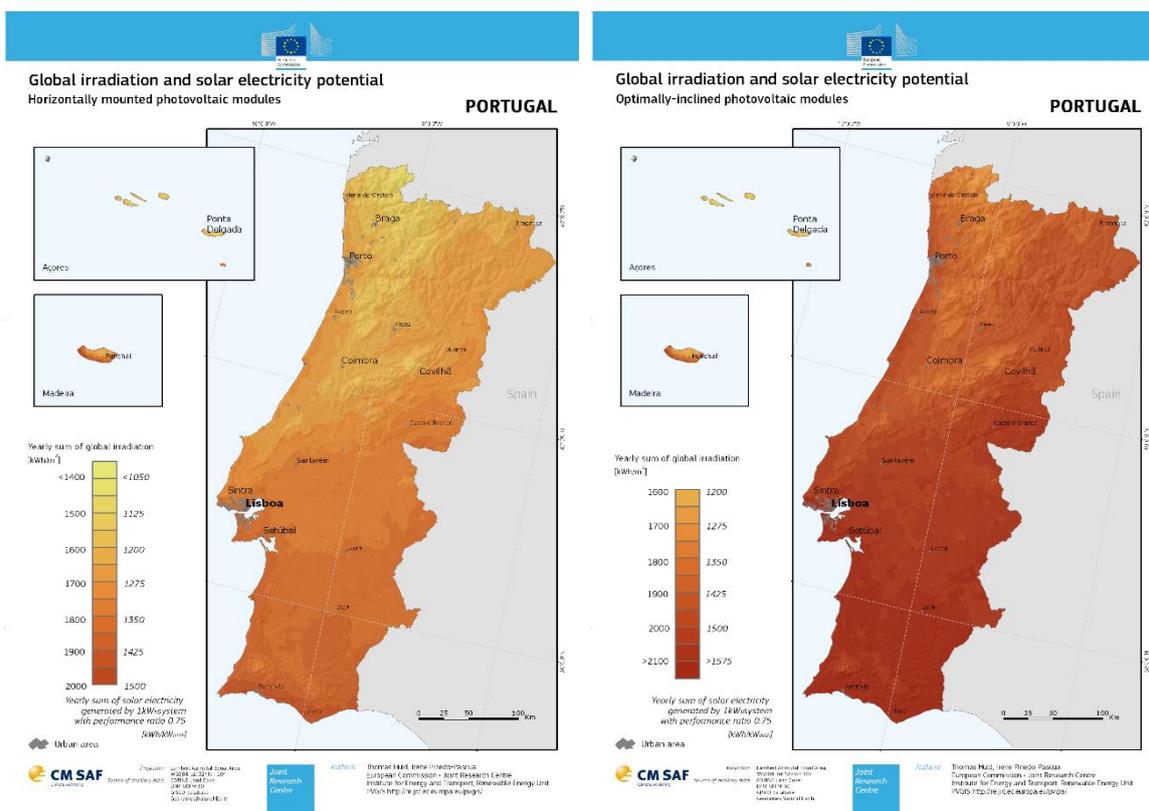


Figura 2.12 – Irradiação anual na Europa [kWh/m²] [24]

2.2.2. Em Portugal

Analisando as Figuras 2.13 a) e 2.13 b) é possível concluir que, em Portugal, com uma superfície que possua orientação óptima, a irradiação solar é superior à superfície colocada horizontalmente, tal é confirmado também através da Tabela 2.1.

Existem vários estudos científicos que realizaram cálculos sobre os valores de inclinação que maximizam a energia eléctrica produzida pelos painéis fotovoltaicos. Este valor é de, sensivelmente, 33° para todo o território continental de Portugal. Para uma melhor visualização apresentam-se as Figuras 2.13 a) e 2.13 b).



a)

b)

Figura 2.13 –a) Irradiação anual em Portugal com módulos montados horizontalmente [kWh/m²]; b) Irradiação anual em Portugal com módulos montados na inclinação óptima [kWh/m²] [24]

Tabela 2.1 - Irradiação anual em Portugal com módulos montados horizontalmente e com otimização

Cidades	Irradiação Fig. 2.13 a) [kWh/m ²]	Irradiação Fig. 2.13 b) [kWh/m ²]
Braga	1400	1900
Lisboa	1650	2000
Faro	1850	2100

A potência instalada, de painéis fotovoltaicos em Portugal, no final de 2016 era de 439 MW, tendo uma variação de 10 MW face ao ano de 2015 [25]. Em Maio de 2016, mais concretamente entre as 4:45h de dia 7 e as 17:45h do dia 11, Portugal alcançou uma meta importante no universo das energias renováveis. Durante estes dias, ou seja, 107 horas consecutivas, Portugal usou apenas energias renováveis, eólica, solar e hídrica para produção de electricidade, tal como ilustrado na Figura 2.14 [26].

Estado da Arte

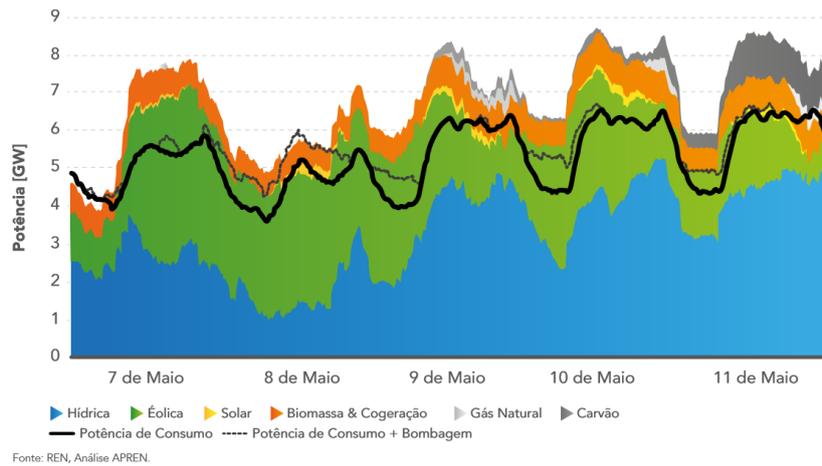


Figura 2.14 – Diagrama de Carga de Portugal Continental (7 a 11 de Maio de 2016) [26]

2.3. Tecnologias Fotovoltaicas

Os painéis FV convertem directamente energia proveniente do Sol em energia eléctrica. Estes sistemas são constituídos por um conjunto de módulos FV de material semiconductor aliado a um sistema de suporte. Este sistema de suporte inclui a cablagem inerente, o inversor que permite a ligação à instalação do edifício e à rede eléctrica, ou a bateria e regulador de carga (obrigatório em sistema isolado).

O desenvolvimento dos sistemas FV deu-se, maioritariamente, baseado em células de silício, que integram as tecnologias de Primeira Geração. Recentemente, as tecnologias de filmes finos ganharam importância. Esta importância deve-se ao seu processo de fabrico, que permite reduzir os custos de fabrico uma vez que existe uma poupança significativa no custo da matéria-prima. Esta tecnologia de filmes fino integra as tecnologias de Segunda Geração. Em fase de investigação, encontram-se as tecnologias de Terceira Geração que prometem desenvolvimentos significativos a médio prazo.

2.3.1. Tecnologias de Primeira Geração

As denominadas tecnologias de Primeira Geração ou Tecnologias Tradicionais têm por sua base as células de silício cristalino, estando repartidas em três tipos principais:

- Silício monocristalino;
- Silício multicristalino ou policristalinos;
- Fitas de silício.

Os painéis monocristalinos são denominados deste modo uma vez que são fabricados através de seccionamentos de um único cristal. Tal produção acarreta mais custos, uma vez que produzir células através de um único cristal requer tecnologia de ponta e um grande gasto energético, no entanto apresentam um tempo de vida útil superior a 25 anos. Estes painéis apresentam uma maior eficiência com rendimentos a rondar perto dos 16 %. Estes painéis possuem uma cor azul escuro e são mais finos que os policristalinos, sendo por isso, de fácil reconhecimento.

Os painéis multicristalinos ou policristalinos são assim denominados pois o seu processo de fabrico é menos rigoroso que os painéis monocristalinos, sendo as células feitas de vários cristais de silício. Como tal, os custos de produção são mais baixos, tornando-se assim no painel preferencial para o consumidor. Estes apresentam um rendimento cerca de 12 %, no entanto têm um tempo de vida útil inferior aos monocristalinos apresentando também uma cor mais irregular.

Ambos os tipos de painéis podem ser reciclados, sendo tal bastante importante para o meio ambiente uma vez que são uma chave para o crescimento sustentável. Os painéis de silício possuem dois métodos diferentes, o térmico e o mecânico, sendo a aplicação de cada um dependente da quantidade de silício presente nos painéis. Esta reciclagem tem uma eficiência próxima dos 98%.

Estes painéis, no entanto, possuem um grande inconveniente, caso estejam parcialmente cobertos (sombreamento), pode provocar o corte de todo o circuito eléctrico inerente aos painéis, sendo para tal importantíssimo a existência de díodos de bypass. É também de notar que estes painéis não possuem capacidade de configuração estética.

As fitas de silício envolvem um processo de produção em que o material fundido é puxado de modo a formar uma fita [27] a [31].



a)



b)

Figura 2.15 – a) Célula FV de silício monocristalino; a) Célula FV de silício multicristalino

2.3.2. Novas Tecnologias

2.3.2.1. Tecnologias de Alto Rendimento

Existem outros elementos, para além do silício, que têm sido utilizados na construção de células FV, no entanto, apresentam princípios de funcionamento semelhantes. Destes destacam-se os compostos de Arseneto de Gálio (GaAs) e o Fosfato de Índio (InP). Estes são utilizados em células denominadas de junção simples com eficiências superiores a 20 %. Estes materiais possuem uma desvantagem, nomeadamente a escassez dos mesmos na superfície terrestre e, como consequência, o seu elevado custo. Como tal, estes possuem aplicações maioritariamente aeroespaciais, como satélites ou sondas espaciais, no entanto, nos últimos tempos tem-se verificado um aumento da tecnologia de GaAs na utilização em autoconsumo FV [32] a [38].

Descobriu-se, mais tarde, que uma configuração multijunção destes materiais atingem eficiências superiores. Este tipo de células dá resposta ao problema da energia não absorvida pela primeira camada de células. Esta energia é perdida porque ou está associada a um fóton com energia insuficiente ou porque o excesso de energia não transferida se perde em forma de energia térmica.

De forma a ultrapassar estes problemas, a célula FV possui diversas camadas com diferentes bandas de energia. Nas células feitas à base dos compostos anteriormente mencionados é possível obter rendimentos na ordem dos 35 %. Naturalmente, este tipo de células aumentam a produção da energia eléctrica, com um senão, possuem um custo de produção superior. [2]

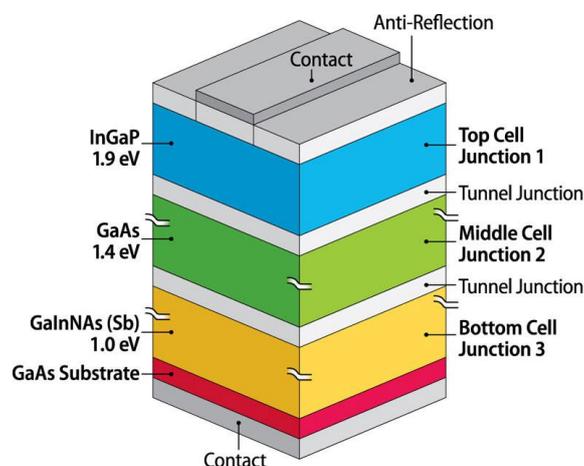


Figura 2.16 – Possível configuração de uma célula FV multijunção

2.3.2.2. Tecnologias de Concentração

Existe um outro tipo de sistemas FV completamente diferentes dos convencionais. Estes são os chamados *Concentration Photo Voltaics* (CPV), em português, concentradores fotovoltaicos. Estes sistemas usam um sistema óptico com lentes *Fresnel* ou espelhos de modo a concentrar a radiação solar num ponto. Estes podem atingir rendimentos na ordem dos 25 %.

Estes sistemas possuem uma particularidade, só funcionam com a radiação que provem directamente do Sol, a denominada radiação directa, não aproveitando a radiação difusa. Devido ao dito anteriormente, é necessário que estes sistemas possuam *tracking*, de modo a estarem sempre na direcção do Sol, encarecendo ainda mais o sistema em si. A radiação solar incidente em Portugal apresenta uma grande componente de radiação directa, nomeadamente no sul do país, tornando o nosso país um dos mais indicados para a aplicação destes tipos de conversores. [2]

Estes sistemas concentradores podem ser de baixa ou de alta concentração. Os sistemas de baixa concentração são caracterizados por atingirem relações de concentração perto de 20 vezes, por usarem módulos FV convencionais (silício ou filmes finos) e de serem equipados com sistemas de seguimento solar a um eixo. Os sistemas de alta concentração são caracterizados por conterem relações de concentração na ordem das 500 vezes, possuírem células FV de alto rendimento (células baseadas em multijunções) e com sistemas de seguimento a dois eixos.

Estes sistemas de concentração possuem dois grandes objectivos. O primeiro é aumentar consideravelmente o rendimento da conversão solar e o segundo é diminuir o custo de produção da electricidade. Esta diminuição de custo de produção da electricidade é conseguida através do uso de equipamentos de dimensão inferior, no entanto, mais dispendiosos por unidade [39].



Figura 2.17 – Sistema FV de concentração solar

2.3.3. Tecnologias de Segunda Geração

A indústria viu-se obrigada a procurar alternativas mais baratas para a produção de células FV, tanto ao nível dos materiais como da produção. O silício cristalino é muito dispendioso de obter, sendo o seu custo representante quase de metade do custo final do módulo FV, também possui uma disponibilidade na Natureza muito limitada, aumentando consideravelmente o seu custo. Existe também uma preocupação no processo de purificação do silício para o grau solar, o que possui custos também bastante elevados, nomeadamente a nível energético.

Estes materiais são adequados à utilização dos chamados filmes finos (*Thin-films*), uma vez que a espessura do semicondutor pode ser reduzida para valores perto do micron (aproximadamente duzentas vezes inferior às células FV de silício). Este material é depositado em substratos com uma vasta área, de metal, vidro ou plástico. Esta particularidade permite adapta-los à produção em larga escala. Os materiais mais utilizados são o Telureto de Cádmio (CdTe), o Silício Amorfo (a-Si) e o Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio (CIGS).

Estas tecnologias de Segunda Geração têm-se desenvolvido bastante nos últimos anos, com um crescimento um tanto acentuado. Tal deve-se ao facto de apresentarem custos de produção inferiores e de possuírem alguma maleabilidade e flexibilidade nos processos de fabricação.

No entanto, estas tecnologias apresentam algumas desvantagens competitivas. Estas desvantagens prendem-se com o pouco conhecimento dos materiais utilizados e com a juventude da mesma tecnologia. A principal desvantagem refere-se à eficiência da conversão destas células que apresenta valores inferiores às tecnologias convencionais de silício.

2.3.3.1. Células de Telureto de Cádmio, CdTe

Esta é uma tecnologia de filme-fino utilizada inicialmente em calculadoras. Este possui assim uma cor acastanhada ou azul escura. Esta tecnologia apresenta baixos custos de produção em larga escala em comparação com os painéis de silício, apresentando também um rendimento na ordem dos 10 %. Este tipo de painéis têm a vantagem de serem bastante compatíveis com a luz solar, ou seja, absorvem a luz solar próxima do comprimento de onda ideal, capturando energia nos comprimentos de onda

mais baixos do que com painéis de silício. No entanto, existem alguns problemas relacionados com esta tecnologia, ou seja, a pouca disponibilidade na Natureza do telúrio e a toxicidade do cádmio.

Embora o cádmio seja um dos produtos mais tóxicos encontrados na Natureza, estes painéis podem ser reciclados, sendo tal muito importante para o desenvolvimento sustentável desta tecnologia. Estes são reciclados através de banhos químicos de forma a separar os diferentes materiais semicondutores, permitindo uma recuperação de 95 % dos componentes. Nos últimos tempos houve um aumento significativo de tecnologias que permitissem a reciclagem destes painéis.

Tal como nos painéis de silício é necessário a utilização de um diodo de bypass, caso exista sombreamento parcial ou total do painel, uma vez que tal provoca sobretensões no mesmo. É importante referir também que estes painéis não possuem capacidade de configuração a nível estético [27] e [40] a [43].



Figura 2.18 – Sistema FV de CdTe

2.3.3.2. Células de Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio, CIGS

As células fotoelétricas produzidas através dos compostos baseados nos disseleneto de cobre e índio (CuInSe_2 ou CIS) e disseleneto de cobre, gálio e índio (Cu(InGa)Se_2 ou CIGS) são semelhantes às fabricadas com tecnologia Cdte.

Não apresentavam, até há alguns anos, uma grande facilidade na sua produção a larga escala, tendo levado muitos anos a atingir uma capacidade de produção rentável para as empresas. Nos últimos 20 anos foram desenvolvidas técnicas de produção a baixo custo baseado no processo a vácuo, sendo já uma técnica bastante implementada e utilizada na indústria. Estes possuem uma eficiência na ordem dos 12 % e são muitas vezes escolhidos pelos consumidores devido à sua aparência estética uma vez que

possuem uma vasta gama de cores disponíveis. No entanto, estes possuem também problemas ligados à pouca abundância dos materiais na Natureza.

Em relação ao seu funcionamento quando existe sombreamento, possuem uma melhor performance, uma vez que apenas a parte coberta deixa de produzir energia resultante assim de melhores rendimentos, mesmo em caso de sombreamento. No que toca à sua reciclagem, possuem uma semelhante aos painéis CdTe, através de banhos químicos [27], [42], [43] e [44] a [58].



Figura 2.19 – Sistema FV de CIGS

2.3.3.3. Células de Silício Amorfo, a-Si

O silício amorfo é a forma não cristalina do silício, é também a tecnologia mais bem desenvolvida de todas as tecnologias de filmes finos. Foi muito utilizada em pequenas calculadoras, no entanto, nos últimos anos alimenta algumas casas particulares e prédios em localizações distantes. A *United Solar Systems Copr.* (UniSolar) foi a pioneira nesta tecnologia.

Os painéis de silício amorfo possuem uma eficiência na ordem dos 7 %, tal deve-se ao facto de existir o Efeito de Staebler-Wronski. Este efeito manifesta-se nas primeiras horas da manhã que reduz o rendimento de 10 % para 7 %. Para reduzir este efeito foi utilizado gás silano, de modo a aumentar a eficiência de 7 % para 9 %.

A principal vantagem desta tecnologia prende-se com os baixos custos de produção, tornando a célula competitiva no mercado. Outra grande vantagem tem a ver com a estrutura do material em si. O silício amorfo possui imensos defeitos naturalmente, assim outros defeitos, como impurezas, não afectam tão drasticamente o material. Uma vantagem construtiva deste material é que este pode ser produzido numa grande variedade de formas e tamanhos (redondo, triangular). Tal torna a tecnologia muito apelativa aos consumidores uma vez que pode ser fabricado conforme a

necessidade de cada um. Alguns painéis amorfos possuem tecnologia resistente a sombreamento ou múltiplos circuitos dentro das células, sendo esta uma grande vantagem uma vez que permite melhorar a produção de energia. São também muito robustos e resistentes e possuem uma maior tolerância ao calor.

Tal como mencionado anteriormente, uma grande desvantagem destes painéis é a eficiência. Outra grande desvantagem prende-se com o pouco tempo de vida útil destes sistemas, embora seja bastante difícil de determinar uma vez que a tecnologia continua em constante evolução [49] a [53].



Figura 2.20 – Sistema FV de Silício Amorfo

2.3.3.4. Células de Silício microcristalino, μ -Si

Para tentar reduzir a desvantagem da eficiência do silício amorfo, uma alternativa é a utilização do silício microcristalino. Este é uma variante do silício amorfo e é obtido através da diluição do silício em hidrogénio, este processo confere-lhe uma microestrutura com propriedades mistas entre silício amorfo e o cristalino. Com isto, consegue-se manter a eficiência mais elevada e constante do silício cristalino, com o baixo custo de produção do silício amorfo.

O processo de fabrico envolve excitação a frequências elevadas o que levanta problemas e dificuldades técnicas a nível do fabrico, inviabilizando, actualmente, esta tecnologia [2] e [54].

2.3.3.5. Células de Silício microamorfo, μa -Si

Esta tecnologia tem células formadas pela junção de células de silício microcristalino com células de silício amorfo, estando viradas para o Sol. Estas possuem ligações com o objectivo de melhorar a utilização do espectro solar. Existem, actualmente, diversas empresas interessadas nesta tecnologia híbrida, com valores de rendimento na ordem dos 11 % [2] e [65].

2.3.3.6. Células de Silício cristalino em vidro, CSG

A tecnologia *Crystalline Silicon on Glass* (CSG) tem como matéria prima o gás silano (SiH_4). Uma camada muito fina é depositada directamente sobre o vidro, sendo, de seguida, cristalizada através do aquecimento. Esta tecnologia tem um rendimento na ordem dos 8 % [2] e [56] a [60].

2.3.4. Tecnologias de Terceira Geração

Existe um conjunto de novas tecnologias FV denominadas por Tecnologias de Terceira Geração. Estas tecnologias encontram-se numa fase de desenvolvimento e de investigação, no entanto, estas possuem um elevado potencial de comercialização.

2.3.4.1. Células sensibilizadas por corante

As células sensibilizadas por corante, *dye-sensitized* em inglês, são também conhecidas por células *Gratzel*. São bastante atractivas uma vez que são mecanicamente resistentes, fabricadas em material de baixo custo e com grande capacidade de processamento.

Estas são compostas por um eléctrodo de Dióxido de Titânio (TiO_2) com um corante obtido através de um composto metálico de Ruténio ou Osmónio, sobre um vidro coberto por Óxido de Estanho (SnO_2), dopado com Flúor, um eléctrodo de Platina e um electrólito. Estas células possuem uma produção muito barata, não estando ainda definido o futuro desta tecnologia, principalmente devido à dificuldade de manter o electrólito vedado do ar circundante [2] e [61] a [64].

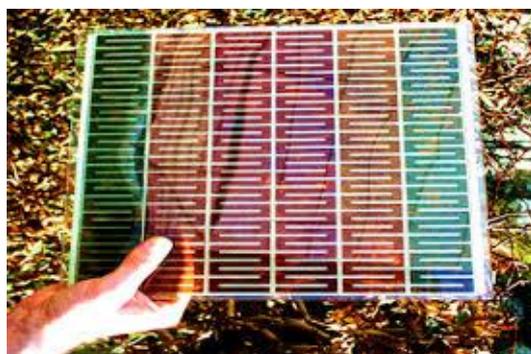


Figura 2.21 – Células sensibilizadas por corante

2.3.4.2. Células Orgânicas

As células orgânicas estão no início da sua produção para venda a clientes. Esta tecnologia utiliza pigmentos orgânicos como doadores e receptores de electrões e buracos, em vez de junções p – n. Possuem uma eficiência na ordem dos 7 – 8 % e têm a vantagem de serem constituídas por materiais económicos, como os polímeros. No entanto, esta tecnologia apresenta uma desvantagem clara uma vez que necessita de um grande espaço para níveis de potência de saída semelhantes às tecnologias concorrentes [2] e [65] a [69].

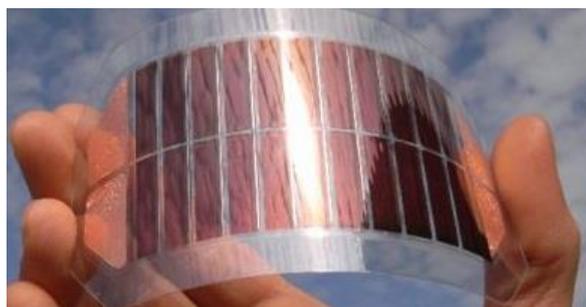


Figura 2.22 – Células Orgânicas

2.3.4.3. Nanoantenas

Esta tecnologia ainda se encontra em fase de investigação, no entanto, está a dar passos importantes com a perspectiva de vir a revolucionar o mercado da energia solar. Estas nanoantenas possuem um modo de funcionamento completamente distinto das células FV uma vez que assentam na ideia de sintonizar a frequência da radiação da antena para a frequência de infravermelhos, captando assim a energia do Sol durante o dia, e a radiação da Terra durante a noite.

Para este funcionamento foram fundamentais os desenvolvimentos ao nível das nanotecnologias, permitindo a deposição de camadas nanoscópicas de metal, formando pequenas espirais. Estas espirais possuem a capacidade de absorver comprimentos de onda diferentes, de acordo com o seu comprimento. Uma célula poderá ter várias camadas de nanoantenas com comprimentos distintos, permitindo aumentar o espectro de radiação absorvida e, conseqüentemente, alargar a eficiência da célula.

Estas células têm a possibilidade de serem fabricadas em larga escala através de processos de impressão em rolo, com uma eficiência na ordem dos 80 %. Estas possuem uma contrapartida uma vez que têm problemas associados aos efeitos de ressonância, que poderão ter efeitos destrutivos [2] e [70] a [73].

2.3.5. Resumo Técnico

Em geral, as células de filmes finos são, na actualidade, as células FV mais económicas, comparando com as células de silício cristalino. No entanto, as células de filmes finos são menos eficientes na conversão da energia solar em energia eléctrica. Diversos estudos económicos demonstram que os filmes finos já são competitivos, economicamente, face à tecnologia convencional.

Os diferentes tipos de tecnologias de filmes finos anteriormente mencionadas analisam condições que lhes permitem impor-se às tecnologias convencionais, ou seja, ao silício cristalino. Este objectivo pode ser atingido através do aumento da eficiência dos módulos e/ou através da redução dos custos de produção e de fabricos destes.

As economias de escala correspondentes a uma determinada tecnologia irão implicar a redução do custo do watt-pico dos painéis FV. Apesar de existir uma maior facilidade na produção de algumas tecnologias em relação a outras, nomeadamente os filmes finos, alguns analistas continuam cépticos quanto à aptidão desta tecnologia se impor, face às tecnologias convencionais [2].

Os preços da matéria-prima dos filmes finos estão a baixar, devido à habilidade crescente de produção e de fabrico, e a eficiência destes está a aumentar. Dadas as características desta tecnologia, poderá emergir como titular de uma parte particular do mercado, nomeadamente aplicações em edifícios e telhados. Este sector do FV integrado em edifícios permite poupar nos materiais de construção, tornam-se mais competitivo, apresentando evoluções que vão desde películas translúcidas para incorporação em vidros até soluções em telhas. São actualmente muito procuradas por arquitectos e empresas que pretendem oferecer aos seus projectos uma perspectiva mais sustentável e uma imagem mais “verde”.

Em resumo, os custos de produção e de fabrico das células FV têm de descer enquanto que o rendimento das mesmas tem de aumentar. Estas são as grandes prioridades da indústria FV para poder aproveitar o inesgotável potencial da fonte de energia solar. É uma verdade, que na actualidade, os custos têm vindo a diminuir consideravelmente, no entanto, a optimização dos rendimentos ainda está longe de ser a desejável [74].

Capítulo 3

Metodologia

Neste capítulo é realizada uma análise teórica ao modelo matemático da representação dos conversores fotovoltaicos. São exibidas as formas de cálculo retiradas do circuito equivalente de uma célula fotovoltaica, para desta forma se calcular a potência de saída do módulo. Seguidamente é definido o conceito de autoconsumo fotovoltaico bem como a autonomia do mesmo. Por último, é descrita a avaliação económica a efectuar.

3. Metodologia

3.1. Introdução

Os conversores FV convertem directamente a energia solar em energia eléctrica. Estes dispensam as partes móveis dos geradores convencionais, desde já uma grande vantagem, uma vez que estas partes são sempre problemáticas e geram avarias mecânicas.

Nos dias de hoje, os conversores FV são usados nas mais diversas aplicações, destas destacam-se as aplicações de grande potência com produção descentralizada ligada à rede eléctrica nacional; aplicações de média potência entre estas a electrificação rural em zonas muito remotas, bombagem de água e irrigação para rega, em sistemas domésticos ligados à rede, como os telhados das habitações; as aplicações de pequena potência têm na sua maioria as calculadoras mas também se destacam os relógios, os acessórios para automóveis, sinais rodoviários e parquímetros, telefones de emergência das auto-estradas, entre outros.

Nestas e em muitas outras aplicações, os sistemas FV substituem, com grande vantagem, os meios de produção alternativos, nomeadamente as aplicações de pequena potência. Por outro lado, foi devido à aplicação desta tecnologia na indústria espacial que esta se tornou competitiva e foi também o local onde iniciaram o seu verdadeiro desenvolvimento.

3.1.1. Aplicações de Grande e Média Potência

Não serão abordadas as aplicações de pequena potência uma vez, que a nível da Engenharia Electrotécnica, estas não despertam grande interesse a nível do desenvolvimento FV. Como tal, serão abordadas com mais detalhe as aplicações de grande e de média potência.

Os sistemas FV podem ser operados de três formas completamente distintas, sendo elas as seguintes:

- Ligados à rede eléctrica nacional pré-existente, à qual entrega toda a energia produzida através da radiação solar existente. Para tal é necessária a existência de um inversor DC / AC, uma vez que este

Metodologia

permite transformar as grandezas eléctricas de contínuas em alternadas, compatíveis com a rede.

- Em sistema isolado, alimentando directamente as cargas, assim o sistema fica dimensionado para fornecer energia durante todo o ano. Em associação com os painéis FV é ainda necessário a colocação de mais três equipamentos:
 - Baterias de acumuladores, de modo a assegurar o abastecimento nos períodos em que não existe radiação solar ou esta não é suficiente; são recarregadas quando o recurso disponível é superior ao consumo das cargas.
 - Regulador de Carga, que afecta a gestão da carga de modo a obter diagramas de carga mais compatíveis com a radiação solar existente.
 - Inversor, requerido apenas se existirem cargas AC.
- Em sistema híbrido, alimentando directamente as cargas, em conjunto com outra fonte de energia disponível, como outros conversores de energia renovável ou a rede eléctrica. Tem um funcionamento semelhante com o sistema isolado, no entanto, em vez de baterias como *back-up*, possui um dos sistemas acima mencionados.



Figura 3.1 – Central Fotovoltaica da Amareleja, Moura; vista geral [75]

3.2. Modelos Matemáticos

Na Engenharia Electrotécnica é comum a técnica de representação de sistemas através de circuitos equivalentes. A energia fotovoltaica não foge à regra, uma vez que também utiliza esta metodologia para a realização do seu estudo. Seguidamente são

apresentados dois modelos matemáticos que permitem a representação dos conversores FV de silício, chamados de Primeira Geração (Cap. 2.3.1.).

3.2.1. Modelo de um díodo e três parâmetros

3.2.1.1. Determinação do Modelo

Em termos simplificados, uma célula FV pode ser descrita através do circuito equivalente representado na Figura 3.2.

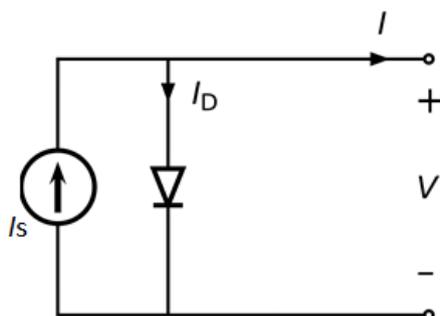


Figura 3.2 – Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica, modelo de um díodo e três parâmetros [3]

A fonte de corrente, I_s , representa a intensidade de corrente eléctrica gerada pelo feixe de radiação luminosa. É constituído por fotoelectrões, sendo esta corrente unidirecional e constante para uma mesma dada irradiância incidente, G . A junção p – n funciona como se fosse um díodo que é atravessado por uma corrente unidirecional, I_D , que por sua vez depende da tensão aos terminais da célula, V . Este modelo é descrito e foi retirado de [3].

A intensidade de corrente que se fecha pelo díodo é:

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{m V_T}} - 1 \right) [A] \quad (3.1.)$$

em que:

I_0 – Intensidade de corrente inversa de saturação do díodo [A];

V – Tensão aos terminais da célula FV [V];

m – Factor de idealidade do díodo;

V_T – Potencial Térmico [V].

Para o cálculo do potencial térmico é necessário utilizar a seguinte expressão:

$$V_T = \frac{K T}{q} [V] \quad (3.2.)$$

em que:

K – Constante de Boltzman ($K = 1,38 \times 10^{-23} J/K$);

T – Temperatura absoluta [K]

q – Carga eléctrica do electrão ($q = 1,6 \times 10^{-19} C$).

Com estes cálculos é possível determinar a corrente que se fecha pela carga, I , sendo esta dada pela seguinte expressão:

$$I = I_S - I_D = I_S - I_0 \left(e^{\frac{V}{m V_T}} - 1 \right) [A] \quad (3.3.)$$

Existem dois pontos de operação da célula que merecem uma atenção particular, o Curto-circuito exterior e o Circuito aberto uma vez que permitem retirar relações importantes entre as grandezas eléctricas da célula.

No curto-circuito exterior são estabelecidas as seguintes condições fronteira:

$$V = 0 V$$

$$I_D = 0 A \quad (3.4.)$$

$$I = I_S = I_{CC} [A]$$

Através destas condições é possível constatar que a intensidade da corrente de curto-circuito, I_{CC} , é o valor máximo da intensidade de corrente da carga, como tal, é igual à produzida pelo efeito fotovoltaico. Este valor é característico de célula para célula, sendo fornecido pelo fabricante nas características da mesma, para determinadas condições de irradiância incidente e de temperatura ambiente.

No circuito aberto exterior são estabelecidas as seguintes condições fronteira:

$$I = 0 A$$

$$V_{ca} = m V_T \ln \left(1 + \frac{I_S}{I_0} \right) [V] \quad (3.5.)$$

Metodologia

A tensão de circuito aberto, V_{ca} , é o valor máximo de tensão aos terminais da célula, sendo que este ocorre quando esta se encontra em vazio. Tal como a intensidade da corrente de curto-circuito, o seu valor é fornecido pelo fabricante através da chapa de características da célula, para determinadas condições de irradiância incidente e de temperatura ambiente.

A intensidade da corrente inversa de saturação do díodo pode ser calculada através da seguinte expressão, de acordo com as condições fronteira referidas anteriormente. Das equações (3.4.) e da (3.5.) retira-se então o seguinte:

$$I_0 = \frac{I_{CC}}{e^{\frac{V_{ca}}{mV_T}} - 1} [A] \quad (3.6.)$$

Realizando a substituição na Eq. (3.3.), e tendo em mente a Eq. (3.4.) das condições fronteira para o curto-circuito exterior e considerando o seguinte:

$$\begin{aligned} \frac{V_{ca}}{mV_T} &\gg 1 \\ \frac{V}{mV_T} &\gg 1 \end{aligned} \quad (3.7.)$$

Obtém-se, por último, a relação entre a intensidade de corrente e a tensão, sendo esta a seguinte:

$$I = I_{CC} \left(1 - e^{-\frac{V - V_{ca}}{mV_T}} \right) [A] \quad (3.8.)$$

3.2.1.2. Condições de Referência

No ponto 3.2.1.1. é referido que a intensidade de corrente gerada por uma célula FV depende das condições de irradiância do local e da temperatura ambiente em este se encontra. De forma a uniformizar as condições de medidas dos parâmetros característicos de cada célula FV foram definidas condições nominais de teste, *Standard Test Conditions* (STC). Estas são também chamadas de condições de referência, sendo as seguintes:

- Temperatura da célula, $\theta^r = 25 \text{ °C} \equiv T^r = 298,16 \text{ K}$;
- Irradiância incidente na célula, $G^r = 1000 \text{ W/m}^2$;
- Distribuição espectral padrão da radiação solar, AM 1,5.

Metodologia

É de referir que a distribuição espectral da radiação solar incidente, tanto directa como difusa, é medida ao nível do mar, num dia de céu limpo, numa superfície perpendicular aos raios solares e inclinada, em relação à horizontal, de 37°. Estas condições reflectem uma irradiância total de 1000 W/m^2 .

Em consequência com o dito anteriormente, as grandezas medidas que apresentem o índice superior r são consideradas que foram medidas em condições STC.

Uma grandeza importante, relativamente às condições de referência, é o potencial térmico, apresentado na Eq. (3.2.). Adaptando este para as condições STC temos:

$$V_T^r = \frac{K T^r}{q} [V] \quad (3.9.)$$

Substituindo pelos valores das constantes, temos que o potencial térmico é possível calcular o valor deste para as condições STC. Esse valor é de 0,0257 V.

3.2.1.3. Potência-pico, Rendimento e Factor de Forma

A potência máxima obtida em condições STC é denominada por potência-pico, *Peak Power* ou *Maximum Power Point* (MPP), sendo dada pela seguinte expressão:

$$P_p = P_{DC}^r = V_{MP}^r I_{MP}^r [W] \quad (3.10.)$$

O rendimento da célula, nas condições de referência, é calculado através da relação entre a potência-pico e a potência correspondente à irradiância incidente, ou seja:

$$\eta^r = \frac{P_{DC}^r}{A G^r} = \frac{P_p}{A G^r} \quad (3.11.)$$

em que:

A – Área da célula FV [m^2].

Para outras condições de funcionamento, a expressão do rendimento assumirá a seguinte forma:

$$\eta = \frac{P_{DC}}{A G} \quad (3.12.)$$

em que:

G – Irradiância solar incidente na célula FV [W/m^2].

Metodologia

A relação entre a potência-pico e o produto entre a tensão de circuito aberto em condições STC com a intensidade de corrente de curto-circuito em condições STC tem o nome de factor de forma, *fill factor* em inglês. A expressão é apresentada na Eq. (3.13.):

$$FF = \frac{P_{DC}^r}{V_{ca}^r I_{CC}^r} \quad (3.13.)$$

Para as células do mesmo tipo, os valores da tensão de circuito aberto em condições STC e da intensidade de corrente de curto-circuito em condições STC têm aproximadamente o mesmo valor, independentemente do fabricante, no entanto, as curvas I – V podem variar. Em suma, será favorável trabalhar com células que possuam um factor de forma o mais elevado possível.

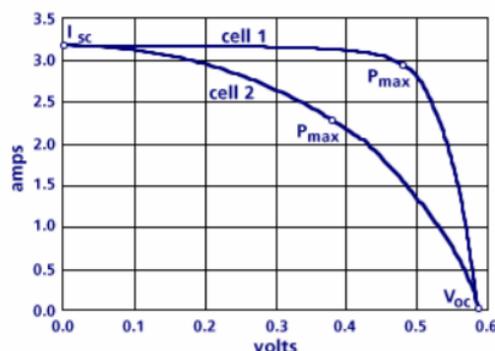


Figura 3.3 – Variação da curva I-V com o valor do factor de forma [76]

3.2.1.4. Potência Eléctrica

Através da Eq. (3.3.) e para uma dada irradiância incidente e temperatura ambiente, a potência eléctrica de saída é dada por:

$$P = VI = V \left\{ I_{CC} - \left[I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \right] \right\} [W] \quad (3.14.)$$

A potência máxima é obtida através da derivada da Eq. (3.14.) em relação à tensão e igualando a zero, ou seja:

$$\frac{dP}{dV} = 0 \Leftrightarrow \quad (3.15.)$$

$$I_{CC} + I_0 \left(1 - e^{\frac{V}{mV_T}} - \frac{V}{mV_T} e^{\frac{V}{mV_T}} \right) = 0 \Leftrightarrow$$

$$e^{\frac{V}{mV_T}} = \frac{\frac{I_{CC}}{I_0} + 1}{\frac{V}{mV_T} + 1}$$

A solução da Eq. (3.15.) é $V = V_{MP}$, ou seja, tensão de máxima potência. Para a intensidade de corrente temos $I = I_{MP}$, ou seja, intensidade de corrente de máxima potência. De seguida são apresentadas as duas expressões correspondentes da solução da Eq. (3.15.):

$$V_{MP} = m V_T \ln \left(\frac{\frac{I_{CC}}{I_0} + 1}{\frac{V_{MP}}{mV_T} + 1} \right) [V] \quad (3.16.)$$

$$I_{MP} = I_{CC} - \left[I_0 \left(e^{\frac{V_{MP}}{mV_T}} - 1 \right) \right] [A] \quad (3.17.)$$

O ponto de máxima potência é dado por: $P_{MP} = V_{MP} I_{MP} = P_{DC} [W]$. Daqui para a frente este ponto será designado por P_{DC} , dando ênfase ao facto de esta ser uma potência DC. A tensão V_{MP} e a intensidade de corrente I_{MP} serão abreviadas por V e I , respectivamente.

3.2.1.5. Desenvolvimento do Modelo

Para o desenvolvimento do Modelo é necessário aplicar a Eq. (3.3.) nos três pontos particulares de funcionamento da célula: circuito aberto, curto circuito e potência máxima. Considerando as condições STC é possível obter as seguintes expressões:

$$0 = I^r_S - I^r_0 \left(e^{\frac{V^r_{ca}}{mV^r_T}} - 1 \right) [A] \quad (3.18.)$$

$$I^r_{CC} = I^r_S [A] \quad (3.19.)$$

$$I^r_{MP} = I^r_S - I^r_0 \left(e^{\frac{V^r_{MP}}{mV^r_T}} - 1 \right) [A] \quad (3.20.)$$

Tendo em conta a Eq. (3.19.) e resolvendo a Eq. (3.18.) em ordem a I^r_0 é possível obter a seguinte expressão:

$$I^r_0 = \frac{I^r_{CC}}{\frac{V^r_{ca}}{e^m V^r_T} - 1} \quad [A] \quad (3.21.)$$

Substituindo a Eq. (3.21.) na Eq. (3.20.) e realizando as simplificações já descritas na Eq. (3.8.), obtém-se, em relação ao factor de idealidade do díodo a seguinte expressão:

$$m = \frac{V^r_{MP} - V^r_{ca}}{V^r_T \ln \left(1 - \frac{I^r_{MP}}{I^r_{CC}} \right)} \quad (3.22.)$$

Através da Eq. (3.22.) é possível calcular o factor de idealidade do díodo apenas com as características fornecidas pelo fabricante. Tal permite considerar este factor uma constante.

Pela Eq. (3.19.), pela Eq. (3.21.) e pela da Eq. (3.22.) é possível caracterizar o modelo de um díodo e três parâmetros de uma célula fotovoltaica. Estes três parâmetros são assim o m , I_0 e o I_S .

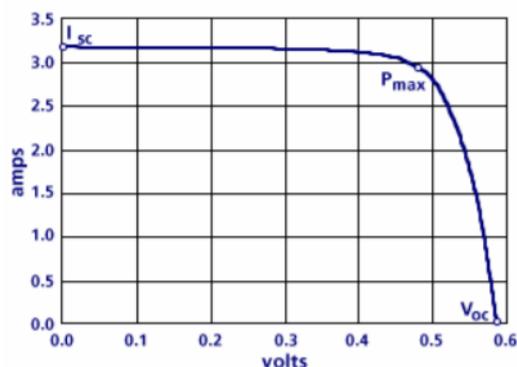


Figura 3.4 – Curva I-V para uma célula de silício típica em condições STC [76]

3.2.1.6. Variação da Curva I-V com a temperatura e com a radiação incidente

Até este ponto da descrição matemática da célula fotovoltaica, este modelo apenas comporta o funcionamento da célula quando esta se encontra sujeita às condições nominais, ou seja, STC. Como é de esperar, a radiação existente que é irradiada pelo Sol é variável, tal como a temperatura ambiente onde o sistema FV está inserido. Assim, o modelo tem de conseguir incorporar nele as variações que essas grandezas provocam nas grandezas eléctricas da célula.

Para compreender melhor o que acontece em cada situação são apresentadas seguidamente duas figuras, a Figura 3.5 e a Figura 3.6:

Metodologia

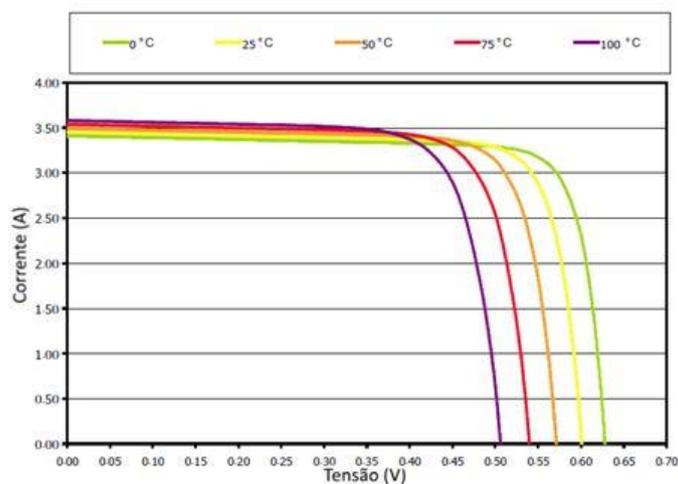


Figura 3.5 – Variação da curva I-V com a temperatura [77]

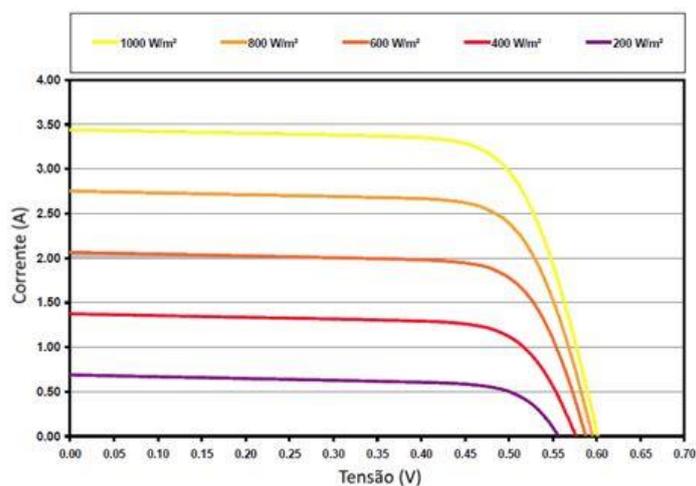


Figura 3.6 – Variação da curva I-V com a irradiância [77]

Nas Figuras 3.5 e 3.6 é possível observar que a potência de saída das células fotovoltaicas aumenta com o aumento da radiação incidente, mas esta decresce com o aumento da temperatura. Verifica-se também que a corrente de curto-circuito varia de forma linear com a irradiância e praticamente não é afectada pelo aumento ou diminuição da temperatura. Por último, é possível observar-se que em circuito aberto a tensão varia muito pouco com a irradiância e decresce em proporção com o aumento da temperatura.

3.2.1.7. Incorporação da influência da temperatura e da radiação incidente

Para se conseguir incorporar a influência, tanto da temperatura como da radiação é necessário considerar o seguinte:

Metodologia

- O factor de idealidade do díodo, m , é constante;
- A variação da irradiância incidente é contabilizada na corrente de curto-circuito, I_{CC} ;
- A variação da temperatura é incluída na corrente inversa de saturação, I_0 .

A corrente inversa de saturação do díodo pode ser descrita em relação às características do material e da temperatura, através da seguinte expressão:

$$I_0 = D T^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{m V_T}} [A] \quad (3.23.)$$

em que:

D – Constante;

N_S – Número de células ligadas em série, neste caso assume o valor de 1;

ε – Hiato do semiconductor, $\varepsilon = 1,12 \text{ eV}$ para o silício.

O desconhecimento da constante D não é relevante uma vez que a corrente inversa de saturação do díodo é conhecida, para as condições STC, tal como é apresentado na Eq. (3.21.) o que permite estabelecer uma relação de I_0 como função da temperatura. Esta relação é apresentada na seguinte expressão:

$$I_0 = I^r_0 \left(\frac{T}{T^r}\right)^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{m V_T} \left(\frac{1}{V^r_T} - \frac{1}{V_T}\right)} [A] \quad (3.24.)$$

A corrente de curto-circuito é conhecida para as condições STC. Admite-se também que a corrente de curto-circuito é linear em relação à irradiância incidente. Como tal é possível escrever a corrente de curto circuito em função da irradiância incidente, ou seja:

$$I_{cc} = I^r_{cc} \frac{G}{G^r} [A] \quad (3.25.)$$

3.2.1.8. Método de cálculo simplificado da potência de saída

Realizar o cálculo que permite dar uma estimativa da intensidade de corrente que será gerada em função da tensão de saída aos terminais da célula FV é muito importante. Tal permite realizar muitos outros cálculos, como a aplicação de painéis FV

para autoconsumo fotovoltaico, estimando assim a quantidade de energia poupada com este sistema.

Como tal, é útil possuir uma expressão algébrica que permita calcular esta potência através dos dados fornecidos pelos fabricantes. Para o Modelo de um díodo e três parâmetros esta expressão pode ser conseguida de uma forma relativamente simples.

Admitindo uma lei de variação linear idêntica para a intensidade de corrente de máxima potência é possível escrever-se:

$$I_{MP} = I^r_{MP} \frac{G}{G^r} [A] \quad (3.26.)$$

Tal expressão permite, de uma forma imediata definir a corrente de máxima potência em função da irradiância incidente no local.

A tensão correspondente pode ser calculada a partir da Eq. (3.20.), não esquecendo as Eq (3.24.), Eq (3.25.) e Eq. (3.26.) A expressão obtida é a seguinte:

$$V_{MP} = mV_T \ln \left(\frac{I_{cc} - I_{MP}}{I_0} \right) = mV_T \ln \left[\frac{\frac{G}{G^r} (I^r_{cc} - I^r_{MP})}{I^r_0 \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{mV_T} \left(\frac{1}{V^r_T} - \frac{1}{V_T} \right)}} \right] [V] \quad (3.27.)$$

A potência DC de saída da célula FV é assim obtida através da multiplicação entre a Eq. (3.26.) com a Eq. (3.27.), ou seja:

$$P_{DC} = V_{MP} I_{MP}$$

$$P_{DC} = mV_T \ln \left[\frac{\frac{G}{G^r} (I^r_{cc} - I^r_{MP})}{I^r_0 \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{mV_T} \left(\frac{1}{V^r_T} - \frac{1}{V_T} \right)}} \right] I^r_{MP} \left(\frac{G}{G^r} \right) [W] \quad (3.28.)$$

Os resultados obtidos através da expressão apresentada na Eq. (3.28.) apresentam um erro na ordem dos 2 %, relativo à célula real.

3.2.2. Modelo de um díodo e cinco parâmetros

O Modelo de um díodo e três parâmetros é um modelo simplificado da representação de uma célula FV. Tal como o anterior, este modelo é descrito com pormenor e foi retirado de [3]. Nas células ditas reais é possível observar-se uma queda de tensão no circuito até aos contactos exteriores da mesma, sendo esta representada por uma resistência, R_s . Do mesmo modo, existem correntes de fuga que podem ser

Metodologia

representadas no modelo também através de uma resistência, R_{sh} . O circuito eléctrico equivalente encontra-se representado na Figura 3.7.

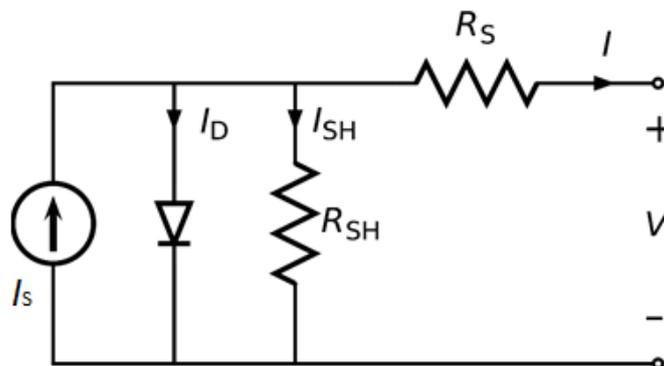


Figura 3.7 – Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica, modelo de um díodo e cinco parâmetros [3]

Os cinco parâmetros fornecidos pelo fabricante são I_s^r , I_0^r , m , R_s e o R_{sh} . Estes relacionam-se com a intensidade de corrente I através do seguinte:

$$I = I_s - I_D - I_{sh}$$

$$I = I_s - I_0 \left(e^{\frac{V + R_s I}{m V_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad [A] \quad (3.29.)$$

Em condições STC a equação assume a seguinte forma:

$$I = I_s^r - I_0^r \left(e^{\frac{V + R_s I}{m V_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad [A] \quad (3.30.)$$

O objectivo deste modelo é igual ao anterior, ou seja, escrever os parâmetros deste recorrendo apenas aos dados fornecidos pelos fabricantes nos catálogos dos painéis FV. Estes parâmetros são, recorde-se, V_{ca}^r , I_{CC}^r , I_{MP}^r e V_{MP}^r .

Tal como o anterior, este modelo também não incorpora a influência da temperatura ambiente e da irradiância incidente. Como tal, é necessário utilizar parâmetros que sejam dependentes destas grandezas. Resumindo, os parâmetros m , R_s e o R_{sh} , são fornecidos pelo fabricante, não possuem a influência da temperatura e da irradiância. Considera-se assim que os parâmetros que dependem da variação destas grandezas são a intensidade de corrente de curto-circuito e a tensão de circuito aberto.

É possível estabelecer, assim, as seguintes relações:

$$I_{CC}(G, T) = \frac{G}{G^r} [I^r_{CC} + \mu_{I_{CC}} (T - T^r)] [A] \quad (3.31.)$$

$$V_{ca}(G, T) = V^r_{ca} + \mu_{V_{ca}} (T - T^r) + m V_T \ln \left(\frac{G}{G^r} \right) [V]$$

em que:

$\mu_{I_{CC}}$ – Coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito [A / °C];

$\mu_{V_{ca}}$ – Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto [V / °C].

Após o cálculo dos parâmetros do modelo para as condições de radiação e temperatura desejadas, pode estimar-se a potência de saída da célula FV. No caso deste modelo, o processo de cálculo não é fácil uma vez que não segue a mesma estratégia do modelo anterior, ou seja, derivar a potência em ordem à tensão e calcular o valor da tensão no ponto de potência máxima.

Assim, é possível escrever, no ponto de potência máxima a seguinte expressão:

$$\left. \frac{dI}{dV} \right|_{\substack{V=V_{MP} \\ I=I_{MP}}} = - \frac{I_{MP}}{V_{MP}} \quad (3.32.)$$

As incógnitas da Eq. (3.32.) permitem calcular o desejado P_{MP} , que tal como no modelo anterior é igual a $P_{DC} = V_{MP} I_{MP}$. Para completar o sistema de duas equações a duas incógnitas é necessária uma outra equação. Esta provém da Eq. (3.30.) escrita no ponto de máxima potência para as condições de irradiância e temperatura desejadas:

$$I_{MP} = I_{CC} - \frac{V_{MP} + R_s I_{MP} - R_s I_{CC}}{R_{sh}} - \left(I_{CC} - \frac{V_{ca} - R_s I_{CC}}{R_{sh}} \right) e^{\frac{V_{MP} + R_s I_{MP} - V_{ca}}{m V_T}} [A] \quad (3.33.)$$

3.2.3. Comparação entre os dois Modelos

Os estudos indicam que existem algumas diferenças entre ambos os modelos. O erro médio das estimativas do modelo de três parâmetros é menor do que o erro médio das previsões do modelo de cinco parâmetros, tal é uma conclusão diferente do esperado. No entanto, é possível observar que para radiações mais baixas, o modelo de três parâmetros apresenta melhores resultados, enquanto que o outro modelo apresenta melhores resultados com radiações mais elevadas.

Metodologia

Do ponto de vista da energia estimada por ambos os modelos, o modelo de cinco parâmetros conduz a uma melhor previsão. Tal deve-se ao facto de as altas irradiâncias contribuírem de um modo muito mais significativo para o cálculo da energia produzida pelo sistema FV [3].

O recurso a utilizar para esta energia renovável é o Sol, este, por si só, não é intermitente, mas tudo o que se encontra entre ele e a superfície terrestre é bastante imprevisível, nomeadamente as nuvens que se formam de um momento para o outro. Como tal, é necessário investir em modelos matemáticos muito precisos de modo a conseguir prever, da melhor forma, estas ocorrências [78] a [82], no entanto, estes continuam a apresentar erros de previsão bastante acentuados.

Assim, o modelo escolhido para ser implementado será o modelo de um díodo e três parâmetros.

3.3. Sistemas Fotovoltaicos

O grande objectivo da aplicação dos modelos FV é a possibilidade de calcular a estimativa da potência eléctrica de saída de cada célula FV e por sua vez, a energia produzida pela instalação, num determinado local. Para tal, é necessário dispor, não só da representação matemática da célula FV em si, como de todos os outros componentes e restantes equipamentos de interface que constituem o sistema FV.

Tal como nos modelos matemáticos da célula FV é necessário conhecer também as condições ambientais do local onde serão instalados os equipamentos. Nomeadamente, ter em atenção os parâmetros que mais irão condicionar as grandezas eléctricas e que são, a irradiância solar incidente no local e a temperatura ambiente. Será essencial transformar a última em temperatura atingida pelo módulo, uma vez que é esta que condiciona o comportamento deste.

O modelo simplificado da temperatura no módulo consiste em admitir que a variação desta em relação à temperatura ambiente é directamente proporcional à irradiância incidente, ou seja:

$$\theta_m = \theta_a + k G \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.34.)$$

em que:

Metodologia

θ_m – Temperatura do Módulo [°C];

θ_a – Temperatura ambiente [°C];

G – Irradiância Solar Incidente [W / m^2].

k – Constante de Ross.

Os fabricantes disponibilizam a temperatura normal de funcionamento da célula, ou *Nominal Operating Cell Temperature* em inglês (NOCT), que representa a temperatura atingida pela célula em condições de funcionamento, definidas como $\theta = 20 \text{ °C}$ e $G = 800 \text{ W}/m^2$. Substituindo estes valores na Eq. (3.34.) é possível escrever:

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G (NOCT - 20)}{800} \text{ [°C]} \quad (3.35.)$$

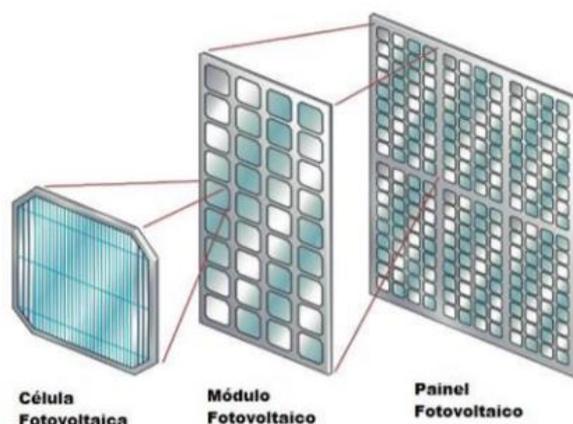


Figura 3.8 – Hierarquia Fotovoltaica [83]

3.3.1. Módulos e Painéis

A potência aproximada de uma única célula FV é de 2 W. Tal potência é insuficiente para a maioria das aplicações. Devido a este motivo, as células são agrupadas em série e em paralelo, formando os módulos FV. De uma forma geral, os módulos são um conjunto de N_p ramos ligados em paralelo, cada um constituído por N_s células ligadas em série, tal como é ilustrado na Figura 3.9.

Metodologia

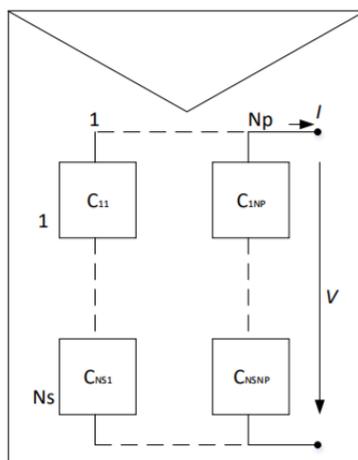


Figura 3.9 – Módulo Fotovoltaico

Em termos de modelo dos módulos FV, pode-se aplicar os modelos apresentados anteriormente para caracterizar o comportamento das células FV, considerando o módulo como uma célula FV equivalente. Normalmente, a razão entre a intensidade de corrente correspondente ao módulo e a intensidade de corrente de cada célula é dada pelo número de ramos ligados em paralelo, ou seja, N_p . Da mesma forma, a razão entre a tensão do módulo e a tensão da célula FV é dada pelo número de células ligadas em série, ou seja, N_s . Os módulos são associados em série e em paralelo para obter uma maior potência de saída, formando os painéis FV, cujo esquema é ilustrado na Figura 3.10.

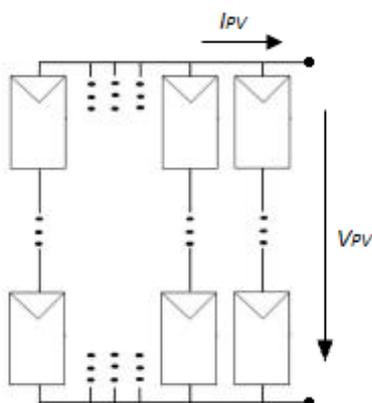


Figura 3.10 – Painel Fotovoltaico

3.3.2. Seguidor de Potência Máxima e Inversor

Em aplicações ligadas à rede elétrica nacional ou ligadas a instalações elétricas que possuam rede AC, o gerador FV entrega à instalação a máxima potência elétrica possível, dependendo da irradiância e da temperatura. Entre o módulo e a

Metodologia

instalação existem equipamentos de regulação e de interface, nomeadamente o seguidor de potência máxima, *Maximum Power Point Tracker* em inglês (MPPT), e o inversor. Estes equipamentos permitem otimizar as condições de geração. Esquemáticamente, a situação pode ser descrita como se ilustra na Figura 3.11.:

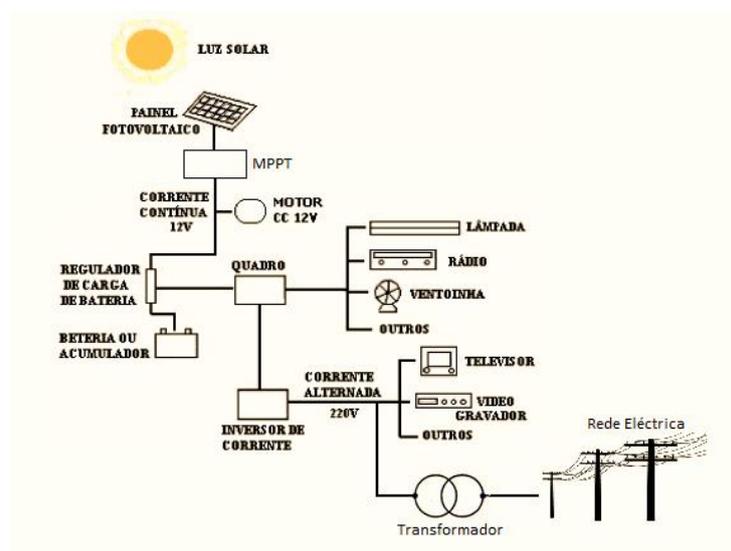


Figura 3.11 – Esquema de um gerador fotovoltaico

A potência máxima varia com as condições ambientais e com a tensão aos terminais do módulo. É desejável que o funcionamento seja sempre à máxima potência possível, de acordo com a irradiância incidente e com a temperatura do módulo.

De modo a colocar o módulo FV no ponto de operação correspondente à potência máxima é necessário utilizar um seguidor de potência máxima, ou seja, um MPPT. Este ajusta a tensão à saída do módulo FV e automaticamente impõe o valor da intensidade de corrente, uma vez que esta depende da tensão de acordo com a curva I – V do módulo FV.

Em aplicações ligadas ao sistema de energia eléctrica ou caso existam aparelhos que necessitem de rede AC é necessário utilizar também um inversor de modo a transformar a energia produzida em DC pelo módulo FV em energia AC.

Estes equipamentos são bastante completos e têm no mesmo dispositivos algumas funções distintas, sendo a principal a conversão das grandezas DC em grandezas AC, com os padrões de qualidade exigidos pela rede eléctrica. Têm também a função de protecção do sistema em relação a sobrecargas e sobretensões. Alguns possuem incorporados o MPPT.

Metodologia

Algo importante, é o rendimento total do sistema de interface, combinando o MPPT e o Inversor. Este é dado por:

$$\eta_{total} = \eta_{MPPT} \eta_{inv} \quad (3.36.)$$

em que:

η_{total} – Rendimento Total;

η_{MPPT} – Rendimento do MPPT;

η_{inv} – Rendimento do Inversor.

O rendimento do MPPT é relativamente difícil de avaliar. Os resultados reportados na literatura indicam um rendimento muito elevado, de aproximadamente 99,5 %, em regime estacionário.

O rendimento do conversor DC / AC, ou seja, do inversor, é dado por:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{P_{AC}}{V_{MP} I_{MP}} \quad (3.37.)$$

em que:

P_{AC} – Potência entregue à rede.

O rendimento do inversor está directamente dependente do transformador utilizado, nomeadamente para isolamento galvânico. No entanto, já existem soluções onde é possível dispensar a utilização destes transformadores. Nos sistemas equipados com estes equipamentos, os rendimentos típicos do inversor em função da potência AC na saída do inversor estão indicados na Fig. 3.12

Metodologia

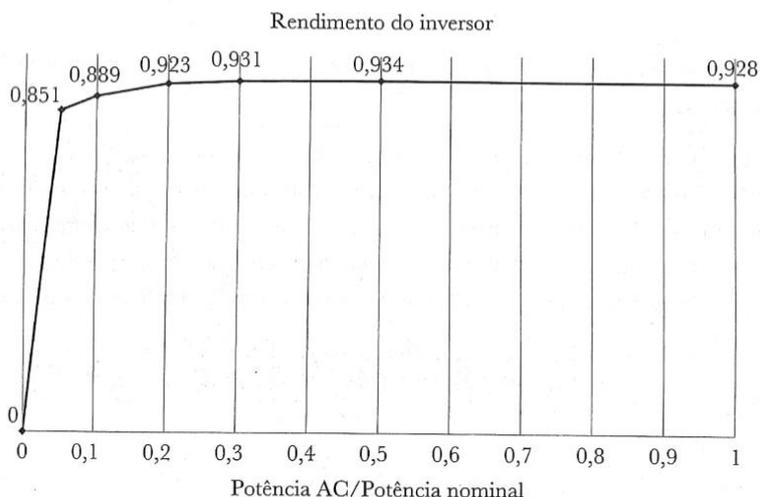


Figura 3.12 – Rendimento típico de um Inversor em função da potência AC [3]

3.4. Cálculo Energético

O cálculo energético é obtido através de valores baseados na potência determinada pelos modelos matemáticos anteriormente especificados, ou através de medição experimental. Uma estimativa da energia produzida pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$E = \eta_{total}(P_{DC}) \sum_{i=1}^n P_{DC}(G, T)_i \Delta t_i [Wh] \quad (3.38.)$$

em que:

E – Energia Produzida [Wh];

$P_{DC}(G, T)$ – Valor médio da potência máxima do módulo no intervalo de tempo considerado [W];

n – Número de períodos de tempo considerados;

Δt – Intervalo de tempo considerado [h].

Para o cálculo da energia anual produzida é necessário que a variável n tenha o valor do número de horas existentes num ano, ou seja 8760 horas.

3.5. Autoconsumo

3.5.1. Breve panorâmica das políticas e tecnologias de autoconsumo FV

De modo a promover a electricidade produzida através de painéis FV foram introduzidos, em vários países, políticas de suporte a esta tecnologia. Estas políticas têm o intuito de compensar a diferença entre os custos da produção FV e as receitas provenientes da utilização ou da venda. Existem diversos incentivos para a energia renovável proveniente de geradores fotovoltaicos, como por exemplo, sistemas de quotas e negociação de leis de preços.

O período de cobrança é também um aspecto muito importante. A definição tradicional de autoconsumo indica que a energia FV é consumida instantaneamente ou num espaço de tempo igual a 15 minutos.

Desde 2000, a Alemanha possui uma lei abrangente de forma a encorajar as energias renováveis, a Lei das Energias Renováveis (*Erneuerbare-Energien-Gesetz*). A China também introduziu recentemente um subsídio de autoconsumo e o Japão tem uma tarifa de alimentação ligeiramente maior para micro-produtores com autoconsumo. No final de 2012, a Itália também teve um prémio dedicado ao autoconsumo semelhante ao da Alemanha, chamado *V Conto Energia*.

Existem várias tecnologias para aumentar o autoconsumo FV, entre os quais se destacam o armazenamento de energia usando baterias e deslocamento de cargas activas. Dependendo da receita da venda de electricidade gerada e do custo de compra da electricidade da rede, o autoconsumo usando estas opções, ou combinações delas, pode ser lucrativo para os proprietários de sistemas FV [84].

3.5.2. Definições

A Figura 3.13 apresenta um esboço esquemático dos perfis de potência da geração FV e do consumo da carga. A área 'A' representa a procura, enquanto as áreas 'B' e 'C' representam a totalidade da geração. A parte sobreposta, correspondente à área 'C' representa a potência FV utilizada directamente. Tal é referido como autoconsumo absoluto [85]. O que é mais comumente designado por autoconsumo é a parte autoconsumida em relação à produção total, ou seja:

Metodologia

$$\text{Auto-consumo} = \frac{C}{B + C} \quad (3.39.)$$

Conforme mostrado na Eq. (3.39.), o autoconsumo representa a parte da energia produzida e consumida em relação à produção FV total. A autonomia, como apresentado na Eq. (3.40.) representa a relação entre a totalidade do consumo e o realizado através da energia produzida [86]:

$$\text{Autonomia} = \frac{C}{A + C} \quad (3.40.)$$

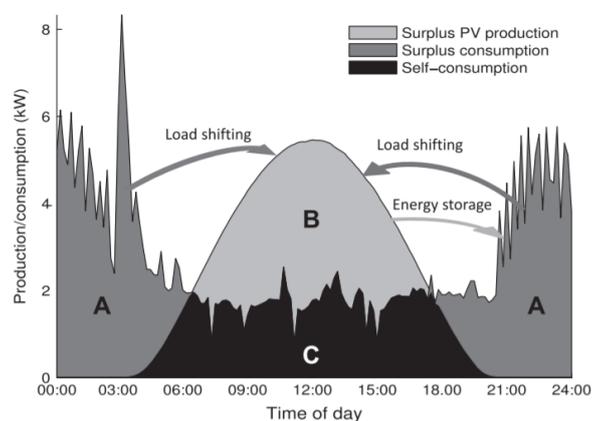


Figura 3.13 – Diagrama de carga (A + C) e Diagrama FV (B + C) com Autoconsumo (C) para um prédio [84]

Para definir o autoconsumo de forma mais formal é necessário o consumo instantâneo de energia, $L(t)$, e a geração instantânea de energia FV, $P(t)$. Assim, é possível escrever:

$$M(t) = \min\{L(t); P(t)\} \quad (3.41.)$$

em que:

$M(t)$ – Parte instantaneamente sobreposta dos perfis de geração e carga.

No caso de existir armazenamento de energia, por baterias, por exemplo, a expressão pode ser estendida a:

$$M(t) = \min\{L(t); P(t) + S(t)\} \quad (3.42.)$$

em que:

$S(t)$ – Energia de e para a unidade de armazenamento.

Com: $S(t) < 0$, unidade de armazenamento a carregar;

$S(t) > 0$, unidade de armazenamento a descarregar.

Como tal, é necessário ter em conta as perdas decorrentes do carregamento, armazenamento e descarga da energia. O autoconsumo e a autonomia podem agora ser definidos como:

$$\varphi_{AC} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} M(t)dt}{\sum_{t=t_1}^{t_2} P(t)dt} \quad (3.43.)$$

$$\varphi_{At} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} M(t)dt}{\sum_{t=t_1}^{t_2} L(t)dt} \quad (3.44.)$$

A relação entre autoconsumo e auto-suficiência é assim:

$$\frac{\varphi_{AC}}{\varphi_{At}} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} L(t)dt}{\sum_{t=t_1}^{t_2} P(t)dt} \quad (3.45.)$$

A Eq. (3.45.) permite, entre outras coisas, uma conversão entre o autoconsumo e a autonomia. O período de integração típico é de um ano, o que é suficientemente longo para ter em conta as variações sazonais e para minimizar a influência das flutuações aleatórias de curto prazo na geração e na carga [84].

Se não existir armazenamento, pelo Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de Outubro da República Portuguesa, é possível realizar o comércio de energia não utilizada para a Rede Eléctrica Portuguesa de Serviço Público (RESP). Uma vez que a produção de electricidade no autoconsumo é predominantemente utilizada para consumo na instalação associada, a energia não utilizada pode ser vendida através da RESP, a preço de mercado [87].

3.5.2.3. Factores Importantes

Ao interpretar o autoconsumo é necessário ter em atenção alguns factores que podem afectar o resultado, tais como [84] os tamanhos relativos de geração FV e procura de energia

O autoconsumo, conforme é definido anteriormente, é normalizado pelo total da geração de energia e a autonomia pela potência total exigida. Portanto, aumentando a

Metodologia

geração FV em relação à carga irá sempre diminuir o autoconsumo enquanto que a autonomia irá aumentar ou manter-se-á inalterada.

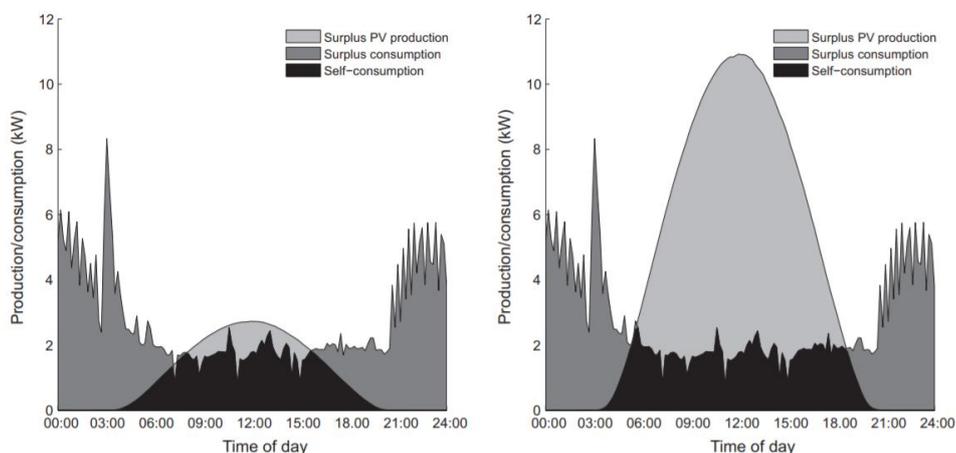


Figura 3.14 – Sistema PV com uma potência baixa (esq.) e com uma potência alta (drt) que alimentam a mesma instalação [84]

- Resolução de tempo

Em muitas situações, o autoconsumo é determinado através de séries de dados discretos de geração e de carga, geralmente, valores horários. Uma menor resolução levará a uma sobrestimação ou subestimação do autoconsumo, uma vez que as flutuações causam incompatibilidade entre os perfis de geração e de carga, sendo compensados pela média, tal como demonstrado na Figura 3.15. Existem diversos estudos que investigaram o impacto da resolução de tempo na análise da geração. Uma conclusão geral afirma a necessidade de dados sub-horários para a análise de edifícios individuais. Tal prende-se com a importância de capturar o comportamento de picos de alta potência.

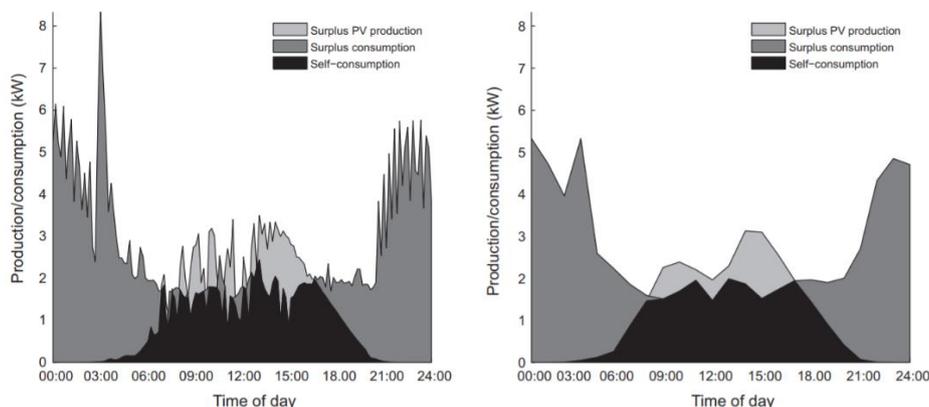


Figura 3.15 – Diferença do autoconsumo PV ao usar dados de 10 minutos (esq) e de uma hora (drt) [84]

Metodologia

- Número de edifícios

Os perfis de carga e de geração combinados de agregados de edifícios estão sujeitos a coincidências aleatórias, tal como é ilustrado na Figura 3.16. No entanto, a suavização da geração PV é causada pelo movimento das nuvens e os picos mais altos de potência ocorrem em dias claros.

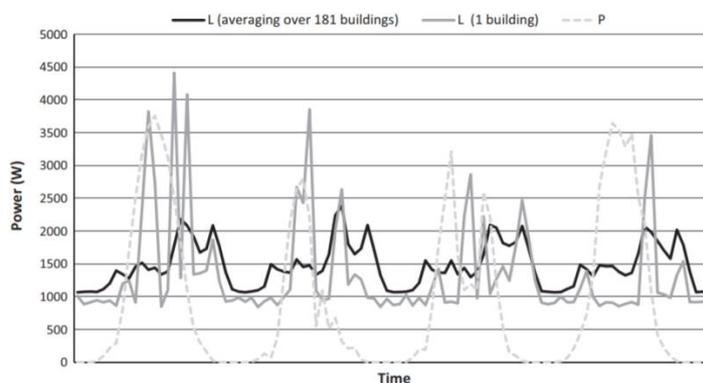


Figura 3.16 – Efeito da suavização da carga (L) em 181 edifícios em comparação com um. A geração FV (P) também é ilustrada [84]

3.5.3. Opções para o Aumento do Autoconsumo

Existem dois grandes métodos para melhorar o autoconsumo, nomeadamente o armazenamento de energia e o deslocamento de carga. Estas duas técnicas podem ser utilizadas separadamente ou combinadas. Cada uma dessas opções é descrita com mais detalhe seguidamente.

3.5.3.1. Gestão da Procura (*Demand Side Management – DSM*)

Existem diversos significados para o conceito de Gestão da Procura, no entanto, todos eles têm como denominador comum, melhorar o sistema de energia do lado do consumo. O termo é usado para deslocamento de carga, usado para mudar a procura de energia em casa, como por exemplo, máquinas de lavar e aquecimento, ventilação, entre outros. Estas cargas são mudadas para períodos onde existe excedente de produção FV. A transferência de carga pode ser obtida manualmente, onde as pessoas ligam dispositivos eléctricos quando existe Sol, ou automaticamente, através de algoritmos de controlo [84].

3.5.3.2. Tecnologias de Armazenamento

Existem diversas técnicas de armazenamento de energia disponíveis no mercado com desempenhos e custos diferentes. As baterias têm alta eficiência de conversão, mas também possuem uma auto-descarga relativamente alta (dependendo da tecnologia), e como tal, mais adequadas para balancear as flutuações diárias. O hidrogénio pode ser produzido através de electricidade usando a electrólise. Este pode ser armazenado num tanque de alta pressão e reconvertido de novo em electricidade com uma célula de combustível. Esta conversão tem uma eficiência aproximada de 36 %, bastante inferior ao das baterias.

A electricidade gerada pelos painéis FV pode também ser armazenada através de calor, como por exemplo, água num tanque. No entanto, esta conversão apresenta um rendimento muito baixo, definido pelo Ciclo de *Carnot*, não sendo por isso uma alternativa viável.

Ao utilizar um armazenamento de energia é necessário ter em conta as perdas inerentes. É sempre mais eficiente utilizar a energia gerada instantaneamente em vez de armazená-la para utilizações futuras. Este é um aspecto muito importante, uma vez que o armazenamento é um método utilizado para aumentar o autoconsumo [84].

3.6. Avaliação Económica

De forma a determinar a rentabilidade económica de dum investimento é necessário realizar a sua avaliação económica, tendo em conta os diferentes indicadores económicos existentes. Os que serão estudados para este caso são o Valor Actual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o *Pay – back* (Período de Recuperação do Capital Investido) e o *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) ou Custo Nivelado. Estes servem de suporte à tomada de decisão de implementação, ou não, do projecto. Toda esta informação foi retirada de [103] excepto o LCOE que foi retirado de [104].

3.6.1. Definições Gerais

Tal como já foi referido nos Capítulos anteriores, este estudo tem como um dos objectivos o estudo da viabilidade económica da implementação de um parque FV de autoconsumo, construído nas instalações do ISEL, aproveitando edifícios pré-existentes.

Metodologia

Nesta avaliação económica não foram tidas em conta as amortizações. Para se iniciar a avaliação é necessário ter em atenção os seguintes pontos:

- O tempo de vida útil é definido como o tempo durante o qual se desenrola o projecto, ou seja, 25 anos;
- O Investimento é o capital necessário para o início da implementação do projecto. Este mede o montante que a empresa/Instituição despende para a realização de um projecto de investimento. O montante deve compreender, entre outros, as despesas de aquisição e de construção, nomeadamente, as despesas de transporte, de instalação, de montagem. Também devem ser incluídas as despesas com o projecto e com a formação de pessoal;
- A Taxa de Actualização é aplicada a rendimentos futuros, ou a cash – flows, de modo a obter o seu valor actual actualizado. Esta taxa também é conhecida como custo de oportunidade do capital ou por taxa mínima de rendibilidade do projecto;
- O Financiamento pode ser dividido em dois tipos de capitais: os capitais próprios, pertencentes à empresa ou aos promotores do projecto; e os capitais alheios, que provêm do exterior da empresa onde é necessário o pagamento de juros;
- O período de reembolso é definido como o período durante o qual o devedor reembolsa o capital em dívida;
- A energia anual produzida é função da potência instalada e do tempo equivalente de funcionamento da central em questão;
- A Receita Bruta é definida pelo capital recebido pelos produtos ou serviços e pode ser calculada através da Eq. (3.46.)

$$R_b = P_v E_a \text{ [€]} \quad (3.46.)$$

em que:

R_b – Receita Bruta [€];

P_v – Preço de Venda da Energia [€/Wh];

E_a – Energia Produzida Anualmente [Wh].

Metodologia

- O Resultado Líquido é definido pelo fluxo monetário que sobra da receita bruta depois de retirados todos os custos ocorridos durante o período considerado, ou seja:

$$R_L = R_b - C_{OM} - C_{juros} \text{ [€]} \quad (3.47.)$$

em que:

R_L – Receita Líquida [€];

C_{OM} – Custos de Operação de de Manutenção [€];

C_{juros} – Juros [€]

3.6.2. Cash – Flow

O Cash – Flow representa o saldo entre as entradas e as saídas de capital de uma empresa, durante um determinado período de tempo. Este é calculado através da elaboração de um Mapa de Fluxos de Tesouraria.

3.6.3. Valor Actual Líquido

O Valor Actual Líquido (VAL) define-se, tal como dito anteriormente, como sendo a diferença entre os valores actualizados das entradas e saídas de dinheiro durante o período de vida útil do projecto. Tem como objectivo avaliar a viabilidade de um projecto. Entende-se por valor actual o valor no presente de um determinado montante a obter no futuro.

$$VAL = \sum_{a=1}^{T_{vu}} \frac{CF^a}{(1+i)^a} \text{ [€]} \quad (3.48.)$$

em que:

a – Ano do investimento;

T_{vu} – Tempo de vida útil do projecto [a];

CF^a – Cash – flow do ano a;

i – Taxa de actualização.

3.6.4. Taxa Interna de Rentabilidade

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) representa a rentabilidade gerada pelo investimento, ou seja, é a taxa que o investidor obtém, em média a cada ano, sobre os capitais que estão investidos. Representa a taxa que torna o VAL igual a zero, ou seja:

$$0 = \sum_{a=1}^{T_{vu}} \frac{CF^a}{(1 + TIR)^a} \quad (3.49.)$$

3.6.5. Pay – Back

O Período de Retorno do Investimento, comumente conhecido como *Pay – back*, é, como o nome indica, o período necessário para a recuperação do investimento. Este é um critério de avaliação de projectos que permite visualizar quantos anos é necessário até o projecto começar a gerar lucro, recuperando assim o capital investido.

3.6.6. Levelized Cost Of Energy

O *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) é traduzido pela soma do capital e dos custos de operação e manutenção durante o tempo de vida útil do projecto em questão, dividido pela energia eléctrica produzida durante o mesmo período de tempo.

Este indicador económico avalia o custo do sistema, no entanto, é complexo de determinar uma vez que depende de vários factores. Uma forma de calculo é mostrada seguidamente:

$$LCOE = \frac{\text{Valor actualizado dos custos}}{\text{Valor actualizado da energia}} = \frac{CAPEX + OPEX}{E_a} \quad [€/MWh] \quad (3.50.)$$

Onde:

$$CAPEX = \frac{I}{k_a} \quad [€/ano] \quad (3.51.)$$

Com:

$$k_a = \frac{1}{i} - \frac{1}{i(1+i)^{T_{vu}}} \quad (3.52.)$$

em que:

Metodologia

I – Investimento [€];

OPEX – Custos de operação e manutenção [€/ano];

k_a – Factor de anuidade que traduz a soma da serie que define a actualização.

É necessário também definir o LCOE para o total de anos de vida do projecto, desta forma é necessário considerar o seguinte:

- OPEX é um valor constante;
- A energia anual diminuí ao longo dos anos a uma taxa constante.

Assim temos:

$$LCOE = \frac{(CAPEX + OPEX) \times k_a}{E_a \times k_a} = \frac{I + OPEX \times k_a}{E_a \times k_a} \quad [\text{€/MWh}] \quad (3.53.)$$

A Eq. (3.53.) pressupõe que a energia anual produzida pelos painéis FV é constante. No entanto, tal não é verdade uma vez que esta diminuiu ao longo dos anos devido à diminuição da capacidade de conversão dos painéis.

Uma vez que a energia anual diminuí ao longo do tempo é necessário assumir o seguinte:

$$\left. \begin{array}{l} E_{a_1} = E_a \\ E_{a_2} = E_a \times (1 - \beta) \\ E_{a_3} = E_a \times (1 - \beta)^2 \\ E_{a_4} = E_a \times (1 - \beta)^3 \end{array} \right\} E_{a_n} = E_a \times (1 - \beta)^{n-1}$$

Deste modo é possível definir o seguinte:

$$\sum E_a^{act} = E_a \left(\frac{1}{1+i} + \frac{1-\beta}{(1+i)^2} + \frac{(1-\beta)^2}{(1+i)^3} + \dots + \frac{(1-\beta)^{n-1}}{(1+i)^n} \right) \quad (3.54.)$$

em que:

$\sum E_a^{act}$ – Energia anual actualizada [MWh];

β – Taxa de depreciação dos painéis FV.

Metodologia

Com a Eq. (5.54.) obtém-se a seguinte razão e fazendo a respectiva substituição ficamos com:

$$r = \frac{1 - \beta}{1 + i}$$

$$\sum E_a^{act} = \frac{E_a}{1 + i} \left(1 + \frac{1 - \beta}{1 + i} + \frac{(1 - \beta)^2}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{(1 - \beta)^{n-1}}{(1 + i)^{n-1}} \right) \quad (3.55.)$$

Com a razão apresentada na Eq. (3.55.) fica-se com:

$$(1 + r + r^2 + \dots + r^{n-1}) (1 - r)$$

$$= 1 + r + r^2 + \dots + r^{n-1} - r - \dots - r^n \quad (3.56.)$$

$$= 1 - r^n$$

Realizando a substituição da Eq. (3.56.) na Eq. (3.55.) obtém-se a seguinte expressão:

$$\sum E_a^{act} = \frac{E_a}{1 + i} \frac{1 - \frac{(1 - \beta)^n}{(1 + i)^n}}{1 - \frac{1 - \beta}{1 + i}} [MWh] \quad (3.57.)$$

Simplificando:

$$\sum E_a^{act} = \frac{E_a}{(1 + i)^n} \frac{(1 + i)^n - (1 - \beta)^n}{i + \beta} [MWh] \quad (3.58.)$$

De forma a calcular o LCOE para o total do tempo de vida da instalação, é assim usada a expressão apresentada na Eq. (3.58.):

$$LCOE = \frac{I + OPEX \times k_a}{\sum E_a^{act}} [€/MWh] \quad (3.59.)$$

As unidades de produção para autoconsumo (UPAC) com potência superior a 1,5 kW e cuja instalação esteja ligada à RESP, estão sujeitas ao pagamento de uma compensação, que permite recuperar uma parcela dos custos de política energética, ambiental ou de interesse económico geral (CIEG) na tarifa global do sistema [87].

Metodologia

Este custo mensal é fixo e vigora por um período de 10 anos a contar deste a entrada da instalação ao serviço, sendo que este incide sobre a potência instalada. Este é apresentado na Eq. (3.60.)

$$C_{UPAC} = P_{UPAC} \times V_{CIEG,t} \times k_t \text{ [€/mês]} \quad (3.61.)$$

em que:

C_{UPAC} – Custos referentes à parcela dos custos de política energética, ambiental ou de interesse económico geral [€];

P_{UPAC} – Potência da UPAC [kW];

$V_{CIEG,t}$ – Constante fornecida pela Directiva nº 19/2016 - ERSE [€/kW/mês];

k_t – Constante que pode assumir o valor de 0 %, 30 % ou de 50 %.

O valor do $V_{CIEG,t}$ encontra-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valor do $V_{CIEG,t}$ [87]

Nível de Tensão / Tipo de Fornecimento	$V_{CIEG,2017}$ [€/kW/mês]
AT	2,983
MT	3,878
BTE	5,061
BTN > 20,7 kVA	4,945
BTN ≤ 20,7 kVA	8,286

Assim, o LCOE assume a seguinte expressão:

$$LCOE = \frac{I + OPEX \times k_a + C_{UPAC} \times k'_a}{\sum E_a^{act}} \text{ [€/MWh]} \quad (3.61.)$$

Com:

$$k'_a = \frac{1}{i} - \frac{1}{i(1+i)^{n'}} \text{ em que } n' = 10 \text{ anos} \quad (3.62.)$$

em que:

k'_a – Factor de anuidade referente ao C_{UPAC} .

3.3.7. Demonstração de Resultados

De forma a apresentar os resultados obtidos da avaliação económica do projecto são elaborados alguns mapas, sendo eles os mais importantes os seguintes:

- Mapa de Investimento

Um investimento é a aplicação de fundos que têm como objectivo gerar investimento, durante um determinado período de tempo e de forma a maximizar a riqueza do investidor. Este mapa identifica os meios necessários de forma a iniciar o projecto e a sua alocação ao longo do tempo, bem como a sua proveniência.

- Mapa de Financiamento

Em projectos, é muitas vezes necessário recorrer a financiamentos externos de modo a conseguir concretizá-los. Este mapa tem em conta os montantes de capital necessário para o financiamento, bem como o pagamento de juros e os reembolsos.

- Mapa de Exploração

As previsões de receitas do investimento são feitas a partir do estudo do mercado em questão. No caso da produção de energia eléctrica em regime renovável assume-se que toda a energia produzida ou é consumida ou vendida. As previsões dos custos de exploração serão realizadas de acordo com a atribuição de preços aos recursos a utilizar.

- Mapa de Cash – Flow

Quando a tomada de decisão se faz em termos de implementar ou não um projecto, compara-se o cash – flow do projecto com um cash – flow de valor nulo. Assim, o do projecto é tomado em termos absolutos.

Metodologia

Capítulo 4

Caso de Estudo

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo, através da obtenção de resultados de cálculo de potência de saída do módulo FV. Posteriormente estes resultados são comparados e analisados, dando origem aos resultados obtidos.

4. Caso de Estudo

5.2. Introdução

Até 2014, em Portugal, houve um grande desenvolvimento de unidades de pequena mini e micro produção de energia eléctrica. Este apresentava-se como um investimento bastante atractivo uma vez que contava com a existência de uma tarifa bonificada que diminuía o risco destes investimentos para valores próximos de zero. O Decreto-Lei n.º 153/2014, já referido no Capítulo 3, terminou com estes regimes bonificados, uma vez que a tecnologia FV atingiu uma maturação suficiente que a permite ser competitiva com as outras tecnologias renováveis [88].

Este Decreto-Lei impõe duas modalidades distintas na forma como se caracterizam as instalações de geração FV descentralizadas de pequena dimensão. A primeira prevê que toda a energia produzida seja vendida à RESP com base num modelo de licitação. A segunda modalidade prevê que o consumidor possa realizar autoconsumo, podendo estar ou não ligado à rede eléctrica.

Para o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, a segunda modalidade é a que, à primeira vista trará mais benefícios. Esta modalidade prevê que toda a energia produzida deva ser consumida pela instalação em questão, excepto em caso de excedente de produção. Neste caso, a energia pode ser armazenada ou vendida à rede, tal como já referido no Capítulo 3. O consumo desta energia produzida deve ser máximo, de modo a conseguir maximizar o autoconsumo da instalação eléctrica. Esta modalidade tem também como grande objectivo diminuir a dependência da rede eléctrica e, conseqüentemente, a redução da factura da electricidade. Com a redução dos custos é possível canalizar os fundos para outros investimentos necessários ao bom funcionamento do Instituto.

Este estudo tem como principal finalidade provar que a instalação de uma fonte de energia FV neste Instituto é economicamente viável de modo a justificar o seu avultado investimento inicial.

4.2. O Campus do ISEL

4.2.1. Localização Geográfica

O Campus do ISEL encontra-se localizado na zona oriental da cidade, na freguesia de Marvila, Lisboa. Este encontra-se ladeado pela Rua Conselheiro Emídio Navarro a norte, pela Rua Engenheiro Rodrigues de Carvalho a sul, pela Avenida Dr. Augusto de Castro a este e pela Rua Engenheiro Ferreira Dias a oeste. O Instituto sozinho delimita um quarteirão cujo limite a norte e a oeste é rectilíneo enquanto que o limite a sul é consequência de uma via ondulada que percorre também o lado sul, tal como ilustrado na Figura 4.1.



Figura 4.1 – Fotografia Aérea sobre Lisboa Oriental [89]

Para aceder ao Campus podem ser utilizados um de três portões: o portão norte, o portão sul e o portão este. A entrada principal encontra-se localizada no portão norte, onde se faz também a entrada e controlo de veículos, no entanto, também é possível transpor esta entrada a pé. O portão sul, também passível de ser utilizado por veículos, encontra-se fechado para estes, estando assim só disponível para peões. Por último, o portão este, apenas pedonal, encontra-se muito perto da estação de metro de Chelas, no entanto, esta vertente é muito mais estreita do que as anteriores, não se destacando na Avenida no qual está inserido.

4.2.2. Espaço Edificado

Inicialmente, o Instituto era constituído por quatro edifícios sendo estes o central ao qual pertence a grande escadaria, os dois gémeos (Especialidades e Gerais) que se unem ao edifício central diagonalmente e ainda um quarto, que foi posteriormente

Caso de Estudo

demolido. Desde a sua conversão em ISEL, em 1974, este cresceu e desenvolveu-se, tal como os edifícios existentes na sua envolvência.



Figura 4.2 – Fotografias do Campus do ISEL na década de 70 [90]

Com o crescimento da oferta lectiva foram sendo construídos outros edifícios que, arquitetonicamente, de nada se ajustam com os mais antigos. Estes novos edifícios vieram trazer discórdia ao edificado do Instituto, não contribuindo para a ideia de unificação de todas as instalações existentes no Campus.

Assim, não é possível distinguir um elemento que seja inteiramente característico, que distinga o ISEL das outras instituições Universitárias. A construção do Campus estabilizou com a construção do Edifício Ferreira Cardoso, sendo este o último edifício construído, até à data.



Figura 4.3 – Fotografias do Campus do ISEL na actualidade [91]

Actualmente o ISEL conta com onze edifícios, sendo que a sua maioria possui quatro pisos. No entanto, na zona oeste encontram-se alguns relativamente mais baixos e com carácter temporário. O restante espaço é preenchido com dois recintos desportivos e com uma grande área de estacionamento livre para veículos autorizados.

Caso de Estudo

Tabela 4.1 – Infra – Estruturas do ISEL [92]

Infra-Estruturas	Dimensões [m²]
Área total do Campus	61 200
Edifícios	19 915
Recinto desportivo	1 611
Instalações AEISEL	419
82 salas de aula	5 416
10 salas de estudo	576
Biblioteca	629
95 Laboratórios	10 912
5 Auditórios	736
5 Unidades Alimentares	1 341
Residência de Estudantes	1 257



Figura 4.4 – Modelo tridimensional do Campus do ISEL [92]

4.2.3. Ligação à Rede Eléctrica

O ISEL é alimentado electricamente através da rede de distribuição pertencente à EDP Distribuição, sendo consumidor de energia eléctrica em média tensão (MT). O cabo entra no recinto pelo lado norte em direcção ao Posto de Transformação 1, PT₁.

O PT₁ encontra-se inserido no Edifício E (de cor lilás na Figura 4.4). Este foi único PT do Campus durante um grande período de tempo. Com o aumento do parque edificado foi necessária a instalação de um segundo PT, o PT₂, localizado na lateral norte do campus entre os edifícios C e A (de cor laranja e vermelho escura respectivamente). Ambos recebem a energia numa tensão de 10 kV.

Caso de Estudo



a)



b)

Figura 4.5 – a) Posto de Transformação 1; b) Posto de Transformação 2

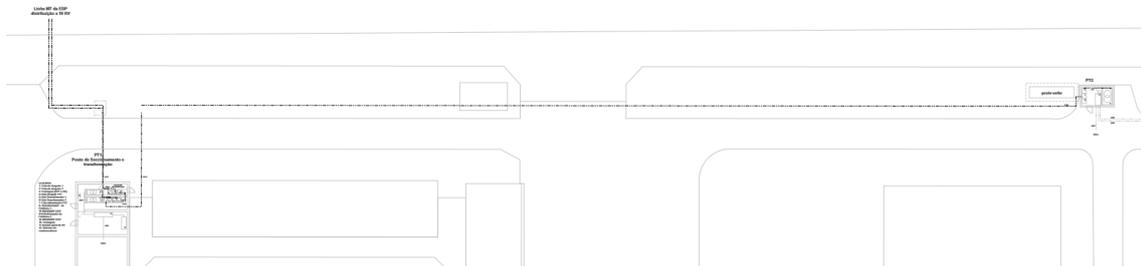


Figura 4.6 – Planta com Esquema Elétrico em MT [93]

O PT_1 é constituído por dois compartimentos. Um deles alberga os dois Transformadores de Potência (TP) existentes e celas MT enquanto o outro incorpora o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) e as Baterias de Condensadores (BC).

O cabo de energia entra no compartimento que alberga os TP e as celas MT, sendo este derivado em dois cabos. Cada um destes é dirigido para uma área exclusiva aos funcionários da RESP, neste caso a EDP Distribuição. Neste espaço isolado por rede estão instaladas as celas de chegada de ambos os cabos e uma cela de contagem, todas interligadas através de barramento aberto.

Estes cabos são, de seguida, conduzidos para a parte da instalação responsável pelo ISEL. Um dos cabos é acoplado à cela de alimentação do PT_1 , sendo direccionado de seguida para as celas de protecção do TP_1 e do TP_2 . O segundo cabo atravessa todas estas celas e é acoplado à cela de alimentação do PT_2 . Do lado correspondente à responsabilidade do ISEL é também instalado um contador de energia, de modo a monitorizar a entrada desta na instalação.

Caso de Estudo

Cada um dos TP está vedado, formando uma Gaiola de Faraday. Estes transformam a tensão de 10 kV para 400 – 230 V. Esta última é introduzida na rede de baixa tensão (BT) do ISEL, passando em primeiro lugar pelo QGBT. No compartimento do QGBT, tal como referido anteriormente, existe um armário que contém BC de 80 kVAr, de modo a controlar os níveis de energia reactiva existentes na instalação.



Figura 4.7 – a) Celas EDP; b) TP₂ do PT₁; c) QGBT e BC do PT₁

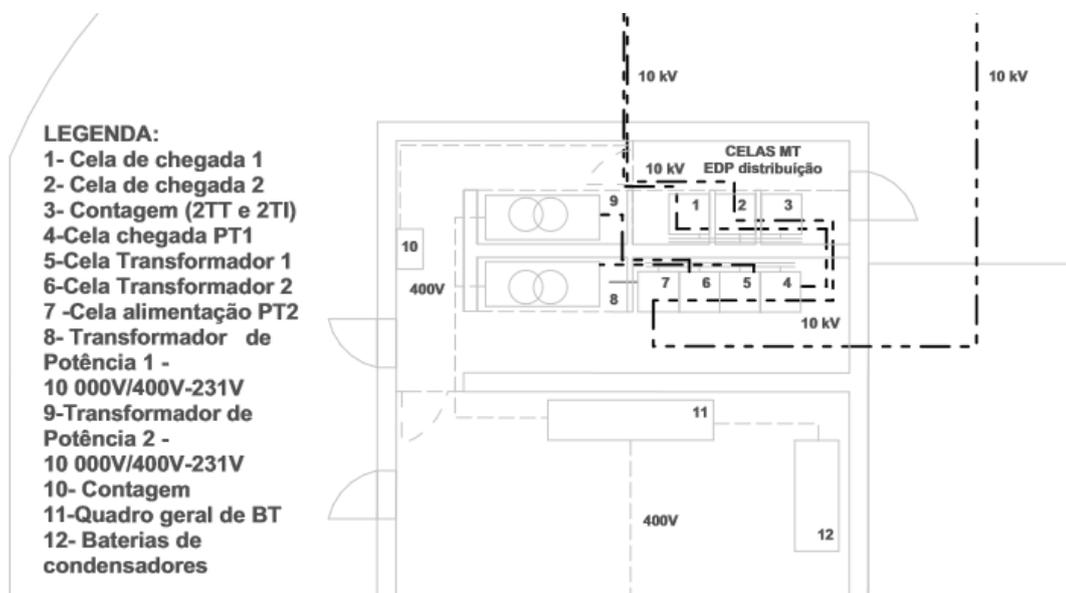


Figura 4.8 – Planta e Esquema Eléctrico do PT₁ [93]

No interior do PT₂ é possível encontrar um TP que possui uma potência superior à soma do TP₁ com o TP₂. Este também realiza a transformação 10 kV / 400 – 230 V. Este PT é do tipo cabine pré-fabricada, como tal apenas apresenta um compartimento

Caso de Estudo

que têm o TP devidamente vedado por gaiola de um lado e as celas MT, o contador de energia, o QGBT e o armário com as BC do outro.



Figura 4.9 – a) TP do PT₂; b) QGBT do PT₂

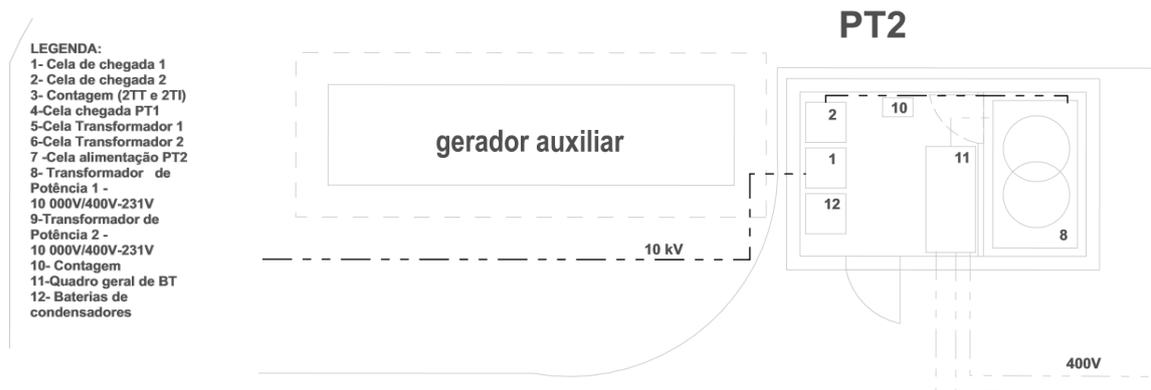


Figura 4.10 – Planta e Esquema Eléctrico do PT₂ [93]

4.4.1. Exposição Solar

Tal como já referido anteriormente, no Sub – Capítulo 2.2, Portugal é um país extremamente privilegiado no que diz respeito à energia FV, tal como os países do sul da Europa. A sua posição geográfica permite obter uma média de 2500 h de energia solar num ano, tal como ilustrado na Figura 2.13.

O número de horas de exposição solar aumenta à medida que nos dirigimos para o sul e para o interior do país. Lisboa não é uma das cidades mais favoráveis. No entanto, apresenta uma grande componente de radiação solar, nomeadamente, junto à frente ribeirinha do Rio Tejo.

Caso de Estudo

Na Figura 4.11 é possível observar a inclinação e o azimute dos raios solares, desde o solstício de Inverno a 21 de Dezembro, altura do ano em que a noite é maior, até ao solstício de Verão a 21 de Junho, altura do ano em que o dia é maior. Graficamente, é possível concluir que a frente sul é a que recebe uma maior quantidade de radiação solar. As áreas orientadas a este e a oeste, embora mais fracas, também recebem uma grande quantidade de energia. Assim, se se juntar estas três áreas, é possível aumentar significativamente o número de horas solares anuais utilizadas. Estas horas são de mais importantes, nomeadamente, durante o Inverno, de modo a prolongar o nível de produção da instalação FV.

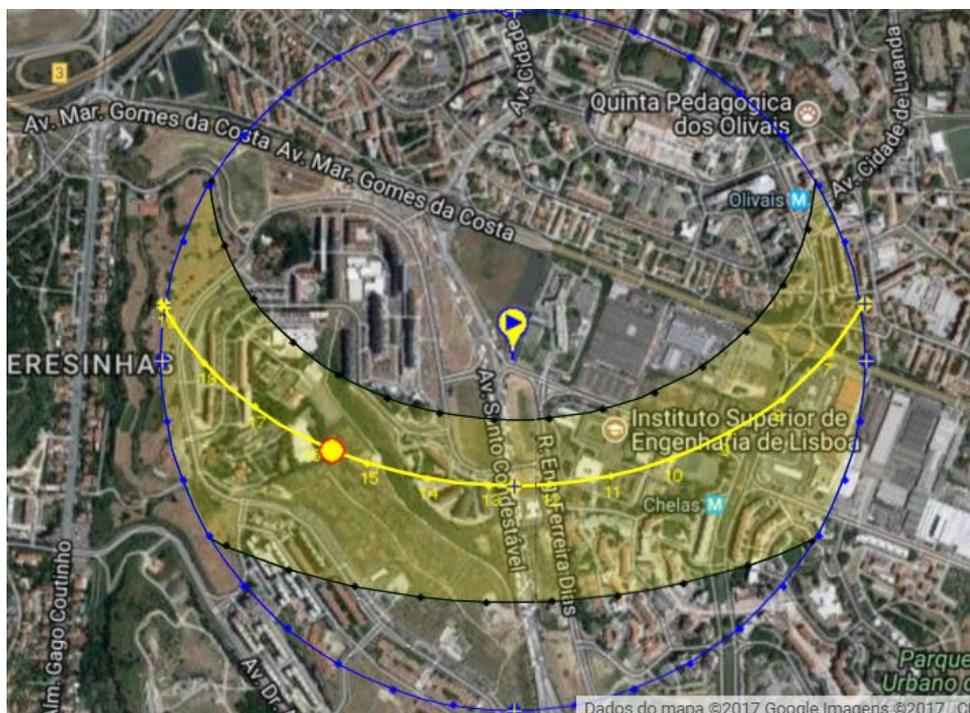


Figura 4.11 – Variação da inclinação e azimute solar anual em relação ao Campus do ISEL [94]

4.2.4.1. Radiação e Temperatura estimadas

De modo a determinar a radiação solar e a temperatura prevista para o local escolhido, ou seja, o ISEL, é utilizada uma aplicação denominada PVGIS [94]. Esta aplicação está a cargo do *Institute for Energy and Transport* (IET) da Comissão Europeia, como tal, os dados retirados são considerados fiáveis. No entanto, neste estudo, apenas serão considerados os dados da radiação solar directa e da temperatura ambiente.

Caso de Estudo

Assim, são obtidos valores de irradiância e de temperatura ambiente para cada mês do ano para duas inclinações fixas diferentes 33° e 90°. Estes dados são fornecidos em intervalos de quinze minutos.

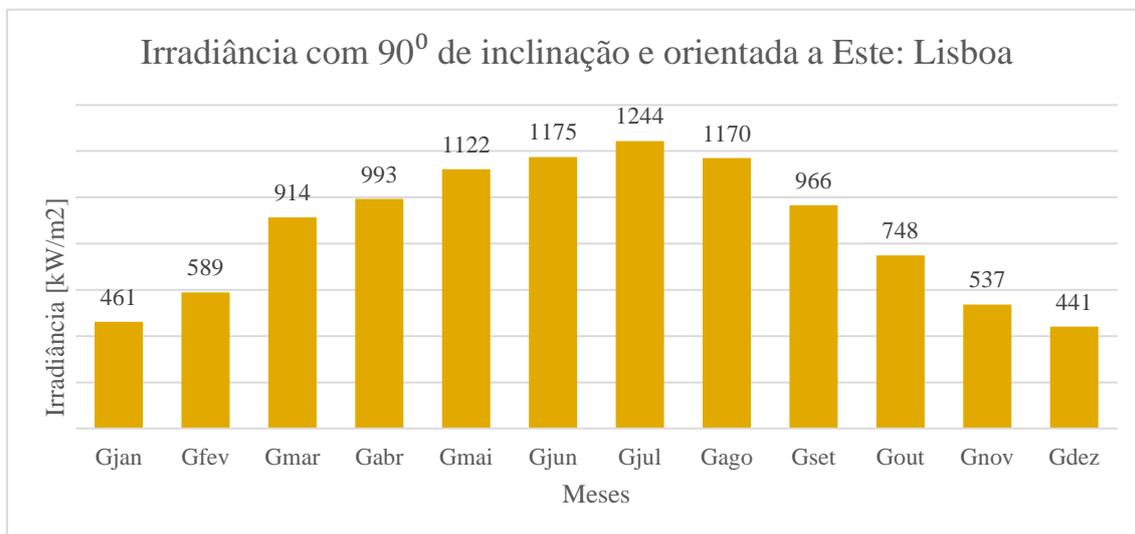


Figura 4.12 – Irradiância total mensal a 90° de inclinação e orientada a Este em Lisboa [95]

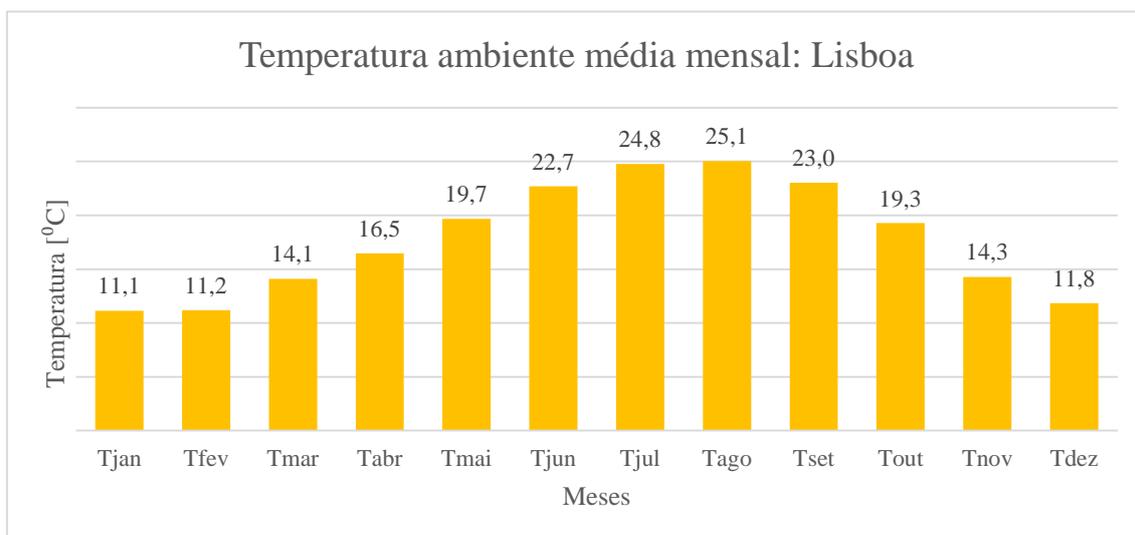


Figura 4.13 – Temperatura ambiente média mensal em Lisboa [95]

As horas fornecidas pelo PVGIS não correspondem aos fusos horários estipulados, sendo esta a hora solar no local. De modo a existir uma correspondência exacta com as horas de exposição solar é necessário adicionar 0,61 horas à hora fornecida. Em resumo, é necessário adiantar 38 minutos. Por outro lado, Portugal possui a chamada hora de Verão, ou seja, GMT+1h. Assim, desde Abril a Outubro, inclusivé, é necessário adiantar ainda mais uma hora.

Caso de Estudo

Todos os valores de irradiância apresentados são em situação de céu limpo. Em Lisboa, tal facto é uma situação, estatisticamente, muito favorável, representando cerca de 70 % dos dias do ano.

4.4.1. Perfil de Consumo do ISEL

A instalação de painéis FV que satisfaça o regime de autoconsumo deve cumprir duas grandes premissas. A primeira é ter uma capacidade instalada suficiente de modo a conseguir satisfazer a carga mais baixa de utilização diária. Tal facto garante que a instalação não produz energia para além da consumida, evitando a venda desta à rede a preços muito inferiores ao seu custo de produção. A segunda deve ter em conta o espaço disponível para a instalação FV existente no Campus.

A dimensão da instalação deve, como tal, ser dimensionada em função dos consumos anuais do ISEL. Para tal, é necessário consultar os diagramas de carga do Campus, fornecidos pela Instituição, de modo a concluir qual a potência mínima necessária para o funcionamento das actividades lectivas.

Após a recolha dos dados dos consumos diários para cada mês, estes foram tratados, sendo gerado um gráfico respectivos para cada. Nas Figuras 4.14 e 4.15 apresentam-se dois exemplos distintos. Os restantes gráficos estão presentes no Anexo V do presente documento.

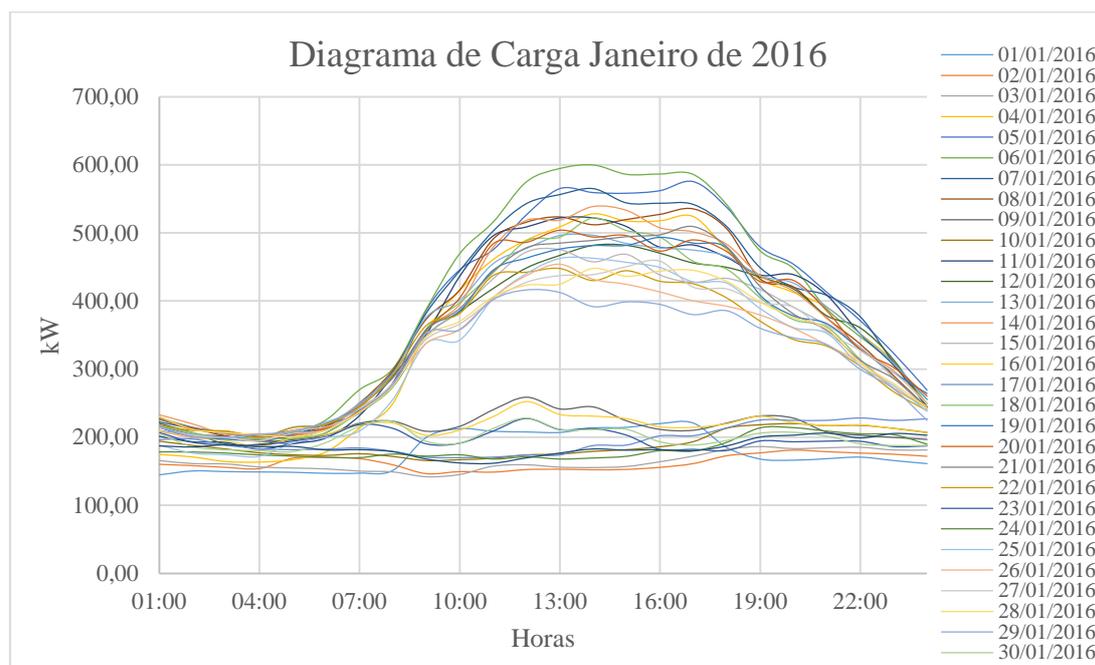


Figura 4.14 – Diagrama de Carga de Janeiro de 2016

Caso de Estudo

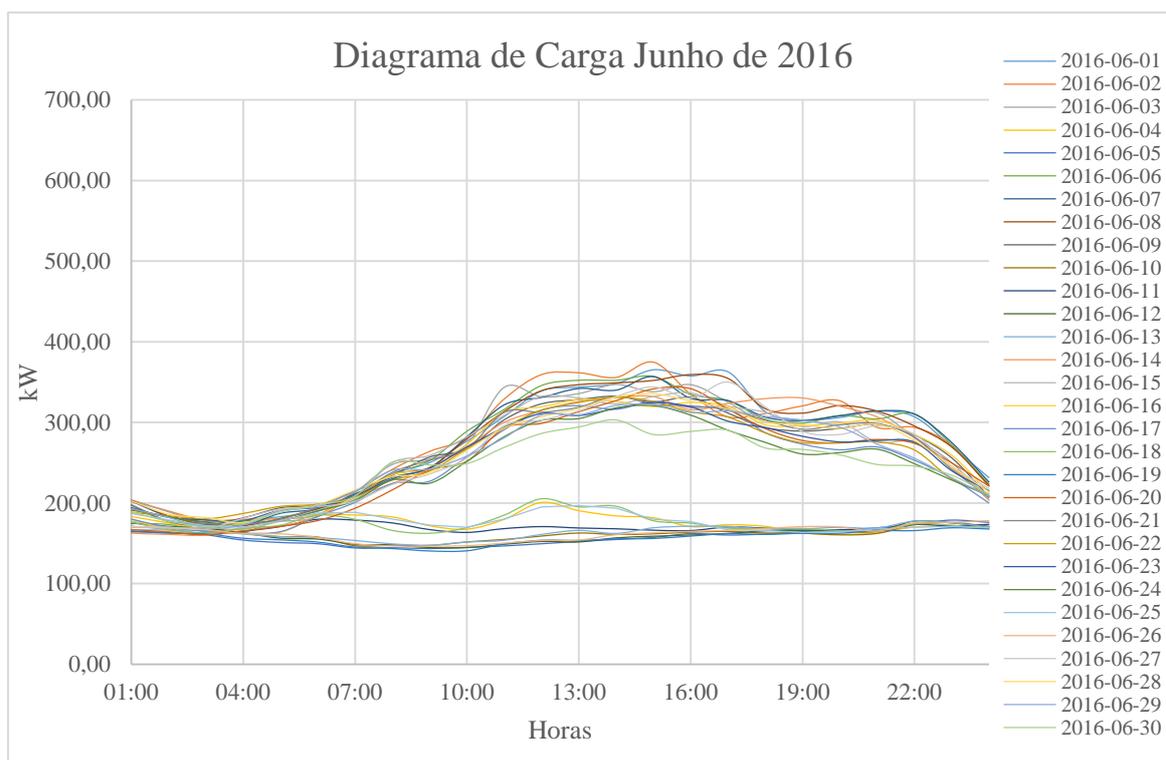


Figura 4.15 – Diagrama de Carga de Junho de 2016

Tal como é possível observar, o padrão de consumo não é muito variável ao longo do ano, apresentado uma potência de vazio perto dos 150 kW em todas as situações. A ponta máxima do diagrama não excede os 650 kW no Inverno e os 400 kW no Verão. É notório uma redução do consumo durante as férias lectivas, nomeadamente o mês de Agosto, em que para além da existência das férias lectivas, a maior parte dos serviços da Instituição encontram-se fechados ou com serviços mínimos.

Após este estudo, é realizado uma aferição da energia consumida pelo Instituto durante o período de um ano bem como a energia utilizada em cada mês, sendo estes valores apresentada na tabela 4.2:

Caso de Estudo

Tabela 4.2 – Energia Consumida pelo ISEL em 2015

Mês	Energia [MWh]
Janeiro	263,16
Fevereiro	232,07
Março	243,80
Abril	201,48
Mai	206,65
Junho	227,69
Julho	227,77
Agosto	125,29
Setembro	168,17
Outubro	196,31
Novembro	200,20
Dezembro	210,10
Total	2502,68

4.4.1. Espaço Disponível e Modelização

Para determinar a potência a instalar é necessário ter em conta o diagrama de carga da instalação, mas não só. É essencial determinar também o espaço disponível para a implementação destes sistemas. De modo a calcular este espaço foi utilizado o Google Maps uma vez que este permite medir as distâncias e calcular áreas seleccionadas.

Posteriormente, foi utilizado o software *SketchUp 2017* com a biblioteca do *plug-in Skelion* de modo a desenhar o edifício pretendido em 3D e posteriormente colocar painéis FV no mesmo.

A área seleccionada para a implementação deste sistema é o Edifício Ferreira Cardoso (Edifício C) uma vez que possui uma vista completamente desimpedida em direcção a Este e muito pouca sombra na direcção Sul. Um outro local onde é possível a implementação é no Edifício da Presidência (Edifício A) uma vez que também não possui sombra, tanto a Sul como a Este. Seguidamente é apresentado um esboço do Edifício C com as respectivas medidas e o respectivo modelo 3D.

Caso de Estudo

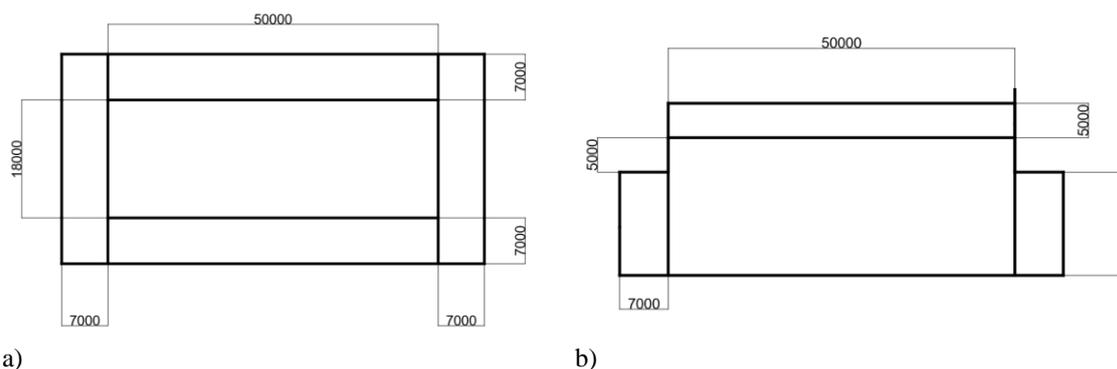


Figura 4.16 – Medidas retiradas através do Google Maps do Edifício C a) vista de cima; b) vista Este

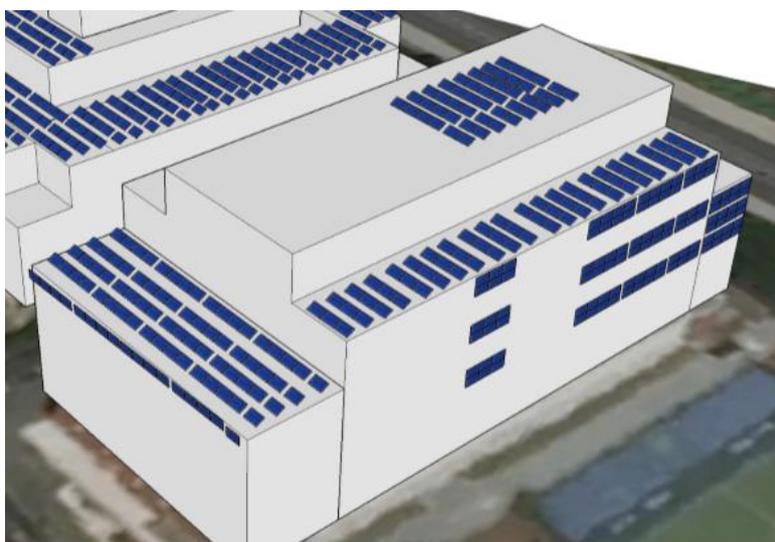


Figura 4.17 – Modelo 3D do Edifício C

Através do *Software Skelion* é então possível determinar o número de painéis a instalar, no Edifício C, de acordo com o espaço disponível. Assim sendo, através da contagem destes, como é visível na Figura 4.17, é possível instalar 307 painéis. As suas características, bem como o restante material necessário, são referidas no tópico 4.3.

Foram também realizadas medidas e um modelo 3D para o Edifício A, sendo contabilizados 210 painéis. Em conjunto, os dois edifícios possuem espaço para a instalação de 517 painéis. As dimensões de ambos os edifícios encontram-se no Apêndice I e os respectivos modelos 3D no Apêndice II.

4.3. Modelo Matemático Utilizado

A aplicação mais útil da utilização do Modelo de um díodo e três parâmetros é o cálculo da potência de saída da célula FV para uma determinada temperatura e irradiância incidente.

Os valores característicos da célula nas condições STC são conhecidos e fornecidos pelos fabricantes das células, disponíveis no catálogo do equipamento. A sequência de cálculo utilizada seguinte é:

1. Cálculo do potencial térmico em condições STC – Eq. (3.9.)
2. Cálculo do factor de idealidade do díodo – Eq. (3.22.)
3. Cálculo da intensidade de corrente de saturação do díodo em condições STC – Eq. (3.21.)
4. Cálculo da intensidade da corrente de curto-circuito – Eq. (3.25.)
5. Cálculo da temperatura de operação da célula – Eq. (3.35.)
6. Cálculo do potencial térmico – Eq. (3.2.)
7. Cálculo da intensidade de corrente de saturação do díodo – Eq. (3.24.)
8. Cálculo da tensão de máxima potência – Eq. (3.16.)
9. Cálculo da intensidade da corrente de máxima potência – Eq. (3.17.)
10. Cálculo da potência de saída – Eq. (3.28.)
11. Cálculo da Energia produzida – Eq. (3.38.)

4.4. Especificações dos Equipamentos

4.4.1. Painéis FV

A escolha dos equipamentos utilizar na instalação FV carece de algum estudo prévio, no entanto, este estudo não é uma tarefa problemática dada à variedade de equipamentos disponíveis no mercado.

Os catálogos dos respectivos equipamentos encontram-se no Anexo VI, no entanto, foram realizadas tabelas resumo com as principais características e com as necessárias para o estudo de cada um dos equipamentos.

Caso de Estudo

Tabela 4.3 – Especificações Eléctricas do Painel FV

	<i>Sunmodule Plus SW 300 Mono</i>
Potência Nominal	300 Wp
Média da eficiência	17,89 %
Tensão de potência máxima V_{MP}	32,6 V
Corrente de potência máxima I_{MP}	9,31 A
Corrente de Curto-Circuito I_{CC}	9,83 A
Tensão de Circuito aberto V_{ca}	40,0 V
NOCT	46 °C
Nº de células em série	60
Quantidade	517
Preço unitário	235,00 €

A potência instalada, do sistema FV, é assim obtida através dos 300 Wp de cada painel pelo número de painéis que se pretende instalar, assim é possível obter uma potência instalada de 155,1 kWp.

4.4.2. Esquemas de Ligações

De modo a determinar a quantidade de MPPT's e de inversores a utilizar na instalação é necessário ter em conta os esquemas de ligações possíveis dos painéis FV. Tal deve-se ao facto destes dois equipamentos possuírem tensões e correntes máximas de entrada, bem como potência máxima de entrada suportada. Tanto as correntes como as tensões são determinadas pela quantidade de séries e de paralelos nas ligações dos painéis e conseqüentemente a potência de entrada associada.

Na Tabela 4.4 seguinte são demonstrados, para as diferentes orientações utilizadas na instalação as correspondentes tensões e correntes máximas obtidas através dos cálculos realizados pelo Modelo Matemático indicado no ponto 4.3., para uma determinada radiação e temperatura operacional da célula FV:

Tabela 4.4 – Correntes e Tensões máximas obtidas pelos painéis FV

	V_{mp} [V]	I_{mp} [A]
Sul 33°	27,5	9,0
Sul 90°	30,8	6,1
Este 90°	30,7	7,0

Caso de Estudo

Através destas tensões e correntes foi possível determinar o número de séries e de paralelos a considerar. Para tal, foram realizados vários esquemas de ligações, tal como exemplificado na Figura 4.18.

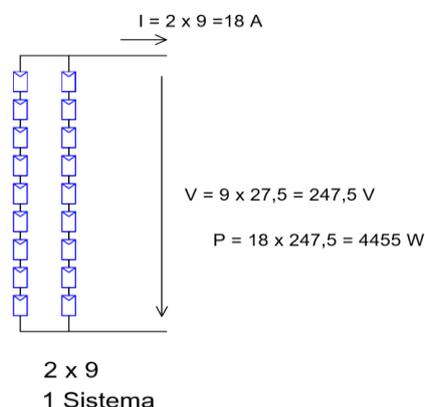


Figura 4.18 – Exemplo do Esquema de Ligações Edifício A, Sul 33°, sistema 2x9

Os restantes esquemas de ligações, referentes aos dois edifícios e às diferentes inclinações existentes, encontram-se representados no Apêndice III.

4.4.3. MPPT e Inversor

Através dos esquemas de ligações apresentados no ponto 4.4.2., é possível assim determinar a quantidade necessária de cada equipamento, nomeadamente a quantidade, bem como as suas diferentes características.

É importante referir que os painéis escolhidos já possuem incorporado um MPPT cada um. Assim, não é necessário escolher um MPPT para utilizar na instalação. No entanto, é necessário considerar um rendimento de 99 % para este equipamento.

Tabela 4.5 – Especificações Eléctricas dos Inversores

	SunnyTripower 12000TL	SunnyTripower 9000TL	SunnyTripower 5000TL
Potência DC de entrada	12275 W	9225 W	51000 W
Tensão DC de entrada	1000 V	1000 V	1000 V
Corrente DC de entrada	18 A	15 A	11 A
Potência AC à saída	12000 W	9000 W	5000 W
Potência aparente à saída	12000 VA	9000 VA	5000 VA
Tensão AC nominal	230 / 400 V	230 / 400 V	230 / 400 V
Número de fases	3	3	3
Eficiência máxima	97,9 %	97,6 %	97,1 %
Quantidade	7	5	3
Preço unitário	3212,34 €	2598,75 €	1912,97 €

4.4.4. Equipamentos Auxiliares

Para a instalação dos painéis no telhado e nas fachadas dos edifícios são necessários equipamentos auxiliares, nomeadamente os suportes que fixam os painéis à estrutura, os cabos, tanto de energia como de equipotencialização dos painéis e as protecções eléctricas dos painéis.

Na Tabela 4.6 é possível observar a quantidade necessária de cada tipo de suporte, bem como o seu preço unitário e o preço total de acordo com a quantidade.

Tabela 4.6 – Suportes para os Painéis FV

		Custo Unitário [€]	Qtd.	Custo Total [€]
A 90°	3 painéis	70	25	1750
	1 painel	38	16	608
A 33°	3 painéis	151	93	14043
	2 painéis	126	11	1386
	1 painel	85	97	8245

Muitos cabos são utilizados para satisfazer as exigências da geração de energia solar. Estes têm a finalidade de interligar o painel FV, o inversor e o transformador ou quadro de entrada de um edifício. No entanto, existem cabos que possuem a finalidade de equipotencializar os módulos FV entre si bem como toda a estrutura metálica envolvente, sem ser realizada a ligação à terra dos mesmos. Esta equipotencialização deve ser realizada com um cabo Energy RV-K FOC 1,8 kV CC - 0,6/1 kV AC de, no mínimo, 16 mm².

Para a ligação entre módulos FV de modo a formar as diversas strings que chegam às caixas de ligação é utilizado um cabo Exzhellent Solar ZZ-F (AS) 1,8 kV DC – 0,6 / 1 kV AC com 16 mm², sendo o preço de 1,99 €/m. Para a realização da ligação da instalação DC entre as caixas e o inversor e para a ligação AC entre este último e o quadro de entrada do respectivo edifício são utilizados cabos Energy RV-K FOC 1,8 kV CC - 0,6/1 kV AC de 16 mm², sendo o preço de 1,20 €/m [96].

As características de cada cabo utilizado estão descritas no Anexo VI.

De forma a fazer o agrupamento dos cabos são necessárias caixas de ligação, uma por cada inversor e uma a montante do inversor, já em AC. Sendo assim, são necessárias 15 caixas de ligação DC, sendo que cada uma possui um valor de 150 € e duas AC com um custo de 185 €.

Segundo a norma IEC 60364-7-712 [97] é necessária a instalação de um interruptor de corte geral entre os módulos FV e os inversores. Tal deve-se à eventualidade de ocorrência de falhas ou trabalhos de manutenção. Este interruptor terá de ser DC e bipolar, de forma a isolar o pólo negativo e o pólo positivo e por razões de segurança deverá ser instalado directamente antes do inversor. Devido à dificuldade de interromper as correntes DC este não deverá ser manobrado em carga, por razões de segurança. De forma análoga, no lado AC poder-se-á utilizar um disjuntor, mas após a caixa de ligação.

Uma vez que nesta instalação existem 15 inversores serão necessários 15 disjuntores DC, cada um com custo unitário de 193 € e 15 disjuntores AC, com custo unitário de 95 €.

4.5. Perfil de Produção

Após a análise dos dados obtidos pelo PVGIS e através dos cálculos efectuados é possível determinar a potência produzida por módulo, de acordo com a sua orientação e inclinação. Com a potência produzida por cada um destes é possível determinar a energia produzida pelo conjunto. Após a incorporação dos rendimentos dos inversores e do MPPT é possível determinar a energia útil produzida por cada conjunto de módulos FV de acordo com a sua inclinação e orientação, sendo estas apresentadas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Energia produzida através das diferentes inclinações e orientações

	Edifício A 33° Sul [MWh]	Edifício C 33° Sul [MWh]	Edifício C 90° Sul [MWh]	Edifício C 90° Este [MWh]	Total [MWh]
<i>Ejan</i>	6,72	5,83	0,55	2,12	15,21
<i>Efev</i>	8,08	14,40	0,59	2,96	26,02
<i>Emar</i>	10,89	19,40	0,64	4,72	35,64
<i>Eabr</i>	10,85	19,33	0,47	5,04	35,69
<i>Emai</i>	11,50	20,49	0,35	5,61	37,95
<i>Ejun</i>	11,38	20,27	0,26	5,68	37,59
<i>Ejul</i>	12,11	21,57	0,31	5,80	39,78
<i>Eago</i>	12,17	21,67	0,44	5,44	39,72
<i>Eset</i>	10,95	19,51	0,57	4,48	35,52
<i>Eout</i>	9,47	16,87	0,64	3,64	30,62
<i>Enov</i>	7,25	12,91	0,58	2,49	23,22
<i>Edez</i>	6,35	11,30	0,54	2,05	20,23

Através destes dados é possível construir o gráfico apresentado na Figura 4.19.

Caso de Estudo

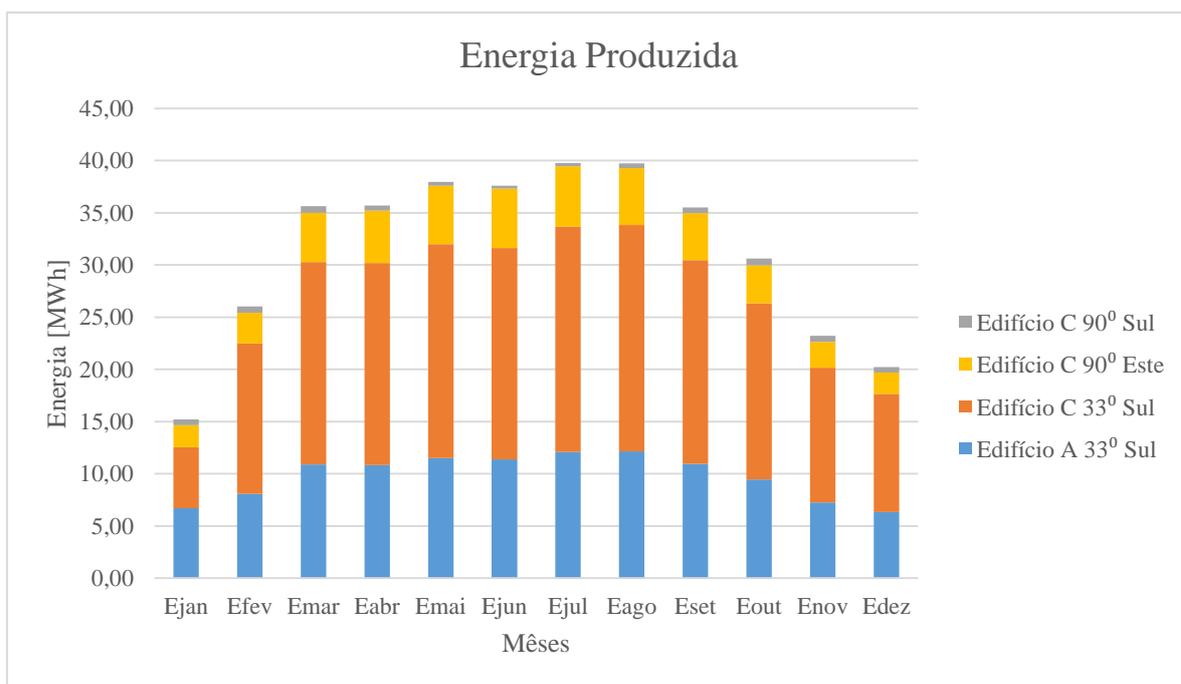


Figura 4.19 – Energia Produzida pelo conjunto dos módulos de acordo com a inclinação e orientação

Tal como seria de esperar, a inclinação e orientação associada à maior produção de energia é a 33° Sul, não só porque é a inclinação óptima para Portugal, mas também porque apresentam a maior quantidade de módulos FV.

Os módulos previstos, tanto a Sul como a Este, mas ambos com inclinação de 90°, apresentam uma menor energia produzida, uma vez que não é esta a inclinação óptima. No entanto, apresentam também um muito menor número de módulos, nomeadamente os previstos a Sul que só apresentam 17 módulos. Estes ainda apresentam uma maior produção de energia nos meses de Inverno, tal facto deve-se à inclinação do Sol, uma vez que este, durante os meses de Verão, encontra-se muito inclinado em relação à perpendicular dos painéis.

Através da soma proveniente da Tabela 4.7 é possível determinar a quantidade de energia produzida pela instalação, durante um ano, sendo esta, aproximadamente, 377 MWh.

No Apêndice V são apresentados os valores mensais da produção de energia FV, num dia típico em função da hora.

Nas Figuras 4.20 e 4.21 são apresentados dois gráficos, sendo que o primeiro diz respeito ao mês de Janeiro de 2016 e o segundo ao mês de Junho de 2016. Estes gráficos apresentam, durante um dia, a energia produzida pela instalação FV bem como o diagrama de carga do ISEL num dia de semana e num dia de fim de semana.

Caso de Estudo

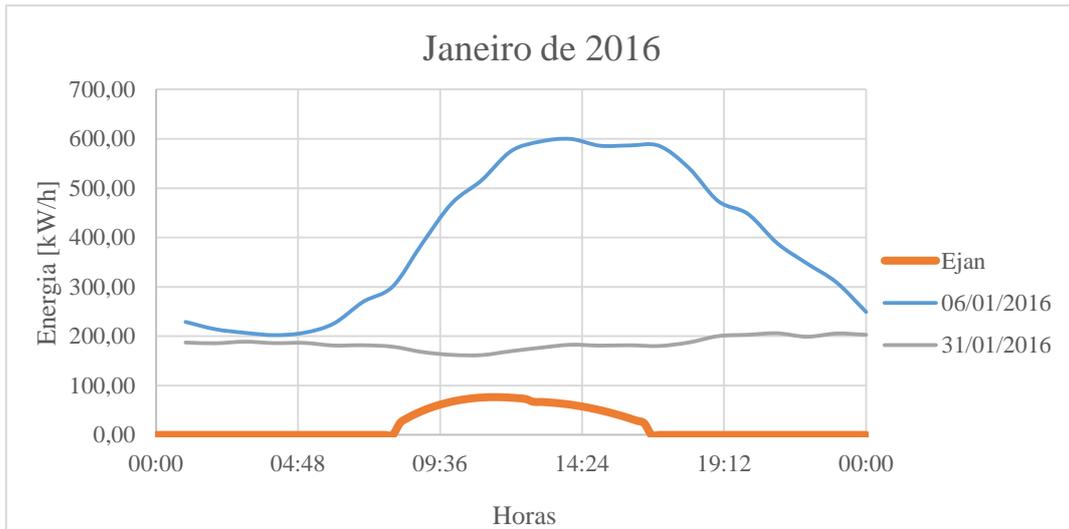


Figura 4.20 – Energia diária produzida em Janeiro e o diagrama de carga num dia de semana e num dia de fim de semana

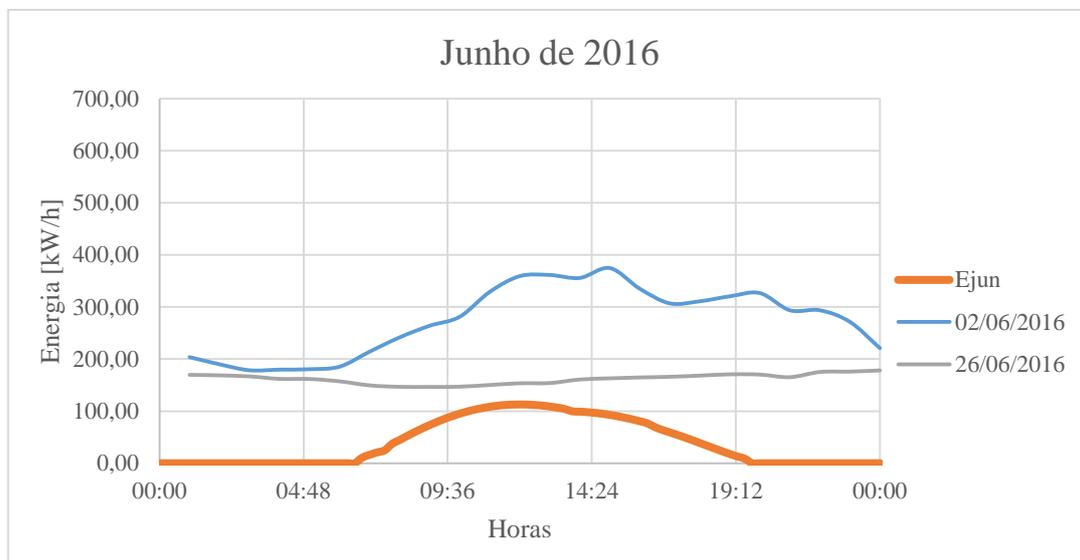


Figura 4.21 – Energia diária produzida em Junho e o diagrama de carga num dia de semana e num dia de fim de semana

4.6. Análise Económica

4.6.1. Autoconsumo e autonomia

Para realizar o cálculo do autoconsumo e o cálculo da autonomia é necessário utilizar as equações (3.43.) e (3.44.), respectivamente.

Uma vez que a instalação FV não apresenta valores de geração superiores aos valores da energia mínima consumida pela instalação, então o valor do autoconsumo FV é de 100 % para todos os meses do ano.

Caso de Estudo

Através da utilização da Eq. (3.44.) é possível obter os valores da autonomia da instalação, para os doze meses do ano, bem como a média. Estes valores estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Autonomia mensal e total

Mês	Autonomia [%]
2015/Julho	12,60
2015/Agosto	22,82
2015/Setembro	15,67
2015/Outubro	11,35
2015/Novembro	8,57
2015/Dezembro	6,87
2016/Janeiro	6,98
2016/Fevereiro	10,22
2016/Março	12,41
2016/Abril	13,96
2016/Maio	15,04
2016/Junho	17,83
Média	12,86

4.6.2. Custos

Os custos totais dizem respeito não só ao investimento inicial, mas também com os custos de manutenção respectivos ao sistema.

Para se conseguir contabilizar o investimento, é necessário somar todos o preços de todos os materiais utilizados. Estes encontram-se discriminados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Investimento Inicial

Material	Preço [€]
Painéis FV	121 495,00
Inversores	41 220,00
Suportes	26 032,00
Cabos	3 924,00
Caixas de Ligação	2 620,00
Protecções eléctricas	4 321,00
Instalação	61 500,00
Total	261 110,00

Caso de Estudo

Para os custos de Manutenção e Operação anuais assume-se 1 % do valor total de instalação, por ano. Assim obtém-se 2 611,00 € de custos de Operação e Manutenção.

Para o presente caso não serão consideradas amortizações nem juros referentes, uma vez que o ISEL é uma instituição de carácter público, como tal, não paga impostos ao Estado. De forma a realizar o cálculo do LCOE é necessária a energia total produzida ao longo de um ano, na instalação, sendo calculada no ponto 4.5. Apresenta um valor aproximado de 377 MWh.

Utilizando a Eq. (3.50.) é possível calcular o LCOE para o primeiro ano de vida da instalação FV. Para este cálculo é necessário também o número de anos de vida do projecto, neste caso de 25 anos, e também a taxa de rentabilidade mínima exigida, sendo esta neste caso de 4 %.

$$LCOE = \frac{16714,00 + 2611,00}{377} = 51,26 \text{ €/MWh}$$

Desta forma, é necessário calcular o LCOE para o tempo total de vida do projecto, ou seja, 25 anos, utilizando a Eq. (3.59.) A energia actualizada pressupõe uma taxa de depreciação dos painéis, sendo este caso 1% ao ano.

$$LCOE = \frac{261110,00 + 2611,00 \times 15,62}{5553,63} = 54,36 \text{ €/MWh}$$

De modo a calcular o LCOE para o tempo total de vida da instalação é necessário utilizar a Eq. (3.61.), já com a inclusão dos custos referentes à parcela dos custos de política energética, ambiental ou de interesse económico geral.

$$LCOE = \frac{261110,00 + 2611,00 \times 15,62 + 180,44 \times 8,11}{5553,63} = 54,62 \text{ €/MWh}$$

4.6.3. Proveitos

4.6.3.1. Tarifário

Embora o âmbito desta Dissertação não se prenda com o estudo do tarifário da Energia Eléctrica em Portugal este é indispensável para o estudo da viabilidade económica da instalação em estudo, nomeadamente relativamente aos proveitos da mesma. Deste modo, é realizada uma pequena reflexão sobre este tema.

Caso de Estudo

A energia eléctrica é um bem essencial, estando sujeita às obrigações de serviço público. Destas obrigações destacam-se a segurança, e a protecção dos consumidores, nomeadamente quanto a tarifas e preços do serviço.

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) tem como funções agregadas ao sector eléctrico, entre outras, o aprofundamento do Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL), acompanhamento das actividades do sector, definição das tarifas e preços, definição dos níveis de qualidade do serviço e elaboração de regulamentos [98].

Desde 4 de Setembro de 2006, todos os consumidores em Portugal Continental podem escolher o seu fornecedor de energia eléctrica. Esta medida prende-se com a liberalização do sector eléctrico, defendendo um aumento da concorrência e consecutivos reflexos nos preços e no aumento da qualidade de serviço [99].

O Sistema Tarifário e a metodologia de cálculo das tarifas, definidas no Regulamento Tarifário, devem promover de forma transparente a eficiência e justiça das tarifas, sem esquecer o equilíbrio económico e financeiro, a qualidade do fornecimento da energia e a estabilidade da evolução tarifária.

Assim sendo, a tarifa total, paga pelos consumidores de energia eléctrica, é constituída por duas parcelas que somadas constituem o valor da tarifa a pagar. Uma delas é representante da tarifa paga pela energia consumida, dada pelo mercado, e outra de acesso às redes, regulada pela ERSE. Esta última ainda se divide em duas, uma variável, em função da energia consumida, e outra mensal, dada pela uma pela potência média em hora de ponta e pela potência contratada [100].

A ERSE é também responsável pela definição dos períodos horários na entrega de energia eléctrica, sendo que para cada período o valor da tarifa a pagar varia. Estes períodos ainda estão divididos em ciclos horários, de acordo com o tipo de consumidor e onde se encontra, geograficamente [101]. Para o presente estudo foi utilizado o Ciclo Semanal para todos os Fornecimentos em Portugal Continental, presente em [102].

4.6.3.2. Poupança

Após a análise do tarifário, é possível definir duas etapas necessárias para o cálculo da poupança. A primeira prende-se com o cálculo da tarifa de acesso às redes. Esta diz respeito à tarifa da potência média em horas de ponta e à tarifa paga pela

Caso de Estudo

energia que transita na rede. A parte fixa desta tarifa terá de ser sempre paga, como tal, não se poupa, uma vez que a instalação eléctrica do Instituto está ligada à rede pública de electricidade. A segunda diz respeito à energia que é produzida e não é paga, fazendo parte os comercializadores finais de energia a os próprios mercados. Com a soma destas duas parcelas principais obtém-se a poupança realizada através da produção FV.

Através da energia produzida diariamente, durante um ano, é possível concluir que é realizada a seguinte poupança anual, no primeiro ano de funcionamento da instalação é a indicada na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Parcela variável da tarifa

Tarifa	Valor [€]
Acesso às Redes - Parcela variável	21 836,00
Energia – Mercados e Comercializadores	22 129,00
Total	43 965,00

Tal como referido no ponto 4.6.2., os painéis possuem uma taxa de depreciação de 1 % ao ano. Esta taxa interfere com o valor da tarifa poupada também em 1 % ao ano. Assim, no final da vida útil da instalação, ou seja, 25 anos, o valor da tarifa poupada é de 34 540,00 €.

4.6.4. Rentabilidade

A Rentabilidade da instalação é avaliada através do Cash-Flow. Este, tal como já referido anteriormente, representa o saldo entre as entradas e saídas de capital, neste caso, do Instituto referente a este projecto.

Para o seu cálculo foi elaborado um Mapa de Fluxos de Tesouraria, onde constam os valores referentes à poupança na tarifa da energia não consumida através da rede pública, os custos referentes à parcela dos custos de política energética, ambiental ou de interesse económico geral (pagos durante 10 anos após a entrada da instalação ao serviço), o investimento inicial e os custos de manutenção (considerados constantes ao longo dos 25 anos de vida útil da instalação).

O resultado deste Mapa foi convertido em gráfico, sendo o apresentado na Figura 4.22.

Caso de Estudo

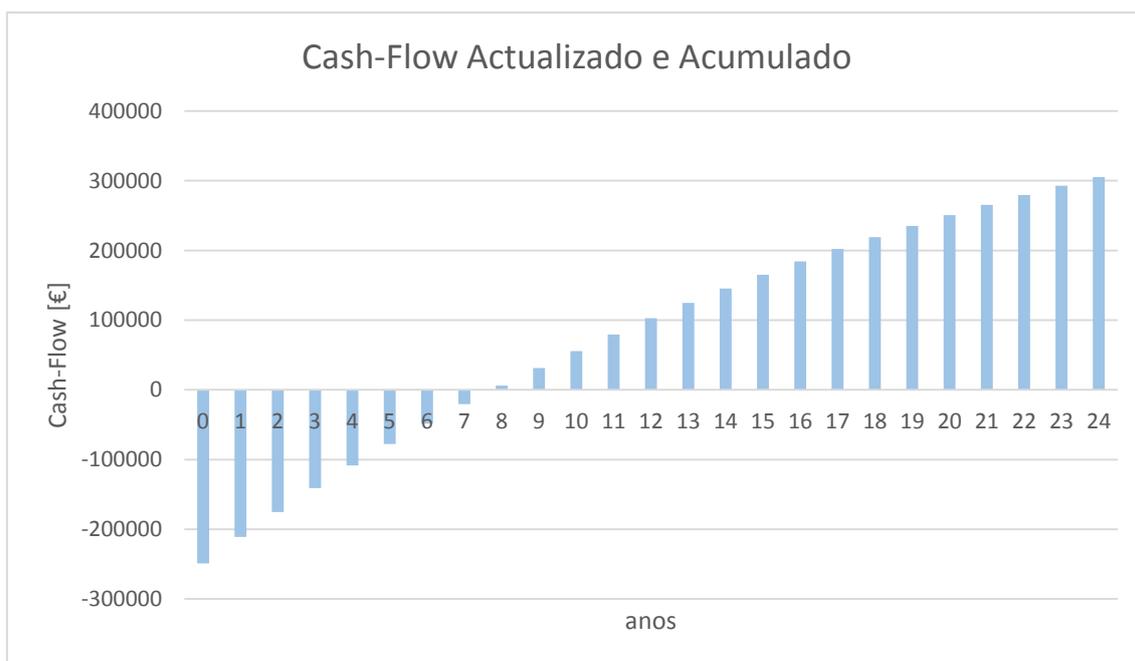


Figura 4.22 – Rentabilidade do projecto

4.6.5. Avaliação a 25 anos

Através do Mapa de Fluxos de Tesouraria, realizado para o cálculo da rentabilidade do projecto, é possível retirar outras conclusões para além do Cash-Flow. Tal é o caso dos indicadores económicos, VAL, TIR e Pay-Back. Estes indicadores, já referenciados no ponto 3.6., têm como principal função, avaliar a viabilidade de um determinado projecto, neste caso, da instalação de painéis FV no ISEL.

Assim sendo, os valores obtidos para estes indicadores económicos, ao final dos 25 anos de vida da instalação, foram os seguintes:

Tabela 4.11 – Indicadores Económicos do projecto

Indicador	VAL [€]	TIR [%]	Pay-Back [anos]
Económico	317 401,00	14,5	8

4.6.6. Simulação de alteração da composição do tarifário de acesso às redes públicas de electricidade

Nos próximos anos é previsível um aumento das energias renováveis em toda a rede pública de energia. Neste ponto insere-se também um aumento de energia FV instalada pelos consumidores finais de energia eléctrica. Através deste aumento, localizado perto dos consumidores finais, irá existir menos energia em trânsito na rede.

Caso de Estudo

Em consequência irá existir uma perda de receita para os concessionários das redes (MAT, AT e MT).

Este acontecimento poderá levar a que os concessionários das redes proponham ao regulador (ERSE) uma variação da estrutura tarifária existente nos dias de hoje. Assim sendo, um aumento da tarifa fixa e a consequente diminuição da tarifa variável. Se tal acontecer, a rentabilidade do autoconsumo, que se encontra assente na poupança realizada através da parte variável da tarifa, poderá ser drasticamente diminuída.

Através desta condicionante, é realizada uma simulação onde se altera a percentagem das componentes da tarifa, nunca alterando o total pago.

Analisando um mês da tarifa, é possível concluir que a tarifa correspondente à parte variável representa 96 % do total de toda a tarifa paga, enquanto que a parte fixa apenas representa 4 %. Uma vez que a energia activa correspondendo à parte dos Mercados não se altera, este estudo tem apenas impacto na parte da tarifa que não depende do mercado, ou seja, a tarifa correspondente às redes. Neste caso, a parte correspondente à parcela fixa é de 9 % do total da tarifa das redes, enquanto que a parcela variável das redes representa 91 %. Esta simulação foi realizada com base na factura de electricidade do ISEL de Junho de 2016.

Através desta simulação, é possível calcular de novo os indicadores económicos do projecto. Os resultados são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Indicadores Económicos com alteração da composição tarifária

Composição da Tarifa das Redes		Indicadores Económicos		
Fixa [%]	Variável [%]	VAL [€]	TIR [%]	Pay-Back [anos]
9	91	302 813,00	14,04	9
17	83	264 527,00	12,87	9
26	74	227 786,00	11,74	10
35	65	224 484,00	11,64	10
43	57	193 873,00	10,67	11
52	48	169 330,00	9,89	12
61	39	151 220,00	9,31	13
70	30	131 045,00	8,64	13
79	21	107 574,00	7,86	15
87	13	86 783,00	7,15	16
96	4	59 349,00	6,19	18

4.7. Análise e Comparação dos Resultados Obtidos

Através da análise da energia produzida ao longo de um ano é possível concluir que esta apresenta um valor considerável face à dimensão da instalação idealizada nesta Dissertação. É possível concluir também que os painéis com diferentes inclinações permitem aproveitar uma maior quantidade de horas de exposição solar. Comparando um painel de cada inclinação e orientação é possível determinar que os orientados a Sul com inclinação de 33° são os que produzem a maior quantidade de energia, uma vez que apresentam a inclinação e orientação óptimas para Portugal Continental.

Através da análise dos indicadores económicos referentes a este projecto, bem como do LCOE do mesmo é possível concluir que o mesmo é viável e, como tal, será uma boa opção optar pela sua implementação.

O LCOE apresentado no ponto 4.6.2. apresenta um valor inferior ao custo do kWh comprado ao comercializador final, como tal, é possível concluir que o preço de compra do kWh é inferior ao custo de produzir o mesmo kWh através da instalação FV.

Através dos indicadores económicos é possível verificar que o valor do VAL é superior ao investimento inicial necessário para a implementação da instalação FV. Podemos também verificar que a TIR possui um valor de 14,5 % para este tipo de projectos, bem como o valor do Pay-Back, que apresenta um valor muito reduzido, 8 anos, face ao tempo de vida útil da instalação, que são 25 anos.

Em relação ao ponto 4.6.6., é possível confirmar que mesmo que a composição tarifária regulada pela ERSE seja alterada, rentabilidade do projecto mantém-se positiva. No entanto, esta diminui consideravelmente. Analisando cada indicador em separado podemos concluir que o VAL que diminui consideravelmente de 302 813,00 € para 59 349,00 €, o Pay-Back passa para o dobro do valor inicial e a TIR diminui para menos de metade do valor inicial.

Caso de Estudio

Capítulo 5

Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões retiradas do estudo elaborado e descrito neste documento e indicados possíveis desenvolvimentos futuros para a instalação.

5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

5.1. Conclusões

Terminada a elaboração da presente Dissertação pode concluir-se que os principais objectivos propostos foram concretizados. Após o estudo teórico, tanto em relação às tecnologias FV como à sua modelização matemática foi possível determinar qual a melhor tecnologia FV para este estudo bem como qual o melhor modelo matemático para a realização do mesmo.

O estudo do espaço edificado com possibilidade para receber a instalação FV foi também muito importante, de modo a poder ser determinada a potência a instalar neste estudo. Este foi conseguido através do *Software Skelion*. Este possibilitou o desenvolvimento de um modelo a três dimensões do espaço edificado. Para além do modelo, este permitiu também introduzir os painéis FV nos locais correspondentes de instalação. Com esta implementação, foi assim possível determinar os esquemas de ligações dos painéis e conseqüente dimensionamento eléctrico do sistema. Este dimensionamento eléctrico também permitiu a escolha dos inversores associados ao sistema, uma vez que a energia utilizada nas instalações é AC e não DC.

O cálculo da energia produzida foi realizado não só através de expressões matemáticas que representam o circuito equivalente dos painéis FV, mas também da incorporação dos equipamentos que da instalação fazem parte, tal como os inversores que possuem um determinado rendimento, alterando conseqüentemente a energia produzida pelos painéis FV. Ao final de um ano estimasse uma energia total produzida de 377 MWh, com 155 kWp de potência instalada.

O estudo da avaliação económica permitiu realizar a avaliação económica do projecto em estudo. Esta possibilitou retirar conclusões relativamente à futura implementação deste projecto, tendo sido calculada uma TIR de 14,5 % com o *Pay-back* de 8 anos.

Por último, foi realizada uma simulação da alteração da composição do tarifário actual, relativamente à componente variável das Redes. Esta simulação teve o intuito de avaliar se mesmo com uma grande alteração da composição da tarifa das redes, a instalação de painéis FV continuaria a ser ou não rentável, uma vez que a rentabilidade de um projecto desta natureza assenta na poupança que se obtém por não consumir a

energia proveniente da Rede. Este estudo revelou que sim, no entanto, com a consequente grande perda de rentabilidade do projecto, passando a TIR de 14,04 % para 6,19 % com a inversão da composição da tarifa. Os dois indicadores económicos também sofrem grandes alterações, como a diminuição do valor do VAL em, aproximadamente, cinco vezes, de 302 813,00 € para 59 349,00 € e o aumento para o dobro do *Pay-back*.

5.2. Desenvolvimentos Futuros

De acordo com os resultados obtidos com o estudo realizado nesta Dissertação é possível afirmar que a instalação proposta para o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa é viável. Assim sendo, será interessante o contínuo estudo deste projecto tornando-o, em primeiro lugar, real. Desde modo, o primeiro passo deverá passar por estudar o financiamento para este projecto, nomeadamente através de fundos de empresas.

De seguida, seria interessante, através de outras tecnologias, fisicamente mais leves, estudar a sua implementação nos restantes edifícios do Instituto. Tal prende-se com o facto de não ser possível averiguar se os edifícios E e G suportam os painéis de silício utilizados neste estudo, devido ao peso elevado dos mesmos. Através de painéis com tecnologia de filmes-finos, poderia ser viável a sua instalação nestes edifícios.

Uma vez que este estudo foi dimensionado para a energia de *stand-by* do Instituto, com a implementação de uma maior potência instalada, esta terá de ser vendida à rede, perdendo assim alguma eficiência, uma vez que o preço pago por esta energia é relativamente baixo. Em contrapartida, seria interessante a instalação de um sistema de baterias acumuladoras de energia. Estas iriam permitir que este excedente de energia não seja vendido à rede e possa ser armazenado para ser consumido em situações onde não exista produção de solar ou que a energia comprada à rede nacional tenha um preço superior.

Referências

Bibliográficas

Referências Bibliográficas

- [1] Crabtree, George W.; Lewis, Nathan S., *Solar Energy Conversion*, Março 2007
- [2] Castro, Rui. (2011). Recurso e Tecnologias Solares. In Castro, Rui. *Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica*. IST Press. Cap. 7, p.308-354. ISBN: 978-989-8481-01-6
- [3] Castro, Rui. (2011). Recurso e Tecnologias Solares. In Castro, Rui. *Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica*. IST Press. Cap. 8, p.356-416. ISBN: 978-989-8481-01-6
- [4] Becquerel, E., “Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons”, *Comptes Rendues* 9 (1839) 561.
- [5] Adams, W.G. and Day, R.E., “The action of light on selenium”, *Proceedings of the Royal Society*, A25 (1877) 113
- [6] Nobelprize.org, Albert Einstein – Biographical. Available in http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/einstein-bio.html , last time accessed on 11/07/2017
- [7] The Physics Hypertextbook – Photoelectric Effect. Available in <https://physics.info/photoelectric/>, last time accessed on 16/08/2017
- [8] Chapin, D. M., Fuller, C. S. and Pearson, G. L., “A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power”, *Journal of Applied Physics* 25 (1954) 676.
- [9] Chapin, D. M., Fuller, C. S. and Pearson, G. L., *Solar Energy Converting Apparatus*, Patent US2780765.
- [10] Pearson, G. L., “Conversion of solar to electric energy”, *American Journal of Physics* 25 (1957) 591.
- [11] Wolf, M., “Limitations and possibilities for improvement of photovoltaic solar energy converters”, *Proceedings of the IRE* 48 (1960) 1246.
- [12] Koltun, M. M., “History of solar cell development in the Soviet space program and the terrestrial potential for this technology”, *Solar Energy Materials and Solar cells* 44 (1996) 293-317.
- [13] Lindemeyer, J. and Allison, J. F., “An improved solar cell: the violet cell”, *Proceedings 9th IEEE PSC, Silver Spring* (1972) 83
- [14] Mandelkorn, J. and Lamneck, J. H., “Simplified fabrication of back surface electric filed silicon cell and novel characteristics of such cells”, *Proceedings 9th IEEE PSC, Silver Spring* (1972) 66

Referências Bibliográficas

- [15] Haynos, J. G. et al., “The COMSAT non-reflexive silicon solar cell: a second generation improved cell”, Proceedings International Conference on PV Power Generation, Hamburg (1974) 487
- [16] Ralph, E. L., “Recent advances in low cost solar cell processing”, Proceedings 11th IEEE PVSC (1975) 315
- [17] Green, M. A. et al., “Improvements in silicon solar cell efficiency”, Proceedings 18th IEEE PVSC, Las Vegas, Nevada (1985) 39.
- [18] Sinton, R. A. et al., “Silicon point contact concentrator solar cells”, Proceedings 18th IEEE PVSC, Las Vegas, Nevada (1985) 61.
- [19] Bruton, T. et al., “Multimegawatt upscaling of silicon and thin film solar cell and module manufacturing”, MUSIC FM, Final Report RENA-CT94-0008 (1997).
- [20] Zhao, J., Wang, A., Green, M. A. and Ferrazza, F., “Novel 19.8% efficient honeycomb textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cell”, Applied Physics Letters 73 (1998) 1991.
- [21] Schultz, O., Glunz, S. W. and Wileke G. P., “Multicrystalline Silicon Solar Cells Exceeding 20% Efficiency”, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 12 (2004) 553.
- [22] King, R. R., et al., “Lattice-matched and metamorphic GaInP/GaInAs/Ge concentrator solar cells”, Proceedings of the World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-3), Osaka (2003).
- [23] Viaud, M., Hoffman, W. and Aulich H., “European PV Industry roadmap”, Proceedings 19th EPVSEC (2004).
- [24] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe. Available in <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eur.htm>, last time accessed on 22/0/8/2017
- [25] Dados Técnicos REN 2016
- [26] Electricidade Renovável Em Revista 2016, APREN
- [27] Energy Informative, Solar Cell Comparison Chart – Mono, Polycrystalline and Thin Film. Available in <http://energyinformative.org/solar-cell-comparison-chart-mono-polycrystalline-thin-film/>, last time accessed on 04/07/2017
- [28] GreenMatch, Disposal and Recycling of Photovoltaic Solar Panels. Available in <http://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/11/disposal-and-recycling-of-photovoltaic-solar-panels>, last time accessed on 05/07/2017

Referências Bibliográficas

- [29] Bayrak, Fatih Et al. (2017) Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels. *Journal of Cleaner Production*. Volume 164, October 2017, pages 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.108>
- [30] Latunussa, Cynthia E. L. Et al. (2016) Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 156, November 2016, pages 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.03.020>
- [31] Corcelli, Fabiana Et al. (2016) Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life. *Ecological Indicators*. (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.028>
- [32] Nanoflex Power Corporation. Available in <http://www.nanoflexpower.com/gallium>, last time accessed on 27/04/2017
- [33] Tech Briefs – Engineering solutions for design & manufacturing. Available in <http://www.techbriefs.com/component/content/article/ntb/features/application-briefs/18946>, last time accessed on 22/05/2017
- [34] Alta Devices – A Hanergy Company. Available in <http://www.altadevices.com/technology/>, last time accessed on 23/05/2017.
- [35] San Román, E. *et al.* Cloaking of solar cell contacts at the onset of Rayleigh scattering. *Sci. Rep.* **6**, 28669; doi: 10.1038/srep28669 (2016).
- [36] Yablonovitch, Eli; Miller, Owen D.; Kurtz, S. R. (2012). "The opto-electronic physics that broke the efficiency limit in solar cells". *2012 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. p. 001556. ISBN 978-1-4673-0066-7. doi:10.1109/PVSC.2012.6317891
- [37] Sundaram, Senthilarasu Et al. (2016). *Solar Photovoltaic Technology Production*. Academic Press. eBook ISBN: 9780128029688. Paperback ISBN: 9780128029534
- [38] U.S. Department of Energy, Energy Innovation Portal, Advanced Ultra High Performance InP Solar Cells. Available in <http://techportal.eere.energy.gov/technology.do/techID=1355>, last time accessed on 24/05/2017
- [39] Joyce, António. (2010). O Solar Fotovoltaico de Concentração. *Renováveis Magazine – Revista técnico-profissional de energias renováveis*. N°1 – 1º trimestre de 2010, p. 24-29. <http://hdl.handle.net/10400.9/1154>
- [40] Solar Facts and Advice, Cadmium Telluride – The Good and the Bad. Available in <http://www.solar-facts-and-advice.com/cadmium-telluride.html>, last time accessed on 27/07/2017

Referências Bibliográficas

- [41] Hyoungseok, Kim. Et al. (2014). Life cycle assessment of cadmium telluride photovoltaic (CdTe PV) systems. *Solar Energy*. Volume 103, May 2014, pages 78-88 <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.02.008>
- [42] Energy informative, Best Thin Film Solar Panels – Amorphous, Cadmium Telluride ou CIGS? Available in <http://energyinformative.org/best-thin-film-solar-panels-amorphous-cadmium-telluride-cigs/> , last time accessed on 04/07/2017
- [43] Solar Waste / European WEEE Directive. Available in <http://www.solarwaste.eu/collection-and-recycling/>, last time accessed on 06/07/2017
- [44] Avancis. Available in <http://www.avancis.de/en/cigs-technology/>, last time accessed on 27/04/2017
- [45] Dhere, Neelkanth G. Et al. (2015). Effect of shading on CIGS thin film photovoltaic modules. *Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2015 IEEE 42nd*. DOI: [10.1109/PVSC.2015.7355707](https://doi.org/10.1109/PVSC.2015.7355707)
- [46] NREL, Copper Indium Gallium Diselenide Solar Cells. Available in <https://www.nrel.gov/pv/copper-indium-gallium-diselenide-solar-cells.html>, last time accessed on 22/05/2017
- [47] Kaelin, M. Et al (2004) Low cost processing of CIGS thin film solar cells. *Solar Energy*. Volume 77, September 2004, pages 749-756
- [48] Solar Frontier, High Shadow Tolerance, Highest yields – even in the shade. Available in <https://www.solar-frontier.eu/en/cis-technology/high-shadow-tolerance/> , last time accessed on 06/07/2017
- [49] Solar Facts and Advice, What is Amorphous Silicon? Why is it so interesting now? Available in <http://www.solar-facts-and-advice.com/amorphous-silicon.html>, last time accessed on 23/08/2017.
- [50] Energy Informative, Amorphous Silicon Solar Panels. Available in <http://energyinformative.org/amorphous-silicon-solar-panels/> , last time accessed on 23/08/2017.
- [51] Huang, Jung Y. Et al. (2012). Low cost high-efficiency amorphous silicon solar cells improved light-soaking stability. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 98, March 2012, pages 277-282. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.11.023>
- [52] Akhmad, Kholid Et al. (1997) Outdoor performance aof amorphous silicon and polycrystalline silicon PV modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 46, Issue 3, June1997, pages 209-218. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(97\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(97)00003-2)

Referências Bibliográficas

- [53] Meillaud, F. Et al. (2015) Recent advances and remaining challenges in thin-film silicon photovoltaic technology. *Materialstoday*. Volume 18, Issue 7, September 2015, pages 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.03.002>
- [54] Rütther, R. Et al. (2010) Performance assessment of a microcrystalline Si Pv installation in a warm climate. *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE*. November 2010. DOI: [10.1109/PVSC.2010.5617027](https://doi.org/10.1109/PVSC.2010.5617027)
- [55] Solar Facts and Advice, New Micromorph a-Si Solar Panels reach 11.9 % Efficiency. Available in <http://www.solar-facts-and-advice.com/micromorph.html>, last time accessed on 23/08/2017.
- [56] Green, M.A. Et al. (2004) Crystalline silicon on glass (CSG) thin-film solar cell modules. *Solar Energy*. Volume 77, August 2004, pages 857-863. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.06.023>
- [57] Werner, J.H. Et al. (2001) From polycrystalline to single crystalline silicon on glass. *Thin Solid Films*. Volume 383, 2001, pages 95-100.
- [58] Basore, P.A. (2003) Pilot production of thin-film crystalline silicon on glass modules. *Photovoltaic Specialists Conference, 2002. Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE*. April 2003. DOI: [10.1109/PVSC.2002.1190453](https://doi.org/10.1109/PVSC.2002.1190453)
- [59] Westra, J.M. Et al. (2010) Formation of thin-film crystalline silicon on glass observed by in-situ XRD. *Energy Procedia*. Volume 2, Issue 1, August 2010, pages 235-241.
- [60] CSG Solar, Thalheim, Germany (2005) Crystalline silicon on glass device optimization. *Photovoltaic Specialists Conference, 2005. Conference Record of the Thirty-first IEEE*. August 2005. DOI: [10.1109/PVSC.2005.1488293](https://doi.org/10.1109/PVSC.2005.1488293)
- [61] Gratzel, Michael (2003) Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. Volume 4, July 2003, pages 145-153.
- [62] Gratzel, Michael (2005) Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells. *Inorganic Chemistry*. Volume 44, No 20, 2005, pages 6841-6851.
- [63] Smart. Sustainable. Solar, Dye Sensitized Solar Cells. Available in <http://gcell.com/dye-sensitized-solar-cells>, last time accessed on 23/08/2017.
- [64] Hug, Hubert Et al. (2014) Biophotovoltaics: Natural pigments in dye-sensitized cells. *Applied Energy*. Volume 115, February 2014, pages 216-225.
- [65] Tress W. (2014) Organic Solar Cells. In: *Organic Solar Cells*. Springer Series in Materials Science, Vol 208. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-1097-5_3.

Referências Bibliográficas

- [66] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Organic Photovoltaics Research. Available in <https://www.energy.gov/eere/sunshot/organic-photovoltaics-research>, last time accessed on 23/08/2017.
- [67] NREL, Photovoltaic Research, Organic Photovoltaic Solar Cells. Available in <https://www.nrel.gov/pv/organic-photovoltaic-solar-cells.html>, last time accessed on 23/08/2017.
- [68] Yeh, Naichia Et al. (2013) Organic solar cells: Their developments and potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 21, May 2013, pages 421-431.
- [69] Jorgensen, Mikkel Et al. (2013) The state of organic solar cells – A meta analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Volume 119, December 2013, pages 84-93
- [70] Otnes, Gaute Et al. (2017) Towards high efficiency nanowire solar cells. *Nanotoday*. Volume 12, February 2017, pages 31-45. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2016.10.007>
- [71] Yu, Peng Et al. (2016) Design and fabrication of silicon nanowires towards efficient solar cells. *Nanotoday*. Volume 11, Issue 6, December 2016, pages 704-737.
- [72] SPIE, Nanotechnology, Nanowire solar cells for next-generation photovoltaics. Available in <http://spie.org/newsroom/5048-nanowire-solar-cells-for-next-generation-photovoltaics?SSO=1>, last time accessed on 23/08/2017
- [73] Niels Bohr Institute, Nanowire solar cells raises efficiency limit. Available in <http://www.nbi.ku.dk/english/news/news13/nanowire-solar-cells-raises-efficiency-limit/>, last time accessed on 23/08/2017
- [74] NREL, Photovoltaic Research, National Center for Photovoltaics. Available in <https://www.nrel.gov/pv/national-center-for-photovoltaics.html>, last time accessed on 25/08/2017.
- [75] Acciona, Amareleja Photovoltaic (PV) Solar Plant. Available in <https://www.acciona.com/business-divisions/energy/emblematic-projects/amareleja-photovoltaic-pv-solar-plant/>, last time accessed on 23/08/2017.
- [76] Castro, Rui (2002). Introdução à Energia Fotovoltaica. Lisboa: IST – Instituto Superior Técnico, 2002. Unidade Curricular de Energias Renováveis e Produção Descentralizada.
- [77] Arantes Monteiro, Raul Vítor Et al. (2016). Avaliação de algoritmos de treinamento para redes neurais artificiais para previsão temporal de geração fotovoltaica. *Ingeniería Energética*, 37(3), 218-228. Recuperado em 24 de Agosto de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012016000300007&lng=es&tlng=pt

Referências Bibliográficas

- [78] Sfetsos, A. And Coonick, A. H. (2000). Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques. *Solar Energy*. Volume 68, Issue 2, February 2000, Pages 169 – 178. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(99\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(99)00064-X)
- [79] Perez, Richard Et al. (2013). Comparison of numerical weather prediction solar irradiance forecasts in the US, Canada and Europe. *Solar Energy*. Volume 94, August 2013, Pages 305 – 326. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.005>
- [80] Barbieri, Florian Et al. (2017). Very short-term photovoltaic power forecasting with cloud modeling: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 75, August 2017, Pages 242 – 263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.068>
- [81] Raza, Muhammad Qamar Et al. (2016). On recent advances in PV output power forecast. *Solar Energy*. Volume 136, October 2016, Pages 125 – 144. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.073>
- [82] Voyant, Cyril Et al. (2013). Multi-horizon radiation forecasting for Mediterranean locations using time series models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 28, December 2013, Pages 44 – 52. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.058>
- [83] Cunha, Moisés António Araújo da – Telemetria Autónoma sem Fios. Braga: Universidade do Minho, 2014. Dissertação de Mestrado.
- [84] Luthander, Rasmus et al. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*. 142. 80 – 94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>
- [85] Widém, Joakim. (2014). Improved photovoltaic self-consumption with appliance scheduling in 200 single-family buildings. *Applied Energy*. 126. 199 – 212. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.008>
- [86] Schreiber M, Hochloff P. Capacity-dependent tariffs and residential energy management for photovoltaic storage systems. In: IEEE power and energy society general meeting; 2013.
- [87] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Directiva n.º 19/2016 – Tarifas e preços para a energia eléctrica e outros serviços em 2017.
- [88] Diário da República n.º 202/2014, Série I de 2014-10-20. Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de Outubro. Cria os regimes jurídicos aplicáveis à produção de eletricidade destinada ao autoconsumo e ao da venda à rede eléctrica de serviço público a partir de recursos renováveis, por intermédio de Unidades de Pequena Produção. Available in <http://data.dre.pt/eli/dec-lei/153/2014/10/20/p/dre/pt/html>
- [89] Google Maps, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Available in <https://www.google.pt/maps/place/Instituto+Superior+de+Engenharia+de+Lisboa/@38.755769>

Referências Bibliográficas

1.-

9.1153398,2420m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd1933ccce5181eb:0x8f7074f1efec1428!8m2!3d38.7567556!4d-9.1166672, last time accessed on 01/09/2017.

[90] Restos de Coleção, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Available in <http://restosdecoleccion.blogspot.pt/2014/04/instituto-superior-de-engenharia-de.html>, last time accessed on 01/09/2017.

[91] Instituto Politécnico de Lisboa, Engineering. Available in <https://www.ipl.pt/en/engineering>, last time accessed in 05/09/2017.

[92] ISEL, CAMPUS. Available in <https://isel.pt/o-isel/isel/campus>, last time accessed on 01/09/2017.

[93] Piazzentin, Helder. Dobrando Uma Sombra: O edifício-máquina. Lisboa: ISEL, 2016. Trabalho Final de Pós-Graduação em Energias Renováveis

[94] SunEarthTools.com, Sun Position. Available in https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php, last time accessed on 05/09/2017.

[95] PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System – Interactive Maps. Available in <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>, last time accessed on 22/08/2017.

[96] General Cable, Cabo Solar. Available in <https://www.generalcable.com/eu/pt/products-solutions/renewable-energy/solar-cable>, last time accessed on 13/11/2017.

[97] IEC 60364-7-712 “Low voltage electrical installations - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems”

[98] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Electricidade. Available in <http://www.erse.pt/PT/ELECTRICIDADE/Paginas/default.aspx>, last time accessed on 26/01/2018

[99] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Electricidade, Liberalização do Sector. Available in <http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizacaodosector/Paginas/default.aspx>, last time accessed on 26/01/2018

[100] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Electricidade, Tarifas e Preços. Available in <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/Paginas/default.aspx>, last time accessed on 26/01/2018

Referências Bibliográficas

[100] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Electricidade, Tarifas e Preços. Available in

<http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/Paginas/default.aspx>, last time accessed on 26/01/2018

[101] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Electricidade, Tarifas e Preços, Períodos Horários. Available in

<http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx>

last time accessed on 26/01/2018

[102] ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Electricidade, Tarifas e Preços, Períodos Horários, Ciclo Semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental. Available in

<http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CicloSemanalTodosFornecPtCont.aspx>, last time accessed on 26/01/2018

[103] Soares, Isabel et al. (1ª Edição, 2007). *Decisões de Investimento – Análise Financeira de Projectos*. Lisboa, Edições Sílabo.

ISBN: 978-972-618-446-1

[104] Energy Education – Levelized Cost of Energy. Available in http://energyeducation.ca/encyclopedia/Levelized_cost_of_energy, last time accessed on 22/02/2018.

[105] International Electrotechnical Commission, Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary. Available in <http://www.electropedia.org/>, last time accessed on 27/01/2018

Apêndices

Neste tópico estão apresentados, na sua maioria, os cálculos que possuem elevada relevância para a realização desta Dissertação. Dentro destes documentos encontram-se, entre outros, os modelos construídos bem com os cálculos de energia produzida através dos painéis FV.

Índice dos Apêndices

Apêndice I

Espaço Disponível de acordo com o Google Maps V

Apêndice II

Modelo 3D realizado em *SketchUp* IX

Apêndice III

Esquemas de Ligação dos Painéis FV XIII

Apêndice IV

Potência Gerada calculada através do Modelo de um Díodo e três Parâmetros XVIII

Apêndice V

Energia FV produzida num dia típico, em função das horas XXIV

Apêndice VI

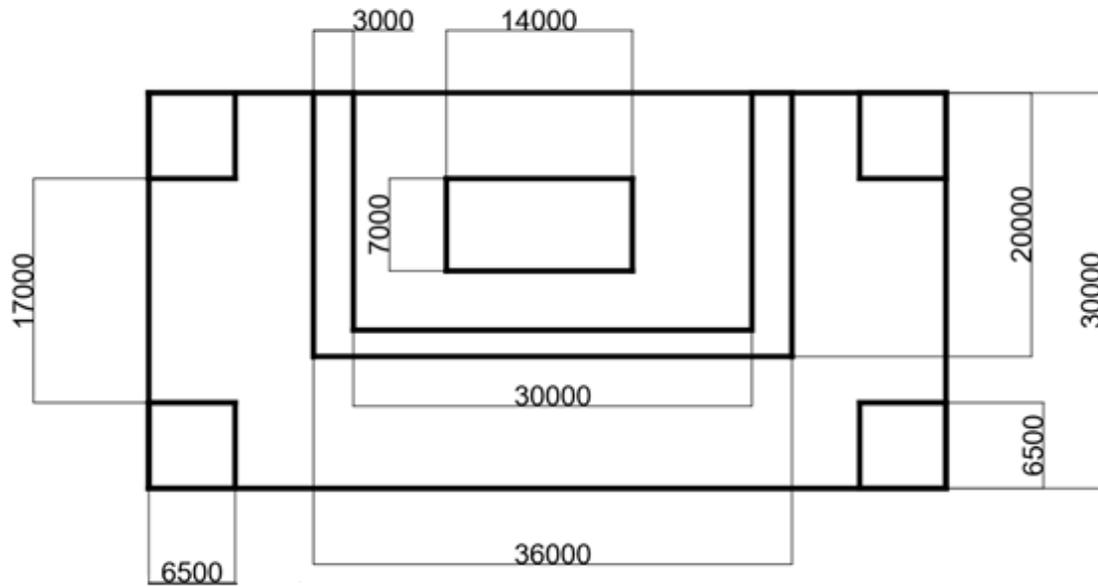
Poupança no Primeiro ano XXVIII

APÊNDICE I

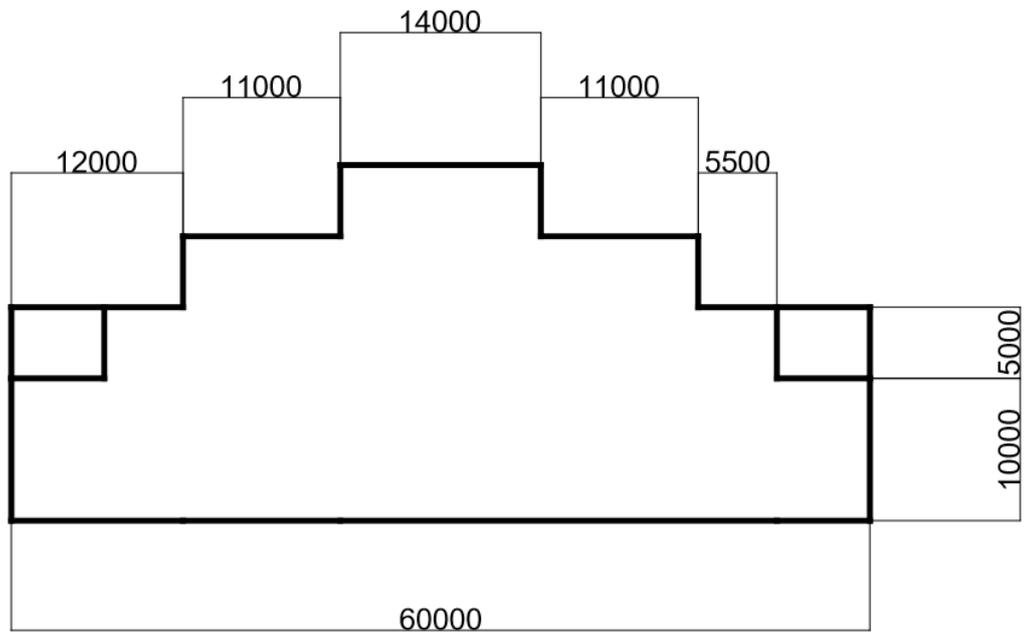
Espaço disponível de acordo com o Google Maps

Edifício A

Vista de Cima

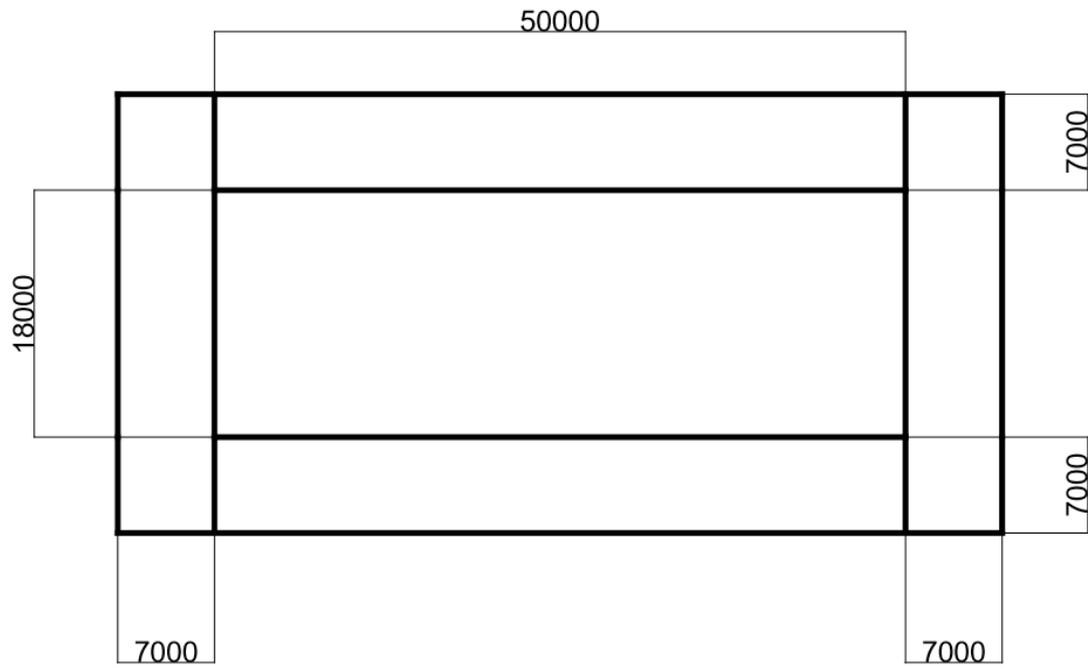


Vista Este

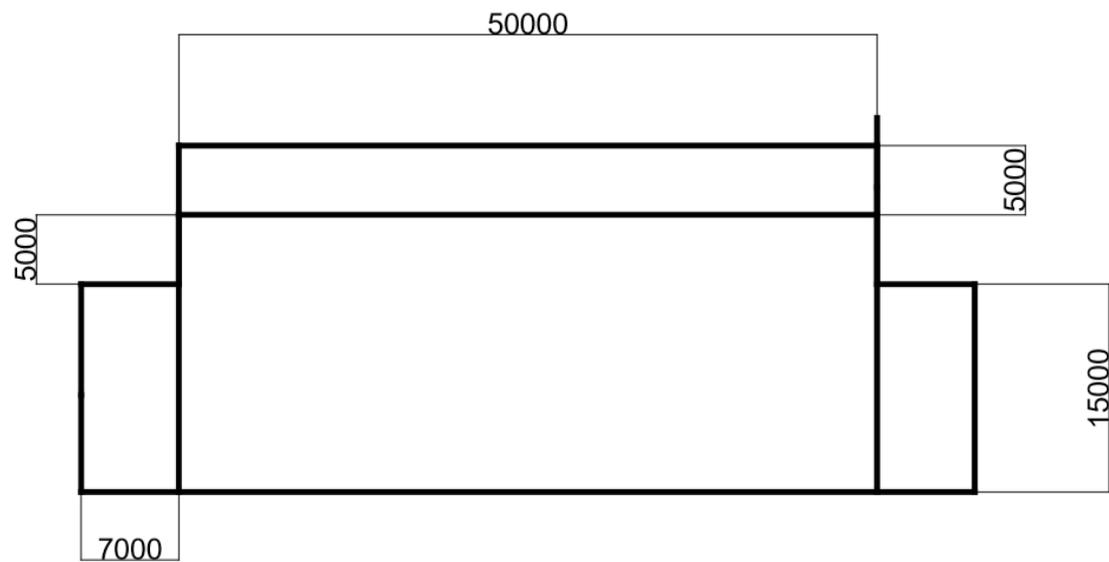


Edifício C

Vista de Cima

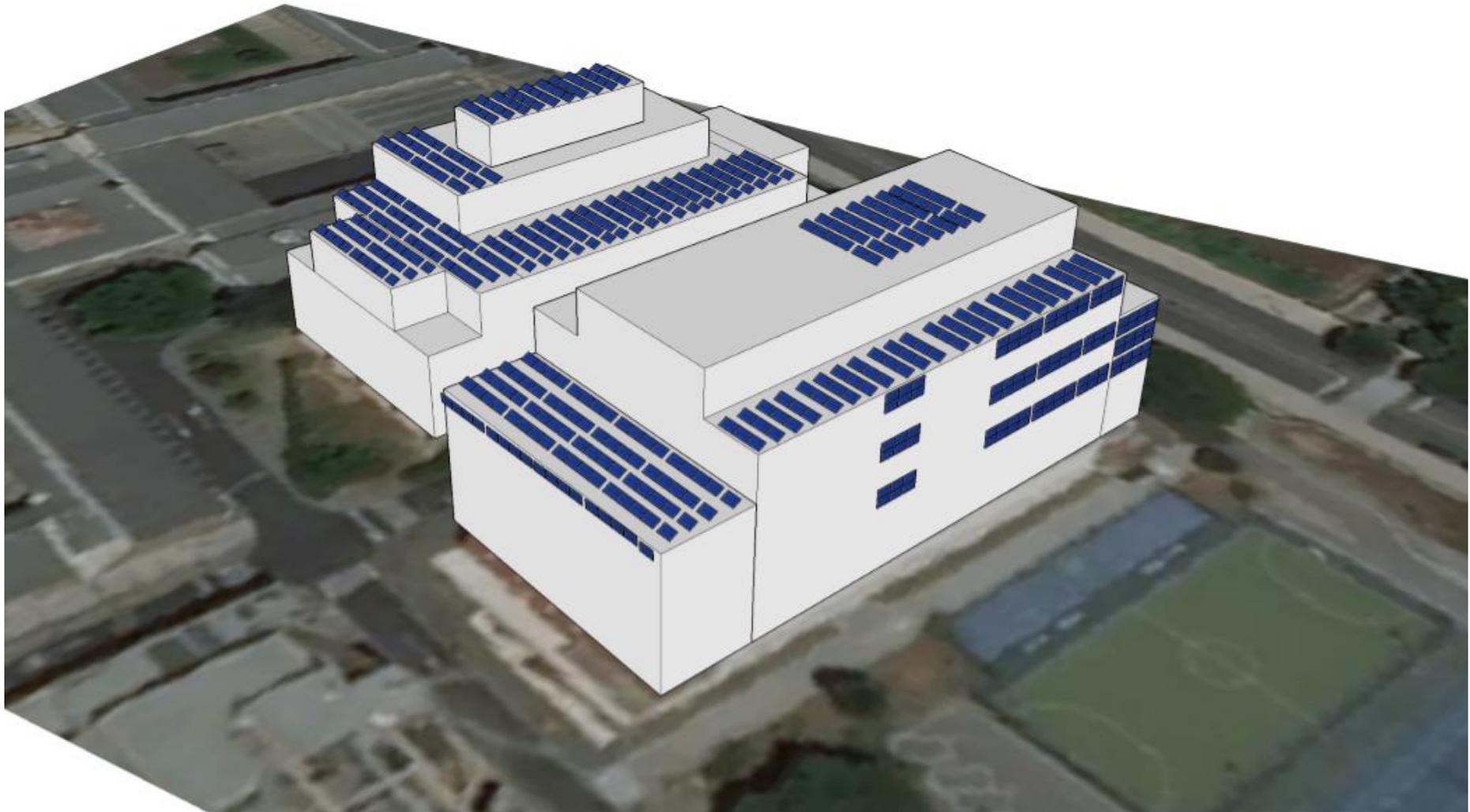


Vista Este



APÊNDICE II

Modelo 3D realizado em *SketchUp*

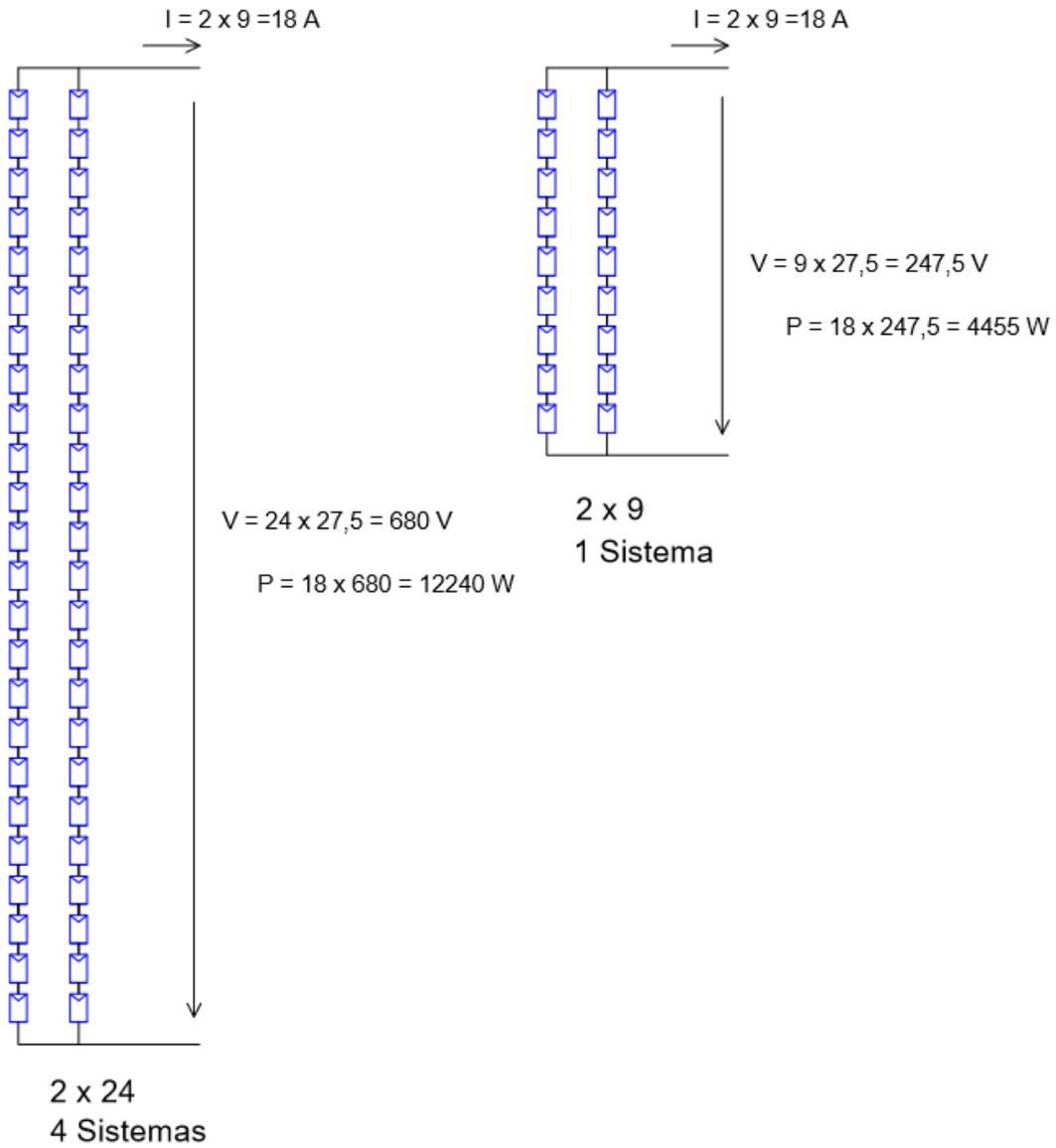


APÊNDICE III

Esquemas de Ligação dos Painéis FV

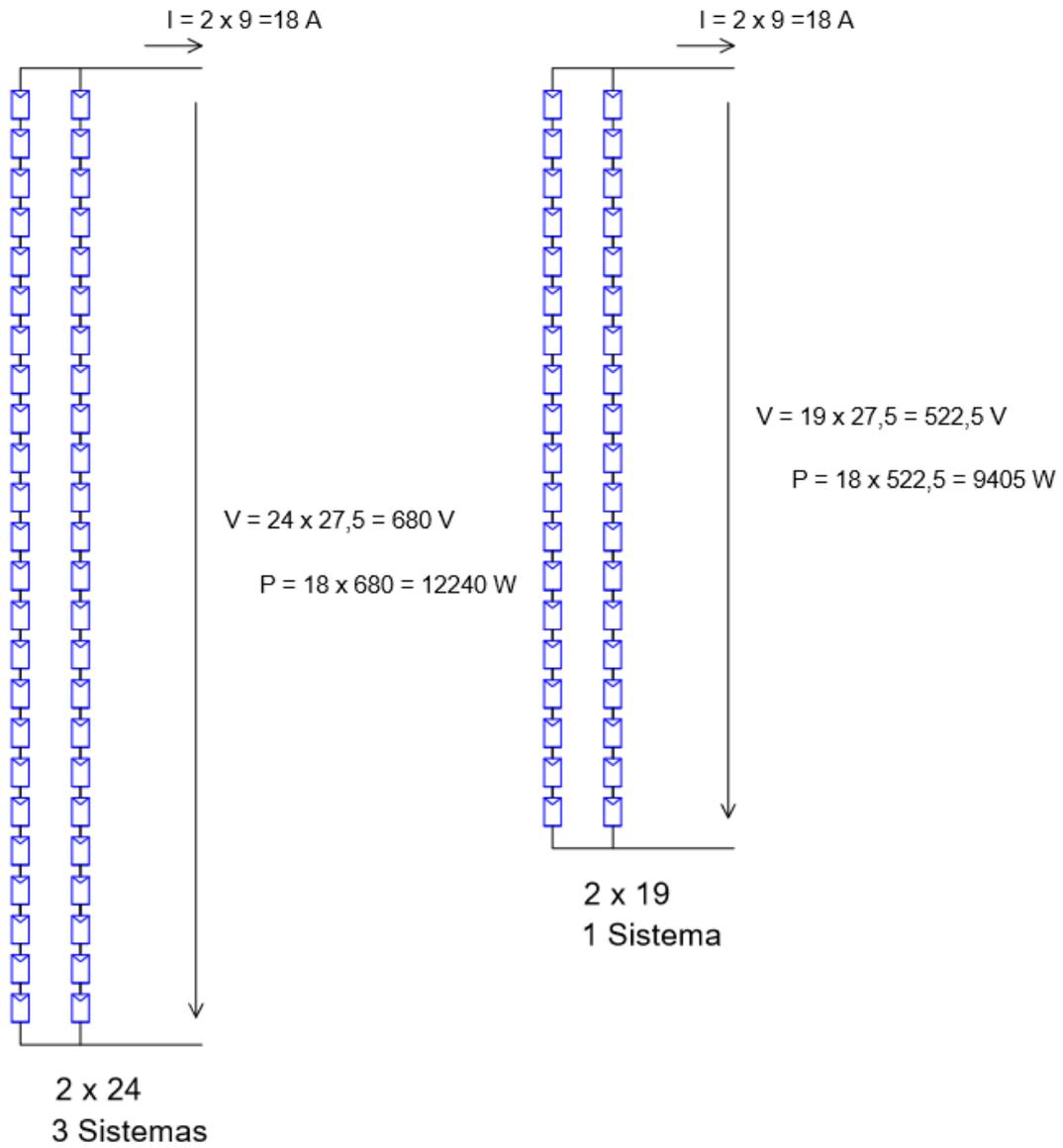
Edifício A

Sul 33°



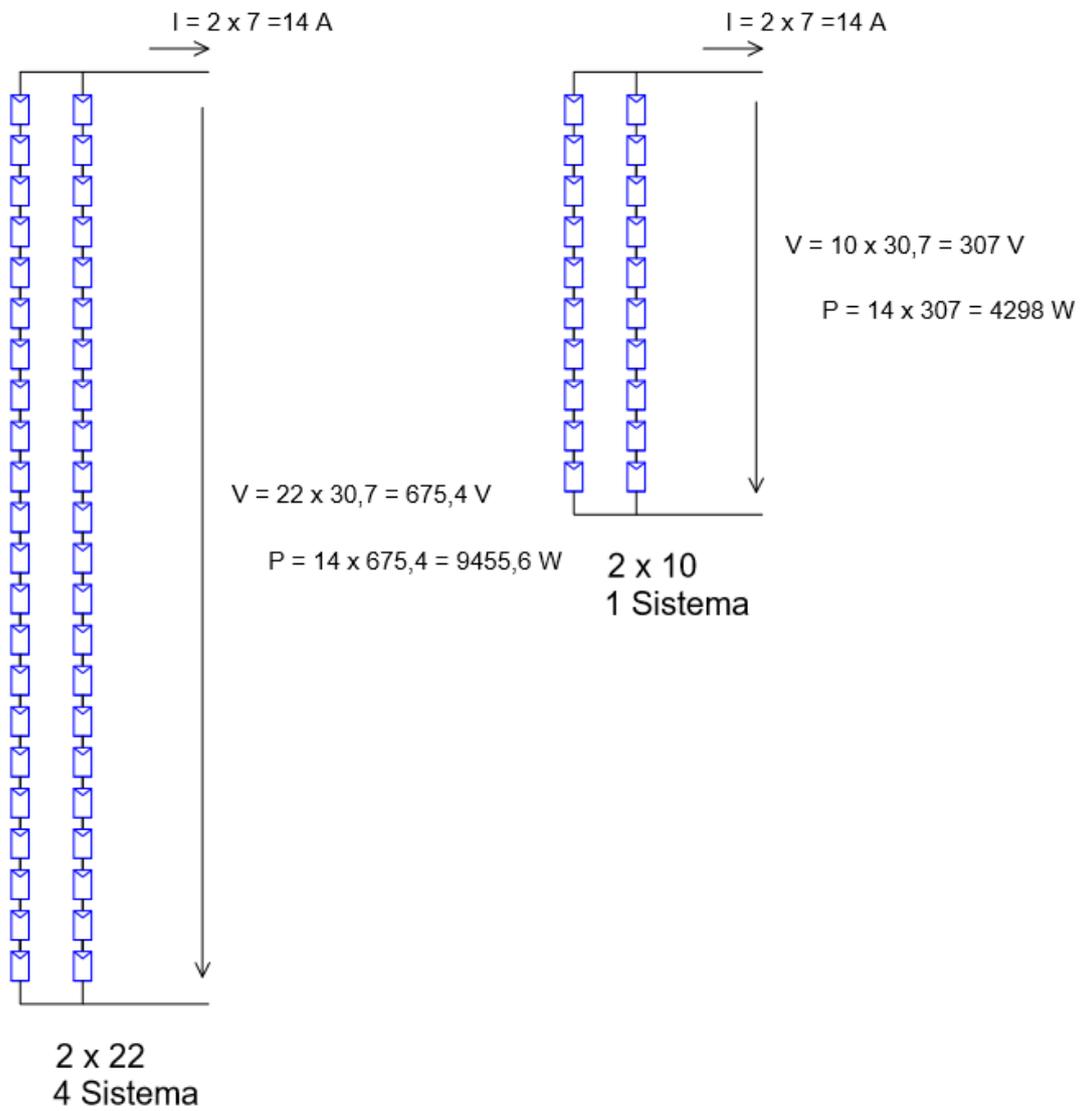
Edifício C

Sul 33°



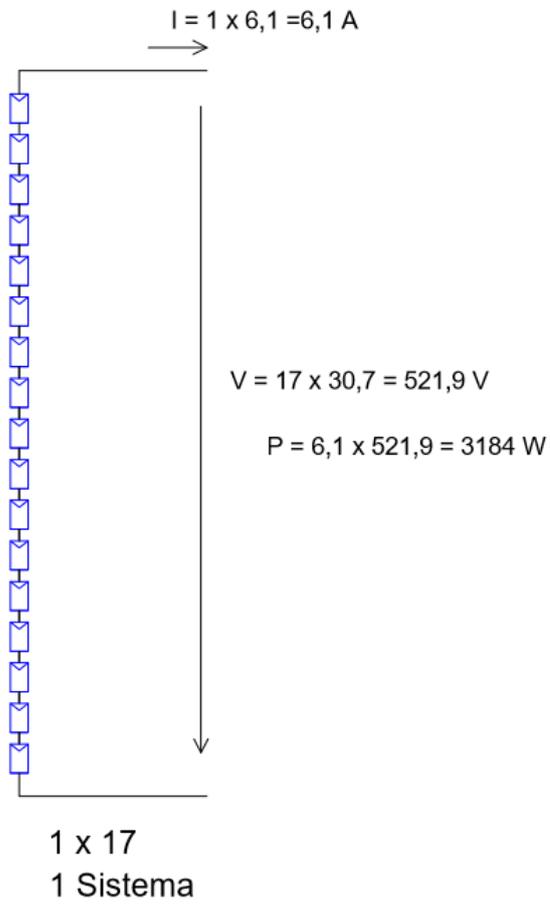
Edifício C

Este 90°



Edifício C

Sul 90°



APÊNDICE IV

Potência Gerada calculada através do Modelo de um
Díodo e três Parâmetros

APÊNDICE V

Energia FV produzida num dia típico, em função das horas

APÊNDICE VI

Poupança no Primeiro ano

Preço Tarifa[€/kWh]		Total jan [€]	Total fev [€]	Total mar [€]	Total abr [€]	Total mai [€]	Total jun [€]	Total jul [€]	Total ago [€]	Total set [€]	Total out [€]	Total nov [€]	Total dez [€]		
Acesso às Redes															
Potência	Horas de ponta	8,033€/kW.mes	293,07	366,36	422,72	768,77	778,61	835,24	827,56	843,99	797,14	685,33	313,77	276,52	
	Contratada	1,209€/kW.mes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S e m a n a	Energia Activa Períodos II e III	Ponta	,046€/kWh	193,00	209,79	278,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	197,65	182,10
		Cheia	,0398€/kWh	282,21	348,00	515,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,17	268,53
		Vazio Normal	,022€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Hora de Inverno	Super Vazio	,0214€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Ponta	,046€/kWh	0,00	0,00	0,00	290,55	307,64	315,67	326,99	333,48	301,27	270,79	0,00	0,00
		Cheia	,0398€/kWh	0,00	0,00	0,00	500,45	541,77	548,69	559,13	555,71	483,56	423,85	0,00	0,00
Hora de Verão	Vazio Normal	,022€/kWh	0,00	0,00	0,00	4,32	8,94	12,00	12,07	7,35	1,26	0,00	0,00	0,00	
	Super Vazio	,0214€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cheia	,0398€/kWh	40,23	50,25	57,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,79	37,80	
S á b a d o	Energia Activa Períodos II e III	Vazio Normal	,022€/kWh	20,94	30,76	40,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,01	20,07	
		Super Vazio	,0214€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Cheia	,0398€/kWh	0,00	0,00	0,00	76,27	77,20	82,32	81,34	83,18	78,97	68,98	0,00	0,00
	Hora de Inverno	Vazio Normal	,022€/kWh	0,00	0,00	0,00	33,40	35,18	37,68	36,51	35,18	31,14	25,14	0,00	0,00
		Super Vazio	,0214€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Cheia	,0398€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energia Activa Períodos II e III	Vazio Normal	,022€/kWh	43,18	58,54	72,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,66	40,96	
	Super Vazio	,0214€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cheia	,0398€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Hora de Verão	Vazio Normal	,022€/kWh	0,00	0,00	0,00	75,56	77,86	83,19	81,47	81,16	74,80	63,27	0,00	0,00	
	Super Vazio	,0214€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Cheia	,0398€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Total Acesso Redes	872,64 €	1 063,70 €	1 387,96 €	1 749,33 €	1 827,19 €	1 914,79 €	1 925,07 €	1 940,05 €	1 768,13 €	1 537,35 €	941,05 €	825,97 €
Total	17 753,00 €											
Total com IVA	21 836,00 €											

Energia Activa		Total jan [€]	Total fev [€]	Total mar [€]	Total abr [€]	Total mai [€]	Total jun [€]	Total jul [€]	Total ago [€]	Total set [€]	Total out [€]	Total nov [€]	Total dez [€]	
Energia Activa Períodos II e III	Ponta	,0665€/kWh	376,05	424,60	542,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	389,63	354,81
	Cheia	,0635€/kWh	606,88	777,31	1107,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	681,36	577,46
	Vazio Normal	,0499€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora de Inverno	Super Vazio	,0496€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ponta	,0665€/kWh	0,00	0,00	0,00	572,78	599,44	622,30	637,13	649,78	593,91	527,62	0,00	0,00
	Cheia	,0635€/kWh	0,00	0,00	0,00	1088,81	1165,03	1193,76	1202,37	1195,02	1052,05	911,46	0,00	0,00
Hora de Verão	Vazio Normal	,0499€/kWh	0,00	0,00	0,00	13,35	27,33	37,12	36,90	21,74	3,89	0,00	0,00	0,00
	Super Vazio	,0496€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cheia	,0635€/kWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Total Energia Act.	982,93 €	1 201,91 €	1 650,40 €	1 674,94 €	1 791,84 €	1 853,45 €	1 876,63 €	1 866,54 €	1 649,85 €	1 439,09 €	1 070,98 €	932,27 €
Total	17 991,00 €											
Total com IVA	22 129,00 €											

Total=T.Acesso+Tenerg	1 856,00 €	2 266,00 €	3 038,00 €	3 424,00 €	3 619,00 €	3 768,00 €	3 802,00 €	3 807,00 €	3 418,00 €	2 976,00 €	2 012,00 €	1 758,00 €
Total	35 744,00 €											
Total com IVA	43 965,00 €											

Anexos

Neste tópico estão apresentados todos os documentos de consulta consultados que possuam elevada relevância para a realização desta Dissertação. Dentro destes documentos encontram-se, entre outros, os dados fornecidos de diagramas de carga bem como os catálogos dos equipamentos escolhidos.

Índice dos Anexos

Anexo I

Potencial Fotovoltaico na Europa e em Portugal de acordo com o PVGIS

Anexo II

Melhor eficiência em investigação de células FV de acordo com o NREL

Anexo III

Plantas da Ligações Eléctricas

Anexo IV

Irradiância e Temperatura do ISEL de acordo com o PVGIS

Anexo V

Diagramas de Consumo do ISEL

Anexo VI

Catálogos dos Fabricantes

Anexo VII

Ciclo Semanal dos períodos horários

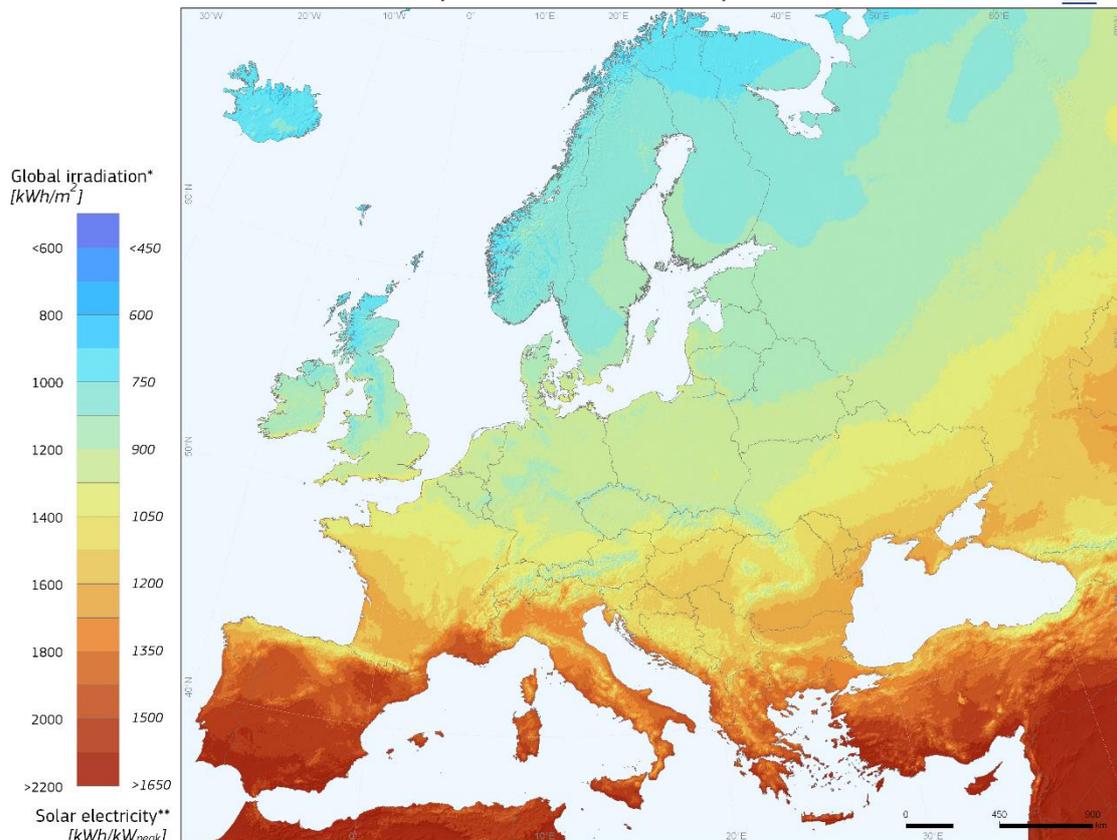
Anexo VIII

Composição da Tarifa

ANEXO I

Potencial Fotovoltaico na Europa e em Portugal de acordo com
o PVGIS

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules
 **Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW_p system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012
 PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
 EC - Joint Research Centre
 In collaboration with: CM SAF, www.cmsafeu.com

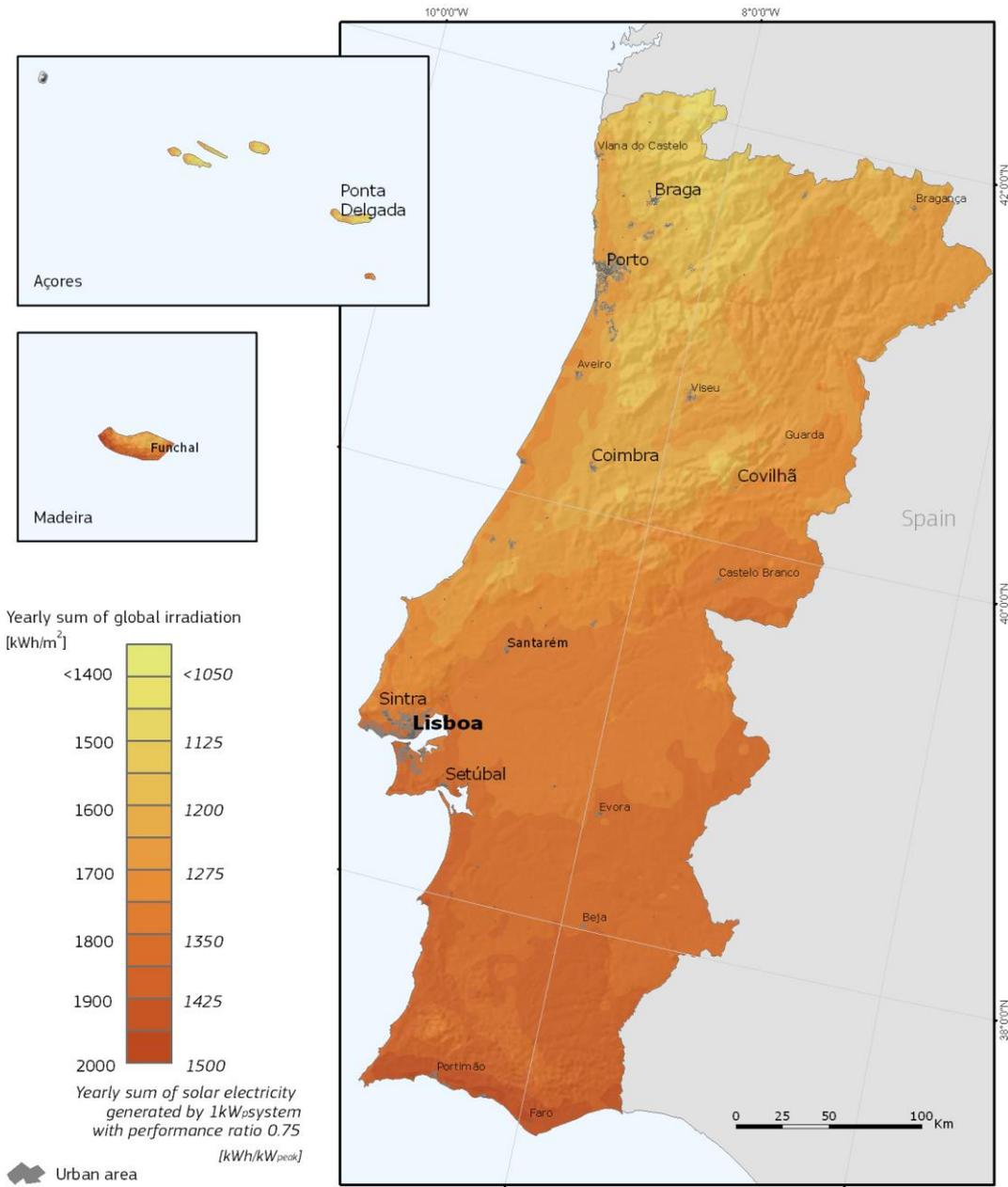
Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication



Global irradiation and solar electricity potential

Horizontally mounted photovoltaic modules

PORTUGAL



Projection: Lambert Azimuthal Equal Area, WGS84, lat 52° lon 10°
Source of ancillary data: CORINE Land Cover, DTM SRTM-30, GISCO database, Geonames, Natural Earth

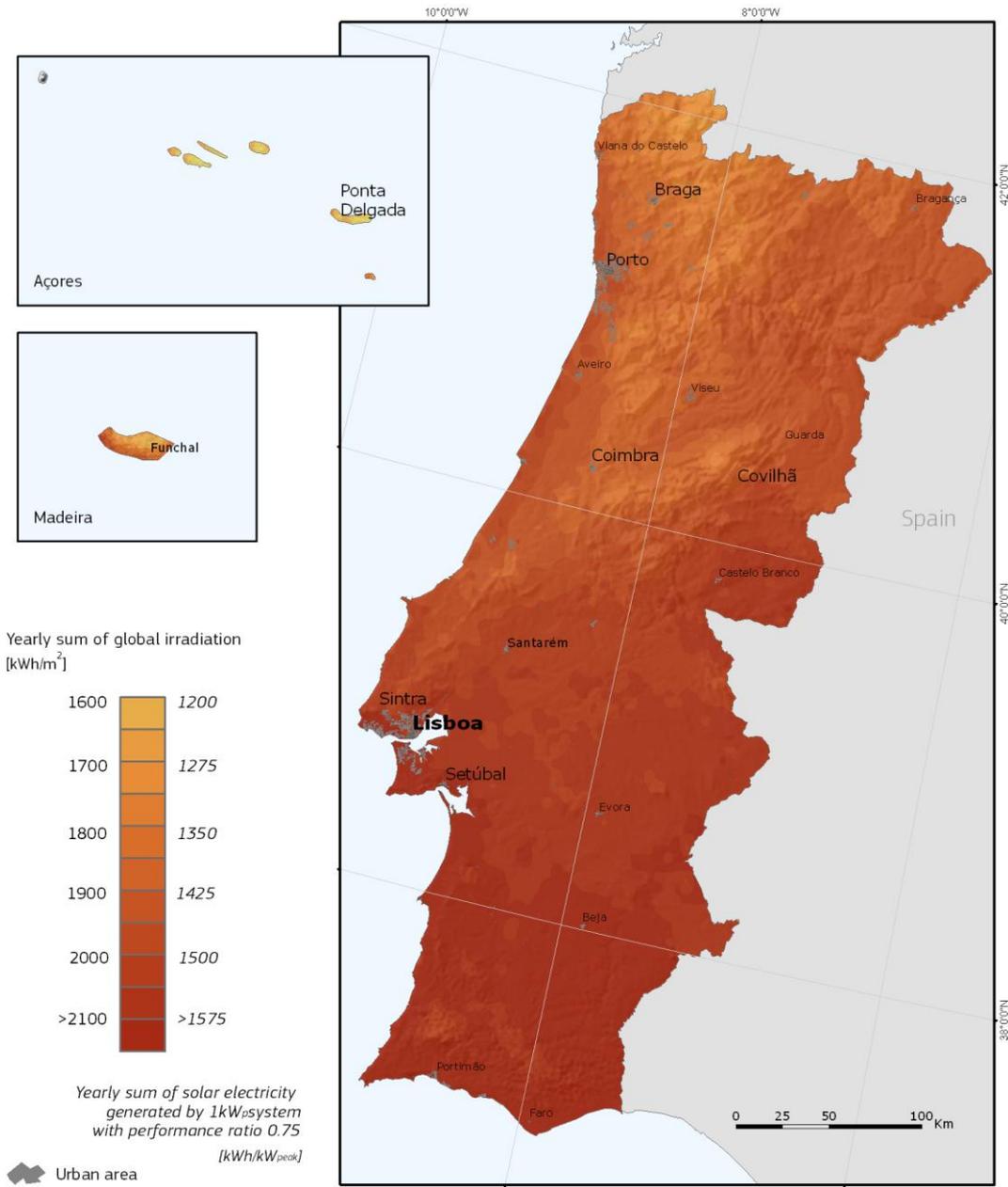


Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
European Commission - Joint Research Centre
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



Global irradiation and solar electricity potential Optimally-inclined photovoltaic modules

PORTUGAL



Projection: Lambert Azimuthal Equal Area, WGS84, lat 52° lon 10°
Source of ancillary data: CORINE Land Cover, DTM SRTM-30, GISC database, Geonames, Natural Earth



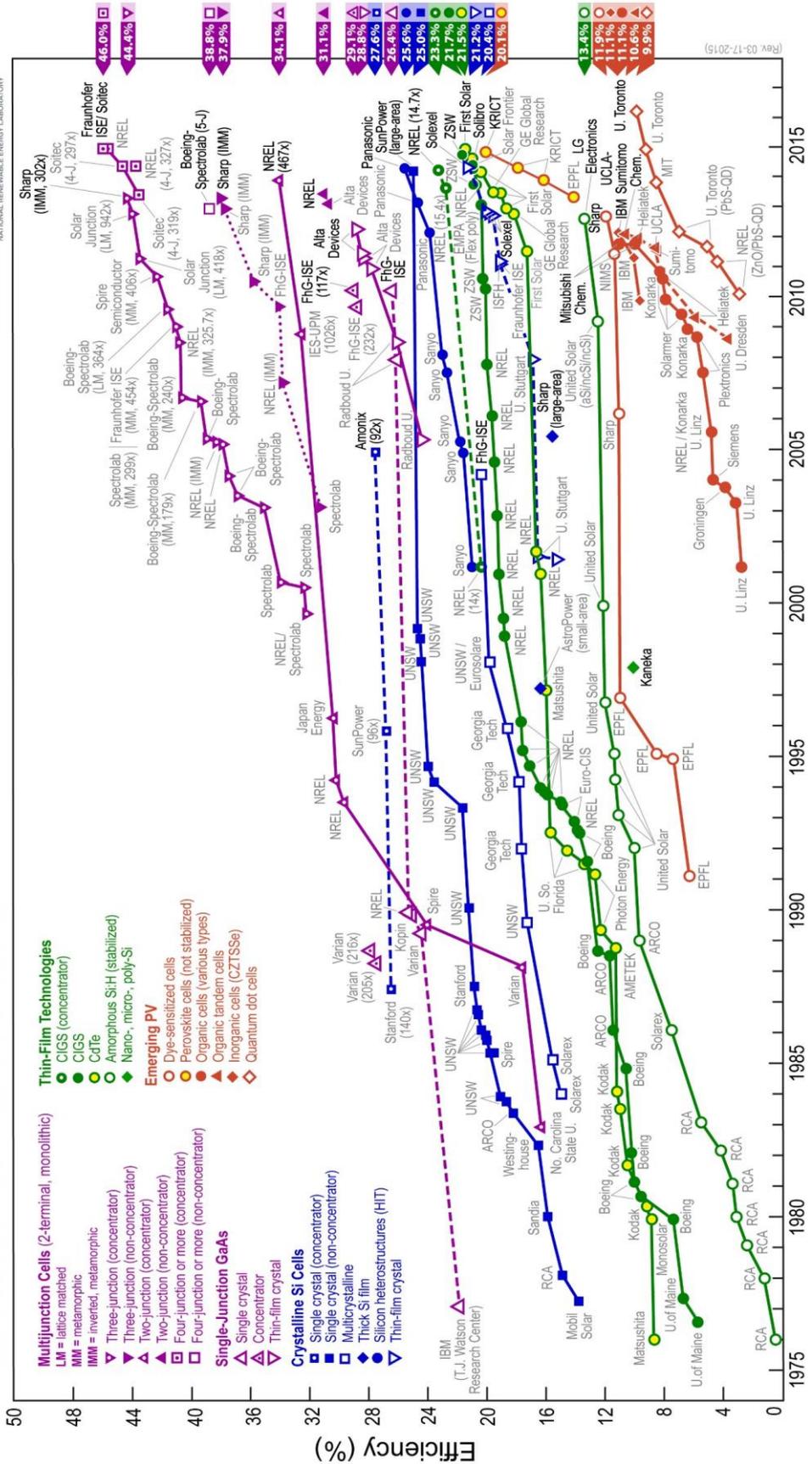
Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
European Commission - Joint Research Centre
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Estes gráficos foram retirados de [24].

ANEXO II

Melhor eficiência em investigação de células FV de acordo
com o NREL

Best Research-Cell Efficiencies



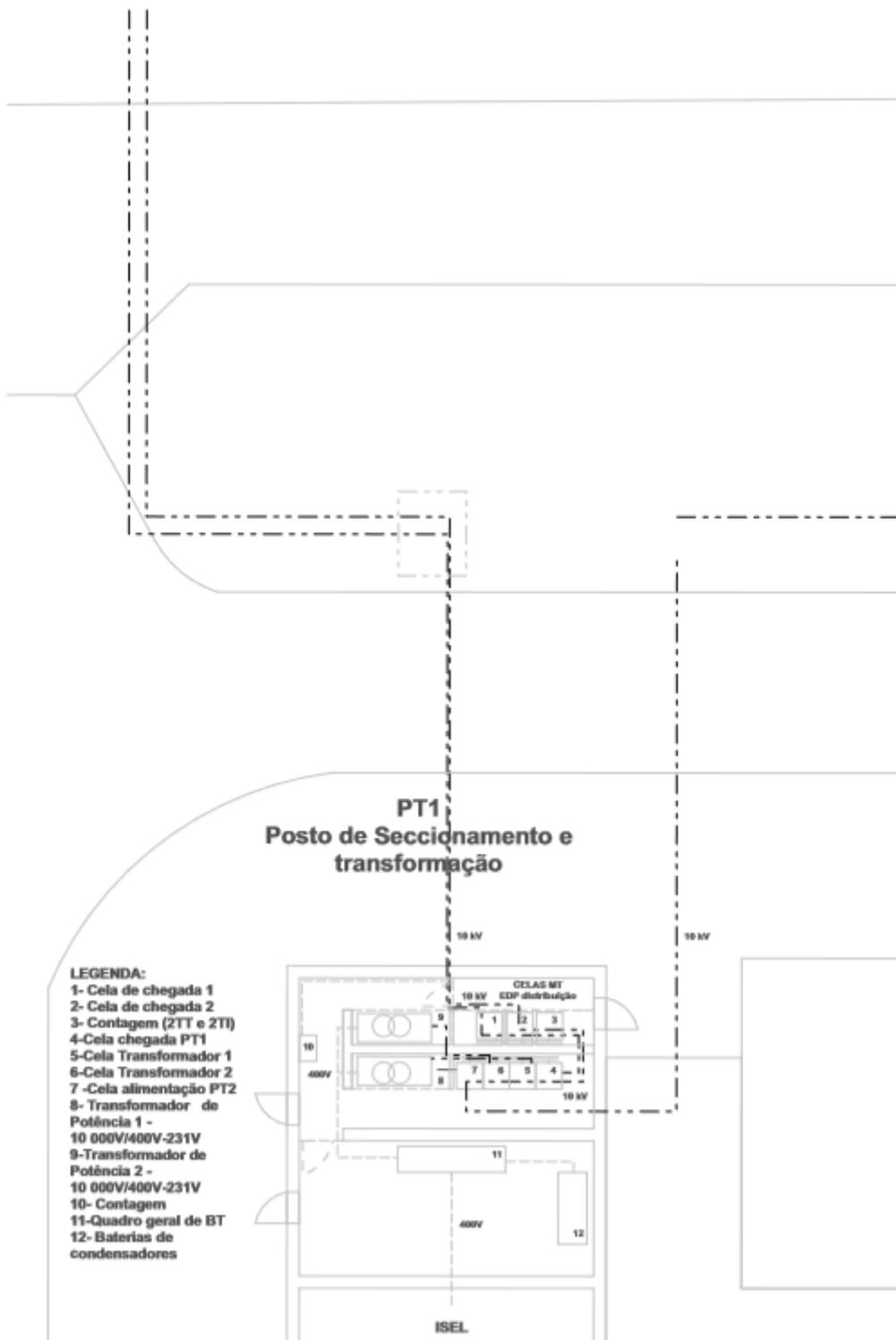
(Rev: 03-17-2015)

Este gráfico foi retirado de [74].

ANEXO III

Plantas das Ligações Eléctricas

**Linha MT da EDP
distribuição a 10 KV**



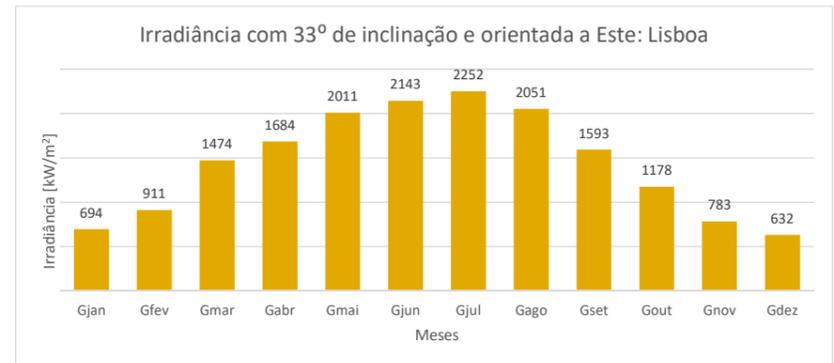
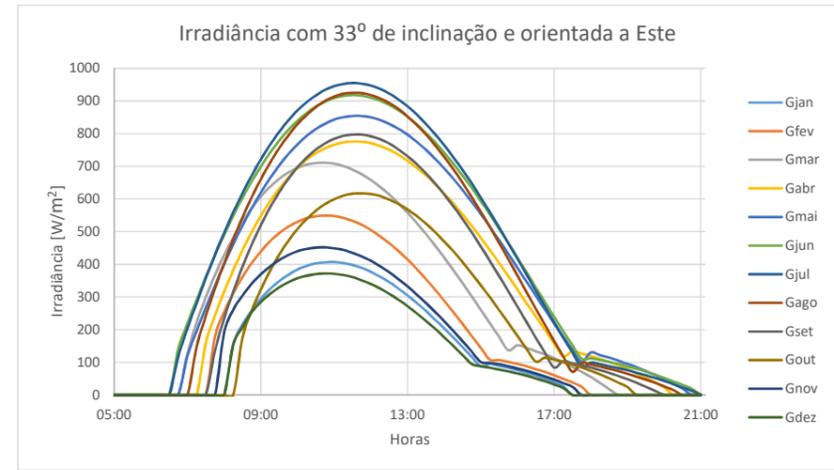
Estas figuras foram retiradas de [93].

ANEXO IV

Irradiância e Temperatura do ISEL de acordo com o PVGIS

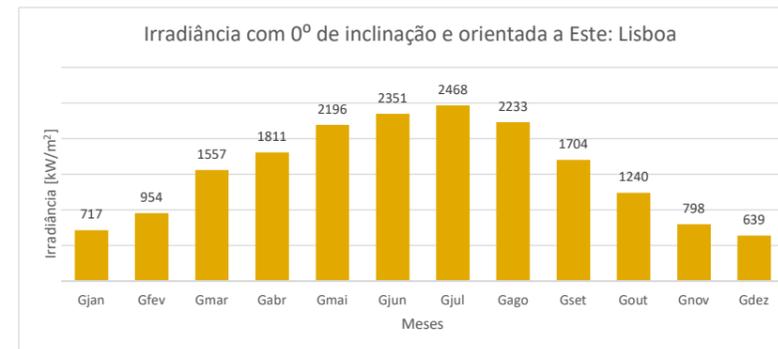
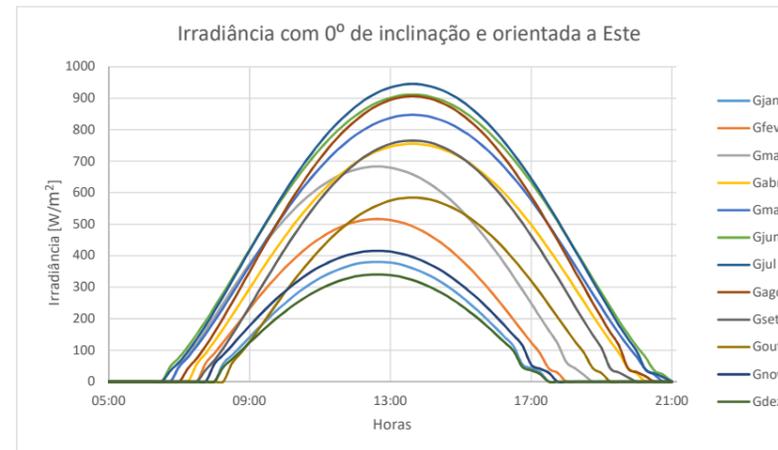
Irradiância com 33° de inclinação e orientada a Este												
Horas	Gjan	Gfev	Gmar	Gabr	Gmai	Gjun	Gjul	Gago	Gset	Gout	Gnov	Gdez
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	140	117	0	0	0	0	0
07:00	0	0	126	0	119	219	203	0	0	0	0	0
07:15	0	0	221	0	195	291	281	147	0	0	0	0
07:30	0	0	298	157	266	361	357	241	0	0	0	0
07:45	0	177	367	243	334	427	428	325	134	0	0	0
08:00	0	253	428	316	400	490	496	403	234	0	190	0
08:15	156	311	482	382	461	548	559	476	316	0	261	153
08:30	215	361	530	443	518	603	617	543	392	174	304	207
08:45	258	403	571	498	571	653	671	604	459	257	340	253
09:00	294	439	607	548	619	699	721	660	519	322	369	284
09:15	324	470	637	592	663	741	765	710	573	379	393	309
09:30	348	495	661	631	702	778	805	755	620	429	413	329
09:45	368	515	681	665	737	811	840	794	661	471	428	345
10:00	384	530	695	695	767	839	871	829	697	508	440	357
10:15	395	541	705	720	793	863	896	857	726	538	447	365
10:30	403	547	710	740	814	883	917	881	751	564	451	370
10:45	406	549	711	755	830	898	934	900	770	584	452	372
11:00	407	548	708	766	843	909	945	913	784	599	449	371
11:15	404	542	701	773	850	915	952	922	793	610	444	367
11:30	398	533	690	776	854	918	955	925	797	616	435	361
11:45	389	521	676	775	854	916	953	924	797	617	424	351
12:00	377	505	658	771	850	910	947	918	792	615	411	340
12:15	362	486	637	762	842	901	937	908	783	609	394	326
12:30	346	465	614	751	830	888	923	894	770	598	376	310
12:45	326	441	587	736	815	872	905	876	752	585	355	292
13:00	305	415	558	717	797	852	884	853	731	568	333	272
13:15	282	386	527	696	775	829	859	827	707	548	308	250
13:30	258	355	493	673	751	802	830	798	679	525	282	227
13:45	231	323	458	646	724	774	799	765	648	499	255	203
14:00	204	289	421	617	694	742	765	729	614	470	226	177
14:15	176	254	382	586	662	708	728	691	578	440	196	150
14:30	147	218	343	553	628	672	689	650	539	407	165	123
14:45	117	181	302	518	591	634	648	606	498	372	133	95
15:00	88	144	261	481	554	593	604	561	455	336	101	88
15:15	95	108	219	443	514	552	559	514	410	299	98	83
15:30	89	107	178	404	473	509	513	465	364	260	94	78
15:45	83	101	137	364	432	465	465	416	318	221	88	72
16:00	76	95	152	323	389	420	417	365	270	181	81	66
16:15	68	88	144	281	347	375	368	314	223	141	74	59
16:30	59	79	134	240	304	329	319	264	175	102	66	50
16:45	49	70	124	199	261	284	271	214	129	114	57	42
17:00	38	60	113	158	219	239	222	165	84	108	47	32
17:15	26	49	100	118	178	195	175	117	103	101	36	21
17:30	0	38	86	134	139	152	130	71	97	93	25	0
17:45	0	25	71	127	101	111	86	98	91	84	0	0
18:00	0	0	55	119	130	112	99	93	84	74	0	0
18:15	0	0	37	111	122	107	94	87	76	63	0	0
18:30	0	0	18	101	114	101	88	80	68	51	0	0
18:45	0	0	0	91	105	95	82	73	58	38	0	0
19:00	0	0	0	79	95	87	76	65	48	24	0	0
19:15	0	0	0	66	85	80	68	56	37	0	0	0
19:30	0	0	0	53	73	71	60	47	25	0	0	0
19:45	0	0	0	39	61	62	52	37	13	0	0	0
20:00	0	0	0	23	48	52	43	26	0	0	0	0
20:15	0	0	0	0	34	41	33	15	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	20	31	23	0	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	19	13	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total/dia												
[W/m2/dia]	2238	3254	4754	5614	6487	7142	7264	6617	5311	3799	2610	2038
Nº dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total/mês												
[kW/m2/mês]	694	911	1474	1684	2011	2143	2252	2051	1593	1178	783	632



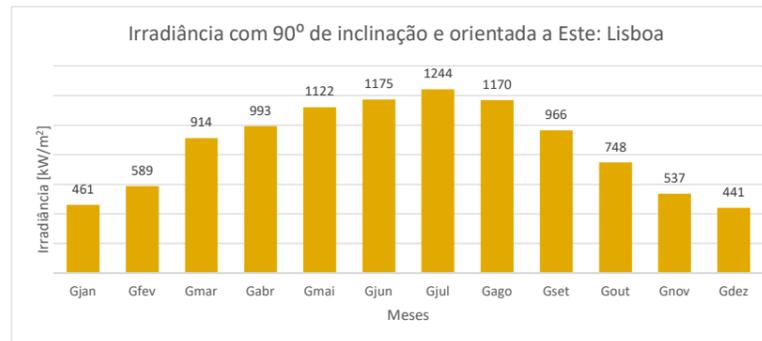
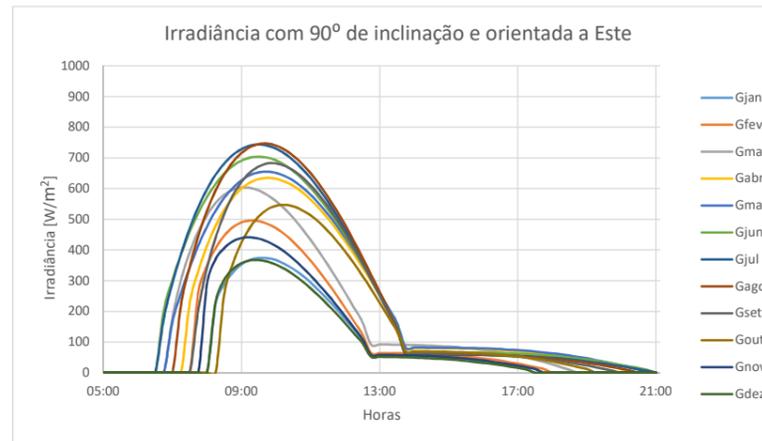
Irradiância com 0° de inclinação e orientada a Este												
Horas	Gjan	Gfev	Gmar	Gabr	Gmai	Gjun	Gjul	Gago	Gset	Gout	Gnov	Gdez
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	48	35	0	0	0	0	0
07:00	0	0	49	0	48	77	62	0	0	0	0	0
07:15	0	0	82	0	78	112	96	42	0	0	0	0
07:30	0	0	121	56	113	151	136	74	0	0	0	0
07:45	0	58	163	90	151	192	178	113	37	0	0	0
08:00	0	90	205	128	192	236	224	156	68	0	56	0
08:15	57	125	249	168	235	281	271	202	106	0	85	46
08:30	84	160	291	210	279	327	319	250	148	58	115	71
08:45	112	196	333	253	323	373	368	300	192	91	147	97
09:00	141	232	374	296	368	419	416	349	238	127	177	124
09:15	170	267	413	339	412	464	464	399	285	166	207	150
09:30	197	300	449	381	455	508	512	448	331	205	235	176
09:45	224	331	484	421	497	552	558	496	376	244	262	200
10:00	248	361	516	460	537	593	602	543	421	283	286	222
10:15	272	388	546	498	576	633	645	588	463	320	309	243
10:30	293	413	573	533	613	670	685	630	504	355	330	262
10:45	312	436	597	566	647	706	723	671	542	388	349	279
11:00	329	455	618	597	679	739	759	708	578	420	365	294
11:15	343	473	636	625	709	769	792	743	611	449	379	307
11:30	355	487	652	650	736	797	822	775	641	475	391	318
11:45	365	499	664	673	760	822	848	803	668	499	401	327
12:00	373	507	673	694	782	844	872	828	692	520	408	334
12:15	378	513	679	711	800	863	893	850	713	538	413	338
12:30	380	516	683	726	816	879	910	869	730	553	415	340
12:45	380	516	683	737	828	892	924	883	744	565	415	340
13:00	378	513	679	746	837	901	934	895	755	575	413	338
13:15	373	507	673	752	844	908	941	902	762	581	408	334
13:30	365	499	664	755	847	911	945	906	765	584	401	327
13:45	355	487	652	755	847	911	945	906	765	584	391	318
14:00	343	473	636	752	844	908	941	902	762	581	379	307
14:15	329	455	618	746	837	901	934	895	755	575	365	294
14:30	312	436	597	737	828	892	924	883	744	565	349	279
14:45	293	413	573	726	816	879	910	869	730	553	330	262
15:00	272	388	546	711	800	863	893	850	713	538	309	243
15:15	248	361	516	694	782	844	872	828	692	520	286	222
15:30	224	331	484	673	760	822	848	803	668	499	262	200
15:45	197	300	449	650	736	797	822	775	641	475	235	176
16:00	170	267	413	625	709	769	792	743	611	449	207	150
16:15	141	232	374	597	679	739	759	708	578	420	177	124
16:30	112	196	333	566	647	706	723	671	542	388	147	97
16:45	55	160	291	533	613	670	685	630	504	355	115	47
17:00	43	125	249	498	576	633	645	588	463	320	54	36
17:15	30	90	205	460	537	593	602	543	421	283	41	24
17:30	0	42	163	421	497	552	558	496	376	244	28	0
17:45	0	28	121	381	455	508	512	448	331	205	0	0
18:00	0	0	62	339	412	464	464	399	285	166	0	0
18:15	0	0	42	296	368	419	416	349	238	127	0	0
18:30	0	0	21	253	323	373	368	300	192	91	0	0
18:45	0	0	0	210	279	327	319	250	148	43	0	0
19:00	0	0	0	168	235	281	271	202	106	27	0	0
19:15	0	0	0	128	192	236	224	156	42	0	0	0
19:30	0	0	0	90	151	192	178	113	29	0	0	0
19:45	0	0	0	44	113	151	136	42	14	0	0	0
20:00	0	0	0	26	78	112	96	30	0	0	0	0
20:15	0	0	0	0	39	77	38	17	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	22	35	26	0	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	22	14	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total/dia												
[W/m2/dia]	2313	3407	5024	6036	7084	7836	7962	7205	5680	4001	2661	2062
Nº dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total/mês												
[kW/m2/m]	717	954	1557	1811	2196	2351	2468	2233	1704	1240	798	639



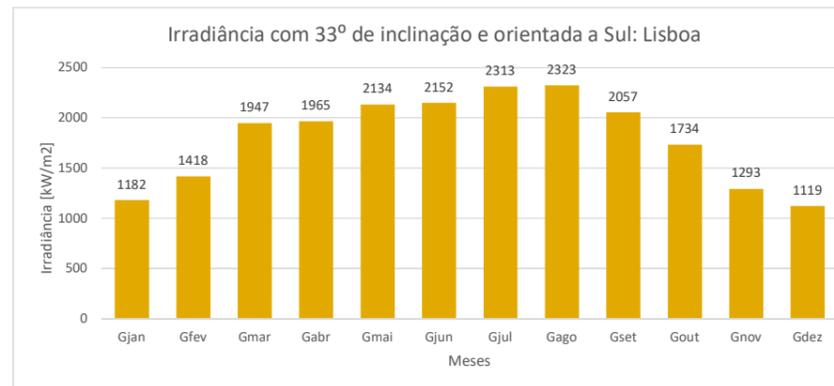
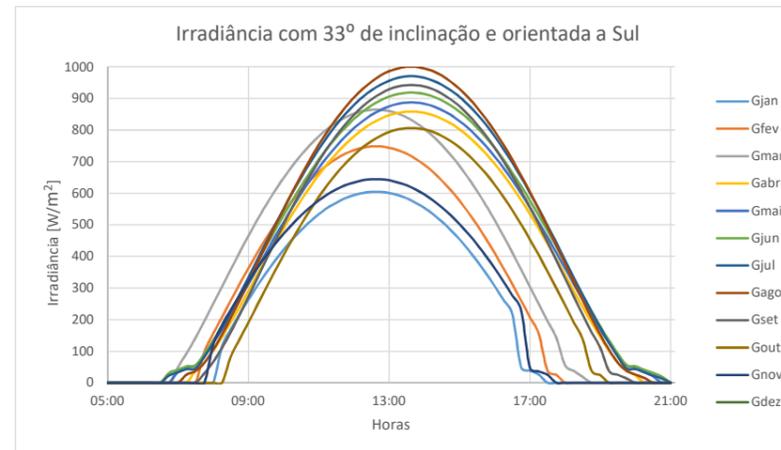
Irradiância com 90° de inclinação e orientada a Este												
Horas	Gjan	Gfev	Gmar	Gabr	Gmai	Gjun	Gjul	Gago	Gset	Gout	Gnov	Gdez
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	203	176	0	0	0	0	0
07:00	0	0	179	0	165	302	292	0	0	0	0	0
07:15	0	0	303	0	260	386	387	222	0	0	0	0
07:30	0	0	392	226	342	459	470	346	0	0	0	0
07:45	0	262	461	332	415	521	540	445	205	0	0	0
08:00	0	349	514	413	476	573	598	527	341	0	289	0
08:15	225	406	553	479	528	615	645	594	440	0	370	231
08:30	288	447	580	531	570	649	682	646	518	256	406	303
08:45	327	474	596	571	602	674	710	687	578	356	428	338
09:00	353	490	603	600	627	691	729	716	622	424	439	357
09:15	368	496	602	620	644	701	740	735	653	474	441	366
09:30	374	494	594	631	653	704	744	745	672	509	437	367
09:45	373	485	579	635	655	701	740	747	682	532	427	362
10:00	367	471	559	632	651	692	730	740	682	544	413	352
10:15	354	451	534	623	641	677	714	727	674	547	394	338
10:30	338	426	504	609	626	657	692	707	659	542	371	320
10:45	318	397	470	589	605	632	665	681	638	530	345	299
11:00	294	365	433	564	580	602	634	650	611	513	317	275
11:15	267	330	393	535	550	569	598	614	579	490	286	249
11:30	238	292	351	503	517	532	558	573	542	462	254	221
11:45	208	253	307	467	481	492	514	529	501	430	219	192
12:00	175	211	261	428	441	448	467	481	456	395	184	161
12:15	142	168	213	387	399	403	418	430	408	357	147	129
12:30	107	125	165	344	354	355	366	376	358	316	110	96
12:45	58	64	92	299	308	306	313	320	305	273	58	52
13:00	58	64	92	252	261	255	258	263	251	228	58	52
13:15	58	64	92	205	212	203	202	204	196	182	58	51
13:30	57	64	91	157	162	150	145	144	139	135	57	51
13:45	56	63	91	80	82	66	59	60	62	70	57	50
14:00	56	62	90	80	82	66	59	60	62	70	56	49
14:15	54	61	89	80	82	66	59	60	62	70	55	48
14:30	53	60	88	80	81	66	59	60	62	69	54	46
14:45	51	58	86	80	81	66	59	60	62	69	52	45
15:00	49	57	85	79	81	66	59	59	61	68	50	43
15:15	46	55	83	79	81	66	59	59	61	67	48	41
15:30	44	52	80	78	80	66	58	59	60	66	46	38
15:45	40	49	77	78	80	66	58	58	60	64	43	35
16:00	37	46	74	77	79	65	58	58	59	63	40	32
16:15	33	43	70	76	78	65	57	57	57	61	36	29
16:30	29	39	66	74	77	64	57	56	56	58	32	25
16:45	24	34	61	72	75	63	56	55	54	56	28	20
17:00	18	30	55	70	74	62	55	54	52	53	23	16
17:15	13	24	49	68	72	61	54	52	50	49	18	10
17:30	0	18	42	65	69	59	52	50	48	45	12	0
17:45	0	12	35	62	66	57	50	48	44	41	0	0
18:00	0	0	27	58	63	55	48	45	41	36	0	0
18:15	0	0	18	54	60	52	46	42	37	31	0	0
18:30	0	0	9	49	56	49	43	39	33	25	0	0
18:45	0	0	0	44	51	46	40	36	28	18	0	0
19:00	0	0	0	39	47	43	37	32	24	12	0	0
19:15	0	0	0	32	41	39	33	28	18	0	0	0
19:30	0	0	0	26	36	35	30	23	12	0	0	0
19:45	0	0	0	19	30	30	25	18	6	0	0	0
20:00	0	0	0	11	23	25	21	13	0	0	0	0
20:15	0	0	0	0	17	20	16	7	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	10	15	11	0	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	9	6	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total/dia	[W/m2/dia]	1488	2103	2947	3311	3620	3915	4013	3774	3220	2414	1790	1422
Nº dias		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total/mês	[kW/m2/mês]	461	589	914	993	1122	1175	1244	1170	966	748	537	441



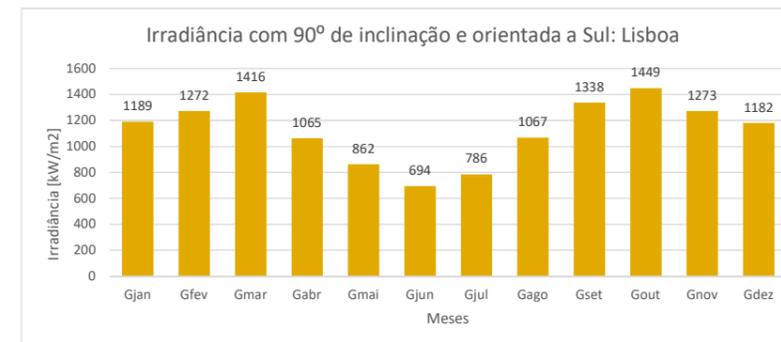
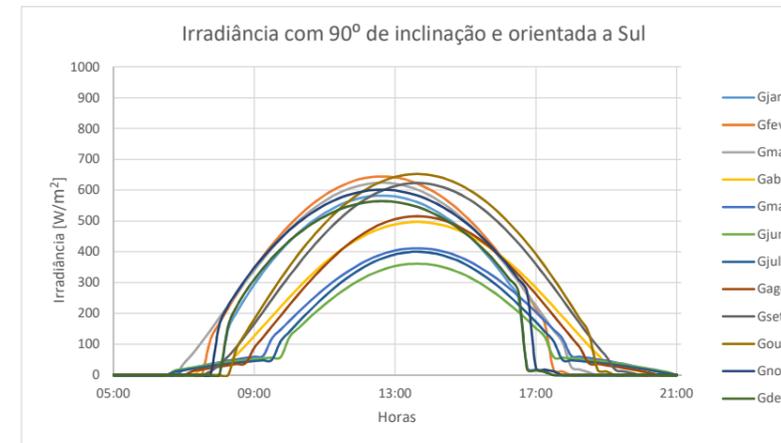
Irradiância com 33° de inclinação e orientada a Sul												
Horas	Gjan	Gfev	Gmar	Gabr	Gmai	Gjun	Gjul	Gago	Gset	Gout	Gnov	Gdez
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	31	23	0	0	0	0	0
07:00	0	0	49	0	34	41	33	0	0	0	0	0
07:15	0	0	94	0	48	52	43	26	0	0	0	0
07:30	0	0	142	39	55	55	45	37	0	0	0	0
07:45	0	97	195	63	88	91	82	63	30	0	0	0
08:00	0	155	249	101	126	133	126	104	66	0	119	0
08:15	114	207	304	144	168	178	174	152	110	0	182	112
08:30	169	260	358	191	214	227	225	205	160	82	230	164
08:45	217	312	412	240	262	277	278	261	215	137	276	217
09:00	262	362	464	290	312	328	333	318	272	190	320	259
09:15	306	410	514	341	362	379	388	377	330	245	362	299
09:30	347	456	562	391	411	431	443	435	388	299	401	336
09:45	385	499	606	440	461	481	497	493	445	352	438	370
10:00	421	539	648	488	508	530	550	549	501	404	471	402
10:15	454	576	686	534	555	577	601	604	555	454	502	431
10:30	483	610	721	578	599	623	650	656	607	501	530	458
10:45	510	640	752	619	641	665	696	706	655	546	555	481
11:00	533	667	780	658	680	706	739	753	701	588	577	502
11:15	554	690	804	693	716	743	780	796	744	627	596	520
11:30	570	709	824	725	749	777	817	835	782	662	612	535
11:45	584	725	840	754	779	807	850	871	817	693	625	546
12:00	594	736	852	780	806	835	879	903	848	721	634	555
12:15	601	744	860	802	828	858	905	930	875	745	641	561
12:30	604	748	864	821	848	878	926	953	897	765	644	564
12:45	604	748	864	835	863	894	943	972	915	781	644	564
13:00	601	744	860	847	875	906	956	986	929	794	641	561
13:15	594	736	852	854	883	914	965	995	938	802	634	555
13:30	584	725	840	858	887	918	970	1000	942	806	625	546
13:45	570	709	824	858	887	918	970	1000	942	806	612	535
14:00	554	690	804	854	883	914	965	995	938	802	596	520
14:15	533	667	780	847	875	906	956	986	929	794	577	502
14:30	510	640	752	835	863	894	943	972	915	781	555	481
14:45	483	610	721	821	848	878	926	953	897	765	530	458
15:00	454	576	686	802	828	858	905	930	875	745	502	431
15:15	421	539	648	780	806	835	879	903	848	721	471	402
15:30	385	499	606	754	779	807	850	871	817	693	438	370
15:45	347	456	562	725	749	777	817	835	782	662	401	336
16:00	306	410	514	693	716	743	780	796	744	627	362	299
16:15	262	362	464	658	680	706	739	753	701	588	320	259
16:30	217	312	412	619	641	665	696	706	655	546	276	217
16:45	49	260	358	578	599	623	650	656	607	501	230	42
17:00	38	207	304	534	555	577	601	604	555	454	47	32
17:15	26	155	249	488	508	530	550	549	501	404	36	21
17:30	0	38	195	440	461	481	497	493	445	352	25	0
17:45	0	25	142	391	411	431	443	435	388	299	0	0
18:00	0	0	55	341	362	379	388	377	330	245	0	0
18:15	0	0	37	290	312	328	333	318	272	190	0	0
18:30	0	0	18	240	262	277	278	261	215	137	0	0
18:45	0	0	0	191	214	227	225	205	160	82	0	0
19:00	0	0	0	144	168	178	174	152	110	24	0	0
19:15	0	0	0	101	126	133	126	104	37	0	0	0
19:30	0	0	0	63	88	91	82	63	25	0	0	0
19:45	0	0	0	39	55	55	45	37	13	0	0	0
20:00	0	0	0	23	48	52	43	26	0	0	0	0
20:15	0	0	0	0	34	41	33	15	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	20	31	23	0	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	19	13	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total/dia												
[W/m2/dia]	3812	5063	6282	6549	6884	7172	7462	7494	6856	5592	4309	3611
Nº dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total/mês												
[kW/m2/mês]	1182	1418	1947	1965	2134	2152	2313	2323	2057	1734	1293	1119



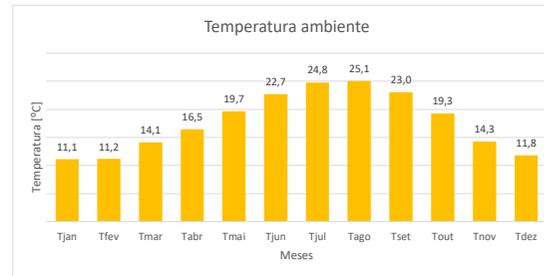
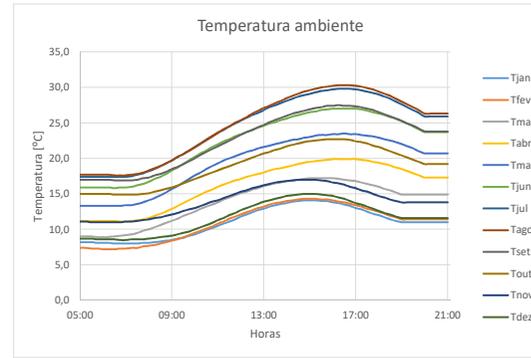
Irradiância com 90° de inclinação e orientada a Sul												
Horas	Gjan	Gfev	Gmar	Gabr	Gmai	Gjun	Gjul	Gago	Gset	Gout	Gnov	Gdez
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	15	11	0	0	0	0	0
07:00	0	0	38	0	17	20	16	0	0	0	0	0
07:15	0	0	70	0	23	25	21	13	0	0	0	0
07:30	0	0	107	19	30	30	25	18	0	0	0	0
07:45	0	114	145	26	36	35	30	23	12	0	0	0
08:00	0	167	185	32	41	39	33	28	33	0	160	0
08:15	146	216	225	39	47	43	37	32	60	0	224	157
08:30	204	262	265	67	51	46	40	36	93	87	269	223
08:45	251	306	304	96	56	49	43	39	129	136	311	271
09:00	295	347	341	127	60	52	46	89	167	182	349	311
09:15	335	386	377	159	63	55	48	123	206	227	383	347
09:30	371	422	411	190	119	57	50	158	246	271	415	380
09:45	404	456	443	222	148	59	110	193	285	313	444	409
10:00	434	487	472	253	176	124	141	228	323	353	471	436
10:15	462	515	499	283	204	152	172	262	359	392	495	459
10:30	486	541	524	312	231	179	201	295	395	428	516	480
10:45	507	564	546	339	257	205	229	326	428	461	535	499
11:00	526	584	565	364	281	229	256	356	459	492	552	515
11:15	542	601	582	388	304	252	281	383	488	521	566	529
11:30	556	615	596	409	324	273	304	409	514	547	578	541
11:45	566	627	607	428	343	292	324	432	538	570	587	550
12:00	574	636	615	445	360	309	343	452	559	590	594	557
12:15	580	641	621	460	375	324	359	470	577	608	599	562
12:30	582	644	624	472	387	336	373	485	592	622	601	564
12:45	582	644	624	482	397	346	383	497	604	634	601	564
13:00	580	641	621	489	404	354	392	506	613	643	599	562
13:15	574	636	615	494	409	359	397	512	620	649	594	557
13:30	566	627	607	497	411	361	400	515	623	652	587	550
13:45	556	615	596	497	411	361	400	515	623	652	578	541
14:00	542	601	582	494	409	359	397	512	620	649	566	529
14:15	526	584	565	489	404	354	392	506	613	643	552	515
14:30	507	564	546	482	397	346	383	497	604	634	535	499
14:45	486	541	524	472	387	336	373	485	592	622	516	480
15:00	462	515	499	460	375	324	359	470	577	608	495	459
15:15	434	487	472	445	360	309	343	452	559	590	471	436
15:30	404	456	443	428	343	292	324	432	538	570	444	409
15:45	371	422	411	409	324	273	304	409	514	547	415	380
16:00	335	386	377	388	304	252	281	383	488	521	383	347
16:15	295	347	341	364	281	229	256	356	459	492	349	311
16:30	251	306	304	339	257	205	229	326	428	461	311	271
16:45	24	262	265	312	231	179	201	295	395	428	269	20
17:00	18	216	225	283	204	152	172	262	359	392	23	16
17:15	13	167	185	253	176	124	141	228	323	353	18	10
17:30	0	18	145	222	148	59	110	193	285	313	12	0
17:45	0	12	107	190	119	57	50	158	246	271	0	0
18:00	0	0	27	159	63	55	48	123	206	227	0	0
18:15	0	0	18	127	60	52	46	89	167	182	0	0
18:30	0	0	9	96	56	49	43	39	129	136	0	0
18:45	0	0	0	67	51	46	40	36	93	18	0	0
19:00	0	0	0	39	47	43	37	32	60	12	0	0
19:15	0	0	0	32	41	39	33	28	18	0	0	0
19:30	0	0	0	26	36	35	30	23	12	0	0	0
19:45	0	0	0	19	30	30	25	18	6	0	0	0
20:00	0	0	0	11	23	25	21	13	0	0	0	0
20:15	0	0	0	0	17	20	16	7	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	10	15	11	0	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	9	6	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total/dia												
[W/m2/dia]	3837	4545	4568	3549	2780	2312	2534	3442	4459	4675	4242	3812
Nº dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total/mês												
[kW/m2/mês]	1189	1272	1416	1065	862	694	786	1067	1338	1449	1273	1182



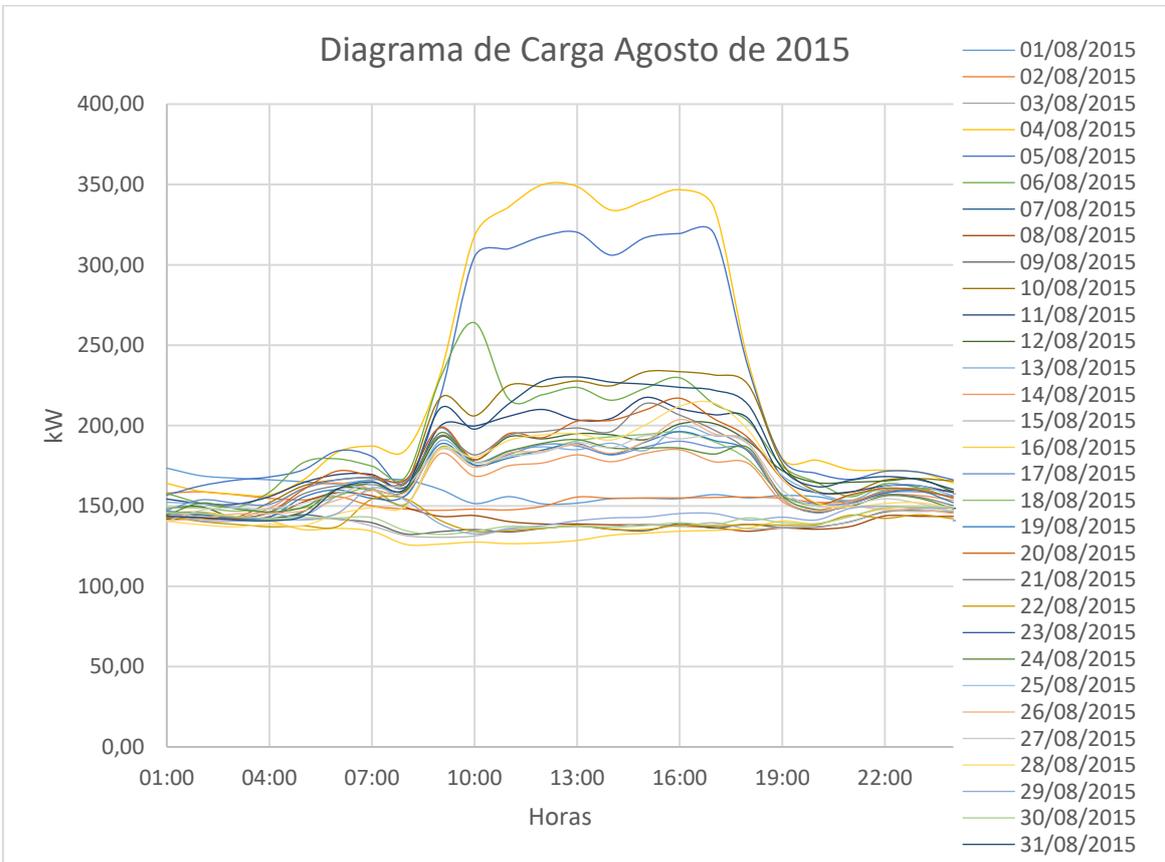
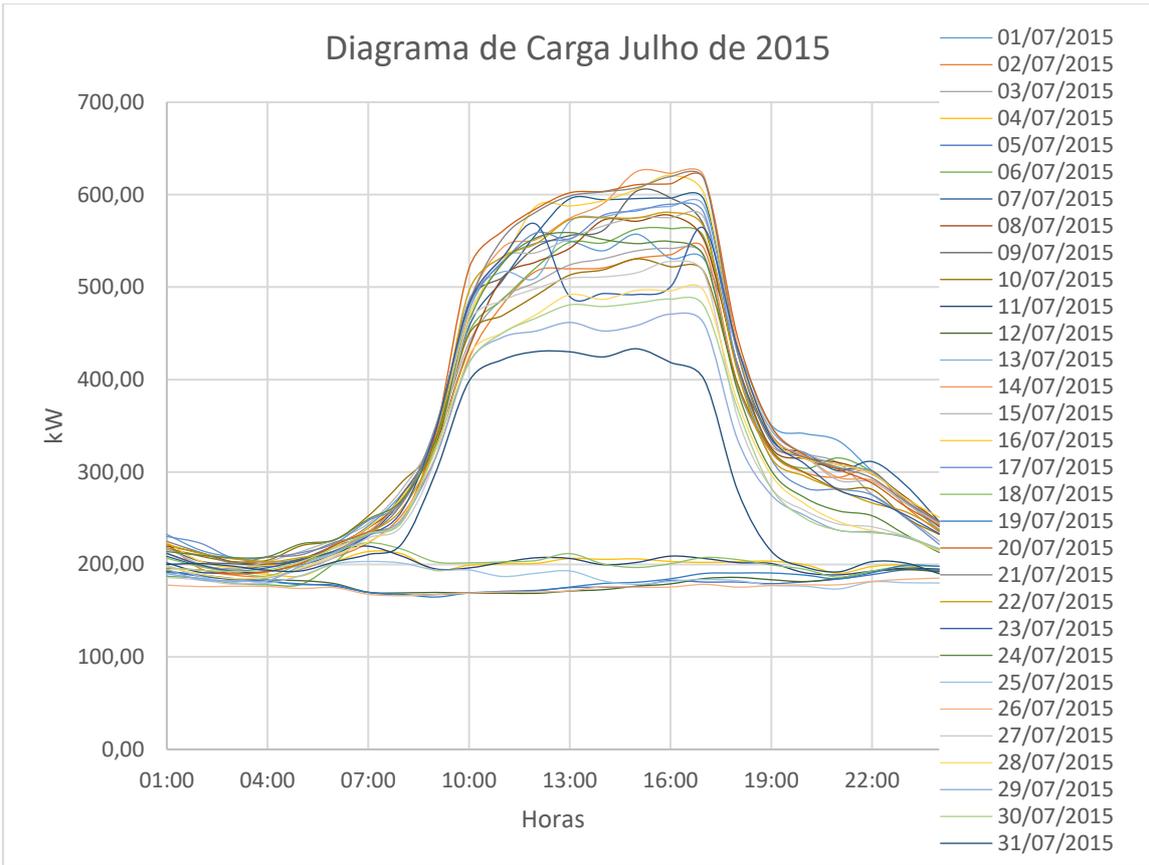
Temperatura Ambiente [°C]												
Horas	Tjan	Tfev	Tmar	Tabr	Tmai	Tjun	Tjul	Tago	Tset	Tout	Tnov	Tdez
05:00	8,2	7,4	9,0	11,2	13,3	15,9	17,4	17,7	17,0	15,0	11,1	8,7
05:15	8,2	7,4	9,0	11,2	13,3	15,9	17,4	17,7	17,0	15,0	11,1	8,7
05:30	8,2	7,3	9,0	11,2	13,3	15,9	17,4	17,7	17,0	15,0	11,0	8,7
05:45	8,1	7,3	8,9	11,2	13,3	15,9	17,4	17,7	17,0	15,0	11,0	8,6
06:00	8,1	7,2	8,9	11,2	13,3	15,9	17,4	17,7	17,0	15,0	11,0	8,6
06:15	8,1	7,2	8,9	11,2	13,3	15,9	17,4	17,7	17,0	15,0	11,0	8,6
06:30	8,0	7,2	9,0	11,2	13,3	15,8	17,4	17,6	16,9	14,9	11,0	8,6
06:45	8,0	7,3	9,1	11,1	13,3	15,9	17,4	17,6	16,9	14,9	11,0	8,5
07:00	8,0	7,3	9,2	11,1	13,4	15,9	17,4	17,6	16,9	14,9	11,1	8,5
07:15	8,0	7,4	9,3	11,2	13,4	16,0	17,5	17,7	16,9	14,9	11,1	8,6
07:30	8,0	7,4	9,5	11,3	13,6	16,2	17,7	17,8	17,0	14,9	11,2	8,6
07:45	8,1	7,6	9,8	11,4	13,8	16,4	17,9	18,0	17,2	15,0	11,3	8,6
08:00	8,1	7,7	10,0	11,6	14,1	16,7	18,2	18,3	17,3	15,1	11,4	8,7
08:15	8,2	7,8	10,3	11,9	14,4	17,1	18,5	18,6	17,6	15,3	11,6	8,8
08:30	8,3	8,0	10,6	12,2	14,8	17,4	18,9	18,9	17,8	15,5	11,7	8,9
08:45	8,4	8,2	10,9	12,5	15,2	17,8	19,3	19,3	18,1	15,7	11,9	9,0
09:00	8,5	8,4	11,2	12,9	15,7	18,3	19,7	19,7	18,5	15,9	12,1	9,1
09:15	8,7	8,6	11,5	13,3	16,1	18,7	20,2	20,2	18,8	16,2	12,3	9,3
09:30	8,8	8,9	11,9	13,7	16,6	19,2	20,6	20,6	19,2	16,5	12,6	9,5
09:45	9,1	9,2	12,2	14,1	17,1	19,7	21,1	21,1	19,6	16,8	12,8	9,7
10:00	9,3	9,5	12,5	14,5	17,6	20,2	21,6	21,6	20,0	17,1	13,0	10,0
10:15	9,6	9,8	12,9	14,9	18,0	20,7	22,1	22,1	20,5	17,4	13,3	10,3
10:30	9,9	10,1	13,2	15,3	18,5	21,1	22,6	22,6	20,9	17,7	13,6	10,6
10:45	10,2	10,4	13,5	15,6	18,9	21,6	23,1	23,1	21,3	18,0	13,9	10,9
11:00	10,5	10,8	13,8	16,0	19,3	22,0	23,6	23,6	21,7	18,3	14,1	11,3
11:15	10,8	11,1	14,2	16,3	19,7	22,4	24,0	24,1	22,1	18,6	14,4	11,6
11:30	11,1	11,5	14,5	16,6	20,0	22,7	24,5	24,5	22,5	18,9	14,7	12,0
11:45	11,4	11,8	14,8	16,9	20,3	23,1	24,9	25,0	22,9	19,2	15,0	12,3
12:00	11,8	12,1	15,1	17,1	20,6	23,4	25,3	25,4	23,3	19,5	15,3	12,7
12:15	12,1	12,4	15,3	17,4	20,9	23,7	25,7	25,8	23,7	19,8	15,5	13,0
12:30	12,4	12,7	15,6	17,6	21,1	24,0	26,1	26,3	24,0	20,1	15,8	13,3
12:45	12,7	13,0	15,8	17,8	21,4	24,3	26,4	26,7	24,4	20,4	16,0	13,6
13:00	12,9	13,2	16,1	18,0	21,6	24,6	26,8	27,1	24,7	20,7	16,2	13,9
13:15	13,2	13,5	16,3	18,3	21,8	24,9	27,2	27,4	25,1	20,9	16,4	14,1
13:30	13,4	13,7	16,5	18,5	22,0	25,1	27,5	27,8	25,4	21,2	16,6	14,3
13:45	13,6	13,8	16,6	18,6	22,2	25,4	27,8	28,1	25,7	21,4	16,7	14,5
14:00	13,7	14,0	16,8	18,8	22,4	25,6	28,1	28,5	26,0	21,7	16,8	14,7
14:15	13,9	14,1	16,9	19,0	22,6	25,9	28,4	28,8	26,3	21,9	16,9	14,8
14:30	14,0	14,2	17,0	19,2	22,7	26,1	28,7	29,1	26,5	22,1	17,0	14,9
14:45	14,1	14,3	17,1	19,4	22,9	26,3	28,9	29,4	26,7	22,3	17,0	15,0
15:00	14,1	14,3	17,2	19,5	23,0	26,5	29,1	29,6	26,9	22,4	17,0	15,0
15:15	14,1	14,3	17,2	19,6	23,2	26,6	29,3	29,8	27,1	22,5	17,0	15,0
15:30	14,0	14,2	17,2	19,7	23,3	26,8	29,5	30,0	27,2	22,6	16,9	14,9
15:45	14,0	14,2	17,2	19,8	23,3	26,9	29,6	30,1	27,4	22,7	16,8	14,8
16:00	13,8	14,1	17,2	19,9	23,4	27,0	29,7	30,2	27,4	22,7	16,6	14,7
16:15	13,7	13,9	17,1	19,9	23,4	27,0	29,8	30,3	27,5	22,7	16,5	14,5
16:30	13,5	13,8	17,0	19,9	23,5	27,0	29,8	30,3	27,4	22,7	16,3	14,3
16:45	13,3	13,6	16,9	19,9	23,4	27,0	29,8	30,3	27,4	22,6	16,0	14,0
17:00	13,0	13,4	16,8	19,9	23,4	27,0	29,7	30,2	27,3	22,4	15,8	13,7
17:15	12,8	13,2	16,6	19,8	23,3	26,9	29,6	30,1	27,2	22,3	15,5	13,5
17:30	12,5	12,9	16,4	19,7	23,2	26,7	29,4	29,9	27,0	22,1	15,3	13,2
17:45	12,2	12,7	16,2	19,5	23,1	26,5	29,2	29,7	26,8	21,8	15,0	12,9
18:00	12,0	12,5	16,0	19,4	22,9	26,3	29,0	29,4	26,5	21,6	14,7	12,6
18:15	11,7	12,2	15,7	19,2	22,7	26,1	28,7	29,1	26,2	21,3	14,5	12,3
18:30	11,4	11,9	15,5	19,0	22,5	25,8	28,4	28,8	25,9	21,0	14,2	12,1
18:45	11,2	11,7	15,2	18,7	22,3	25,6	28,0	28,4	25,6	20,7	14,0	11,8
19:00	11,0	11,4	14,9	18,5	22,0	25,2	27,6	28,0	25,3	20,4	13,8	11,6
19:15	11,0	11,4	14,9	18,2	21,7	24,9	27,2	27,6	24,9	20,1	13,8	11,6
19:30	11,0	11,4	14,9	17,9	21,4	24,5	26,8	27,2	24,6	19,8	13,8	11,6
19:45	11,0	11,4	14,9	17,6	21,0	24,1	26,4	26,8	24,2	19,5	13,8	11,6
20:00	11,0	11,4	14,9	17,3	20,7	23,7	25,9	26,3	23,8	19,2	13,8	11,6
20:15	11,0	11,4	14,9	17,3	20,7	23,7	25,9	26,3	23,8	19,2	13,8	11,6
20:30	11,0	11,4	14,9	17,3	20,7	23,7	25,9	26,3	23,8	19,2	13,8	11,6
20:45	11,0	11,4	14,9	17,3	20,7	23,7	25,9	26,3	23,8	19,2	13,8	11,6
21:00	11,0	11,4	14,9	17,3	20,7	23,7	25,9	26,3	23,8	19,2	13,8	11,6

Média	11,1	11,2	14,1	16,5	19,7	22,7	24,8	25,1	23,0	19,3	14,3	11,8
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



ANEXO V

Diagramas de Consumo do ISEL



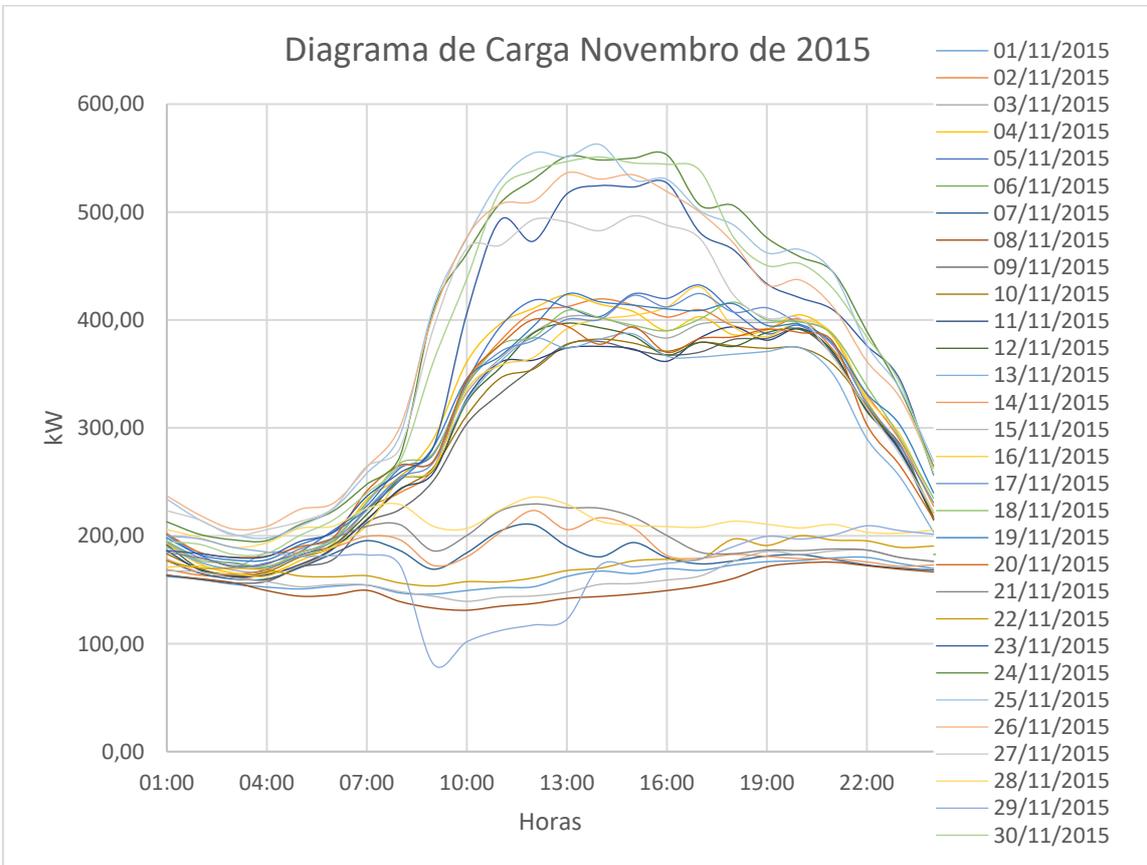
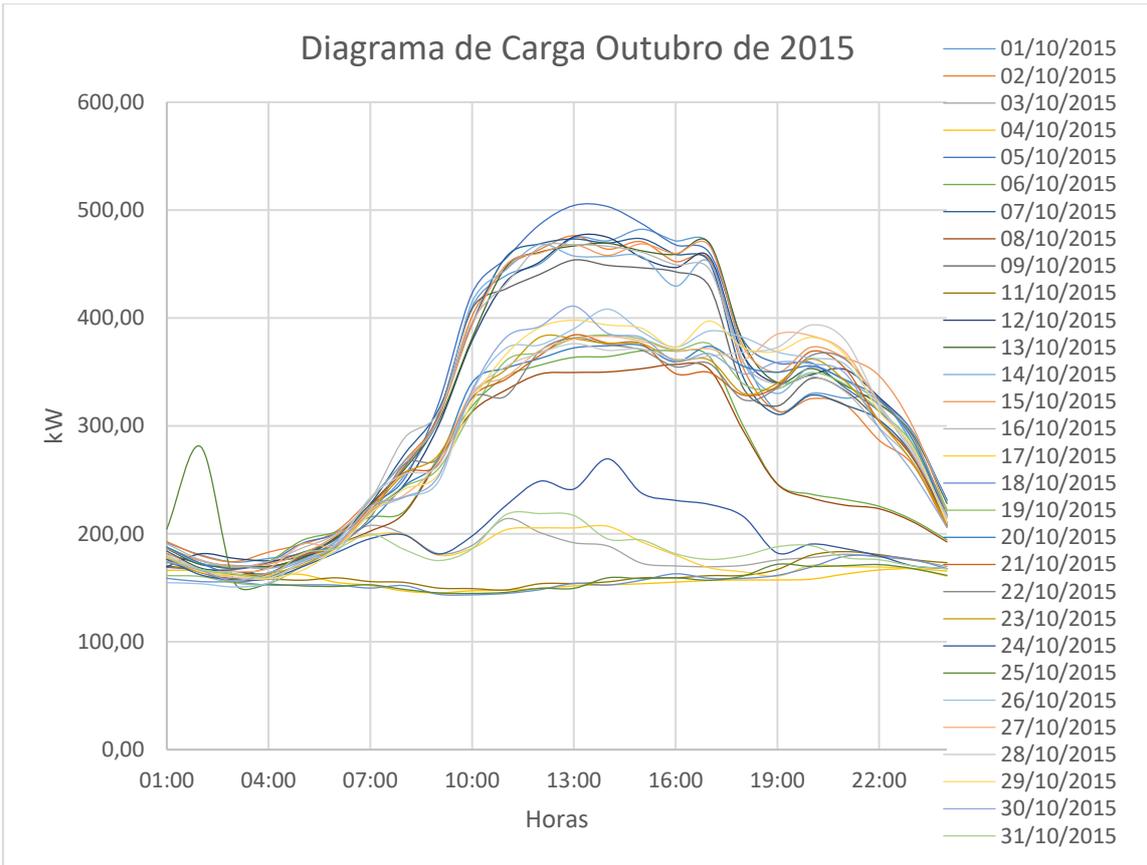


Diagrama de Carga Dezembro de 2015

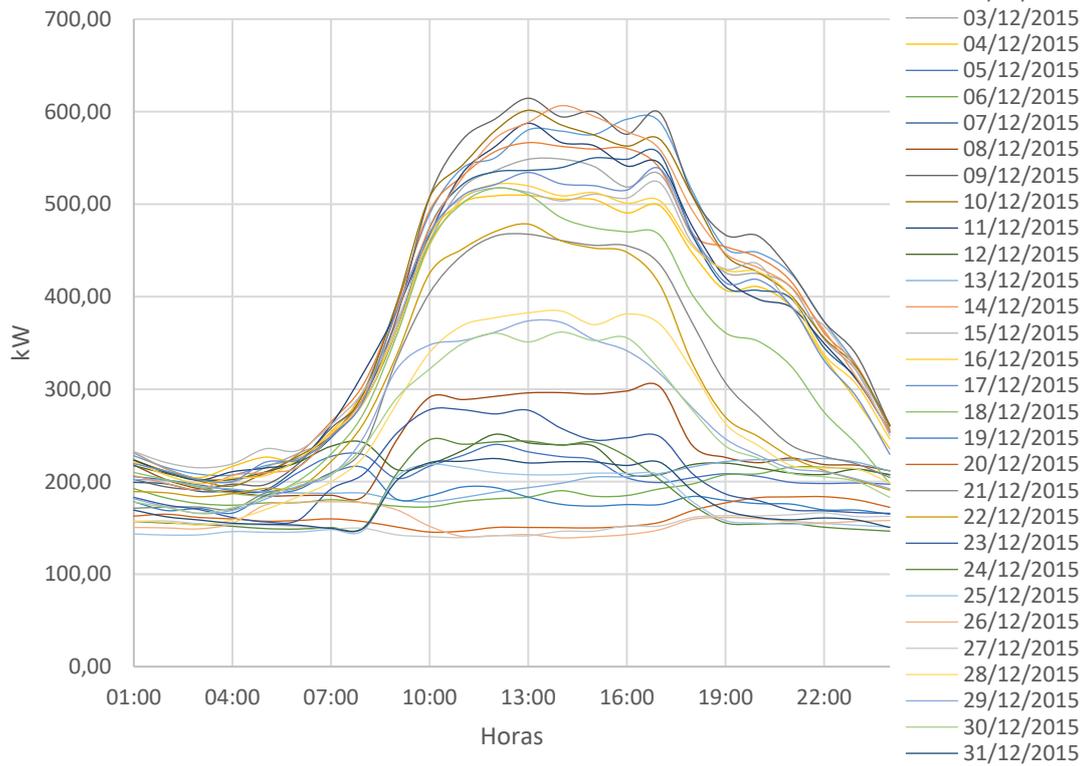
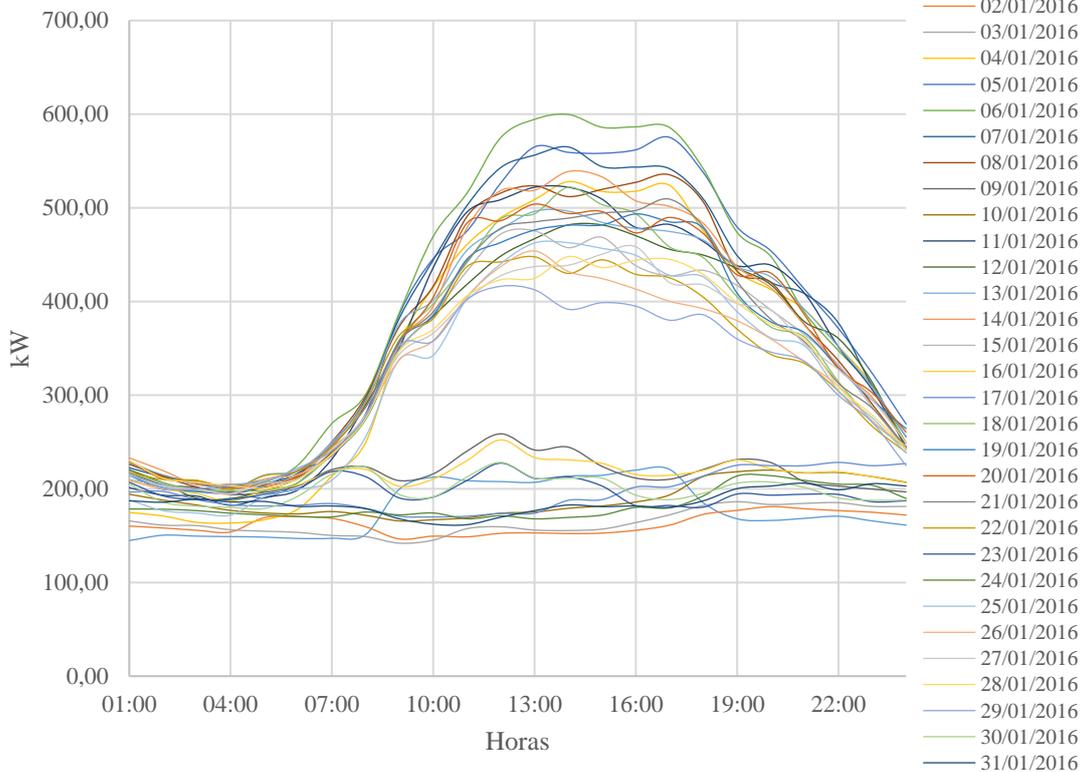
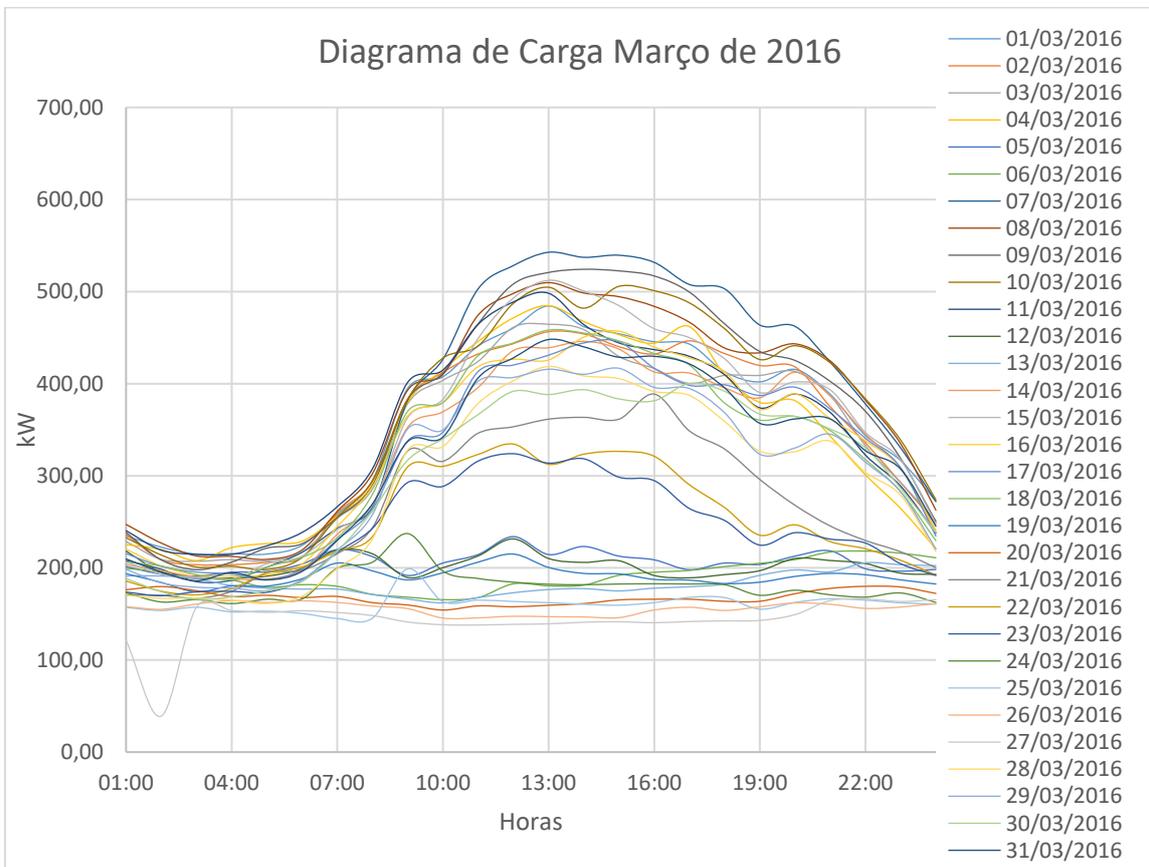
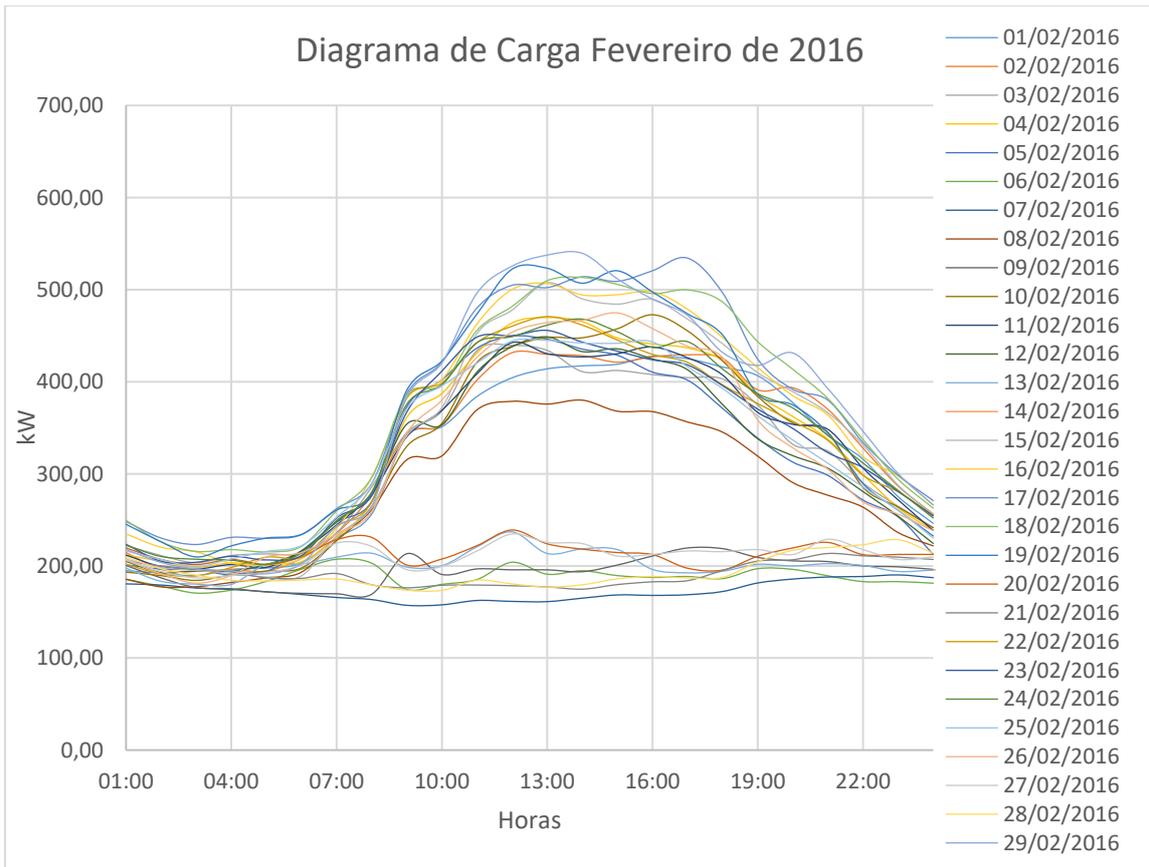
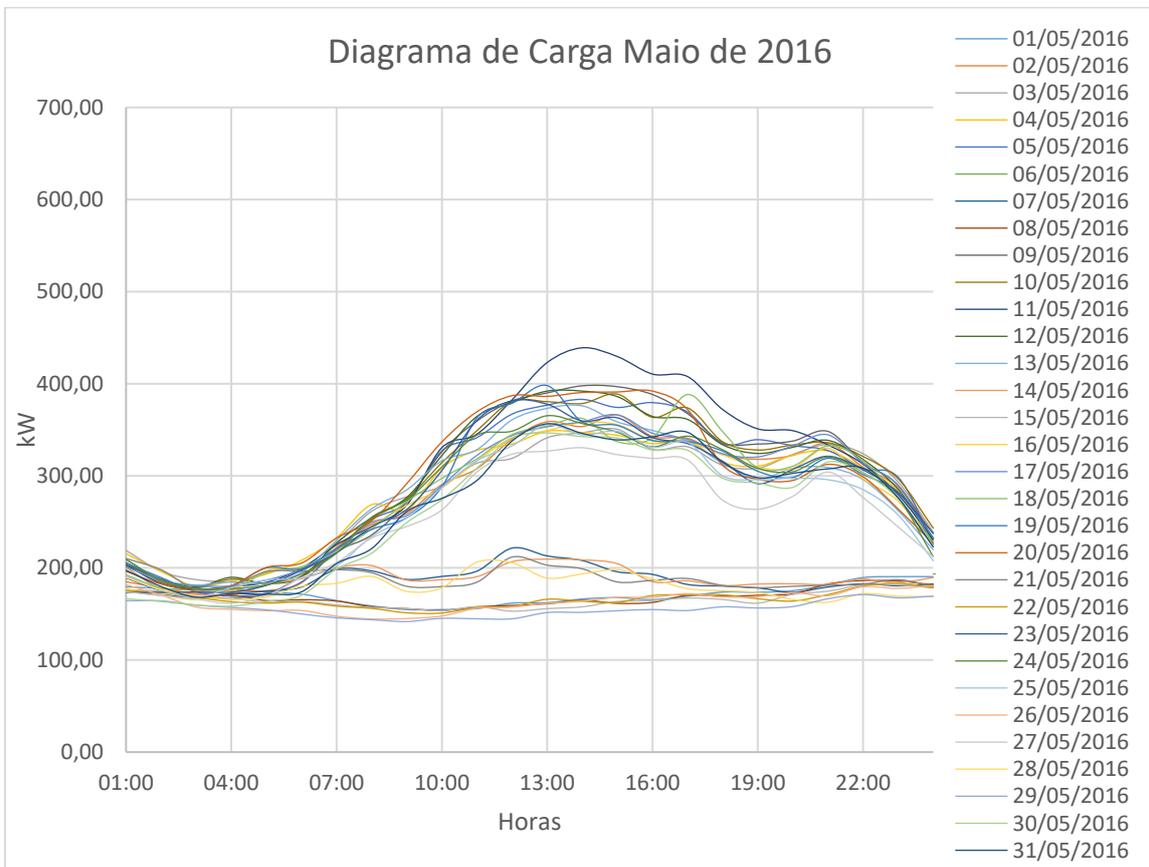
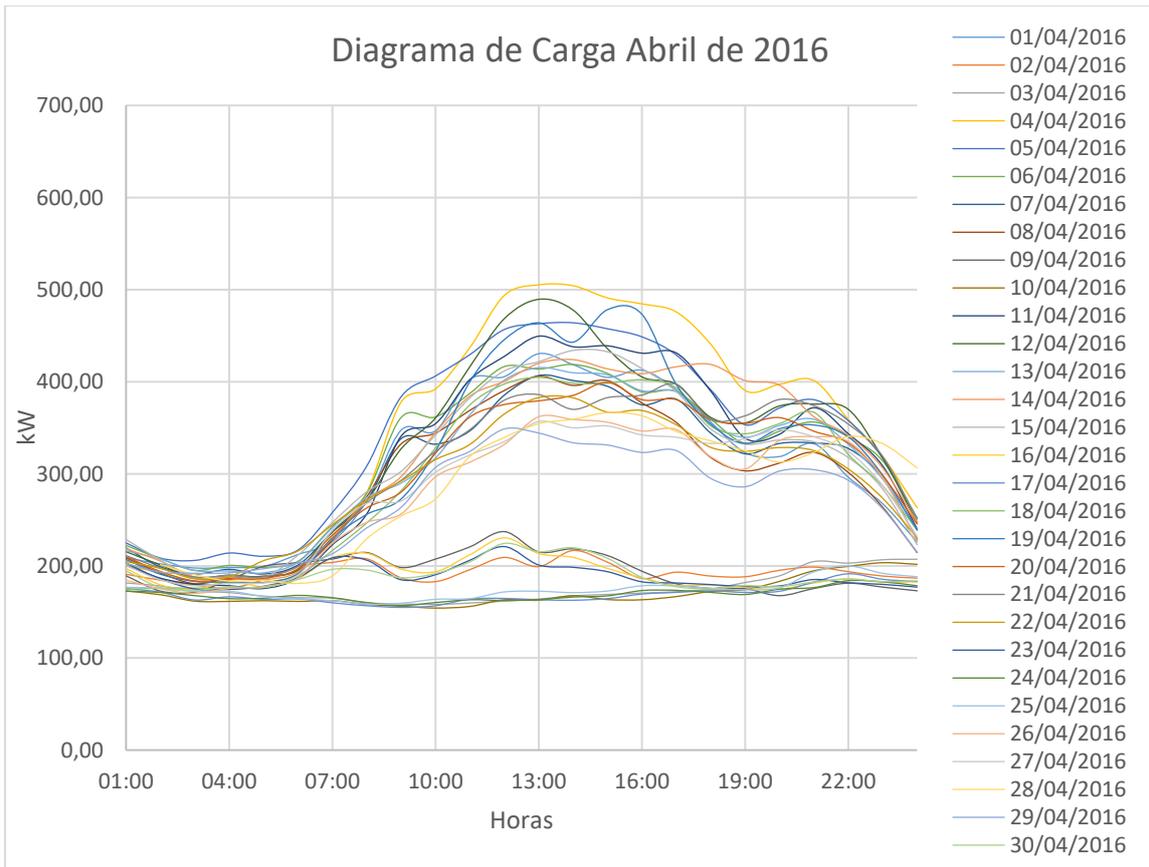


Diagrama de Carga Janeiro de 2016







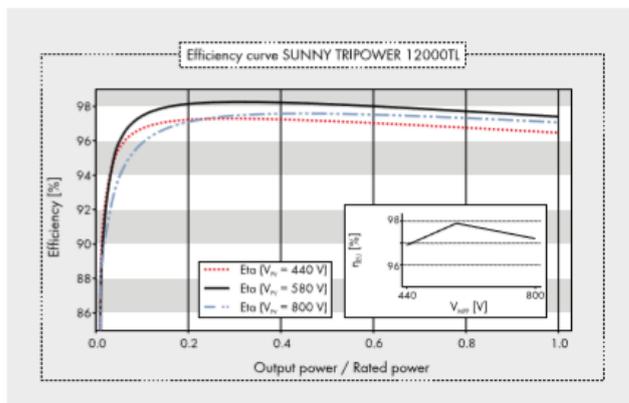
ANEXO VI

Catálogos dos Fabricantes

Inversores

Technical Data	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
Input (DC)		
Max. DC power (@ $\cos \phi = 1$)	5100 W	6125 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V ... 800 V/580 V	295 V ... 800 V/580 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
Output (AC)		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. AC apparent power	5000 VA	6000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 ... 280 V	160 V ... 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A	8.7 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	98 % / 97.1 %	98 % / 97.4 %
Protective devices		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	● / ● / -
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103)/overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W / H / D)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)
Weight	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]	-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]
Noise emission (typical)	40 dB(A)	40 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
Features		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485, Bluetooth, Speedwire / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	● / ○	● / ○
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates and permits (more available on request)	AS 4777, CE, CEI 0-21 ¹ , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 ¹ , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA ² , IEC 61727/PEA ³ , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PFC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014	
Type designation	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20

Sunny Tripower 7000TL	Sunny Tripower 8000TL	Sunny Tripower 9000TL
7175 W	8200 W	9225 W
1000 V	1000 V	1000 V
290 V ... 800 V / 580 V	330 V ... 800 V / 580 V	370 V ... 800 V / 580 V
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
2 / A;2; B;2	2 / A;2; B;2	2 / A;2; B;2
7000 W	8000 W	9000 W
7000 VA	8000 VA	9000 VA
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V
160 V ... 280 V	160 V ... 280 V	160 V ... 280 V
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
10.2 A	11.6 A	13.1 A
1	1	1
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
3 / 3	3 / 3	3 / 3
98 % / 97.5 %	98 % / 97.6 %	98 % / 97.6 %
I / III	I / III	I / III
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)
37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
40 dB(A)	40 dB(A)	40 dB(A)
1 W	1 W	1 W
Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool
IP65	IP65	IP65
4K4H	4K4H	4K4H
100 %	100 %	100 %
SUNCLIX / spring-cage terminal Graphic ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○	SUNCLIX / spring-cage terminal Graphic ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○	SUNCLIX / spring-cage terminal Graphic ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○
AS 4777, CE, CEI 0-21 ⁵ , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 ¹ , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA ² , IEC 61727/PEA ³ , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, FPDS, RD 661/2007, RD 1699-2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE ARN 4105, VFR 2013, VFR 2014		
STP 7000TL-20	STP 8000TL-20	STP 9000TL-20



Accessories



Power Control Module
PWCBRD-10



RS485 interface
4B5BRD-10

¹ Does not apply to all national appendices of EN 50438

² Only STP 9000TL-20

³ Only with external NS protection

⁴ AS 4777, SI4777 available as of September 1, 2014

⁵ Available as of October 2014

● Standard feature ○ Optional feature — Not available

Last updated: August 2014

Data at nominal conditions

Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL ³	
10250 W	12275 W	
1000 V	1000 V	
370 V ... 800 V / 580 V	440 V ... 800 V / 580 V	
150 V / 188 V	150 V / 188 V	
18 A / 10 A	18 A / 10 A	
18 A / 10 A	18 A / 10 A	
2 / A;2; B;2	2 / A;2; B;2	
10000 W	12000 W	
10000 VA	12000 VA	
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	
160 V ... 280 V	160 V ... 280 V	
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	
14.5 A	17.4 A	
1	1	
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	
3 / 3	3 / 3	
98 % / 97.6 %	98.3 % / 97.9 %	
● ● / ● ● / ● / - ● I / III	● ● / ● ● / ● / - ● I / III	
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	
37 kg (81.6 lb)	38 kg / 84 lbs	
-25°C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25°C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	
40 dB(A)	40 dB(A)	
1 W	1 W	
Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool	
IP65	IP65	
4K4H	4K4H	
100 %	100 %	
SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal	
Graphic	Graphic	
○ / ● / ●	○ / ● / ●	
● / ○	● / ○	
● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	
AS 4777 ⁴ , CE, CEI 0-21 ² , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 ¹ , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA ³ , IEC 61727/PEA ³ , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777 ⁵ , UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014		
STP 10000TL-20	STP 12000TL-20	

Sunmodule Plus

SW 290 / 300 MONO



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 290	SW 300
Maximum power	P_{max}	290 Wp	300 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	39.6 V	40.0 V
Maximum power point voltage	U_{mp}	31.9 V	32.6 V
Short circuit current	I_{sc}	9.75 A	9.83 A
Maximum power point current	I_{mp}	9.20 A	9.31 A
Module efficiency	η_m	17.30 %	17.89 %

Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled, ID 000003935)

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 290	SW 300
Maximum power	P_{max}	219.6 Wp	226.7 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	36.7 V	37.0 V
Maximum power point voltage	U_{mp}	29.5 V	30.2 V
Short circuit current	I_{sc}	7.99 A	8.06 A
Maximum power point current	I_{mp}	7.43 A	7.52 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 97% (+/- 3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Power sorting	-0 Wp / +10 Wp
Maximum system voltage IEC	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40°C - +85°C
Maximum Design Loads (Two rail system)*	+5.4 kN/m ² / -31 kN/m ²
Maximum Design Loads (Three rail system)*	+8.5 kN/m ² / -31 kN/m ²

*Please refer to the Sunmodule installation instructions for the details associated with these load cases.



COMPONENT MATERIALS

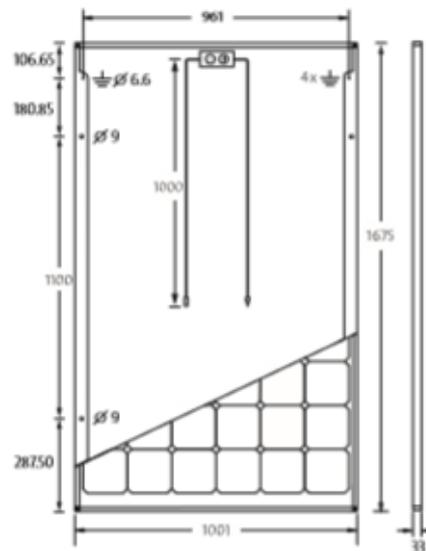
Cells per module	60
Cell type	Mono crystalline PERC
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	Tempered safety glass (EN 12750)
Back	Film, white
Frame	Black anodized aluminum
J-Box	IP65
Connector	Amphenol H4 UTX

DIMENSIONS / WEIGHT

Length	1675 mm
Width	1001 mm
Height	33 mm
Weight	18.0 kg

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TK I_{sc}	0.070 %/K
TK U_{oc}	-0.29 %/K
TK P_{mp}	-0.39 %/K



ORDERING INFORMATION

Order number	Description
82000482	Sunmodule Plus SW 290 mono
82000432	Sunmodule Plus SW 300 mono

CERTIFICATES AND WARRANTIES

Certificates	IEC 61730	IEC 61215	
	IEC 62716	IEC 60068-2-68	IEC 61701
Warranties	Product Warranty		20 years
	Linear Performance Guarantee		25 years

Cabos para utilização em projectos fotovoltaicos

Pos.	Código	Designação	Qt. Proposta
1	702349	CABO RV-K 1X16 0,6/1KV	500 MT
2	700774	CABO RV-K 1X35 1KV BOB CPR	500 MT
3	702358	CABO RV-K 1X70 0,6/1KV	500 MT
4	700767	CABO RV-K 1X120 1KV BOB CPR	500 MT
5	700000	CABO SOLARFLEX-X PV1 1X16	500 MT
6	700000	CABO SOLARFLEX-X PV1 1X35	500 MT
7	700000	CABO SOLARFLEX-X PV1-F 1X70	500 MT

General Cable

EXZHELLENT® SOLAR

1.8 kV CC

exZellent SOLAR

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ELÉTRICAS:

Seção Nominal mm ²	Cor da Cobertura	Diâmetro Externo Nominal mm	Peso Aproximado kg/km	Raio Min. de Curvatura mm	Resistência Elétrica C.C. Máx. do Condutor a 20 °C Ω/km	Ampacidade (I) A	Queda de Tensão (P) em C.C. V/Akm
1,5	■ ■ ■ ■ ■	5,4	35	22	13,7	25	38,17
2,5	■ ■ ■ ■ ■	5,9	45	24	8,21	34	22,87
4	■ ■ ■ ■ ■	6,6	60	26	5,09	45	14,18
6	■ ■ ■ ■ ■	7,4	80	30	3,39	57	9,445
10	■ ■ ■ ■ ■	8,8	120	35	1,95	79	5,433
16	■ ■ ■ ■ ■	10,1	180	40	1,24	105	3,455
25	■ ■ ■ ■ ■	12,5	300	50	0,795	140	2,215
35	■ ■ ■ ■ ■	14,0	395	56	0,565	174	1,574
50	■ ■ ■ ■ ■	16,3	555	65	0,393	219	1,095
70	■ ■ ■ ■ ■	18,7	790	75	0,277	273	0,7717
95	■ ■ ■ ■ ■	20,8	1.030	83	0,210	328	0,5851
120	■ ■ ■ ■ ■	23,0	1.250	92	0,164	385	0,4569
150	■ ■ ■ ■ ■	25,7	1.550	129	0,132	443	0,3678
185	■ ■ ■ ■ ■	28,7	1.910	144	0,108	506	0,3009
240	■ ■ ■ ■ ■	32,3	2.450	162	0,0817	606	0,2276
300	■ ■ ■ ■ ■	35,6	3.050	178	0,0654	700	0,1822
400	■ ■ ■ ■ ■	40,6	4.050	203	0,0495	842	0,1379

Caixas de Ligação das Strings FV

Caixas combinadoras pré-cabladas

Uma solução de ligação fotovoltaica para telhados e para instalações com necessidades especiais de protecção.

Integradas entre os módulos solares e o inversor, as caixas de strings são usadas para ligar a corrente eléctrica gerada. Desenvolvemos configurações standard de caixas de strings baseadas nas exigências recorrentes dos clientes, o que estabelece uma óptima plataforma para a construção de ligações, protecção e sistemas de monitorização.

A nossa linha de produtos inclui soluções para usar em sistemas montados em telhados assim como em parques solares. Podemos desenvolver soluções específicas para o cliente, que se ajustam à arquitectura de grandes instalações, de forma rápida e segura.

Secionamento remoto (opcional)

As caixas de strings industriais são desenhadas para serem equipadas com um interruptor-seccionador com a particularidade de secionamento remoto por bobina de disparo. Esta particularidade opcional cumpre a regulamentação internacional dos serviços de bombeiros, no que diz respeito à segurança de sistemas fotovoltaicos em espaços públicos.

Protecção contra descargas para o lado DC

Descarregador para instalações fotovoltaicas (com certificação aprovada UTE-C-01-740-01) especialmente desenhado para o corte de sobretensões com correntes elevadas em DC. O módulo cumpre todos os requisitos para aplicações fotovoltaicas especificados na nova regulamentação.

Monitorização contínua do desempenho

A Weidmüller oferece uma solução completa que cobre uma vasta gama de requisitos. Dependendo da versão, as caixas podem conter blocos terminais, protecção de sobretensão, fusíveis, disjuntores e até sistemas que monitorizam permanentemente a performance das strings.

Desde telhados a parques solares
As caixas de strings estão disponíveis com várias configurações de ligações de 1-28 strings.

Soluções individuais

Para pequenas modificações ou soluções personalizadas – os especialistas em aplicações da Weidmüller podem projectar e implementar a solução perfeita para as suas necessidades. Por favor, sinta-se livre para entrar em contacto connosco!



Protecção contraful
Dependendo da versão, as caixas podem ser desenhadas com protecção ate IP66, o que assegura que são adequadas para uso no exterior.

IP66

Entrega chave na mão

Todas as caixas são pré-montadas e compatíveis conforme as normas aplicáveis. Estas soluções plug-and-play vêm prontas para instalar e assegurar instalações rápidas e seguras no terreno.



É obrigatório a utilização de DST no lado AC e DC do inversor segundo a DIN-VDE0100, ponto 712.

Ref N°	Nome	Versão	Icc x entrada (DC)	Interruptor-seccionador (CC)	Tensão x Entrada (VDC)	Dimensões A x L x P (mm)	PVP €
Gama DC							
7504811010	PV DC 1IN SPD CG 1000V		30 A	N/A	1000 V	190x184x106	149,35
7504811001	PV DC 1IN SPD WM4 1000V		30 A	N/A	1000 V	190x184x106	180,12
7504811018	PV DC 1IN SW SPD CG 1000V		9 A	9 A	1000 V	250x256x140	206,25
7504811004	PV DC 1IN SW SPD WM4 600V		13 A	16 A	600 V	190x184x106	180,10
7504811011	PV DC 1INx2 2MPPT 2SPD CG 1000V		30 A	N/A	1000 V	250x256x140	371,84
Gama AC							
7504812007	PV AC 1IN SW 230/16/30mA SPD CG		12.5 A	16 A	-	190x184x106	182,14
7504812008	PV AC 1IN SW 230/20/30mA SPD CG		16 A	20 A	-	190x184x106	182,14
7504812005	PV AC 1IN SW 230/25/30mA SPD CG		20 A	25 A	-	190x184x106	184,86
Gama DC + AC							
7504812010	PV DC+AC 2IN 2SW 230/20/30 2SPD CG 1000V		16 A	20 A	1000 V	250x328x140	376,88
7504812001	PV DC+AC 2IN 2SW 230/20/30 2SPD WM4 600V		16 A	20 A	600 V	250x328x140	356,58

Equipamentos de Protecção Eléctrica



NBN320

Disjuntor 3P 20A B 10/15kA 3M

Características técnicas

Intensidade nominal	20 A
Curva	B
Tensão alternada estipulada de utilização	400 V
Frequência de funcionamento	50/60 Hz
Nº de módulos	3
Nº de pólos	3 P
Temperatura de funcionamento	-25 a 60 °C



SB432PV

Interruptor 4P 32A 1000V DC

Características técnicas

Intensidade nominal	32 A
Nº de módulos	3,5
Tensão estipulada de utilização em DC	1000 V
Frequência de funcionamento	50/60 Hz
Secção de ligação em cabo flexível	10mm ²
Secção de ligação em cabo rígido	16 mm ²
Temperatura de funcionamento	-40 a 65 °C

ANEXO VII

Ciclo Semanal dos períodos horários

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Este Ciclo horário e os respectivos períodos foram retirados de [102].

ANEXO VIII

Composição da Tarifa

Tabela 1 – Composição da Tarifa no mês de Junho de 2016

Energia Activa	Preço Unitário	Unidades	Quantidade	Custos
Vazio Normal	0,0499	€/kWh	44719	2231,48
Super Vazio	0,0496	€/kWh	21231	1053,06
Ponta	0,0665	€/kWh	17474	1162,02
Cheia	0,0635	€/kWh	83132	5278,88

Redes de Energia Activa	Preço Unitário	Unidades	Quantidade	Custos
Vazio Normal	0,0224	€/kWh	44719	1001,71
Super Vazio	0,0219	€/kWh	21231	464,96
Ponta	0,047	€/kWh	17474	821,28
Cheia	0,0406	€/kWh	83132	3375,16

Redes Potência	Preço Unitário	Unidades	Quantidade	Custos
Contratada	0,977	€/kW	744	726,89
Horas de Ponta	6,9	€/kW	306,5614	2115,27

Total	18 230,70 €
--------------	-------------

Total	Parcela Fixa	726,89 €	4%
	Parcela Variável	17 503,81 €	96%

Redes	Parcela Fixa	726,89 €	9%
	Parcela Variável	7 778,38 €	91%

Estes dados foram retirados da factura mensal de electricidade do ISEL referente ao mês de Junho de 2016.