

CAPÍTULO 1 – ENERGIA SOLAR 13

1. Introdução	14
1.1. Heliotecnia – generalidades	14
1.2. Radiação solar	14
1.2.1. Espectro da radiação solar	17
1.2.2. Massa de ar	17
1.2.3. Tipos de radiação solar	19
1.2.4. Constante solar S	21
1.3. Movimento Terra-Sol	24
1.3.1. Declinação do Sol	25
1.3.2. Tempo solar e ângulo horário local	27
1.3.3. Coordenadas geográficas	30
1.4. Orientação dos módulos solares	35
1.4.1. Projecções estereográficas	35
1.5. Orientação e inclinação de superfícies absororas	39
1.5.1. Captação máxima de energia solar – generalidades	40
1.5.2. Poder de emissão de um corpo	41
1.5.3. Captação máxima de energia solar – Calor (Q)	43
1.5.4. Factores de que depende a quantidade de calor transferido entre sistemas	43
1.5.5. Captação máxima de energia solar – Trabalho (W)	44
1.5.6. Captação máxima de energia solar – Radiação (R)	44
1.5.7. Princípio da conservação de energia	45
1.5.8. Balanço de energia	45
1.5.9. Captação máxima de energia solar – Ganho térmico	45
1.5.10. Captação máxima de energia solar – Perdas térmicas	46
1.5.11. Recursos de energia solar em Portugal	49
1.5.12. Formas de aproveitamento da energia solar	52
1.5.13. Medição da radiação solar	53
1.6. Sistemas solares – generalidades	55
1.6.1. Tipos de sistemas solares	56
1.6.2. Colectores solares térmicos – generalidades	56
1.6.3. Módulos solares fotovoltaicos – generalidades	58
1.6.4. Instalação de sistemas solares – generalidades	60
1.6.5. Potencial de aplicação dos sistemas solares	62
1.6.6. Ciclo de vida dos sistemas solares – retorno energético	64
1.6.7. Ciclo de vida dos sistemas solares – benefícios e impactes ambientais	65
1.7. Sistemas mistos de energia solar e outros tipos de energia	66
Actividade teórico-prática 1	67
Actividade teórico-prática 2	68
Teste de Avaliação	70
Teste de Avaliação – Escolha múltipla	71

CAPÍTULO 2 – SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS 73

2. Tecnologia de sistemas solares fotovoltaicos	74
2.1. Sistemas isolados	74
2.1.1. Com armazenamento	74
2.1.2. Sem armazenamento	75
2.2. Sistemas híbridos	76

2.3. Sistemas ligados à rede	77
2.4. Equipamentos que constituem um sistema de venda à rede	77
2.4.1. Inversor de venda à rede – generalidades	78
2.5. Sistema solar fotovoltaico – constituição	80
2.5.1. Esquemas de sistemas solares fotovoltaicos	80
2.5.2. Conceitos eléctricos	82
2.5.3. Fórmulas de potência	82
2.5.4. Perdas de potência	83
2.5.5. Fórmulas de energia	83
2.5.6. Quantidade de energia	84
2.5.7. Resistência de um condutor	84
2.5.8. Ligações de resistências	85
2.5.9. Aumento da resistência de um condutor com a temperatura	85
2.5.10. Capacidade eléctrica	86
2.5.11. Ligação de condensadores	86
2.5.12. Ligação de baterias	87
2.5.13. Múltiplos e submúltiplos das unidades eléctricas	88
2.6. Módulos/células solares fotovoltaicas – efeito fotovoltaico	89
2.6.1. Semicondutores	91
2.6.2. Junção PN	91
2.6.3. Modelo equivalente de uma célula fotovoltaica	93
2.6.4. Modelo real de uma célula fotovoltaica	98
2.7. Baterias de acumuladores – constituição e princípio de funcionamento	100
2.7.1. Modelo eléctrico de uma bateria	101
2.7.2. Baterias de acumuladores de chumbo-ácido	102
2.7.3. Acumuladores de chumbo-ácido ventilados (FVLA – <i>Free Vented Lead Acid</i>)	105
2.7.4. Acumuladores de chumbo-ácido selados (VRLA – <i>Valve Regulated Lead Acid</i>)	106
2.7.5. Acumuladores de chumbo-ácido selados (VRLA) de gel	106
2.7.6. Baterias AGM (<i>Absorbent Glass Material</i>)	106
2.7.7. Baterias de acumuladores alcalinas	107
2.7.7.1. Baterias de níquel-cádmio (Ni-Cd)	107
2.7.7.2. Bateria de níquel-hidretos metálicos (Ni-MH)	108
2.7.7.3. Baterias de iões de lítio	108
2.7.7.4. Baterias de iões de lítio com electrólito de polímero	109
2.7.8. Características das baterias de acumuladores	109
2.7.8.1. Capacidade, C_n	109
2.7.8.2. Tempo de descarga, t_n	110
2.7.8.3. Densidade energética, em Wh	110
2.7.8.4. Ciclos de vida	110
2.7.8.5. Auto-descarga	110
2.7.8.6. Profundidade de descarga (DOD – <i>Deep of Discharge</i>)	111
2.7.8.7. Tensão	112
2.7.9. Tabela de comparação entre os tipos de baterias mais usuais em sistemas fotovoltaicos	113

2.7.10. Carga de uma bateria	114	2.10.9. Selectividade dos aparelhos de protecção	178
2.7.11. Descarga de uma bateria	114	2.10.10. Sistemas de terra de protecção	181
2.7.12. Associação de baterias de acumuladores	115	2.10.10.1. Condutores de terra	182
2.7.13. Problemas da ligação de baterias em paralelo	117	2.10.11. Verificação das instalações eléctricas	185
2.7.14. Precauções na instalação de baterias	118	2.10.12. Automatismos	189
2.7.15. Manutenção das baterias	118	2.10.13. Tubos para canalizações eléctricas	191
2.7.16. Escolha das baterias em função do tipo de instalação	119	2.10.14. Classes de isolamento dos equipamentos	193
2.8. Regulador de carga	119	2.11. Aparelhos de medida	194
2.8.1. Análise da folha de características de um regulador	121	2.12. Isolamento térmico - introdução	196
2.8.2. Tipos de reguladores	122	Teste de Avaliação	197
2.8.3. Regulador série	123	Teste de Avaliação - Escolha múltipla	198
2.8.4. Regulador paralelo ou "shunt"	125	CAPÍTULO 3 – MÓDULOS SOLARES	
2.8.5. Estratégias para o controlo da carga	126	FOTOVOLTAICOS	201
2.8.6. Regulador MPPT	128	3.1. Tipos de células fotovoltaicas	202
2.8.7. Regulador de carga <i>Night Light</i>	132	3.1.1. Rendimento - panorama actual	203
2.8.8. Associação de reguladores em paralelo	133	3.1.2. Curvas características das células fotovoltaicas	204
2.8.9. Esquema electrónico de um regulador solar	137	3.1.3. Factor de forma e rendimento	208
2.9. Inversores DC/AC	138	3.1.4. Potência eléctrica	209
2.9.1. Inversores de onda quadrada	140	3.1.5. Características dos módulos fotovoltaicos	209
2.9.1.1. Princípio de funcionamento	142	3.1.6. Potência produzida por um módulo fotovoltaico	212
2.9.1.2. Sistemas de monitorização	143	3.1.7. Associação de módulos fotovoltaicos em série	213
2.9.2. Inversor auto-controlado	145	3.1.8. Associação de módulos fotovoltaicos em paralelo	213
2.9.3. Inversores DC-AC para sistemas autónomos	147	3.1.9. Associação mista de módulos fotovoltaicos	214
2.9.4. Características dos inversores para instalações autónomas	148	3.2. Cálculo e dimensionamento dos módulos solares fotovoltaicos – noções	215
2.9.5. Classificação dos inversores autónomos	150	3.3. Manutenção e conservação	215
2.9.5.1. Inversores de onda quadrada	150	3.4. Caixa de ligações dos módulos fotovoltaicos	216
2.9.5.2. Inversores semi-sinusoidais	152	3.5. Díodos de desvio e díodos de fileira	218
2.9.5.3. Inversores sinusoidais	152	3.6. Pontos quentes, díodos de derivação e sombreamento	219
2.9.6. Escolha do inversor para sistemas isolados	153	3.7. Efeitos dos sombreamentos nos módulos fotovoltaicos	221
2.9.7. Inversores com carregador	154	3.8. Aspectos a ter em conta na escolha do módulo	223
2.9.8. Dimensionamento de um gerador de apoio ao sistema fotovoltaico	155	3.9. Processo de construção de um módulo solar fotovoltaico	223
2.9.9. Características dos inversores	156	3.9.1. Teste de células solares	224
2.10. Instalação eléctrica (quadro eléctrico, cablagem, protecções contra descargas atmosféricas, disjuntores, fusíveis e outros elementos do circuito eléctrico)	158	3.9.2. Um simulador solar simples	224
2.10.1. Condutores e cabos eléctricos	158	3.9.3. Um porta-células simples	224
2.10.2. Quadros eléctricos	162	3.9.4. Medições corrente-tensão	225
2.10.2.1. Quadro eléctrico de entrada	162	3.9.5. Como ligar as células	225
2.10.2.2. Aparelho de corte diferencial	164	3.9.6. Os vários modos de ligar as células solares em série	226
2.10.2.3. Aparelho de corte magnetotérmico	165	3.9.7. Soldadura das células solares	226
2.10.2.4. Protecção contra descargas atmosféricas	166	3.9.8. Projectar a caixa	226
2.10.3. Escolha do regime de neutro	167	3.9.9. Corte do plástico	227
2.10.3.1. Sistema TT	167	3.9.10. Colar a caixa de plástico	227
2.10.3.2. Sistema TN	168	3.9.11. Tapar a cobertura	228
2.10.3.3. Sistema IT	169	3.9.12. Instalação das células solares	228
2.10.4. Choque eléctrico	169	3.9.13. Construção de um módulo concentrador híbrido	229
2.10.5. Dispositivos de protecção	170	3.9.14. O suporte de protecção	229
2.10.6. Disjuntores de baixa tensão	171	3.9.15. Isolamento e encapsulamento das células fotovoltaicas	230
2.10.7. Fusíveis	172	3.10. Ensaio de um módulo solar fotovoltaico	231
2.10.8. Análise de problemas eléctricos	173	Actividade Teórico-prática 1	232

ÍNDICE

Actividade Teórico-prática 2	232	4.26. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de venda à rede	293
Actividade Teórico-prática 3	233	4.27. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autónomos	300
Teste de Avaliação	233	4.27.1 Cargas eléctricas (consumos)	300
Teste de Avaliação – Escolha múltipla	234	4.28. Escolha do regulador de carga	304
CAPÍTULO 4 – PROJECTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS (SELECÇÃO E DIMENSIONAMENTO) 237			
4.1. Aproveitamento da energia solar fotovoltaica – generalidades	238	4.29. Dimensionamento de instalações fotovoltaicas em corrente contínua com tensões de 12 V/24 V/48 V	304
4.2. Hora de pico solar	239	4.30. Dimensionamento de instalações FV em corrente contínua com tensões de 12/24/48 V e em corrente alternada 230 V AC/50 Hz	308
4.3. Estudo de viabilidade técnica – sombreamentos	239	4.31. Dimensionamento de instalações FV em corrente alternada (230 V AC/50 Hz)	308
4.3.1. Tipos de sombreamento	242	4.32. Outro processo de cálculo para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autónomos	310
4.3.2. Perdas por sombreamento	243	4.32.1. Sistema FV autónomo para alimentação de cargas em corrente alternada - caso prático I	310
4.4. Sistemas de múltiplos inversores	247	4.32.2. Sistema FV autónomo para iluminação externa - caso prático II	316
4.5. Dimensionamento de cablagem para sistemas FV	249	Actividade Teórico-prática 1	320
4.6. Dimensionamento dos fusíveis de fileira	255	Actividade Teórico-prática 2	320
4.7. Dimensionamento dos fusíveis para protecção de baterias, regulador e inversor	256	Teste de Avaliação	322
4.8. Ligação dos módulos fotovoltaicos	257	Teste de Avaliação – Escolha múltipla	323
4.9. Acoplamento electromagnético	260	CAPÍTULO 5 – PROJECTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS (CONSTRUÇÃO) 325	
4.10. Equipamentos de corte e seccionamento	260	5.1. Caracterização dos elementos constituintes	326
4.11. Protecção contra descargas atmosféricas de sistemas FV	262	5.1.1. Seguidores solares	326
4.12. Esquemas de sistemas solares fotovoltaicos a definir em projectos	262	5.2. Tipos de estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos	328
4.12.1. Protecção de sistemas isolados	262	5.2.1. Caracterização técnica detalhada dos principais componentes de uma estrutura de fixação em telhados	332
4.12.2. Protecção de sistemas ligados à rede	265	5.2.2. Montagem das estruturas de fixação em vários tipos de telhados	333
4.13. Ligação à terra e equipotencialização	265	5.3. Caixas de ligação das cablagens dos sistemas FV	335
4.14. Contador de energia e portinhola na microprodução	268	5.4. Normas técnicas e legislação aplicável a sistemas fotovoltaicos	337
4.14.1. Contador de energia	268	5.4.1. Módulos fotovoltaicos	338
4.14.2. Portinhola	269	5.4.2. Cablagens	338
4.15. Legislação aplicável à microgeração	271	5.4.3. Fusíveis de fileira	338
4.15.1. Aspectos fiscais	272	5.4.4. Díodos de bloqueio	339
4.15.2. Regimes de remuneração de microprodução	273	5.4.5. Interruptor principal DC	339
4.16. Minigeração para produção de energia com tarifas bonificadas	275	5.4.6. Caixa de junção geral	339
4.17. Estudo económico	277	5.4.7. Protecção contra descargas atmosféricas e sobretensões	340
4.18. Esquemas de instalação de sistemas de microgeração fotovoltaica	280	5.4.8. Protecção de sistemas FV contra descargas atmosféricas em edifícios não protegidos	340
4.19. Dimensionamento de centrais fotovoltaicas de venda à rede com uma potência de 9 e 90 kW	282	5.4.9. Protecção de sistemas FV contra descargas atmosféricas em edifícios protegidos	341
4.20. Sistemas de venda à rede com inversores trifásicos de elevada potência	282	5.4.10. Ligação à terra de equipamentos	341
4.21. Dimensionamento de uma central de minigeração para uma instalação industrial com contrato em BTE – exemplo 1	285	5.4.11. Contadores	341
4.22. Dimensionamento de uma central de minigeração para uma instalação de uma cooperativa com contrato em BTE – exemplo 2	286	5.5. Normas e boas práticas na instalação de sistemas FV	342
4.23. Dimensionamento de uma central de minigeração para uma instalação industrial com contrato em MT – exemplo 3	287	5.5.1. Equipamentos e elementos de segurança	342
4.24. Esquemas de sistemas híbridos	288		
4.25. Dimensionamento de sistemas de bombeamento de água	290		

Teste de Avaliação	347
Teste de Avaliação – Escolha múltipla	347

CAPÍTULO 6 – PROJECTOS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS (INSTALAÇÃO) 349

6.1. Preparação das condições necessárias para a instalação	350
6.1.1. Etiquetas de aviso de segurança e normas a adoptar nas inspecções de microgeração	350
6.2. Montagem dos módulos sobre a estrutura	352
6.3. Arranque do sistema solar fotovoltaico autónomo	352
6.4. Instalação do sistema solar fotovoltaico conforme plano de instalação definido no projecto	352
6.4.1. Preparação das condições necessárias para a instalação	352
6.4.2. Normas e boas práticas na instalação de sistemas	353
6.4.3. Arranque do sistema solar fotovoltaico de ligação à rede	354
6.4.4. Instalação de baterias	360
6.5. Manutenção de sistemas fotovoltaicos	362
6.5.1. Tipos de manutenção	362
6.5.2. Monitorização de instalações fotovoltaicas com o Transclinics XI da Weidmüller	365
6.5.3. Tipos de avarias mais frequentes nos sistemas fotovoltaicos	375
6.5.4. Manutenção de baterias e respectiva sinalização	377
6.5.5. Manutenção de seguidores solares	378
Actividade Teórico-prática 1	379
Actividade Teórico-prática 2	380
Teste de Avaliação	381
Teste de Avaliação – Escolha múltipla	382

ANEXOS 385

ANEXO I – Radiação solar em kWh/m ² em Portugal	387
ANEXO II – Coordenadas de locais em Portugal Continental	388
ANEXO III – Tabelas de referência para cálculo de sombreamentos	389
ANEXO IV – Hiperligações para software de sistemas FV	391

Bibliografia 392