

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Estudo da Evolução de Características dos Colectores Solar Térmicos no Mercado Nacional

Ana Catarina de Carvalho Lima

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Estudo da Evolução de Características dos Colectores Solar Térmicos no Mercado Nacional

Ana Catarina de Carvalho Lima

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Trabalho realizado sob a supervisão de
Ricardo Aguiar (LNEG)
Jorge Maia Alves (FCUL)

2011

Agradecimentos

Ao longo deste último ano foram muitas as pessoas que me apoiaram e ajudaram na realização deste trabalho.

Em primeiro lugar tenho de agradecer aos meus pais que sempre me apoiaram e tentaram ajudar no que puderam. Apesar do esforço, a Engenharia Agrária e a Gerontologia encontra-se em pouco pontos com a Engenharia de Energia e Ambiente. No entanto gostava de saber por que é que não herdei a sede de conhecimento do meu pai e a força de vontade da minha mãe... alguém me pode explicar?!?

Aos meus avós e tia Olinda tenho a agradecer o apoio a alimentação e o “patrocínio” que continuamente me forneceram para os cafés. A eles devo uma parte da minha educação.

À Madrinha Cristina agradeço a boa disposição, apoio e a companhia sempre presente para apanhar sol, jogar ténis e vadiar.

Ao Duarte e Madalena peço desculpa pelas vezes em que lhes tentei explicar fenómenos físicos e matérias que aprendi no decorrer do curso.

Quanto ao Pépe... não agradeço nada!

Aos meus colegas de curso e amigos, agradeço o companheirismo e apoio prestado nestes anos de “luta”. Em especial agradeço ao Zézão, (que sem os seus dramas as minhas semanas eram monótonas), aos “Amorosos” Ruka e Mariana, ao Rei, à Rita o Ruano à Aninhas...

No estágio que realizei no LNEG fui colega de sala de dois rapazes, (Rui Rodrigues e João Paulo Costa) a quem quero agradecer a hospitalidade e o facto de se mostrarem sempre prestáveis a qualquer ajuda que eu solicitasse.

No decorrer do meu trabalho também tenho a agradecer a outros funcionários do LNEG, em especial à Dra. Maria João Carvalho, que colaborou e forneceu dados para o meu estudo. Ao Dr. Ricardo Amorim tenho a agradecer a disponibilidade e boa vontade que teve para me modificar a ferramenta E.O.C.

Ao professor Maia Alves tenho a agradecer o esforço e trabalho que tem dedicado ao nosso curso, tal como a disponibilidade para retirar dúvidas.

Last but not least, tenho de agradecer ao meu orientador Doutor Ricardo Aguiar. O orientador é um componente fundamental no desenvolvimento de uma tese, eu tive o privilégio de trabalhar com um orientador sempre pronto a ajudar, a retirar dúvidas, a fornecer ideias, a rever textos, etc...

Mais uma vez, obrigado a todos.

Abstract

In the last two decades, an important increase of the domestic solar thermal market has been observed. In the last few years, legislation and support programmes for solar thermal power applications have been launched. However, it is not clear whether the increase of the installed area of collectors and the number of brands and models available corresponds or not to an increase in the performance and in the general quality of the collectors.

In order to bring light to these questions, this work examines the evolution of many of the main characteristics of the solar thermal collectors that got into the Portuguese market from 1990 to 2010. Namely, their optical and thermal characteristics and also of the energy performance of the collectors. These characteristics are analyzed according to the typology and the country of origin.

Additionally, using the software and the extensive database created for this study, it is intended to assist the revision of the Portuguese Building Certification System, in particular the regulations for thermal performance of buildings. A proposal is presented for a new "reference collector" to be used for the calculation of the performance of solar thermal systems, based on the objective data now compiled.

Keywords

Solar collectors, Solar thermal systems, Reference collector, Portugal.

Resumo

Nos últimos anos tem-se observado um grande crescimento do mercado solar térmico nacional. Nas duas últimas décadas tem entrado em vigor legislação e programas de apoio à aplicação e disseminação do uso de soluções com recurso à energia solar térmica. Porém, não é claro se ao aumento da capacidade de área instalada e o número de marcas e modelos disponíveis, corresponde um aumento de desempenho e em geral da qualidade dos colectores. Para analisar estas questões, neste estudo é avaliada a evolução de muitas das características principais dos colectores solar térmicos que entraram no mercado nos últimos anos, designadamente das suas características ópticas, térmicas e do desempenho energético dos colectores. Estas características são analisadas segundo a tipologia e segundo o país de origem.

Além deste propósito central, usando o software e o extenso banco de dados criado para este estudo, pretende-se auxiliar a revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios que actualmente decorre, com uma proposta objectivamente fundamentada de um novo “colector padrão” para os cálculos de referência do desempenho de sistemas solares térmicos. O novo colector proposto pretende ser uma versão mais actualizada do colector padrão actualmente em uso, baseada em dados objectivos.

Palavras-chave

Evolução dos Colectores Solares, Colectores Térmicos, Solar Térmico, Colector Padrão.

Lista de Abreviaturas

APISOLAR – Associação Portuguesa da Indústria Solar

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

SPES – Sociedade Portuguesa de Energia Solar

ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation

CPC – Colector parabólico composto

EOC – Energy Output Calculator

IVA – Imposto sobre o valor acrescentado

IRS – Imposto sobre o rendimento das pessoas singulares

ADENE – Agência para a energia

tep – Tonelada equivalente de petróleo

FER – Fontes de energia renovável

A&A – Aquecimento e arrefecimento

ST – Solar térmico

PNAER – Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis

UE – União Europeia

AQS – Água Quente Sanitária

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

Índice

Abstract	iii
Keywords	iii
Resumo.....	iv
Palavras-chave.....	iv
1. Energia Solar Térmica	1
2. Metodologia	2
3. Mercado Solar Térmico	3
3.1 Mercado Solar térmico da União Europeia	3
3.2 Características do Mercado Solar Térmico Nacional	5
3.3 Mercado Nacional no Contexto da UE.....	7
4. Radiação Solar	9
4.1 Transferência de calor	9
4.1.1 Condução.....	10
4.1.2 Convecção	10
4.1.3 Radiação	10
5. Tecnologias de Solar térmico.....	11
5.1 Tipos de Colectores	11
5.1.1 Colectores sem cobertura	11
5.1.2 Colectores Planos	12
5.1.3 Colectores de tubos de vácuo	13
5.1.4 Colectores Parabólicos Compostos	14
5.2 Temperaturas de utilização dos diferentes tipos de colectores	15
5.3 Características gerais dos colectores	16
5.4 Geometria dos colectores.....	17
5.5 Princípio de funcionamento.....	18

6.	Rendimento instantâneo e curva característica de um colector	19
6.1	Equação de Rendimento	19
6.2	Curva característica	20
6.3	Modificador de ângulo de incidência	23
7.	Políticas e Medidas aplicadas ao Solar Térmico.....	25
7.1	Directivas Comunitárias	25
7.2	Legislação e Políticas Energéticas Nacionais.....	25
7.3	Projectos e Iniciativas Publicas	26
7.4	Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis – Solar térmico	27
8.	Associações dirigidas ao Solar Térmico	30
9.	Processo de certificação de produtos solar térmicos.....	31
10.	Programas Utilizados	35
10.1	SolTerm	35
10.2	Energy Output Calculator.....	37
10.2.1	Cálculos da produtividade anual	38
10.2.2	Modificação do programa	38
11.	Evolução das características dos colectores	39
11.1	Preparação do Banco de dados	39
11.2	Tratamento dos dados	50
11.3	Características da amostra	59
11.4	Resultados.....	60
11.4.1	Rendimento óptico	60
11.4.2	Coeficiente Global de Perdas	62
11.5	Análise.....	63
11.5.1	Rendimento óptico	64
11.5.2	Coeficiente Global de Perdas	68
11.5.3	Representatividade e incertezas	71

11.5.4	Temperatura de estagnação	74
11.5.5	Capacidade Térmica efectiva	76
11.5.6	Produtividade dos colectores.....	78
12.	Proposta de definição de um Colector Padrão	85
12.1	Metodologia.....	86
12.2	Resultados.....	93
12.3	Análise.....	95
13.	Conclusões	97
14.	Referências	99
15.	Anexo 1- Códigos utilizados para criar ficheiros de resultados.....	104

Índice de Tabelas

Tabela 1- Nova capacidade instalada em Portugal.....	6
Tabela 2 – Percentagem de capacidade instalada anualmente por sector.....	6
Tabela 3 – Custos aproximados de cada tipo de colector, Fonte: (IST, DGS, DLR, UE, 2004).....	12
Tabela 4 – Temperaturas de utilização para cada tipo de colector e aplicações, Fonte: (Lebeña & Costa, 2006).	16
Tabela 5 – Metas de capacidade total solar térmica instalada até 2015 e 2020, Fonte: (República portuguesa, 2009).	28
Tabela 6 – Metas nacionais de energia solar térmica, Fonte: (Vallêra, 2009).....	29
Tabela 7 – Normas europeias referentes aos requisitos e ensaios dos produtos solares.....	31
Tabela 8 – Ensaio de acompanhamento, Fonte: (Nascimento, 2002)	33
Tabela 9 - Colectores reunidos para o banco de dados e algumas das suas características.....	40
Tabela 10 – Exemplo dos ficheiro de dados de colectores formato SolTerm.	48
Tabela 11 – Tabela de rendimento óptico e coeficiente global de perdas obtido para cinco valores de irradiância solar e valores médios.	52
Tabela 12 – Número de colectores no banco de dados tendo em conta a selectividade da placa absorvora.....	66
Tabela 13 – Valores típicos segundo o tipo de colector, fonte (GREENPRO, 2004).	71
Tabela 14 - Valores típicos segundo o tipo de colector, fonte (Lebeña & Costa, 2006).	71
Tabela 15 - Valores típicos segundo o tipo de colector, fonte (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010).....	71
Tabela 16 – Rendimento óptico e coeficiente global de perdas obtidos para os colectores em estudo. 72	
Tabela 17 – Valores do factor de peso, (Instituto Português da Qualidade, 2007).	76
Tabela 18 – Valores esperados de produção de energia anual segundo o tipo de colector.	82
Tabela 19 – Tabela de dos valores médios de rendimento óptico e coeficientes de perdas.	86
Tabela 20 - Colectores considerados para o estudo de um colector padrão (algumas características)..	86
Tabela 21 – Dados de colectores em estudo.....	91
Tabela 22 – Zonas climáticas por distrito.....	92
Tabela 23 – Resultados obtidos no SolTerm para o colector padrão actual.	93
Tabela 24 - Resultados obtidos no SolTerm para o colector padrão novo-1.....	93
Tabela 25 - Resultados obtidos no SolTerm para o colector padrão novo-2.....	93
Tabela 26 – Características do colector padrão actual e do colector proposto.	95

Índice de Figuras

Figura 1 - Nova capacidade instalada na UE e Suíça.....	3
Figura 2 - O mercado solar térmico por categorias.	4
Figura 3 – Exposição solar horizontal na Europa e horas de sol por ano em Portugal.	5
Figura 4 – Nova capacidade instalada no mercado solar térmico Português.	5
Figura 5 – Nova capacidade instalada anualmente (instalações inferiores a 200 mil m ²).	7
Figura 6 – Fracção de capacidade instalada no mercado solar térmico em 2010.	7
Figura 7 – Metas para o mercado solar térmico em 2020 na Europa.	8
Figura 8 – Irradiação solar média diária para Lisboa; Fonte: SolTerm.....	9
Figura 9 - Colector solar plano sem cobertura, corte transversal.	11
Figura 10 – Colector solar plano com cobertura, corte transversal.	12
Figura 11 – Colector do tipo tubo de vácuo, corte transversal.	14
Figura 12 – Colector parabólico composto, corte transversal.	15
Figura 13 – Corte transversal de um colector plano com cobertura e de um colector de tubos de vácuo.	17
Figura 14 – Corte lateral de um colector plano, fluxos de energia.....	18
Figura 15 – Gráfico do rendimento linear de um colector.	20
Figura 16 – Curva de rendimento de segundo grau.....	21
Figura 17 – Curvas de rendimento para diferentes irradiações, perdas de um colector, Fonte: (International Institute for Environment and Development, 2005).	22
Figura 18 – Curvas de rendimento características de alguns tipos de colectores.....	22
Figura 19 - Direcções transversal e longitudinal relativamente ao alinhamento dos tubos de absorção.	24
Figura 20 – Contributo para o sector de Aquecimento e Arrefecimento até 2020, Fonte: (APREN, 2009).....	28
Figura 21 – Marca Keymark.	32
Figura 22 – Esquema de certificação: Fonte CERTIF.....	34
Figura 23 – Marca de conformidade aplicáveis na certificação de produtos.	34
Figura 24 – Colectores do banco de dados distribuídos por ano de certificação.....	47
Figura 25 – Interface do SolTerm, opção de adicionar um novo colector.	50
Figura 26 - Exemplo de curvas de rendimento quadráticas e lineares para cinco valores de irradiação solar.	51
Figura 27 – Colectores no banco de dados, percentagem de cada tipo de colector presente.	59
Figura 28 - Colectores no banco de dados, percentagem de colectores segundo o país de origem.....	59
Figura 29 - Colectores no banco de dados, percentagem de colectores por entidade certificadora.	60
Figura 30 – Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por ano de certificação.....	61

Figura 31 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por ano de certificação.	62
Figura 32 – Exemplo de uma representação do tipo box plot.	63
Figura 33 – Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por ano de certificação.....	64
Figura 34 – Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por ano de certificação (segundo o tipo de colector).	65
Figura 35 - Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores planos por ano de certificação (segundo a selectividade da placa absorvora).	66
Figura 36 - Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por país de origem.	67
Figura 37 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por ano de certificação.	68
Figura 38 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por ano de certificação (segundo o tipo de colector).....	69
Figura 39 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores planos por ano de certificação (segundo a selectividade da placa absorvora).	70
Figura 40 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por país de origem.	70
Figura 41- Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão do rendimento óptico para cada ano. a) Colectores planos b)Tubos de vácuo.....	73
Figura 42 – Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão do coeficiente global de perdas para cada ano. a) Colectores planos b)Tubos de vácuo.....	73
Figura 43 – Gráfico da temperatura de estagnação por tipo de colector segundo o ano de certificação.	74
Figura 44 – Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão da temperatura de estagnação para cada ano. a) Colectores planos b)Tubos de vácuo.	75
Figura 45 – Gráfico da capacidade térmica efectiva por tipo de colector segundo o ano de certificação.	76
Figura 46- Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão do Capacidade térmica efectiva para cada ano. a) Colectores planos b)Tubos de vácuo.....	77
Figura 47 – Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores planos para três temperaturas médias do fluido.	78
Figura 48 – Gráfico da energia produzida pelos colectores planos ($T_m = 25^\circ$) segundo o país de origem.....	79
Figura 49 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores parabólicos compostos para três temperaturas médias de fluido.....	80
Figura 50 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores parabólicos compostos para três temperaturas médias do fluido, segundo o país de origem.....	80

Figura 51 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores de tubos de vácuo para três temperaturas médias do fluido.	81
Figura 52 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores tubos de vácuo para três temperaturas médias, segundo o país de origem.	81
Figura 53 – Gráfico do modificador de ângulo de incidência segundo a equação (21).	91
Figura 54 – Gráfico da energia anual fornecida por sistemas solares térmicos com o colector padrão actual e dois colectores padrão em estudo.....	95

1. Energia Solar Térmica

A energia solar é fundamental para a existência de vida na Terra, sendo necessária para a realização de processos químicos e biológicos. Por outro lado, a energia proveniente do Sol pode ser utilizada pela Humanidade de diversas maneiras.

O calor resultante da radiação solar pode ser aproveitado para o aquecimento de edifícios através de sistemas passivos, combinando o maior aproveitamento dos raios solares com a arquitectura do edifício. Também é possível fazer um aproveitamento mais activo da radiação por sistemas solares térmicos que permitem aquecer ou água a temperaturas mais elevadas do que as adequadas para o conforto térmico de edifícios, (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010).

Embora as aplicações em edifícios sejam as que recebem mais visibilidade, existem na realidade três grandes tipos de aplicações do solar térmico activo, conforme a gama de temperaturas alcançada:

- Centrais solares para produção de electricidade (eventualmente também calor)
- Sistemas industriais (produção de águas quentes e preparação de vapor)
- Sistemas de aquecimento de águas domésticas (aplicações sanitárias, aquecimento/arrefecimento ambiente e aquecimento de piscinas)

O desenvolvimento da aplicação de energia solar térmica tem sido maior nas águas quentes sanitárias (AQS), dado que o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei nº 80/2006), impõe a obrigatoriedade da sua instalação para aquecimento de águas sanitárias nas novas construções, ampliações ou grandes reabilitações de edifícios.

Naturalmente que para além da obrigatoriedade actual da instalação destes produtos, a utilização de sistemas solares térmicos conduz a benefícios ambientais e energéticos importantes, que justificam a sua utilização mesmo nos casos em que não é obrigatório a sua instalação.

De facto, cada metro quadrado de novos colectores solares que é instalado, é uma contribuição activa para a protecção do clima, ao evitar a queima de combustíveis fósseis e conseqüentemente emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera. A utilização de um sistema solar é um sinal de alto nível de consciência, responsabilidade e compromisso ambiental. Por outro lado, a utilização da energia solar evita a importação de combustíveis fósseis, reduzindo a factura energética do país, por isso tendo com frequência acesso a benefícios fiscais e financiamentos em muitos países. Os utilizadores desses sistemas tornam-se menos dependentes da vulnerabilidade e tendência de aumento dos preços da energia convencional. E finalmente, o ponto de vista imobiliário, os sistemas solares térmicos aumentam o valor do imóvel e melhoram a sua imagem, podendo ser vendido ou alugado com mais facilidade.

A tecnologia solar térmica para o aquecimento de águas encontra-se tecnicamente madura e tem um tempo de vida próximo dos 20 anos, (International Institute for Environment and Development, 2005). Conforme o recurso e a aplicação em causa, são frequentemente mais económicos que uma alternativa mais convencional (electricidade ou caldeira) e o seu custo pode ser amortizado em períodos curtos de tempo.

De um ponto de vista nacional, fomentar as tecnologias solares é criar novas áreas de inovação e actividade potencialmente exportadora, e criar empregos na produção, instalação e manutenção dessas tecnologias. A utilização do solar térmico constitui uma forma de reduzir significativamente a factura energética nacional. Um sistema correctamente dimensionado permite poupar, em média, 70% da energia, (Portal do Governo Português) que é gasta habitualmente para aquecer a água que usamos em casa.

Neste contexto o estudo elaborado nesta tese vem analisar o surto de actividade solar térmica numa perspectiva de desempenho global dos colectores que entraram no mercado nacional, tal como nas suas diversas características térmicas e ópticas.

2. Metodologia

Para a análise da evolução das principais características dos colectores, foi preparado um banco de dados através da recolha de informação sobre colectores solares térmicos que entraram no mercado nacional nos últimos vinte anos. Foram usadas como fontes as bases de dados do programa SolTerm (LNEG), o site da Solar KeyMark (Solar KeyMark) e ainda, estudos realizados nos últimos anos, em colaboração com o INETI (Energia & INETI, 1991), (Energia, Energia, & INETI, 2000), actual LNEG.

Após a recolha e organização da lista final contendo os 267 colectores foi necessário realizar um tratamento de dados. Os dados referentes aos estudos realizados em 1991 e 2000 apresentavam um único coeficiente de perdas, enquanto os restantes colectores apresentavam as suas perdas térmicas em dois coeficientes distintos, (coeficiente de perdas linear e o quadrático). Para que todos os colectores pudessem ser avaliados de igual forma, foi desenvolvido um programa em Visual Basic que permitiu apresentassem um único coeficiente global de perdas.

Os parâmetros seleccionados para este estudo foram o rendimento óptico, coeficiente global de perdas, temperatura de estagnação e capacidade térmica efectiva.

Através do programa Energy Output Calculator foram obtidas estimativas do desempenho energético anual dos colectores em estudo.

Os dados resultantes do tratamento estatístico dos parâmetros seleccionados foram depois organizados e analisados segundo o ano de certificação, o país de origem e a sua tipologia, (colectores planos, tubos de vácuo e colectores parabólicos compostos).

Finalmente, trabalhou-se numa proposta de um novo colector padrão para o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Este estudo baseou-se no banco de dados e o software antes criado para obter características médias para o colector proposto.

Recorreu-se ao software SolTerm para fazer pré-dimensionamentos de um sistema solar térmico típico com o colector padrão proposto e o colector padrão actual. Assim foi possível verificar a diferença existente na estimativa de energia fornecida anualmente por ambos os colectores.

3. Mercado Solar Térmico

3.1 Mercado Solar térmico da União Europeia

Em 2010 o mercado solar térmico da União Europeia terminou com uma capacidade acumulada de 24.113.964 kW(térmico), correspondentes a 34.448.521 m² de colectores em operação. Esses dados são referentes a dados estatísticos fornecidos pela ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation), para os 27 estados membros da União Europeia e Suíça.

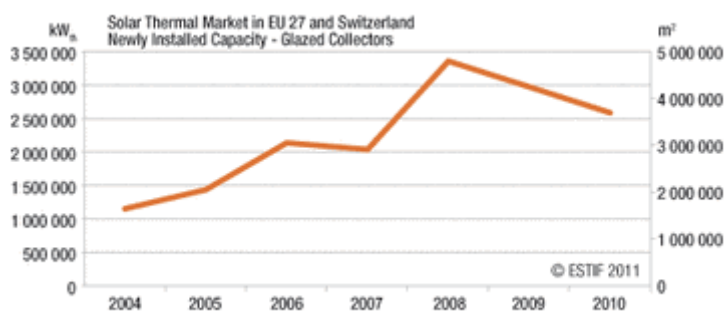


Figura 1 - Nova capacidade instalada na UE e Suíça.

Em 2008 verificou-se o maior crescimento percentual na nova capacidade instalada, Figura 1, aumentou 60% em relação ao ano anterior, instalando-se 4.797.321m² de colectores. O maior impulso desse crescimento veio do mercado alemão que aumentou aproximadamente 120% em relação a 2007. Os principais responsáveis pelo forte crescimento do uso da energia solar térmica foram:

- O aumento dos preços das fontes primárias de energia (petróleo, gás e electricidade);
- Os regulamentos para novas construções, que cada vez mais obrigam à utilização de soluções baseadas em energias renováveis;
- A tecnologia solar térmica já se encontrar muito disponível no mercado, tendo revelado múltiplas aplicações.

Após o grande crescimento verificado em 2008, o mercado europeu sofreu uma diminuição de 10% durante 2009 em relação ao ano anterior. Durante 2010 o mercado voltou a cair, desta vez 13% em relação a 2009. No ano com maior capacidade instalada (2008), foram instalados 4.797.321 m² de colectores enquanto que no ano seguinte o valor diminuiu para 4.246.774 m² e em 2010 para 3.694.940 m², conseguindo manter-se a cima do nível registado em 2007 mas muito inferior aos anos anteriores.

Segundo um artigo da revista Climatização, (Cardoso, Mercado poderá crescer 15% ao ano até 2020, prevê ESTIF, 2011), um ano tão excepcional em termos de capacidade instalada como 2008, era praticamente inevitável que sofresse uma diminuição. A recessão económica, a crise no sector de construção, as baixas taxas de renovação em edifícios existentes, os cortes e instabilidade nos quadros de incentivos financeiros nesta área, foram algumas das razões que levaram à queda pelo segundo ano, no mercado solar térmico. Segundo Xavier Noyon, secretário-geral da ESTIF, a natureza imprevisível dos quadros de incentivos fez crescer a insegurança dos investidores e consumidores do solar térmico, o que contribuiu para essa queda. A competição ao nível de investimentos com outras fontes de energia renovável também não ajudou ao desenvolvimento deste mercado. No entanto, segundo Noyon, as previsões são positivas, pois a análise dos PNAER apresentados pelos estados membros, indicam que na próxima década o solar térmico deverá aumentar a uma taxa de 15% por ano.

De acordo com o relatório da ESTIF para 2010, o mercado solar térmico dos 27 estados membros e Suíça, apresenta a distribuição indicada na Figura 2.

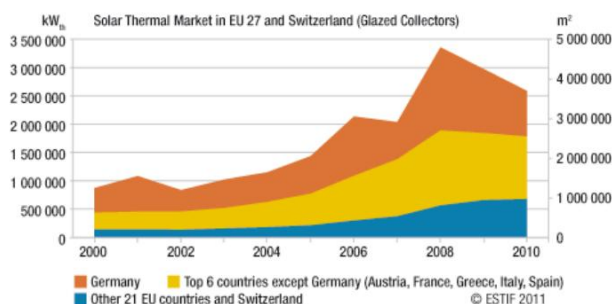


Figura 2 - O mercado solar térmico por categorias.

Nessa distribuição verifica-se que dividindo a capacidade instalada por três categorias:

- 50 000 a 200 000 m² instalados – 21 Países da União Europeia + Suíça
- 200 000 a 500 000 m² instalados – Itália, Áustria, França, Grécia e Espanha
- >500 000 m² instalados – Alemanha

A Alemanha sozinha representa uma quota de mercado muito superior aos restantes países. Apesar das descidas registadas em 2009 (23%) e 2010 (29%), foram instalados 1 150 000 m² de colectores térmicos no último ano, mantendo ainda o título de maior mercado ST europeu. Em 2010 apenas representa um terço do mercado total europeu mas continua a ter uma importante influência.

Os outros mercados, com valores compreendidos entre os 200 000 e os 500 000 m² de capacidade instalada, decresceram a sua quota total em 2010. Esta categoria representa a Áustria, a França, a Grécia, a Itália e Espanha. Nesses países as evoluções registadas foram diferentes. A Itália aumentou 3,2%, assegurando o seu título de segundo maior mercado solar térmico da UE. Também a Grécia aumentou a sua capacidade 3,9% apesar da crise financeira. Por outro lado a Espanha, a Áustria e a França diminuiram a área instalada em relação a 2009.

Na última categoria indicada na Figura 2, são representados os países com menor mercado, com instalações entre 50 000 a 200 000 m². Estes ainda se encontram em crescimento e em 2010 registaram um pequeno aumento na sua quota total. O crescimento destes mercados não foi suficiente para compensar a queda observada nos principais mercados, e daí a queda de 13% na UE.

3.2 Características do Mercado Solar Térmico Nacional

Portugal é um dos países da Europa com mais horas de sol por ano, entre 2200 e 3000h, o que se traduz num grande potencial para a exploração das tecnologias do solar térmico. Em Portugal pode-se chegar a produzir anualmente entre 1.500 kWh a 1.700 kWh, (LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2009) produzindo mais energia nas regiões a sul do país onde o número de horas de sol descoberto é mais elevado. A nível geográfico é particularmente favorável a nível europeu para a instalação de sistemas solares.

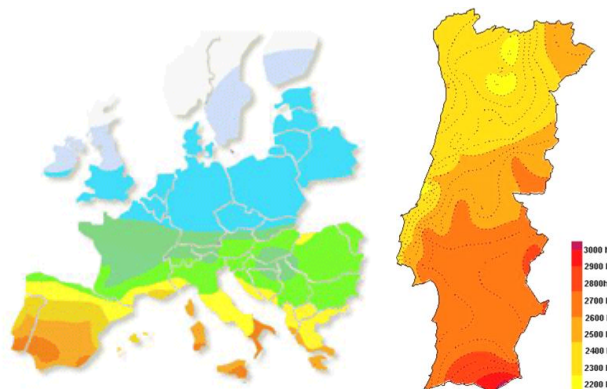


Figura 3 – Exposição solar horizontal na Europa e horas de sol por ano em Portugal.

Nos últimos anos tem se vindo a observar um crescimento nesta área, segundo dados da ESTIF, que reúne informação de membros da comunidade solar térmica, de fabricantes, organismos de certificação e laboratórios de testes, na Figura 4 é indicada a nova capacidade de colectores térmicos instalada em cada ano em Portugal. Nesse gráfico são contabilizados todos os colectores solares instalados independentemente do tipo de colector utilizado.

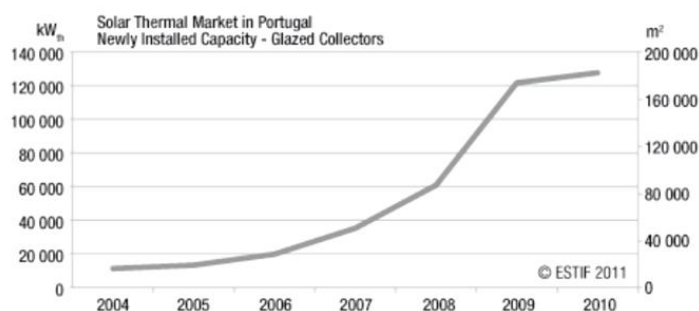


Figura 4 – Nova capacidade instalada no mercado solar térmico Português.

No período em causa o mercado apresentou um crescimento sempre positivo que traduz a adesão de Portugal à tecnologia de energia solar térmica.

Com os valores fornecidos pelos relatórios anuais disponibilizados pela ESTIF é mais fácil observar o crescimento anual deste mercado.

Tabela 1- Nova capacidade instalada em Portugal.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total em Operação	Ano
Nova Capacidade Instalada	4.200	7.000	11.200	14.000	36.400	60.200	122.073	127.590	470.888	kW (th)
	6.000	10.000	16.000	20.000	52.000	86.000	173.762	182.271	672.697	m ²
	67%		25%		65%		5%		Evolução	
			60%		160%		100%			

Por outro lado, a contribuição de cada sector na capacidade instalada em alguns anos é indicada na Tabela 1, (Perdigoto, 2011), com a percentagem aproximada correspondente à quota instalada no sector dos serviços e no sector residencial.

Tabela 2 – Percentagem de capacidade instalada anualmente por sector.

Sector	Contributo da capacidade instalada por Sector (%)				
	2006	2007	2008	2009	2010 ¹
Serviços	35	32	30	15	30
Residencial	64	68	71	85	71

Segundo os dados de Perdigoto, 2011, o sector dos serviços manteve uma contribuição na ordem dos 30% à excepção de 2009 onde apenas representou 15% dos colectores instalados. O sector residencial revela ser o principal utilizador do solar térmico nacional, este tem tido um crescimento mais acentuado que no sector dos serviços que também tem aumentado especialmente em 2010 com os incentivos do QREN. O aumento da capacidade nesse sector deve continuar em 2011 devido à instalação posterior dos projectos inscritos na Medida solar térmico 2010 para a exploração da energia solar térmica.

A capacidade solar térmica instalada até 2006 registou pequenos aumentos como é observado no gráfico anterior. Foi em 2007, que se deu o primeiro “salto” no incremento da capacidade registada no ano anterior, onde esta aumentou 160% em relação ao ano de 2006. As novas necessidades regulamentares impostas pelo RCCTE, a partir de 4 de Abril de 2006, potenciaram a evolução do mercado nacional. O contributo da crescente exposição mediática das potencialidades do solar térmico também operara como um impulsionador deste mercado. Nesses termos a partir de 2006 a obrigatoriedade de instalar colectores solares produziu um impulso constante no solar térmico nacional.

Em 2007 foi estabelecido o novo regime jurídico para produção eléctrica, que também obriga à instalação de colectores solares, o que colaborou para o aumento de 160% da capacidade instalada em relação com 2006.

No ano seguinte (2008), foram instalados 86.000 m² de colectores, verificou-se um aumento de 25% mas quando comparado com 2006 o aumento é de 330%, claramente superior.

Em 2009 além da saída da Directiva comunitária que estabelece metas de incorporação de fontes renováveis no consumo final, também entrou em vigor a Medida Solar Térmico 2009 fortalecendo o mercado. Apesar dos sinais de recessão no sector imobiliário por toda a Europa, (ESTIF, 2009), Portugal manteve o crescimento da capacidade instalada, passando em 2009 para o dobro da área instalada em 2008.

Em 2010 a nova capacidade instalada foi de aproximadamente 182 mil metros quadrados, o que representa uma subida de apenas 5% em relação ao ano anterior.

Entre 2005 e 2010, a capacidade solar térmica em operação triplicou, passando de 224.000, (Perdigoto, 2011) para 672.697 m² de colectores.

O crescimento verificado em 2009 tornou Portugal no país líder das categorias de instalações abaixo de 200.000 m²/ano, (ESTIF- European Solar Thermal Industry Federation, 2010) que ainda se reflecte nos dados de 2010 onde continua a ser o maior mercado de instalações abaixo dos 200 mil metros quadrados por ano, Figura 5.

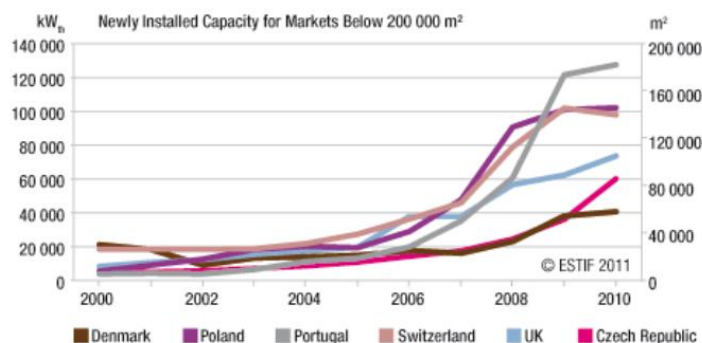


Figura 5 – Nova capacidade instalada anualmente (instalações inferiores a 200 mil m²).

Os incentivos fornecidos às Pequenas e médias Empresas, (PME), e a Institutos Particulares de Solidariedade Social, (IPSS), fornecidos em 2010 vão revelar o seu impacto ainda em 2011.

3.3 Mercado Nacional no Contexto da UE

No final de 2010, num total de 28 países, Portugal teve a sétima maior capacidade instalada nesse ano, (ESTIF, 2011). Esse representa 5% do mercado solar térmico instalado na União Europeia e Suíça. Já em 2009 Portugal se encontrava em sétimo lugar neste ranking, mas com uma quota 1% inferior.

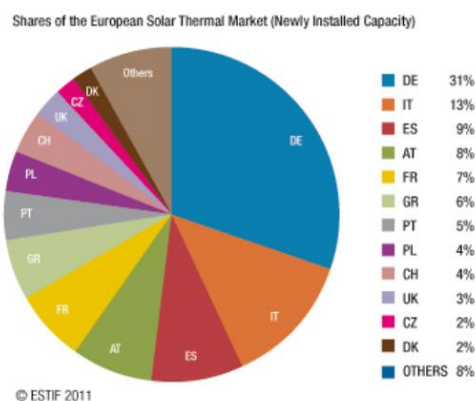


Figura 6 – Fração de capacidade instalada no mercado solar térmico em 2010.

Com a introdução da Directiva Europeia para as Renováveis 2009/28/CE, todos os estados membros foram obrigados a elaborar um Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis, (PNAER). Esses planos estabelecem as metas nacionais para a quota de energias renováveis inseridas no sector dos transportes, electricidade, aquecimento e arrefecimento em 2020. Em Fevereiro de 2011 todos os planos tinham sido entregues com a indicação dos respectivos objectivos propostos para a energia solar térmica em 2020.

Na Figura 7 elaborada pela ESTIF, é representada a capacidade per capita em operação em 2010 e a capacidade que se pretende alcançar em 2020 por cada país. A maioria encontra-se longe do valor final pretendido. Apenas cinco países se encontram com metade do objectivo cumprido em 2010, o que revela que os planos de acção se encontram no início e muito tem de ser posto em operação nos próximos 10 anos.

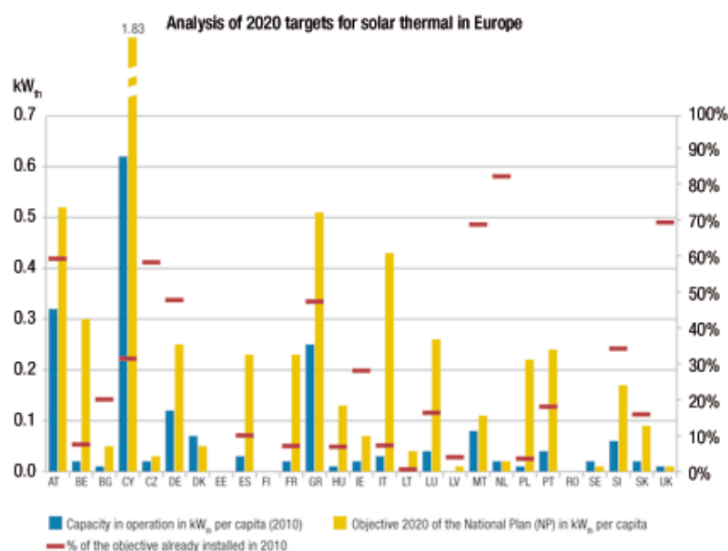


Figura 7 – Metas para o mercado solar térmico em 2020 na Europa.

Quatro dos países em causa, (Estónia, Finlândia, Letónia e Roménia) não incluíram o solar térmico nos seus planos de acção. Em outros casos, (Bulgária, Dinamarca, Holanda, Suécia e Reino Unido) foram estabelecidas metas muito baixas, que ou já foram ultrapassadas ou se encontram perto da capacidade instalada pretendida em 2020.

No caso nacional, encontra-se instalada aproximadamente 20% da capacidade per capita definida pelo PNAER.

No relatório elaborado em Junho de 2011 pela ESTIF, prevê-se que os planos de acção irão despontar alterações na hierarquia do solar térmico. Se os objectivos dos planos forem cumpridos, no final de 2020 os cinco principais mercados do solar térmico serão a Itália a Alemanha, a França, a Espanha e a Polónia.

4. Radiação Solar

A energia irradiada pelo sol chega à atmosfera terrestre de uma forma quase constante. Esta energia irradiada é descrita como a constante solar relativa a 1 m² de área, com valor médio de 1.367 W/m².

Dentro da atmosfera terrestre a radiação solar tem duas componentes, a radiação directa, que vem directamente do sol sem qualquer mudança de direcção e a radiação difusa, proveniente da difusão de partículas e moléculas suspensas no ar, radiação. A radiação difusa também inclui a radiação proveniente da reflexão no chão e objectos. O somatório destas componentes é a radiação solar global.

A intensidade da radiação é reduzida ao atravessar a atmosfera. Este fenómeno deve-se a reflexão causada pela atmosfera, a absorção por moléculas na atmosfera, a difusão de Rayleigh (por moléculas de ar), e difusão Mie (por partículas de pó).

Com base em dados de irradiação difusa e directa para Lisboa, Figura 8, verifica-se que nos meses de inverno a radiação global diminui. Para esta localização a fracção mensal de radiação difusa é sempre inferior à radiação directa.

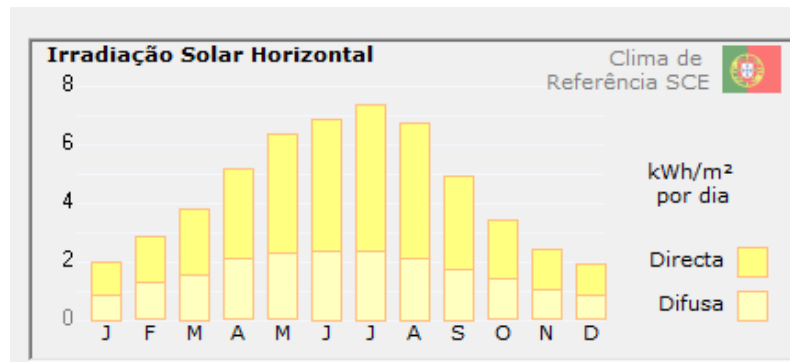


Figura 8 – Irradiação solar média diária para Lisboa; Fonte: SolTerm

No gráfico são apresentados os valores médios de irradiação solar diária. Para um dimensionamento de sistemas solares é importante obter o valor da média anual de irradiação solar global.

A nível nacional a irradiação global (horizontal).

4.1 Transferência de calor

A transferência de energia térmica de um sistema para outro como resultado de uma diferença de temperatura é chamada de transferência de calor.

Quando dois sistemas estão à mesma temperatura, encontram-se em equilíbrio térmico e nesse caso não existe transferência de calor. Quando se verifica uma diferença de temperatura, o calor é transferido do sistema com maior temperatura para o sistema de menor temperatura até que o novo equilíbrio térmico seja atingido.

Num colector solar a existência de zonas com diferentes temperaturas conduz a transferências de calor que se realiza através de mecanismos de *radiação, condução e convecção*.

Esses mecanismos podem ocorrer entre materiais sólidos, fluidos, entre sólidos separados por fluidos, entre superfícies em vácuo, e entre outros (Portal de Engenharia Química).

De seguida, é descrita de forma sucinta a forma como os mecanismos de transferência de calor se processam.

4.1.1 Condução

O mecanismo de transferência de energia térmica por condução requer o contacto físico entre dois corpos sólidos a diferentes temperaturas. Neste mecanismo as partículas e moléculas mais energéticas, na zona de temperatura mais elevada, transferem energia por contacto a partículas adjacentes com menor temperatura. Na condução a propagação do calor ocorre ao nível molecular, um exemplo de um bom condutor térmico é o cobre.

4.1.2 Convecção

A convecção é o mecanismo de transferência de calor na presença de um fluido (líquido ou gasoso) em movimento. O movimento pode ser provocado por agentes externos como um sistema de agitação, ou por diferenças de densidade resultante do próprio aquecimento do fluido.

No caso da existência de um sistema de circulação, a transferência de calor ocorre por convecção forçada. Para o caso em que o fluido se movimenta devido à diferença de temperaturas que gera diferenças de densidade, a convecção é natural existindo um movimento ascendente do fluido mais quente e um movimento descendente do fluido com menor temperatura.

O movimento do fluido tanto na forma forçada como no regime natural facilita a transferência de calor quando comparado com a contribuição da condução que ocorre ao nível molecular.

4.1.3 Radiação

Todos os corpos a uma temperatura superior ao zero absoluto, emitem radiação. A radiação ou irradiação térmica é emitida na gama de comprimentos de onda entre 0.1 e 100 μm do espectro electromagnético, (Portal de Engenharia Química).

A propagação de ondas electromagnéticas ocorre através de corpos ou fluidos, ou no vácuo, não precisando da existência de matéria como no mecanismo de condução e convecção. Contudo, uma vez que todas as superfícies emitem radiação térmica, e esta será tanto maior quanto mais elevada for a temperatura, se um corpo emitir mais energia do que recebe (das superfícies envolventes), a temperatura desse corpo diminui.

5. Tecnologias de Solar térmico

O colector solar, também conhecido como painel solar térmico, foi desenvolvido com a função de aproveitar a radiação solar convertendo-a em energia térmica com a maior eficiência possível.

Actualmente existem no mercado diferentes tipos de colectores que podem variar na forma da superfície exterior, na forma da superfície de absorção e no isolamento térmico.

5.1 Tipos de Colectores

Os colectores são escolhidos conforme o fim a que se destinam. Em função da temperatura que se pretende obter para o fluido e em função do custo do colector (colectores mais sofisticados são mais caros) assim é escolhido o tipo de colector a utilizar. Procura-se que a temperatura de funcionamento do colector escolhido seja muito próxima da temperatura necessária para a utilização requerida, (Água Quente Solar).

De seguida são descritos os principais tipos de colectores solares comercializados no mercado solar térmico.

5.1.1 Colectores sem cobertura

Os colectores sem cobertura ou simples, são constituídos apenas pela placa absorvora, normalmente de borracha escura de tubos em paralelo, mas também existem no formato de placas absorvora selectivas de aço inox. São aplicados no aquecimento de água de piscinas ao ar livre com funcionamento apenas na estação de Verão.

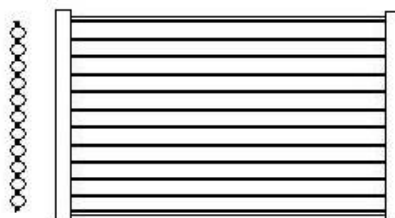


Figura 9 - Colector solar plano sem cobertura, corte transversal.

Devido ao facto de não possuir uma cobertura nem uma caixa com revestimento e isolamento, este tipo de colector tem perdas de calor muito elevadas, que se reflecte numa baixo rendimento quando comparados com colectores planos, (IST, DGS, DLR, UE, 2004). A eficiência óptica é elevada, normalmente superior a 90%, mas o coeficiente global de perdas também é elevado, próximo ou superior a 10 W/m^2 , o que faz baixar o rendimento destes colectores. Por outro lado, devido à simplicidade de elementos e da construção, estes colectores são mais económicos em relação aos restantes. Na Tabela 3, são indicados os custos específicos aproximados dos diferentes tipos de colectores.

Tabela 3 – Custos aproximados de cada tipo de colector, Fonte: (IST, DGS, DLR, UE, 2004).

Tipo de Colector	Custo * [€/m ²]
Simple (absorção em aço inox)	140 a 160
Plano	170 a 300
Concentrador Parabólico Composto	~250
Tubo de Vácuo	~750

No caso de se pretender uma temperatura baixa, não muito acima da temperatura ambiente, as perdas térmicas deste colector são reduzidas levando a um rendimento próximo do rendimento óptico, o que faz com que a sua aplicação em piscinas seja vantajosa. No caso de serem necessárias temperaturas superiores, as perdas térmicas aumentam mais rapidamente que nos restantes tipos de colectores, sendo pouco eficientes para temperaturas elevadas.

5.1.2 Colectores Planos

Este tipo de colector é a forma mais comum de utilização da tecnologia solar térmica. Tal como é indicado na Figura 10, são constituídos por uma cobertura transparente, uma placa absorvedora (que varia consoante o fabricante), isolamento térmico (na parte inferior e nas laterais) e uma caixa. Esta última componente tem a função de proteger e assegurar a estrutura dos colectores. Podem encontrar-se em diferentes dimensões e peso, tendo a estrutura mais comum cerca de 2 m² e aproximadamente 40kg, (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010).

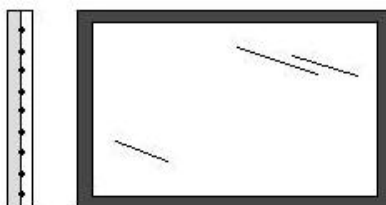


Figura 10 – Colector solar plano com cobertura, corte transversal.

Neste tipo de colector a eficiência depende das propriedades e revestimento da superfície absorvedora, do material utilizado na cobertura, do nível de isolamento e do percurso do fluido no colector.

A placa absorvedora é um dos componentes mais importantes do colector, é formada por uma chapa metálica e tubos onde circula o fluido. Os absorvedores podem apresentar diferentes modelos, podendo ser de tubos prensados, de chapa moldada ou de tubos soldados. Neste último caso, o tubo pode-se encontrar em serpentina, onde apenas um tubo descreve uma serpentina ao longo da placa, ou a tubagem pode ser feita tipo harpa, com vários tubos em paralelo soldados à placa.

A chapa metálica pode ser submetida a revestimentos para melhorar as suas características radiativas. Os revestimentos podem ser feitos em preto-baço (produção de águas quentes e aquecimento de água de piscinas) ou pode ser selectivo (produção de águas quentes e pré aquecimento de água de processos industriais, e aquecimento de água de piscinas cobertas).

Quando a radiação atinge a superfície absorvedora, uma parte da radiação é absorvida e outra reflectida. É importante que se obtenha a maior quantidade de absorção possível pois é essa quantidade de

radiação que vai ser convertida em calor e transferida ao fluido que circula no interior do colector. Nesse processo é também importante que haja o mínimo de perdas possível, assim é fundamental uma alta absorvidade e baixa emissividade radiativa, conseguidos através de um tratamento eficiente da superfície absorvora.

O tratamento a preto-baço é composto por um revestimento da chapa com uma tinta preta capaz de resistir a altas temperaturas, enquanto que o tratamento selectivo, na sua maioria feito de forma electroquímica (IST, DGS, DLR, UE, 2004), é composto por diferentes camadas de materiais que aumentam a absorvidade e permitem minimizar as perdas através da baixa emissividade da placa.

Normalmente os tubos onde circula o fluido são feitos de cobre, dado ser um material de boa condução térmica.

O isolamento é uma característica estrutural importante para reduzir as perdas térmicas por condução para ambiente. Tal como é possível observar na Figura 10, o isolamento encontra-se entre a caixa e a placa absorvora. Uma vez que o colector pode atingir temperaturas de estagnação elevadas quando o sistema se encontra parado, é necessário ter em conta que o material isolante não deve derreter, encolher nem libertar gases, que podem interferir negativamente na eficiência do colector. Para esse fim os materiais mais usados são o poliuretano, o poliuretano isento de CFCs (clorofluorocarbonetos), a lã de rocha e a lã de vidro.

O isolamento e a placa absorvora estão inseridos numa caixa que cobre toda a parte inferior e lateral do colector, no plano superior estão protegido por uma superfície transparente que provoca o efeito de estufa e reduz as perdas de calor.

A cobertura deve permitir elevada transmissão e impedir a reflexão da radiação durante a exposição do colector ao sol. Para além disso deve garantir a estanquicidade e resistência do colector às condições meteorológicas exteriores e à queda de possíveis objectos sobre ele. Os materiais utilizados para a cobertura devem ser transparentes, como tal, geralmente é utilizado vidro e ocasionalmente plástico, estes podem sofrer um tratamento para melhorar as suas características. O tratamento anti-reflexo na superfície exterior da cobertura, diminui as perdas por reflexão e pode ser feito também um tratamento na superfície interna para reflectir as radiações de elevado comprimento de onda que não impeça a passagem da radiação de onda curta, para diminuir as perdas por radiação.

A eficiência óptica deste tipo de colectores varia de acordo com os materiais usados, mas geralmente encontra-se em valores superiores a 0,8, enquanto que o quociente global de perdas é inferior a $6 \text{ W/m}^2\text{K}$, (IST, DGS, DLR, UE, 2004).

5.1.3 Colectores de tubos de vácuo

Os colectores do tipo de tubos de vácuo, ou colectores evacuados, consistem num conjunto de tubos (em vácuo), ligados entre si pelo topo através de uma caixa colectora, essa encontra-se isolada e é no seu interior que é feita a alimentação e o retorno do fluido para cada tubo.

São indicados para aplicações que requerem alto rendimento, tal como produção de águas quentes e pré aquecimento de água para processos industriais, ao contrário dos colectores planos, podem ser utilizados em sistemas de ar condicionado e produção de vapor. Este tipo de colectores também é vantajoso para instalações em zonas de baixa radiação solar.

Nos colectores de vácuo as placas absorvoras são instaladas no interior dos tubos de forma plana, convexa ou cilíndrica. Estes colectores apresentam valores de eficiência óptica entre os]0,6; 0,8[, (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010), inferior à dos colectores planos. No entanto, o melhor isolamento térmico reduz o valor global de perdas térmicas menor que $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

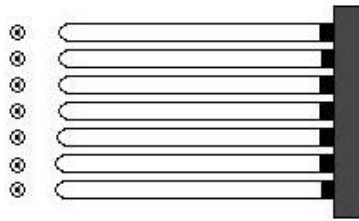


Figura 11 – Coletor do tipo tubo de vácuo, corte transversal.

Para diminuir as perdas térmicas, este tipo de coletor é composto por vários tubos de vidro que se encontram em vácuo, pelo menos a 10^{-2} bar de pressão, na sua maioria são evacuados abaixo de 10^{-5} bar, (IST, DGS, DLR, UE, 2004). Através desse processo as perdas por condução são significativamente reduzidas. As perdas por radiação não se alteram devido à criação de vácuo, mas são baixas tal como no caso dos colectores planos. Neste caso as trocas de calor entre o fluido que circula no coletor e o exterior são apenas radiativas.

Existem dois tipos de colectores que utilizam tubos de vácuo, os tubos de vácuo de escoamento directo e os com separação de fluidos. No primeiro caso o fluido que circula nos tubos é o mesmo que circula no restante sistema hidráulico, os tubos no coletor podem ser em forma de U ou concêntricos, com dois tubos um interno (transporta o fluido frio), e um externo, (transporta o fluido aquecido).

No segundo caso, os assim denominados “tubos de calor”, funcionam através de fenómenos de mudança da fase. O fluido frio que é distribuída pela caixa entra nos tubos de calor até chegar à extremidade oposta, zona quente, a radiação provoca o aumento de temperatura levando o líquido a evaporar-se. O vapor, por difusão, desloca-se para a extremidade, zona fria, onde condensa. Esse fluido arrefece e volta a descer para ser aquecido novamente na zona quente. Para uma instalação funcionar apropriadamente, os tubos de calor devem encontrar-se com uma inclinação mínima de 25° .

Na zona onde circula o fluido térmico, e se dá a condensação, é onde a energia recolhida para evaporar o fluido é libertada.

5.1.4 Colectores Parabólicos Compostos

Os concentradores parabólicos, tal como o nome indica, possuem uma superfície parabólica que concentra os raios na zona de absorção onde circula o fluido térmico. Esse fenómeno permite os colectores operarem a uma temperatura abaixo dos 100°C , (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010), tendo assim as mesmas aplicações que os colectores planos de alta temperatura, produção de águas quentes e pré-aquecimento de água de processos industriais.

Esta tecnologia explora a redução da área de absorção, em comparação com a área de captação da radiação sola, desta forma reduzem-se as perdas térmicas. Com essa tecnologia pode-se observar superfícies reflectoras simples, com apenas uma parábola a concentrar radiação no tubo absorvedor ou a superfície pode conter duas parábolas fazem convergir a radiação para uma mesma zona de absorção, como se pode observar na Figura 12. Esse último tipo é conhecido como CPC (Colectores Parabólicos Compostos), devido à configuração da superfície reflectora.

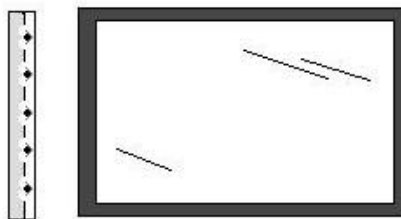


Figura 12 – Colector parabólico composto, corte transversal.

Para reflectir a radiação, a superfície reflectora é de material espelhado com elevado nível de reflectividade.

O ângulo de abertura destas superfícies permite captar a radiação directa e a difusa tal como nos colectores planos. Em semelhança a esses colectores, também possuem uma montagem e utilização simples.

A eficiência óptica deste tipo de colectores é da ordem dos 0,7 e o seu coeficiente global de perdas é inferior a $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010), devido ao bom isolamento.

5.2 Temperaturas de utilização dos diferentes tipos de colectores

A correcta selecção de colectores para uma instalação deve ser responsabilidade do projectista. A escolha deve ter em conta as temperaturas nominais de funcionamento de cada tipo de colector e também factores económicos, já que os colectores mais sofisticados são normalmente mais caros, como se observa na Tabela 3.

As piscinas exteriores, geralmente utilizadas de Maio a Setembro, utilizam preferencialmente instalações com colectores de borracha sem cobertura, este tipo de colectores só fornecer energia à piscina quando as temperaturas ambientes são superiores a 15°C .

Para as aplicações domésticas de produção de água quente sanitária, armazenamento até 60°C , são normalmente utilizados os colectores plano, tal deve-se à simplicidade e relativo baixo custo desses colectores.

Para temperaturas mais elevadas, na ordem de 80°C a 90°C , são utilizados colectores do tipo colector parabólico composto ou, alternativamente colectores de tubos de vácuo. Nos CPC, a redução das perdas térmicas por radiação é conseguida através da diminuição da superfície de absorção para uma mesma área de abertura, enquanto que nos tubos de vácuo, o facto dos tubos de vidro exterior se encontra em vácuo consegue diminuir as perdas por convecção e por condução.

Tabela 4 – Temperaturas de utilização para cada tipo de colector e aplicações, Fonte: (Lebeña & Costa, 2006).

Aplicações	Temperatura de Utilização	Tipo de Colector (placa de absorção)
Piscina e Estufas	<30°	Sem cobertura Plano (preto-baço) Plano (selectivo)
Águas Sanitárias e pré-aquecimento Industrial	<60°	Plano (preto-baço) Plano (selectivo) CPC
Pré-aquecimento Industrial	>60°	CPC Tubos de Vácuo

5.3 Características gerais dos colectores

Existem diferentes soluções construtivas de colector solares, mas existem elementos que são comuns a todos os tipos. Todos possuem um absorvedor e um fluido térmico (tipicamente, ar óleo ou água com anticongelante).

Em geral a superfície absorvedora deve ter um elevado índice de absorvidade, para recolher a maior quantidade possível de energia da radiação incidente e baixos valores de emissividade, (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010), quanto mais baixo for esse valor, menor é a transferência de calor por radiação.

Os modelos mais convencionais de absorvedores são (Lebeña & Costa, 2006):

- Duas placas metálicas separadas por alguns milímetros entre as quais circula o fluido térmico.
- Tipo Roll-Bond, (cobre ou alumínio) duas placas unidas por pressão a quente, nas zonas onde o circuito não é soldado circula o líquido.
- Placa metálica absorvedora sobre o qual estão soldados os tubos de circulação.
- Absorvedores de plástico (polipropileno).

O colector deve ser isolado, para diminuir as perdas por convecção e condução térmica. Em geral o isolamento pode ser de lã de vidro, lã de rocha, poliuretano, aglomerados de cortiça entre outros, desde que possuam uma elevada resistência térmica.

No caso de conter cobertura, esta deve possuir elevada transmissividade e baixa reflectividade para o espectro solar. Os materiais mais utilizados nas coberturas são o vidro e alguns tipos de acrílico.

Para melhorar as características da cobertura, podem ser aplicados alguns tratamentos como o anti-reflexo na superfície exterior para diminuir as perdas por reflexão dos raios solares, e tratamento na superfície interior para reflectir radiação de grande comprimento de onda (IV), e não impedir a passagem de radiação incidente na superfície transparente.

Para a análise do desempenho energético dos colectores é necessário o conhecimento de alguns índices independentes do tipo de colector analisado.

O *rendimento* ou eficiência de um colector, indicado pelo símbolo η , caracteriza a razão entre a energia que pode ser convertida em calor e a energia da radiação incidente no colector. Este índice depende da radiação solar global, da diferença de temperatura entre a temperatura média do fluido e a temperatura exterior.

O *rendimento óptico*, η_0 , representa o rendimento máximo do colector quando a temperatura média do fluido é igual à temperatura ambiente, depende exclusivamente das características dos materiais

utilizados no colector. Esse valor é dado pelo produto da transmissividade da cobertura, τ , e da absorptividade da superfície absorvora, α . Podendo ser indicado pela seguinte equação:

$$\eta_0 = \alpha\tau \quad (1)$$

A *temperatura de estagnação* indica a temperatura máxima a que o absorvora pode chegar para uma determinada temperatura ambiente e radiação, (Lebeña & Costa, 2006). Esse momento é atingido quando as perdas de calor para a atmosfera são iguais ao calor absorvido pelo absorvora, (Roriz, 2008-2009).

Os *coeficientes de perdas*, caracterizam as perdas do colector para a atmosfera, (incluem perdas por convecção, condução e radiação), (DGGE/ IP-AQSpP, 2004). Esses coeficientes são um dos parâmetros que definem a curva onde é descrito o rendimento instantâneo de um colector em função da diferença entre a temperatura média do fluido e a temperatura do ar exterior. O comportamento do colector pode ser representado através de uma recta ou de uma curva, dependendo do número de coeficientes de perdas térmicas considerado.

No caso da representação por recta, o parâmetro U_L indica o coeficiente global de perdas, enquanto que na curva, a_1 e a_2 , representam os coeficientes de perdas térmicas linear e quadrático.

5.4 Geometria dos colectores

Para descrever a geometria dos colectores é importante reconhecer as diferenças entre diferentes áreas, Figura 13.

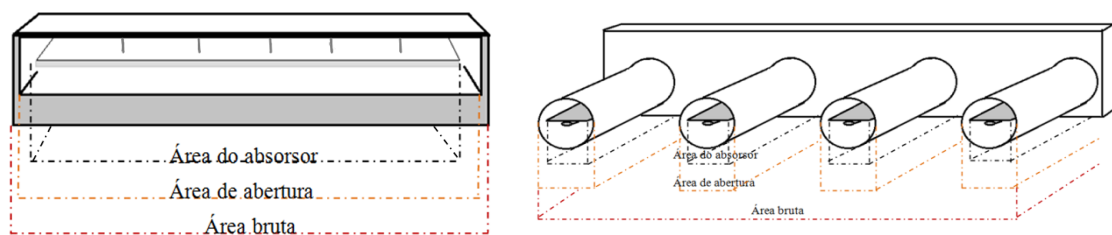


Figura 13 – Corte transversal de um colector plano com cobertura e de um colector de tubos de vácuo.

A dimensão total ou área bruta do colector, corresponde às dimensões exteriores e define a área mínima de superfície de telhado necessária para a instalação de um sistema solar térmico. A área da superfície de abertura corresponde à área através da qual a radiação solar passa para o colector. Por último, a área de captação corresponde à área da superfície da placa absorvora.

Para comparar diferentes colectores é essencial definir uma superfície de referência, uma área da superfície para o qual os valores característicos do colector foram desenhados. De acordo com o método definido na Norma EN 12975, nos testes realizados aos colectores esta superfície é a área de abertura, (GREENPRO, 2004).

5.5 Princípio de funcionamento

O processo de conversão da radiação solar em calor, (energia térmica), num colector solar térmico plano convencional, inicia-se com a chegada de radiação solar, G_0 que incide no colector. No caso do colector conter uma cobertura transparente, antes de G_0 entrar no colector, uma porção de energia, G_1 , é reflectida para o ambiente. A superfície absorvora também reflecte uma porção de radiação, G_2 e apenas a radiação restante pode ser usada no processo de conversão em calor.

Com um bom isolamento na parte posterior e nas partes laterais do colector, as perdas de energia através de condução térmica, Q_1 , são reduzidas tanto quanto possível. A cobertura transparente na parte superior, tem a tarefa de reduzir as perdas a partir da superfície absorvora por meio de radiação térmica e convecção, Q_2 . Essas perdas são diminuídas consideravelmente devido à estanquicidade da cobertura (à água e ao vento), e ao efeito de estufa criado no interior do colector que reduz as perdas por convecção.

Da energia incidente, G_0 , Figura 14, são retiradas perdas por reflexão, (G_1+G_2) , e as perdas térmicas, (Q_1+Q_2) , resultando uma porção disponível Q_U , para aproveitamento útil. Fazendo um balanço energético tem-se que:

$$G_0 = G_1 + G_2 + Q_1 + Q_2 + Q_U \quad (2)$$

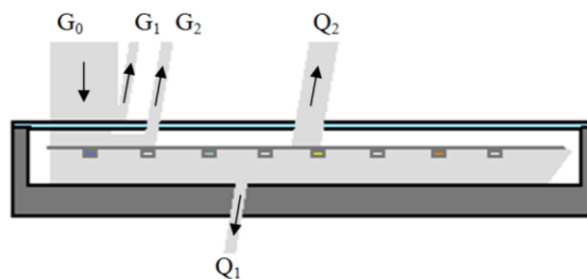


Figura 14 – Corte lateral de um colector plano, fluxos de energia.

No caso dos colectores do tipo tubos de vácuo, as perdas de calor entre o fluido e o ambiente são reduzidas, a atmosfera livre de ar no interior do tubo elimina as perdas por convecção, (Energias Renováveis). As trocas radiativas não podem ser minimizadas através do vácuo, mas mantêm-se reduzidas devido a bons revestimentos e baixa emissividade.

No caso dos concentradores parabólicos compostos a principal diferença em relação aos colectores planos é a geometria da superfície absorvora. No entanto as perdas de calor neste tipo de colector são menores que no tipo plano devido à área de absorção ser inferior.

6. Rendimento instantâneo e curva característica de um colector

6.1 Equação de Rendimento

Para realizar estudos sobre o comportamento dos colectores, é conveniente assumir condições estacionárias, ou seja valores constantes para todos os parâmetros que intervêm no comportamento do colector.

Assim sendo, para um colector que se encontra a receber uma determinada radiação global uniforme, G , em termos de potência o balanço energético num colector é dado por:

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_u + \dot{Q}_p \text{ [W]} \quad (3)$$

Ou seja, a potência incidente no colector é igual à potência útil que o fluido pode utilizar, mais a potência perdida para o ambiente exterior.

Sendo:

$$\dot{Q}_i = Aa \times G \times \eta_0 \quad (4)$$

$$\dot{Q}_p = Aa \times U_L \times (Tc - Ta) \quad (5)$$

(pois as perdas variam com a temperatura).

Logo,

$$\dot{Q}_u = Aa \times [(G \times \eta_0) - U_L \times (Tc - Ta)] \quad (6)$$

Onde Aa é a área de abertura do colector indicada nos certificados (m^2), Tc é a temperatura média da placa absorvedora e Ta a temperatura ambiente ($^{\circ}C$).

A temperatura média da placa Tc , não se consegue calcular facilmente, (Lebeña & Costa, 2006), mas é possível ser calculada a temperatura média do fluido térmico, Tm , com exactidão através da média entre a temperatura de entrada Te , e a temperatura de saída, Ts do fluido no colector;

$$T_m = \frac{(Te + Ts)}{2} \quad (7)$$

Na substituição da temperatura média da placa absorvedora pela temperatura média do fluido, na equação da potência útil, é necessário introduzir o chamado factor de irrigação, F' . Este factor depende do caudal do fluido e das características da placa mas é praticamente independente das condições de operação do colector. Tem uma função de correcção e pode tomar valores entre 0 e 1.

Substituindo na equação (6), dá se origem à Equação de Bliss;

$$\dot{Q}_u = F' \times Aa \times [(G \times \eta_0) - U_L \times (Tm - Ta)] \quad (8)$$

O rendimento de um colector, ou também denominado como eficiência de por alguns escritores, é definido como a relação entre a potencia captada, (\dot{Q}_u em W), e potência recebida pela área de abertura do colector (W).

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{G \times Aa} \quad (9)$$

Substituindo \dot{Q}_u , o rendimento instantâneo é dado por:

$$\eta = \frac{F' \times Aa \times [(G \times \eta_0) - (U_L \times (Tm - Ta))]}{Aa \times G} \quad (10)$$

$$\eta = F' \times \left(\eta_0 - \frac{U_L \times (T_m - T_a)}{G} \right) \quad (11)$$

$$\eta = F' \cdot \eta_0 - F' U_L \frac{(T_m - T_a)}{G} \quad (12)$$

Através da equação (12) pode ser representada graficamente a relação entre o rendimento e a diferença de temperatura registada para uma determinada irradiação (W/m^2).

6.2 Curva característica

Os gráficos de rendimento são determinados por meio dos ensaios nos laboratórios acreditados, (Lebeña & Costa, 2006), devem ser fornecidas pelos fabricantes para permitir analisar a qualidade térmica de um colector. No entanto os parâmetros necessários para desenhar as curvas de rendimento, são indicadas nos certificados dos colectores.

Para colectores com temperaturas de utilização até 90° , a aproximação linear obtida através da equação (12) é suficiente para descrever o comportamento do colector. A sua representação dá origem a um gráfico linear como é indicado no exemplo da Figura 15.

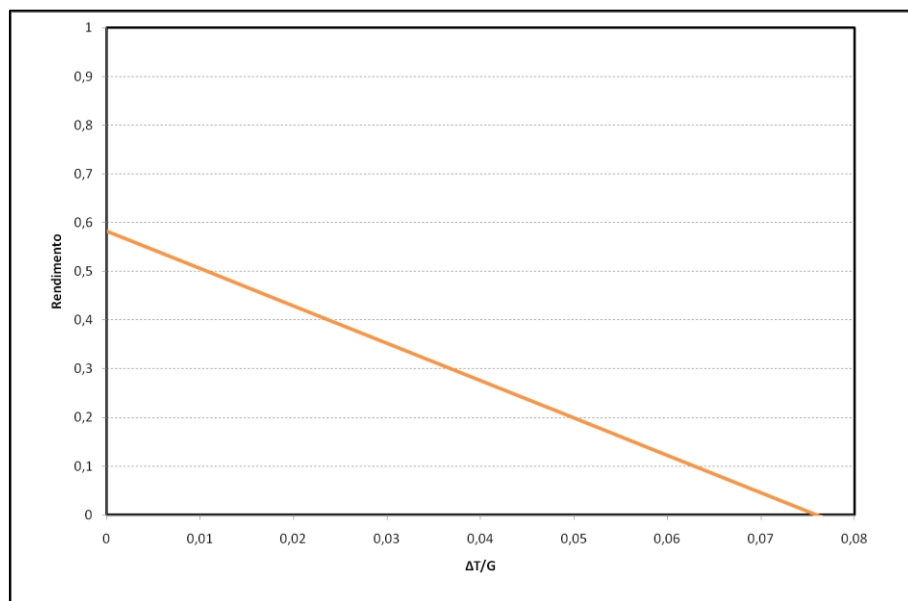


Figura 15 – Gráfico do rendimento linear de um colector.

No ponto em que o eixo das abcissas é zero, corresponde à situação em que o fluido térmico se encontra à temperatura ambiente e assim o valor de rendimento indicado tem o nome de rendimento óptico, η_0 .

Com o aumento da temperatura operacional, qualquer tipo de colector diminui no seu rendimento instantâneo (Rabl, 1985), o que se reflecte nos gráficos característicos de rendimento. Quando a temperatura aumenta ao ponto em que não é necessário aquecer mais o fluido, o sistema de circulação desliga-se, fazendo parar o fluido para que não haja mais transferência de calor para o depósito acumulador. Nesse ponto o caudal no colector é zero, no caso de existir radiação solar incidente a temperatura interna do colector vai aumentando até atingir a sua temperatura máxima, a temperatura de estagnação. Nesse momento o rendimento do colector é igual a zero.

No caso de colectores de altas temperaturas, uma equação de rendimento de segundo grau é mais adequada, considerando um coeficiente global de perdas que não é constante.

Nesse caso, o coeficiente de perdas é indicado pela expressão:

$$U_L = U_1 + U_2(T_c - T_a) \quad (13)$$

Dando origem à equação:

$$\eta = F' \cdot \eta_0 - F' \cdot U_1 \frac{\Delta T}{G} - F' \cdot U_2 \frac{\Delta T^2}{G} \quad (14)$$

No entanto a maioria dos fabricantes e certificados apresentam os coeficientes na forma de a_1 e a_2 , que indicam o coeficiente de perdas linear [W/m^2K] e o coeficiente de perdas quadrático [W/m^2K^2] que substitui as relações entre os factores de correcção e os coeficientes.

$$a_1 = F' \cdot U_1 \quad a_2 = F' \cdot U_2 \quad \eta_{0'} = F' \cdot \eta_0 \quad (15)$$

Desta forma, o rendimento instantâneo num colector é definido pela aproximação seguinte.

$$\eta = \eta_{0'} - a_1 \frac{\Delta T}{G} - a_2 \frac{\Delta T^2}{G} \quad (16)$$

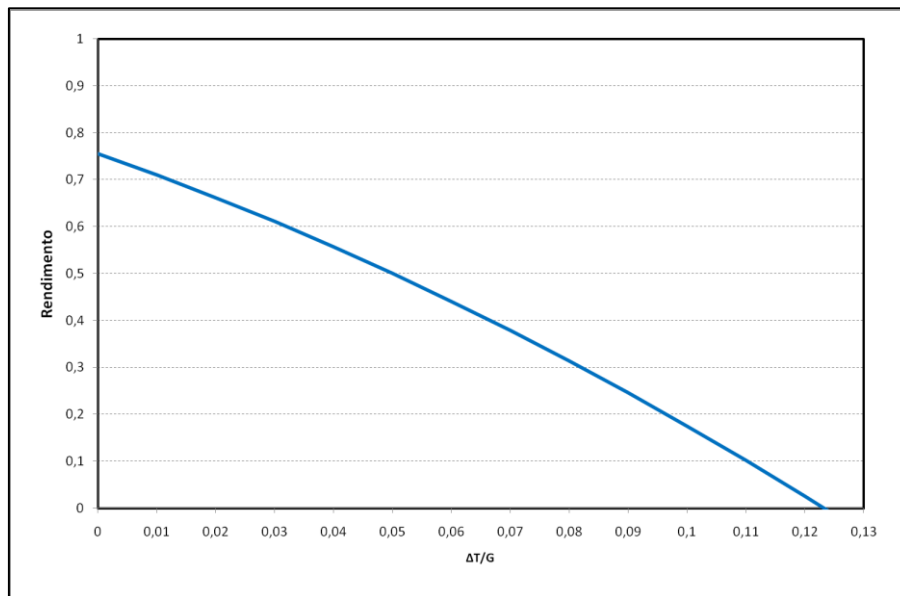


Figura 16 – Curva de rendimento de segundo grau.

Em geral, além das características físicas do colector e o valor do rendimento na origem, também são indicados os coeficientes a_1 e a_2 nos certificados. No caso de apresentarem apenas um valor de “a” ou “U”, significa que consideraram uma curva característica linear.

Anteriormente, foi dito que o rendimento dos colectores diminuía com o aumento da temperatura de operação mas esse não é o único factor, pode também diminuir com a redução da radiação incidente.

Ao observar uma curva de rendimento, é possível identificar as perdas ópticas e as perdas térmicas. Como é indicado nas curvas da Figura 17, as *perdas ópticas* (zona cinzenta) descrevem a percentagem de irradiação solar que não pode ser absorvida pela superfície absorvora, neste caso 20% são perdas ópticas.

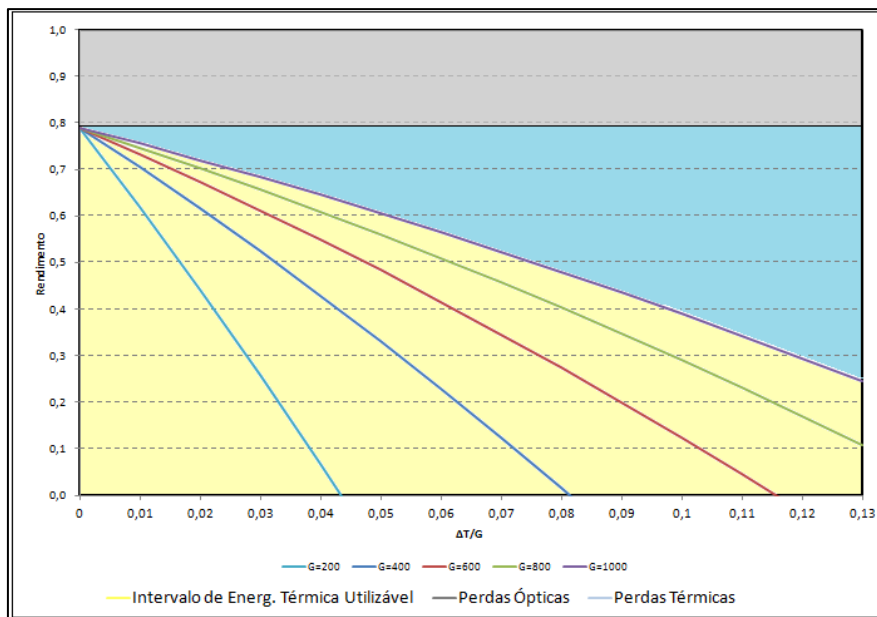


Figura 17 – Curvas de rendimento para diferentes irradiações, perdas de um colector, Fonte: (International Institute for Environment and Development, 2005).

Essas perdas são dependentes da transmissividade da cobertura, e da absorvidade da superfície absorvora, descrevendo a equação (I) do rendimento óptico.

As *perdas térmicas* (zona azul), dependem do desenho do colector, do isolamento e da diferença de temperatura do absorvora e do ar exterior.

Com o aumento da diferença entre as temperaturas, a perda de calor aumenta para um valor constante de irradiação, diminuindo o rendimento instantâneo.

Na Figura 18, são representadas curvas típicas do rendimento para diferentes tipos de colectores, (colector plano sem cobertura, colector plano com cobertura e colector tubo de vácuo) com o mesmo valor de irradiação solar.

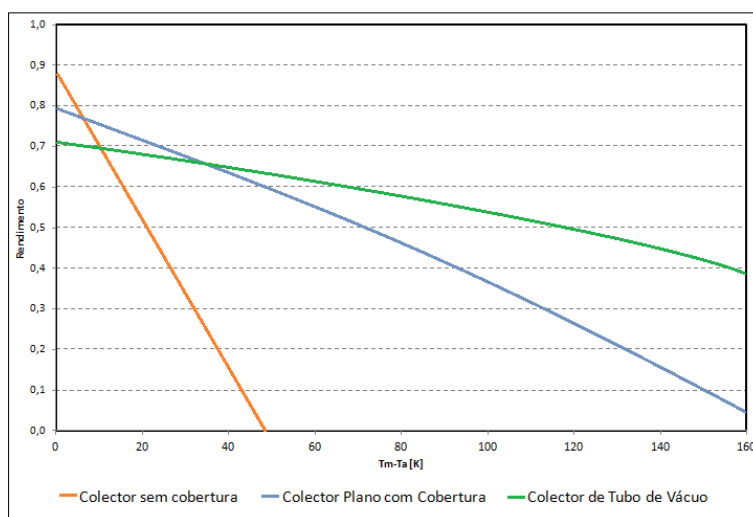


Figura 18 – Curvas de rendimento características de alguns tipos de colectores.

Para $T_m - T_a = 0$ os colectores apresentam o maior rendimento, o rendimento óptico. Tipicamente o colector plano sem cobertura apresenta maior rendimento óptico que o colector plano com cobertura e esse maior que o colector tubo de vácuo. Com o aumento da temperatura média do fluido o

rendimento vai diminuindo até à temperatura máxima que o colector pode atingir. Os tubos de vácuo atingem a temperatura de estagnação a temperaturas mais elevadas que os colectores planos com cobertura e sem cobertura. Quanto maior o isolamento de um colector maior é a sua temperatura de estagnação. Como os colectores planos sem cobertura são constituídos apenas pelo absorvedor, a sua temperatura de estagnação é muito baixa. Os colectores planos com bom material isolante atinge temperaturas de estagnação entre os 160 e 200°, enquanto os tubos de vácuo e os colectores parabólicos compostos atingem temperaturas entre os 200 e os 300°, (GREENPRO, 2004).

Como se pode verificar na Figura 18, o colector sem cobertura apresenta um melhor rendimento que o colector plano quando a diferença de temperatura entre o fluido e o ambiente é aproximadamente inferior a 15K. Os tubos de vácuo ultrapassam o rendimento dos colectores planos quando a diferença de temperatura é superior a aproximadamente 43K.

6.3 Modificador de ângulo de incidência

O modificador de ângulo de incidência (na sigla inglesa IAM, “incidence angle modifier”) dá conta da fracção de energia solar que não é absorvida (pelos tubos de circulação do fluido). Quando a radiação não está a incidir na perpendicular ao plano de abertura do colector é necessário considerar um coeficiente de correcção, K , para o ângulo de incidência.

Este coeficiente de correcção exprime a razão entre o rendimento óptico para um dado ângulo de incidência e o rendimento óptico com ângulo de incidência nulo em que a radiação se encontra normal à superfície.

$$K(\theta) = \frac{\eta_{0,\theta}}{\eta_{0,n}} \quad (17)$$

Por definição $K(\theta)$ vale 1 para radiação de incidência perpendicular e 0 para radiação de incidência rasante, (Aguiar & Coelho, 2010). Para ângulos de incidência inferiores a 30°, o modificador de ângulo de incidência é aproximadamente 1, (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010).

O valor do rendimento óptico para um ângulo de incidência $\eta_{0,\theta}$ pode ser substituído na equação de rendimento (14) pelo seu valor à incidência normal, $\eta_{0,n}$ quando inserido em conjunto com o modificador de ângulo de incidência. Substituindo na equação:

$$\eta = F' \cdot K(\theta) \cdot \eta_{0,n} - F' \cdot U_1 \frac{\Delta T}{G} - F' \cdot U_2 \frac{\Delta T^2}{G} \quad (18)$$

Nos ensaios de rendimento dos colectores os valores da curva de rendimento são determinados perto das condições de incidência normal, sendo necessário calcular o factor de correcção $K(\theta)$. Para a sua determinação nos ensaios ao colector, primeiro é recolhido o valor da intersecção da curva característica do colector com o eixo dos yy . Esse valor é igual ao rendimento óptico com o factor de correcção à incidência normal, $F' \eta_{0,n}$.

Para obter o valor de $K(\theta)$, são executadas medições em separado, em que a temperatura média do fluido é mantida próxima da temperatura ambiente para que, $(T_m - T_a) \approx 0$ (Instituto Português da Qualidade, 2007). Substituindo na equação de rendimento em função de $K(\theta)$ permite obter os modificadores de ângulo para vários ângulos de incidência.

$$K(\theta) = \frac{\eta}{F' \eta_{0,n}} \quad (19)$$

O modificador de ângulo de incidência tem uma componente longitudinal e transversal em relação ao alinhamento dos tubos de absorção, Figura 19. Em aproximação, o modificador de ângulo de incidência individual de cada colector é dado pelo produto da componente longitudinal, $K_l(\theta)$, e a componente transversal, $K_t(\theta)$.

$$K(\theta) = K_l(\theta) \cdot K_t(\theta) \quad (20)$$

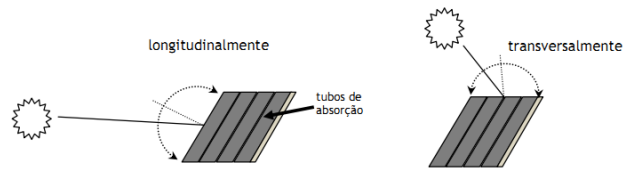


Figura 19 - Direcções transversal e longitudinal relativamente ao alinhamento dos tubos de absorção.

Em geral os valores de $K_l(\theta)$ e $K_t(\theta)$ podem ser encontrados nos relatórios de ensaios dos colectores ou nos certificados. Nesses são apresentados valores para vários ângulos de incidência, ou apenas pode ser indicado um valor para uma incidência de 50° (caso dos colectores planos convencionais).

Quando não existe referencia ao valor de $K(\theta)$, pode ser calculado pela aproximação matemática seguinte (para colectores planos):

$$K(\theta) = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (21)$$

Onde b_0 é 0,1 para colectores com uma cobertura transparente. Em rigor deve ser definido um modificador de ângulo para a radiação directa e outro para a radiação difusa.

7. Políticas e Medidas aplicadas ao Solar Térmico

Existe um conjunto de legislação que directamente ou indirectamente diz respeito à área do mercado solar térmico. Nuns casos fazem-se recomendações, e noutros impõem-se obrigações, que no caso do seu incumprimento originam sanções que podem ser aplicadas pelo Estado ou pela União Europeia.

As imposições podem sê-lo devido a factores económicos, energéticos, ambientais, entre outros.

Ao nível comunitário têm sido divulgadas Directivas, que são implementadas por transcrição para Leis, Decretos-Lei e portarias ao nível de cada Estado Membro. No entanto, a nível nacional existe o desenvolvimento de legislação própria, que impõe restrições adicionais.

Neste capítulo é feita uma descrição sucinta de alguma legislação Internacional, Nacional e Apoios dirigidos directamente ou indirectamente ao sector solar térmico.

7.1 Directivas Comunitárias

Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção de utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Esta nova Directiva das energias renováveis define uma meta a atingir até 2020, de 31% de incorporação de energia de fontes de energia renováveis, (FER), no consumo de energia final em Portugal, além de uma meta de 10% de energias renováveis nos transportes, esta ultima comum a todos os Estados Membros.

Directiva 2002/91/CE de 15 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios impõe uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios, requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e de grandes remodelações em edifícios existentes. A directiva também impõe a inspecção regular de caldeiras e a instalação de ar condicionado em edifícios.

No desempenho energético dos edifícios esta directiva obriga à contabilização das necessidades de energia para a produção de AQS, favorecendo a instalação de sistemas solares térmicos ou alternativas de FER.

7.2 Legislação e Políticas Energéticas Nacionais

Decreto-Lei nº50/2010 de 20 de Maio, cria o Fundo de Eficiência Energética previsto no Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética. Tem como objectivo garantir o cumprimento das metas nacionais de eficiência energética estabelecidas no PNAEE.

Decreto-Lei nº363/2007 de 2 de Novembro, estabelece o regime jurídico para instalações de produção eléctrica com potência inferior ou igual a 5,75kW. O produtor pode ser qualquer entidade que tenha um contracto de compra de electricidade em baixa tensão.

No que respeita à tarifa aplicada à produção eléctrica, são definidos dois regimes de remuneração: o regime geral e o bonificado.

No regime bonificado aplica-se a sistemas que utilizem fontes renováveis de energia e que tenham uma potência de ligação até 3,68kW. São condições obrigatórias para aceder ao regime bonificado, ter instalado colectores solares térmicos no caso de produtores individuais no caso de condomínios.

O regime geral aplica-se às restantes instalações que não estejam contidas no regime bonificado.

O **Decreto-lei nº80/2006 de 4 de Abril**, impõe um novo Regulamento das Características de Comportamento térmico dos Edifícios. O regulamento transpõe parcialmente a Directiva internacional 2002/96/CE, para o regime Nacional.

Para além das restrições impostas pela Directiva, o RCCTE contém um conjunto adicional de restrições no que diz respeito qualidade térmica dos edifícios, (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010). Aplica-se a edifícios de habitação, ampliações ou alteração de edifícios existentes (cujo custo seja superior a 25% do valor do edifício) e edifícios de serviços sem sistema de climatização centralizados.

O regulamento impõe que edifícios com coberturas em terraço, ou inclinados com orientação entre sudeste e sudoeste (gama de 90°), se não apresentarem sombreamento significativo, têm a obrigatoriedade de instalar sistemas solares térmicos para o aquecimento de água quente sanitária. O sistema deve obedecer à regra de mínimo 1m² de colector por ocupante.

7.3 Projectos e Iniciativas Publicas

Além da Legislação que tem contribuído para a dinamização do mercado solar térmico também foram desenvolvidos projectos ao nível nacional que promovem a expansão desse sector ao longo do tempo.

Programa E4- através da Resolução do Conselho de Ministros nº154/2001, de 19 de Outubro de 2001, foi lançado o programa de Eficiência Energética e Energias Endógenas.

Este reúne um conjunto de medidas para melhorar a eficiência energética e o aproveitamento das energias renováveis em Portugal, (Água Quente Solar, 2004). Um dos objectivos específicos deste programa é a promoção do recurso a colectores solares para aquecimento de água, quer nos sectores residencial e serviços, quer na indústria.

Programa Água Quente Solar para Portugal (AQS-pP), foi confirmado na resolução do conselho de ministros n.º 63/2003, de 28 de Abril de 2003, e teve origem no Programa Nacional para o E4. O objectivo específico do programa AQS-pP foi criar condições técnicas e de incentivo à exploração da energia solar térmica, criar um mercado sustentado com a instalação anual de 150 mil m² de colectores solares conduzindo a uma meta da ordem de 1 milhão de m² de colectores instalados e operacionais até 2010, (Água Quente Solar, 2004). Outro dos seus objectivos era devolver a confiança aos utilizadores desta tecnologia. Para tal foram desenvolvidas campanhas promocionais incentivos ao investimento e foi criada uma linha azul e um website para auxiliar o utilizador.

Programa de Actuação para reduzir a dependência de Portugal face ao Petróleo, de 4 de Novembro de 2004, tem a finalidade de reverter o panorama da dependência energética externa de Portugal. Apresenta um conjunto de medidas para redução da factura global de petróleo em diversos sectores, no sector da industrial propuseram-se várias medidas entre as quais a criação de eventuais benefícios fiscais para a utilização de energias renováveis (sobretudo biomassa e solar térmica) e de incentivos à cogeração ou micro-geração para substituição do petróleo (XVI Governo Constitucional, 2004). No sector dos serviços e doméstico dinamização do recurso à energia solar térmica, como fonte de energia descentralizada, também através de benefícios fiscais à aquisição e instalação de colectores solares para aquecimento de água e por criação de uma linha de financiamento bonificada que permita o investimento em colectores solares de forma mais competitiva face às tecnologias baseadas no petróleo, (XVI Governo Constitucional, 2004).

Medida Solar Térmico 2009 -Programa de incentivo à utilização de energias renováveis dirigida numa primeira fase para particulares, e numa segunda fases foi estendida para Instituições Particulares de Solidariedade Social e Associações Desportivas de Utilidade Pública. Terminou em 31 de Dezembro de 2009,segundo o site do governo, com o programa foram instalados 50.158 sistemas de energia solar térmica, das 55 marcas aderentes, representando uma área de 197.730 m² de colectores

solares. Algumas das vantagens do programa eram a comparticipação imediata do Estado no valor fixo de 1641.70€, manutenção e Garantia do equipamento assegurada durante 6 anos, benefícios fiscais de 30% do custo do investimento em sede de IRS com máximo de 796€, 100% de financiamento em crédito pessoal com condições especiais, permitiu pagar juros apenas após a instalação do equipamento e possibilitou facilidades no processo de encomenda (Portal do Governo Português).

Medida Solar Térmico 2010, terminou as candidaturas a 30 de Novembro de 2010. A Agência para a Energia, (ADENE) estabeleceu com instituições bancárias um protocolo que pretende facilitar a adesão das candidaturas aos apoios no âmbito do Quadro de Referência Estratégico Nacional, QREN, visando a eficiência energética, nomeadamente na área do solar térmico, envolvente passiva e iluminação de edifícios, (Portal do Governo Português).

Desta vez as verbas foram disponibilizadas sob a forma de incentivos a pequenas e médias empresas (PME), a instituições particulares de solidariedade social (IPSS) e associações desportivas de utilidade pública (ADUP).

Para as PME, com um limite de orçamento global de 9,5 milhões de euros, os projectos recebiam apoio não reembolsável de 40% (Médias Empresas) e de 45% (Pequenas Empresas). No caso das IPSS e ADUP, o orçamento era de 21,5 milhões de euros. O apoio não reembolsável correspondia a 70% nas regiões Norte, Centro e Alentejo e a 50% nas regiões de Lisboa e Algarve.

Em 2011:

Benefícios fiscais em 2011- as deduções à colecta de IRS anteriormente aplicadas às energias renováveis deixam de existir dando apenas lugar a benefícios fiscais. O artigo do Orçamento do Estado (OE/11), mantém os mesmos limites e o mesmo tipo de produto sujeito a benefícios.

São concedidos benefícios a 30% dos gastos com aquele tipo de bem, com o limite de 803€. Beneficiam as despesas feitas com equipamentos novos para utilização de energias renováveis e para produção de energia eléctrica ou térmica.

IVA 2011 - Aparelhos, máquinas e outros equipamentos, exclusiva ou principalmente destinados à captação e aproveitamento de energia solar, eólica, geotérmica ou de outras formas alternativas de energia estão sujeitos a IVA à taxa intermédia de 13%.

Em 2012:

IVA proposta de Orçamento de estado para 2012 confirma uma subida no IVA aplicado a equipamentos de captação e aproveitamento de energias renováveis (ex sistemas solares térmicos, sistemas fotovoltaicos). Dos anteriores 13% de IVA, em 2012 passa para o escalão máximo com 23%.

Segundo um artigo no website da revista climatização, (Climatização, 2011), os benefícios fiscais anteriormente aplicados para equipamentos de energias renováveis vão ser retirados.

7.4 Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis – Solar térmico

A Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, define que os Estados-Membros devem apresentar à Comissão Europeia um Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER) até 30 de Junho de 2010. Esse Plano de Acção fixa os objectivos nacionais de cada Estado-Membro relativos à quota de energia proveniente de fontes renováveis que deve ser consumida nos sectores dos transportes, da electricidade e do aquecimento e arrefecimento (A&A) em 2020, bem como as respectivas trajectórias da implementação das medidas e acções previstas em cada um desses sectores. Para tal identifica e descreve as medidas necessárias e adequadas para alcançar os objectivos globais nacionais.

A Directiva 2009/28/CE estabelece o objectivo de aumentar a quota de fontes de energia renováveis no consumo final de energia Europeu para 20% em 2020, a partir de aproximadamente 8,5% em 2005. Segundo Robin Welling, nos PNAER dos 27 Estados Membros da UE, a energia solar térmica deve contribuir para 1,3% do consumo energético total para A&A em 2020, o que representa 5,64% dos 22% totais previstos para A&A, (Cardoso, 2011).

Das metas nacionais obrigatórias que foram acordadas por cada Estado Membro, Portugal comprometeu-se e aumentar a sua parcela de energia por FER, para 31%. Para além disso, todos os países se comprometeram com uma meta mínima de 10% de energias renováveis nos transportes, (APREN - Associação de Energias Renováveis, 2009).

No contexto deste trabalho apenas são abordadas as metas e medidas relativas ao uso da energia solar térmica que se encontra inserida no sector do aquecimento e arrefecimento. Tendo em conta a obrigatoriedade da instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária, foram estabelecidas as seguintes metas para os 2015 e 2020 no âmbito da política nacional:

Tabela 5 – Metas de capacidade total solar térmica instalada até 2015 e 2020, Fonte: (República portuguesa, 2009).

Medida (R&S6M6)	2015		2020	
	Área (m²)	Impacto (Tep)	Área (m²)	Impacto (Tep)
Residencial	1.113.093	13.844	1.700.000	18.910
Serviços	272.572	12.180	435.000	16.889

Além do Solar Térmico também a Biomassa e a Geotermia contribuem para a quota de FER aplicadas para o A&A. A incorporação de FER no consumo de energia no A&A permite evoluir de uma quota de 28% em 2010 para 31,5% em 2020, (APREN - Associação de Energias Renováveis, 2009).

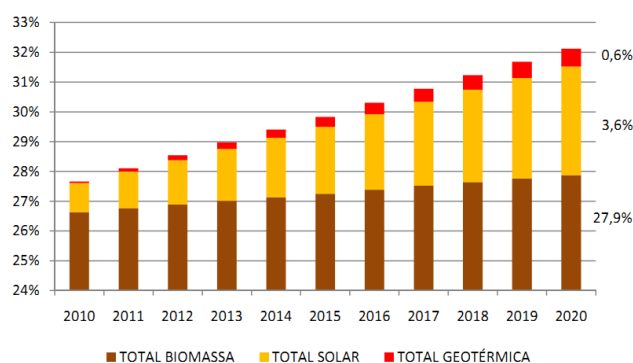


Figura 20 – Contributo para o sector de Aquecimento e Arrefecimento até 2020, Fonte: (APREN, 2009).

A biomassa é a FER com maior contribuição para o A&A, no entanto o maior crescimento deverá registar-se ao nível da energia solar devido à instalação generalizada de painéis solares para AQS e para produção de vapor de processo na indústria.

Segundo (Vallêra, 2009), o objectivo previsto para Portugal para 2010, cf.

Tabela 6, não foi cumprido. Os dados da ESTIF indicam que apenas 672 mil m² de colectores se encontram em operação.

Tabela 6 – Metas nacionais de energia solar térmica, Fonte: (Vallêra, 2009)

Fonte de Energia Renovável	2010	2020	Observações
Solar térmico	1 000 000 m ²	1 700 000 m ²	Prevê-se a instalação de pelo menos 100 000 m ² /ano

Em matéria de energias renováveis, o PNAER coloca Portugal entre os 5 líderes europeus, em 2020, caso seja bem sucedido nos objectivos comunitários (31%).

8. Associações dirigidas ao Solar Térmico

Em Portugal, existe a Sociedade Portuguesa de Energia Solar (SPES) que é uma associação de utilidade pública sem fins lucrativos, com o objectivo de promover a energia solar focando os seus aspectos técnicos, económicos, sociais, ambientais, legislativos e de investigação. Elabora estudos que são publicados em revistas do sector e participa em projectos, nacionais e internacionais.

Em colaboração com algumas instituições esta sociedade tem realizado formações e eventos na área que tal como a restante informação sobre o sector, disponibiliza no seu portal, (Sociedade Portuguesa de Energia Solar). Essencialmente a SPES tem trabalhado na defesa da divulgação da Energia Solar.

Outra importante associação nacional é a APISOLAR- Associação Portuguesa da Industria Solar que tem como objectivo a defesa, desenvolvimento e Promoção de energia solar fotovoltaica e térmica. A projecção nacional e internacional da indústria solar é um dos grandes propósitos da APISOLAR. Para um maior reconhecimento internacional esta associação aliou-se à ESTIF- European Solar Thermal Industry Federation e à EPIA- European Photovoltaic Industry Association.

A associação visa supervisionar e proteger as várias áreas do sector solar, como os fabricantes, distribuidores, instaladores, projectistas e consultores, ao mesmo tempo permite a transparência dos seus associados no seu portal para facilitar a aquisição e esclarecimento sobre produtos solares ao público.

Periodicamente estas associações divulgam notícias e dados estatísticos nacionais ou internacionais sobre a área, o que facilita a clarificação e a recolha de informação sobre o mercado solar térmico.

9. Processo de certificação de produtos solar térmicos

A certificação é um procedimento pelo qual um organismo certificador fornece um comprovativo ou garantia de qualidade, de que os produtos solar térmicos se encontram conforme normas e especificações técnicas.

Os produtos solares térmicos submetidos a este tipo de certificação são os colectores e sistemas solares do tipo “kit”. Para esses produtos as Normas Europeias que lhes são aplicadas são:

Tabela 7 – Normas europeias referentes aos requisitos e ensaios dos produtos solares.

	Colectores Solares	Sistemas solares do tipo kit
Normas de Requisito do Produto	EN 12975-1	EN 12976-1
Normas de Ensaio do Produto	EN 12975-2	EN 12976-2

Para os colectores solares, os requisitos do produto indicam aspectos específicos de durabilidade, fiabilidade e segurança. Nas normas de ensaio do produto, são indicados os ensaios de concessão a que os colectores são sujeitos, tais como ensaios de:

- Pressão estática
- Resistência a alta temperatura
- Exposição
- Choque térmico externo
- Choque térmico interno
- Penetração de chuva
- Carga mecânica
- Congelamento
- Determinação do Rendimento
- Inspeção final
- Verificação de documentação explicativa e marcação (Carvalho, 2005)

Segundo o folheto de certificação de equipamentos solares térmicos (Água Quente Solar), um colector que cumpra as normas não deverá apresentar falhas significativas quando submetido a choques térmicos durante um forte aquecimento diurno e não deve permitir a penetração e acumulação de água no seu interior do colector nos períodos de chuva intensa.

No caso dos sistemas solares do tipo “kit”, os requisitos do produto especificam aspectos de durabilidade, fiabilidade e segurança. No que respeita aos ensaios de concessão, os sistemas solares são sujeitos a testes de:

- Protecção ao sobreaquecimento
- Resistência a pressão elevada
- Protecção ao congelamento
- Verificação de condições de não contaminação da água potável

- Verificação de requisitos relativamente aos materiais utilizados e aos diferentes componentes
- Verificação de documentação explicativa e marcação (Carvalho, 2005)

A partir dos ensaios é recolhida informação importante relativa aos produtos solares térmicos que pode ajudar os fabricantes a melhorar os seu produtos. São também recolhidas informações necessárias aos projectistas para o dimensionamento de sistemas solares térmicos.

As Normas Europeias para os produtos solar térmicos começaram ser desenvolvidas em meados dos anos noventa sendo aprovadas em 2000 e 2001. Após a aprovação teve de ser estabelecido um esquema de certificação, levando a que apenas a partir de 2003 foi possível certificar estes produtos.

No âmbito de um programa liderado pela European Solar Thermal Industry Federation, ESTIF, foi desenvolvido um esquema europeu de certificação de produtos solares, baseado nas Normas Europeias. Nesse mesmo programa foi desenvolvida uma rede de laboratórios acreditados para realizar os ensaios (segundos as normas) e foi promovida a marca Solar Keymark.



Figura 21 – Marca Keymark.

Para os produtos para os quais é concedida a marca Keymark, Figura 21, significa que estão em conformidade com os requisitos especificados nas normas europeias. Uma vez que esta é uma marca comum para a Europa, desenvolvido segundo um sistema de certificação único ao nível europeu, (CERTIF).

O sistema de certificação europeu para os produtos solar térmicos, permite que qualquer equipamento possa ser ensaiado num dos laboratórios acreditados e assim ser válido para todos os países que estejam integrados na rede da Solar Keymark. A implementação desse sistema de certificação permite um aumento na credibilidade de todos os equipamentos e entidades envolvidos.

Em Portugal, a entidade responsável pela certificação de colectores solares e sistemas do tipo Kit é a CERTIF- Associação para a certificação de Produtos.

Aos produtos certificados é cedida a marca CERTIF-Produto Certificado, sendo emitida uma licença e um contrato estabelecendo obrigações entre o titular da licença e a entidade certificadora. Em Maio de 2004 foi emitida a primeira licença nacional, PST001/2004, correspondente ao colector de modelo N1 da Norquente, (Norquente).

Para obter a Marca Certif-Produto Certificado, foi adoptado o sistema nº5 da ISO (Organização Internacional de Normalização), este sistema impõe a realização de ensaios e auditorias ao sistema de qualidade do fabricante do produto em causa.

O processo de certificação inicia-se com o pedido de certificação por parte do fabricante ou empresa que pretende adquirir a certificação do produto, de seguida a entidade CERTIF analisa o pedido e define os ensaios que são necessários realizar sobre o produto e é designada uma Equipa Auditora, (EA).

Num laboratório são realizados os ensaios previstos e é emitido um relatório. O laboratório onde são realizados os ensaios em colectores e sistemas solares térmicos tem de ser reconhecido pelo Sistema

de Qualidade. Em Portugal existe um laboratório acreditado, o LES (Laboratório de Energia Solar); são também aceites na entidade certificadora, ensaios realizados em laboratórios de outros países, (CERTIF) desde que também sejam reconhecidos pelo acordo do Solar Keymark do CEN (The European Committee for Standardization).

Após os ensaios é organizada uma auditoria de acordo com requisitos do sistema de qualidade do fabricante, posteriormente a equipa auditora emite um relatório. Através do relatório de ensaios e do relatório da auditoria, a entidade certificadora avalia os resultados obtidos. Se a avaliação for negativa, o produto deve ser alterado e sujeito a novos ensaios e auditorias de forma a conseguir a aprovação na avaliação dos resultados final.

Na etapa seguinte a entidade certificadora avança com o processo de decisão e emite a licença para o uso da Marca CERTIF-Produto Certificado. Por fim, é estipulado o processo de acompanhamento anual para o período de validade da licença, que se irá realizar através de ensaios aos produtos e auditorias à fábrica, para verificar que as condições iniciais de produção se mantêm. Os ensaios de acompanhamento que se realizam no caso dos colectores e sistemas do tipo kit são:

Tabela 8 – Ensaios de acompanhamento, Fonte: (Nascimento, 2002)

Colectores Solares	Sistemas do tipo kit
EN 12975	EN 12976
Ensaio de pressão interna do absorvador	Resistência à pressão
Inspecção final	Protecção contra o sobreaquecimento

Sempre que forem efectuadas alterações no produto têm de ser realizados novos ensaios e com isso é gerada uma nova licença.

A Figura 22, indica uma síntese dos vários passos do esquema de certificação referidos anteriormente e o sujeito responsável por cada etapa.

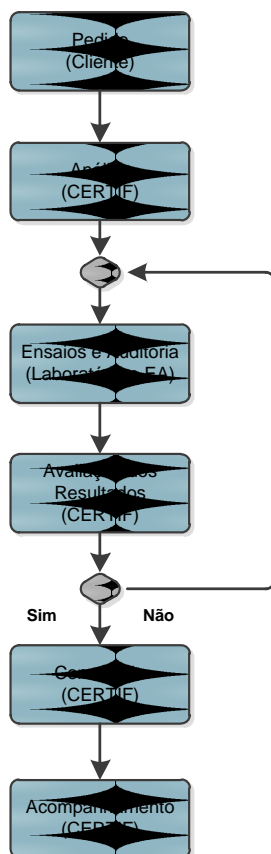


Figura 22 – Esquema de certificação: Fonte CERTIF.

A Marca-Produto Certificado, Figura 23, é uma indicação da fiabilidade do produto, a certificação por parte de uma entidade imparcial e credível permite reforçar a confiança dos consumidores, observar diferenças entre concorrentes, aumentar a competitividade, evidenciar o cumprimento de regulamentações técnicas, reforçar a imagem da empresa e facilita a adesão a novos mercados, (CERTIF).



Figura 23 – Marca de conformidade aplicáveis na certificação de produtos.

No entanto a licença emitida não é vitalícia, é geralmente válida por um período de cinco anos, podendo em casos especiais a validade ser inferior.

O esquema de certificação em Portugal, elaborado pela CERTIF é baseado nas normas Europeias EN 12975 e EN 12976, tal como o esquema europeu de certificação desenvolvido pela Solar Keymark, desse modo os esquemas de certificação revelam ser semelhantes.

10. Programas Utilizados

No decorrer deste trabalho foi necessária a utilização de alguns programas para auxiliar a recolha de resultados para o estudo, nomeadamente o programa SolTerm e o Energy Output Calculator.

10.1 SolTerm

Actualmente existem vários softwares que permitem determinar a energia solar captada por um sistema solar térmico. No decorrer deste trabalho foi utilizado o programa SolTerm distribuído pelo LNEG.

O SolTerm é um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, apesar de neste estudo apenas ser utilizada a vertente de solar térmico.

Neste programa o utilizador inicia a localização da instalação, seleccionando um concelho Português e as condições de sombreamento reais do local onde se pretende realizar a instalação do sistema solar térmico, (separador *Clima e Local*). De seguida o utilizador selecciona o tipo adequado de sistema adequado ao projecto em questão, a configuração do sistema pode ser sem depósito, com depósito, do tipo kit doméstico ou multifamiliar. No separador *Sistema Térmico*, é escolhido um colector da biblioteca existente no banco de dados do programa, ou pode ser introduzido um novo pelo utilizador. É indicada a inclinação e orientação desejada para os colectores e podem ser definidas as características de alguns componentes do sistema, tal como tubagem, caudal, anticongelante no fluido de circulação, várias características do permutador, depósito e sistema de apoio.

Dentro desses, além dos colectores solares, pode ser introduzido pelo utilizador modelos de depósitos e permutador que não se encontrem no banco de dados. Quanto ao consumo, este programa permite definir perfis de consumo em base horária para cada mês do ano, distinguindo dias da semana e fim-de-semana e ainda as temperaturas do abastecimento dessa água em cada mês.

Na Versão 5 do SolTerm, foi tida em conta a necessidade de calcular a contribuição dos sistemas solares para produção de AQS no RCCTE. No âmbito de facilitar esse uso para fins regulamentares, no perfil de consumo foi desenvolvido um ícone, *Editor RCCTE*, que permite facilitar a obtenção do valor da contribuição solar, E_{Solar} , através de poucos passos. Tal como em todos os projectos é necessários escolher o concelho onde se deseja realizar a instalação, de seguida deve ser escolhido um modelo de colector solar; no perfil dos consumos apenas é necessário entrar no *Editor RCCTE* para definir os consumos segundo a regra padrão definida pelo Regulamento. Nesta opção é possível escolher entre um edifício residencial, onde é calculado o perfil de consumo segundo a tipologia dos fogos no edifício em questão, ou a opção de edifício de serviços onde apenas se pode indicar o número de dias por semana de encerramento. Para o caso residencial o SolTerm define o número de colectores que devem ser utilizados correspondendo a especificações regulamentares, designadamente um consumo de 40L/dia por ocupante, a temperatura nominal de consumo de 60 °C. Para edifícios de serviços abrangidos pelo RCCTE o consumo diário de referência é de 100L a 60 °C.

Para determinar o número de ocupantes e as necessidades por edifício residencial, é necessário saber as tipologias das habitações em cada fracção, sendo o número de habitantes dada pela relação:

$$T_0=2 ; T_n=n+1 \quad (22)$$

O programa pode então fazer a Análise Energética do sistema, de onde o utilizador pode retirar o valor do E_{Solar} . Esse valor obtido é posteriormente deduzido no cálculo das Necessidades de Energia para preparação de AQS, N_{ac} .

Este programa é de utilização obrigatória para os efeitos da Legislação, (Decreto-lei nº80/2006 de 4 de Abril).

O programa permite a análise do desempenho energético de sistemas solares térmicos, uma análise económica e uma análise ambiental. Na análise ambiental são indicados os benefícios produzidos da quantidade de energia primária de origem fóssil evitada pela utilização do sistema solar.

A análise do desempenho energético de um sistema solar é feita através de simulações sob condições quasi-estacionárias, ou seja, são simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos (5 em 5 minutos num ano), durante os quais se considera constante o estado do ambiente, do sistema e do consumo (Aguiar & Coelho, 2010). Na *Análise Energética*, são indicados valores mensais e anuais relativos aos valores de radiação solar global na horizontal à superfície por unidade de área, de radiação solar global no plano inclinado dos colectores por unidade de área, a energia desperdiçada, a fornecida pelo sistema solar, a carga e o apoio. São também indicados outros índices mas apenas em valor anual, são eles a fracção solar, o rendimento do sistema e a produtividade.

A fracção solar indica a percentagem de energia solar útil fornecida para suprimir o consumo solicitado, (carga).

$$F_s = \frac{\text{Fornecido}}{\text{Carga}} \quad [\%] \quad (23)$$

O rendimento ou eficiência global do sistema é a razão entre a energia solar útil fornecida e quantidade de radiação disponível ao plano inclinado dos colectores, um sistema bem dimensionado deve apresentar um rendimento tipicamente entre os 20 e os 60%, (Aguiar & Coelho, 2010).

$$\eta_{\text{sistema}} = \frac{\text{Fornecido}}{\text{Rad. Inclín.} \times A_{\text{Colectores}}} \quad [\%] \quad (24)$$

A produtividade de um sistema revela a quantidade de energia solar útil fornecida por unidade de área dos colectores solares.

$$\text{Produtiv.} = \frac{\text{Fornecido}}{A_{\text{Colectores}}} \quad [kWh/m^2] \quad (25)$$

Ainda no separador *Análise Energética*, podem ser realizadas optimizações sob critérios energéticos, o utilizador pode escolher manter a área de colectores ou o volume armazenado e assim optimizar o sistema de maneira a:

- Aumentar a fracção solar
- Reduzir o desperdício de energia
- Reduzir o fornecimento energia através do apoio
- Optimizar a orientação dos colectores

10.2 Energy Output Calculator

O programa Energy Output Calculator, consiste numa ferramenta com um código Excel que calcula a energia anual produzida por um colector solar. Esta ferramenta foi desenvolvida para dar ao utilizador a possibilidade de comparar diferentes tipos de colectores, e não para fazer dimensionamentos de instalações solares térmicas.

Neste trabalho a ferramenta foi essencial para obter uma estimativa da produção anual de energia dos 267 colectores no banco de dados.

Nos cálculos feitos pelo programa é assumido que existe uma carga constante para a energia colectada e o colector opera a uma temperatura média constante.

O programa pede a introdução de informações sobre a localização e instalação do colector, as temperaturas médias de funcionamento e a área de abertura do colector em causa. As temperaturas referem-se a temperaturas médias do fluido de transferência de calor. Nesta ferramenta é possível obter os valores para três temperaturas média constante. Neste caso foi obtida a produtividade para as temperaturas médias do fluido a 25°C, 50°C e 75°C.

Esta versão é limitada para os dados meteorológicos de Atenas, Davos, Estocolmo e Wurzburg, assim foi necessário fazer a criação de uma nova localidade para este estudo, Lisboa. Os dados meteorológicos dessa nova localização foram inseridos numa folha de Excel que se encontra oculta e onde se indica a temperatura ambiente (t_a [°C]) para as 8760 horas do ano, tal como a irradiação global no plano horizontal (G_{horis} [W/m²]), a irradiação global no plano do colector (G_{bn} [W/m²]), o valor médio da velocidade do vento (W_{coll} [m/s]) e o nível médio de radiação infravermelha(céu + ambiente, E_i [W/m²]).

Neste trabalho foi analisado o desempenho dos colectores em “Steady State”, ou seja, o cálculo para determinar o rendimento térmico é feito através de ensaios em condições estacionárias segundo métodos e procedimentos indicados na norma EN 12975-2. O programa também considera os métodos de ensaio em condições quase-dinâmicas para determinar a produtividade dos colectores.

Para os cálculos foram indicados os parâmetros de rendimento óptico, e o coeficiente linear de perdas, a_1 . O programa tem a possibilidade de utilizar também os dados do coeficiente de perdas quadrático, a_2 . Como os dados tratados neste estudo apresentam apenas um coeficiente global de perdas térmicas, nesta ferramenta apenas foram indicados os valores de a_1 , correspondendo ao coeficiente global.

Os dados referentes ao modificador de ângulo de incidência (IAM ou $K(\theta)$), são também pedidos. Nessa opção é possível escolher entre dois tipos de definição do IAM, “simples” ou “definido pelo utilizador”.

No cálculo simples, tipicamente *aplicado a colectores planos* com um modificador de ângulo simples, independente do sentido (transversal ou longitudinal), o valor de $K(50^\circ)$ é fornecido pelos certificados, que substituindo na equação (21), permitem obter o valor de b_0 necessário para introduzir no programa.

O caso definido pelo utilizador é relativo a colectores com modificadores de ângulo incidente complexos, (*tubos de vácuo e colectores CPC*). Neste caso os valores de $K(\theta)$ transversal e longitudinal não são simétricos com a direcção da radiação de incidência, sendo necessário caracterizar o modificador de ângulo de incidência em mais direcções. Assim para o caso dos tubos de vácuo e colectores CPC, foram introduzidos os valores de $K_1(\theta)$ e $K_i(\theta)$ relativos aos ângulos de incidência {10°;20°;30°;40°;50°;60°;70°;80° }.

Por fim, definiu-se a existência ou não de seguimento solar no colector. Neste estudo todos os colectores foram analisados sem qualquer sistema de seguidor solar, apenas a inclinação fixa de 30° em relação à horizontal e orientação sul, azimute= 0°.

Os cálculos desta ferramenta são realizados num código Visual Basic, (VBA), e apresentados numa folha de Excel. Os resultados obtidos são apresentados em termos mensais e anuais e indicam a irradiância solar [kWh] e os valores da energia extraída do colector para três temperaturas médias constantes de consumo, (25°, 50°, 75°), [kWh].

10.2.1 Cálculos da produtividade anual

Neste trabalho apenas foram considerados colectores em condições estacionárias, nessas condições a energia solar captada pelo colector é descrita como:

$$\dot{Q} = A_a \cdot G \cdot \eta \quad [\text{W}] \quad (26)$$

Sendo A_a a área de abertura do colector [m^2] e G a irradiância solar hemisférica [W/m^2] e η o rendimento instantâneo do colector. O produto desses factores fornece a potência útil efectiva extraída pelo colector.

Substituindo a equação do rendimento, a potencia útil *fornecida por módulo* durante um passo de tempo pode ser indicada por:

$$\dot{Q} = A_a \cdot G \cdot \left[\eta_0 - a_1 \frac{tm-ta}{G} - a_2 G \left(\frac{tm-ta}{G} \right)^2 \right] \quad [\text{W}] \quad (27)$$

Os resultados obtidos a partir do EOC fornecem a energia anual extraída do colector a uma determinada temperatura média do fluido. Sendo igual ao somatório da potência extraída do colector em todos os passos de tempo onde os cálculos são realizados para passos de tempo de uma hora.

10.2.2 Modificação do programa

Para facilitar a análise e acelerar o processo de recolha de resultados, o software EOC 3.0 foi alterado. Todos os colectores planos foram activados num ciclo, que recolhe e insere automaticamente os dados a partir de um ficheiro criado com esse propósito. Ao correr o programa os resultados foram emitidos num novo ficheiro de Excel.

Separadamente foram inseridos os dados relativos aos colectores tubos de vácuo e aos colectores parabólicos compostos devido às diferenças no modificador de ângulo de incidência de cada tipo de colector.

11. Evolução das características dos colectores

Neste capítulo é descrita a forma como foi organizado o estudo da evolução de características dos colectores.

Inicialmente é descrita a forma como foi desenvolvido o banco de dados dos colectores que serviu de base a toda a análise. Posteriormente apresenta-se o tratamento dos dados para homogeneizar a amostra e por fim são apresentados e discutidos os resultados.

11.1 Preparação do Banco de dados

Foi necessária a recolha e organização de um banco de dados para a elaboração deste estudo devido a não existir uma fonte com a indicação de todos os colectores solares comercializados em Portugal.

A Associação Portuguesa da Industria Solar, APISOLAR, permite que no seu site seja possível obter informação acerca dos associados importadores, exportadores, e instaladores.

Na APISOLAR, apesar de serem indicados os sites dos associados, não se encontram actualizados e nem sempre mencionam os colectores que comercializam. Como tal, foi necessário fazer uma recolha de colectores que teve como base principal os colectores solares presentes no programa SolTerm disponibilizado pelo LNEG, até ao final do ano 2010.

Após uma selecção cuidadosa, em que foram excluídos todos os colectores com certificados indisponíveis, recolheram-se 222 colectores solares. No programa, estavam inseridos todos os colectores solares presentes no mercado português que chegaram ao conhecimento do LNEG à data de 10 Dezembro 2010. Esse banco de dados é composto por colectores cujas empresas distribuidoras ou fabricantes solicitam voluntariamente um pedido para inserir os seus produtos nos dados do SolTerm. Os colectores são introduzidos com dados técnicos desde que estejam ensaiados e certificados segundo as regras europeias da Solar KeyMark ou Certif (Aguiar & Coelho, 2010).

Para esses 222 colectores, foi necessário obter os certificados de cada um, verificar os dados e acrescentar parâmetros que não se encontravam indicados, nomeadamente a capacidade térmica efectiva e a temperatura de estagnação, quando disponível. Isto foi muito laborioso e ocupou uma parte considerável da execução dos trabalhos que levaram a esta tese, mas era indispensável. Por outro lado, esta verificação e consolidação demorada dos bancos de dados foi considerada de grande valor para o próprio software SolTerm, pelos seus responsáveis (Unidade de Análise Energética e Alterações Climáticas e Unidade de Energia Solar, Eólica e Oceânica do LNEG).

Com o objectivo de completar a amostra, no website Solar KeyMark foram filtrados todos os colectores solares que apresentavam licenças para Portugal, “Country Code PT”. A licença para o uso da Keymark, indica que os produtos solares em causa se encontram em conformidade com os requisitos específicos nas normas europeias, neste caso, o pedido das licenças foram feitas por empresas nacionais, permitindo a recolha de certificados passados para Portugal. Com esse critério o objectivo foi reunir mais colectores que tenham entrado no mercado solar térmico nacional, dado que os pedidos de certificação partem de empresas nacionais, embora de facto não existam garantias de que todos esses produtos tenham sido comercializados em Portugal. Dessa pesquisa foram então recolhidos mais vinte colectores solares certificados, com marcas e modelos que não se encontravam presentes no SolTerm.

Com vista em alargar no tempo a amostra de colectores, foram ainda recolhidos mais dados de colectores que fizeram parte de estudos do INETI - Instituto Nacional de Energia e Tecnologia Industrial (que em parte deu origem ao actual LNEG).

Dos dados recolhidos da acção de natureza voluntária (Água Quente Solar, 2002) intitulada “Colectores Solares Térmicos: Requisitos Mínimos de Qualidade” de 2000 foram ainda recolhidas informações sobre mais dez colectores. Esta acção foi realizada no âmbito do Programa Energia, numa

colaboração entre a Direcção-Geral de Energia, o gestor do Programa Energia e o do INETI, I.P. - Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação, I.P.

Estes colectores não foram certificados, mas ensaiados no laboratório LECS acreditado pelo Sistema Português de Qualidade, contudo de acordo com regras muito semelhantes às usadas actualmente para certificação. Nesse laboratório foram realizados ensaios para determinação do rendimento instantâneo dos colectores segundo a NP 180 de 1985 e ensaios de qualificação do colector (Procedimento Interno de Ensaio nº1/LECS baseado na Pr-NP 02/88-Colectores Solares, Métodos de ensaio de qualificação), com o objectivo de demonstrar que os colector apresentavam qualidade mínima para suportar situações adversas durante a sua instalação.

Do relatório “Colectores e Sistemas Solares” realizado pelo Centro para a Conservação de Energia em colaboração com o INETI em 1991, foram recolhidos os dados de mais quinze colectores solares para integrar o banco de dados. Estes colectores foram ensaiados segundo as mesmas Normas aplicadas aos colectores ensaiados em 2000, no estudo referido anteriormente.

No âmbito desta tese, tanto os colectores ensaiados em 1991 como em 2000 são tratados como se tivessem sido certificados segundo a Norma , isto para que possam ser comparados com os restantes colectores que se encontram certificados segundo regras europeias da Solar Keymark ou Certif.

No total reuniram-se duzentos e sessenta e sete colectores no Banco de Dados deste estudo. Essa é a amostra que se vai examinar para estudar a evolução de parâmetros ópticos e térmicos dos colectores comercializados em Portugal.

Na tabela seguinte são indicadas características de todos os colectores considerados neste estudo. Em todas as tabelas apresentadas ao longo deste trabalho os colectores encontram-se descaracterizados, onde nem a marca nem o modelo são indicados. Desta forma os dados foram utilizados sem comprometer as empresas em causa. A versão desta tese com referência à marca e modelo dos colectores está entregue ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, ao cuidado de Ricardo Aguiar (orientador desta tese).

Tabela 9 - Colectores reunidos para o banco de dados e algumas das suas características.

Colectores Descaracterizados	Rendimento Óptico	a_1 W/Km ²	A_2 W/K ² m ²	Ano de Certificação	País de Origem	Tipo de Colector
Colector-1	0,58	1,7	0,006	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-2	0,58	1,7	0,006	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-3	0,58	1,7	0,006	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-4	0,58	1,7	0,006	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-5	0,76	4,4	0,014	2010	Portugal	Plano
Colector-6	0,75	3,4	0,015	2010	Portugal	Plano
Colector-7	0,75	3,4	0,015	2010	Portugal	Plano
Colector-8	0,75	3,4	0,015	2010	Portugal	Plano
Colector-9	0,75	3,4	0,015	2010	Portugal	Plano
Colector-10	0,73	3,8	0,015	2010	Bélgica	Plano
Colector-11	0,75	3,9	0,016	2010	Bélgica	Plano
Colector-12	0,73	3,8	0,015	2010	Bélgica	Plano
Colector-13	0,73	3,7	0,014	2008	Portugal	Colectores Parabólicos Compostos
Colector-14	0,73	4,3	0,005	2008	Portugal	Colectores Parabólicos Compostos
Colector-15	0,72	5,2	0	2000	Portugal	Colectores Parabólicos

						Compostos
Colector-16	0,77	3,8	0,015	2006	Alemanha	Plano
Colector-17	0,76	4,1	0,008	2008	Itália	Plano
Colector-18	0,73	4,2	0,009	2008	Itália	Plano
Colector-19	0,79	4,5	0,009	2008	Itália	Plano
Colector-20	0,75	3,4	0,015	2010	Espanha	Plano
Colector-21	0,75	3,4	0,015	2010	Espanha	Plano
Colector-22	0,75	3,4	0,015	2010	Espanha	Plano
Colector-23	0,75	3,4	0,015	2010	Portugal	Plano
Colector-24	0,79	4,3	0,012	2010	Espanha	Plano
Colector-25	0,8	3,8	0,018	2010	Espanha	Plano
Colector-26	0,8	3,7	0,016	2010	Espanha	Plano
Colector-27	0,81	3,7	0,016	2010	Espanha	Plano
Colector-28	0,74	4,2	0,001	2009	Portugal	Plano
Colector-29	0,74	4,2	0,001	2009	Portugal	Plano
Colector-30	0,69	4,2	0,017	2010	Alemanha	Plano
Colector-31	0,76	4,1	0,014	2010	Alemanha	Plano
Colector-32	0,85	4	0,011	2010	Alemanha	Plano
Colector-33	0,68	4,8	0,013	2009	Alemanha	Plano
Colector-34	0,77	3,7	0,017	2009	Alemanha	Plano
Colector-35	0,5	1,2	0,014	2008	Grécia	Tubo de Vácuo
Colector-36	0,56	1,4	0,008	2008	Grécia	Tubo de Vácuo
Colector-37	0,56	1,4	0,008	2008	Grécia	Tubo de Vácuo
Colector-38	0,74	6,5	0,043	2005	Grécia	Plano
Colector-39	0,56	1,4	0,008	2008	Grécia	Tubo de Vácuo
Colector-40	0,5	1,2	0,014	2008	Grécia	Tubo de Vácuo
Colector-41	0,79	6,7	0,026	2005	Grécia	Plano
Colector-42	0,79	4,2	0,013	2008	Grécia	Plano
Colector-43	0,72	6,4	0,056	2008	Grécia	Plano
Colector-44	0,79	8,1	0	2000	Portugal	Plano
Colector-45	0,76	4,2	0,011	2008	Grécia	Plano
Colector-46	0,74	8,1	0,011	2008	Grécia	Plano
Colector-47	0,79	4,5	0,009	2008	Itália	Plano
Colector-48	0,76	4,1	0,008	2008	Itália	Plano
Colector-49	0,73	4,2	0,009	2008	Itália	Plano
Colector-50	0,7	4,7	0	2000	Portugal	Plano
Colector-51	0,77	3,6	0,01	2005	Alemanha	Plano
Colector-52	0,62	4	0,02	2009	Alemanha	Tubo de Vácuo
Colector-53	0,74	4,2	0,014	2010	Portugal	Plano
Colector-54	0,78	4,3	0,007	2009	Bélgica	Plano
Colector-55	0,78	4,3	0,007	2009	Bélgica	Plano
Colector-56	0,78	4,3	0,007	2009	Bélgica	Plano
Colector-57	0,8	5,1	0	2007	Portugal	Plano

Colector-58	0,77	4,8	0,008	2009	Portugal	Plano
Colector-59	0,81	8,1	0	1991	Portugal	Plano
Colector-60	0,77	4,2	0,004	2010	Portugal	Plano
Colector-61	0,75	3,2	0,014	2006	Alemanha	Plano
Colector-62	0,71	3,3	0,014	2009	Alemanha	Plano
Colector-63	0,78	3,4	0,016	2010	Alemanha	Plano
Colector-64	0,78	3,4	0,016	2010	Alemanha	Plano
Colector-65	0,8	3,9	0,01	2005	Austrália	Plano
Colector-66	0,77	3,6	0,01	2008	Alemanha	Plano
Colector-67	0,74	4,2	0,014	2009	Portugal	Plano
Colector-68	0,75	5	0	2008	Portugal	Plano
Colector-69	0,75	5	0	2008	Portugal	Plano
Colector-70	0,75	5	0	2008	Portugal	Plano
Colector-71	0,81	3,8	0,006	2008	Bélgica	Plano
Colector-72	0,72	3,6	0,013	2008	Turquia	Plano
Colector-73	0,73	3,8	0,024	2009	Turquia	Plano
Colector-74	0,71	3,2	0,012	2008	Turquia	Plano
Colector-75	0,8	6,2	0	1991	Portugal	Plano
Colector-76	0,73	6,5	0	1991	Portugal	Plano
Colector-77	0,62	5,5	0	1991	Portugal	Plano
Colector-78	0,73	1,5	0,017	2008	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-79	0,73	1,5	0,017	2008	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-80	0,73	1,5	0,017	2008	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-81	0,66	8,2	0	2000	Portugal	Plano
Colector-82	0,67	5,9	0,039	2009	Portugal	Plano
Colector-83	0,71	3,2	0,016	2009	Portugal	Plano
Colector-84	0,73	3,4	0,007	2008	Espanha	Plano
Colector-85	0,78	4	0,014	2005	Áustria	Plano
Colector-86	0,74	4,2	0,02	2009	Itália	Plano
Colector-87	0,69	4,2	0,017	2009	Itália	Plano
Colector-88	0,69	4,2	0,017	2009	Itália	Plano
Colector-89	0,74	4,2	0,02	2009	Itália	Plano
Colector-90	0,74	4,2	0,02	2009	Itália	Plano
Colector-91	0,69	4,2	0,017	2009	Itália	Plano
Colector-92	0,69	4,2	0,017	2009	Itália	Plano
Colector-93	0,74	4,2	0,014	2009	Portugal	Plano
Colector-94	0,72	7,2	0	1991	Portugal	Plano
Colector-95	0,8	3,8	0,007	2007	Polónia	Plano
Colector-96	0,75	5,9	0,011	2008	Portugal	Plano
Colector-97	0,81	4,3	0,002	2006	Portugal	Plano
Colector-98	0,76	5,9	0,011	2008	Portugal	Plano
Colector-99	0,76	5,9	0,011	2008	Portugal	Plano
Colector-100	0,77	4,2	0,003	2010	Espanha	Plano
Colector-101	0,72	3,7	0,012	2006	Alemanha	Plano

Colector-102	0,77	3,6	0,01	2006	Alemanha	Plano
Colector-103	0,77	3,6	0,01	2006	Alemanha	Plano
Colector-104	0,76	4	0,015	2008	França	Plano
Colector-105	0,74	3,3	0,021	2008	França	Plano
Colector-106	0,73	3,9	0,009	2008	França	Plano
Colector-107	0,72	5,8	0	2000	Portugal	Plano
Colector-108	0,69	4,2	0,017	2010	Alemanha	Plano
Colector-109	0,76	4,1	0,014	2010	Alemanha	Plano
Colector-110	0,68	4,8	0,013	2009	Alemanha	Plano
Colector-111	0,77	3,7	0,017	2009	Alemanha	Plano
Colector-112	0,8	3,6	0,014	2009	Alemanha	Plano
Colector-113	0,78	4,7	0,01	2005	Espanha	Plano
Colector-114	0,71	2,8	0,016	2007	Espanha	Plano
Colector-115	0,7	7	0	1991	Portugal	Plano
Colector-116	0,65	5,7	0	1991	Portugal	Plano
Colector-117	0,73	3,8	0,011	2005	Alemanha	Plano
Colector-118	0,8	7,2	0	1991	Portugal	Plano
Colector-119	0,74	3,9	0,013	2010	Portugal	Plano
Colector-120	0,74	3,9	0,013	2010	Portugal	Plano
Colector-121	0,54	7	0	2000	Portugal	Plano
Colector-122	0,74	3,9	0,013	2007	Grécia	Plano
Colector-123	0,74	3,9	0,013	2007	Grécia	Plano
Colector-124	0,8	3,6	0,033	2010	Portugal	Plano
Colector-125	0,81	4	0,009	2010	Portugal	Plano
Colector-126	0,77	3,5	0,013	2007	Alemanha	Plano
Colector-127	0,76	3,6	0,014	2008	Alemanha	Plano
Colector-128	0,74	3,9	0,013	2010	Portugal	Plano
Colector-129	0,59	6,2	0,015	2008	Portugal	Plano
Colector-130	0,73	5,4	0,004	2009	Portugal	Plano
Colector-131	0,74	3,9	0,013	2010	Portugal	Plano
Colector-132	0,77	3,6	0,008	2008	Portugal	Plano
Colector-133	0,74	2,6	0,023	2009	Portugal	Plano
Colector-134	0,79	8,3	0	1991	Portugal	Plano
Colector-135	0,7	8,5	0	1991	Portugal	Plano
Colector-136	0,76	3,4	0,008	2007	Alemanha	Plano
Colector-137	0,77	3,5	0,017	2006	Alemanha	Plano
Colector-138	0,74	4,2	0,014	2009	Portugal	Plano
Colector-139	0,83	6,5	0,031	2009	Portugal	Plano
Colector-140	0,75	4,3	0,014	2009	Portugal	Plano
Colector-141	0,67	6,2	0,017	2008	Itália	Plano
Colector-142	0,75	3,8	0,01	2008	Itália	Plano
Colector-143	0,79	4,2	0,03	2008	Itália	Plano
Colector-144	0,73	4,3	0,014	2009	Portugal	Plano

Colector-145	0,76	3,5	0,016	2010	Portugal	Plano
Colector-146	0,74	3,9	0,013	2008	Grécia	Plano
Colector-147	0,74	3,9	0,013	2008	Grécia	Plano
Colector-148	0,75	3,5	0,01	2009	Portugal	Plano
Colector-149	0,75	3,5	0,01	2009	Portugal	Plano
Colector-150	0,75	2	0,005	2006	Alemanha	Tubo de Vácuo
Colector-151	0,78	4,3	0,007	2009	Alemanha	Plano
Colector-152	0,73	3,8	0,024	2010	Portugal	Plano
Colector-153	0,69	6,2	0,009	2010	Portugal	Plano
Colector-154	0,72	3,6	0,013	2009	Portugal	Plano
Colector-155	0,7	3,6	0,01	2008	Portugal	Plano
Colector-156	0,71	3,6	0,014	2006	França	Plano
Colector-157	0,79	3,8	0,016	2005	França	Plano
Colector-158	0,77	4	0,012	2009	Alemanha	Plano
Colector-159	0,79	3,8	0,017	2009	Alemanha	Plano
Colector-160	0,8	4	0,011	2009	Alemanha	Plano
Colector-161	0,77	3,6	0,014	2009	Alemanha	Plano
Colector-162	0,78	3,7	0,018	2009	Alemanha	Plano
Colector-163	0,77	3,8	0,015	2007	Alemanha	Plano
Colector-164	0,77	3,8	0,015	2007	Alemanha	Plano
Colector-165	0,78	4,3	0,014	2007	Alemanha	Plano
Colector-166	0,78	4,3	0,014	2007	Alemanha	Plano
Colector-167	0,76	4,3	0,013	2007	Alemanha	Plano
Colector-168	0,7	4,9	0	1991	Portugal	Plano
Colector-169	0,8	3,9	0,01	2004	Austrália	Plano
Colector-170	0,84	6,3	0,028	2008	Austrália	Plano
Colector-171	0,79	5,7	0	1991	Portugal	Plano
Colector-172	0,84	6,4	0	2000	Portugal	Plano
Colector-173	0,8	3,8	0,018	2004	Austrália	Plano
Colector-174	0,7	3,7	0,009	2006	Austrália	Plano
Colector-175	0,8	4,3	0,006	2010	Espanha	Plano
Colector-176	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-177	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-178	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-179	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-180	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-181	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-182	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-183	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-184	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-185	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-186	0,73	1,5	0,017	2007	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-187	0,69	7,4	0,014	2008	Portugal	Plano
Colector-188	0,74	8,6	0	2000	Portugal	Plano

Colector-189	0,72	7,9	0	2000	Portugal	Plano
Colector-190	0,76	3,2	0,017	2009	Portugal	Plano
Colector-191	0,8	3,9	0,01	2007	Alemanha	Tubo de Vácuo
Colector-192	0,8	3,9	0,01	2007	Alemanha	Tubo de Vácuo
Colector-193	0,59	3,9	0,013	2008	Reino Unido	Plano
Colector-194	0,59	3,9	0,013	2008	Reino Unido	Plano
Colector-195	0,73	3,5	0,011	2009	Turquia	Plano
Colector-196	0,73	3,5	0,011	2009	Turquia	Plano
Colector-197	0,7	5	0,028	2009	Portugal	Plano
Colector-198	0,74	4,2	0,014	2009	Portugal	Plano
Colector-199	0,74	4,2	0,014	2009	Portugal	Plano
Colector-200	0,72	1	0,05	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-201	0,72	1	0,05	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-202	0,72	1	0,05	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-203	0,72	1	0,005	2010	Portugal	Tubo de Vácuo
Colector-204	0,64	7,3	0	1991	Portugal	Plano
Colector-205	0,67	5,8	0	1991	Portugal	Plano
Colector-206	0,66	6	0,022	2009	Portugal	Plano
Colector-207	0,73	3,8	0,015	2009	Portugal	Plano
Colector-208	0,77	3,5	0,017	2006	Áustria	Plano
Colector-209	0,66	4,5	0,002	2009	Portugal	Colector parabólico composto
Colector-210	0,72	3,9	0,007	2006	Itália	Plano
Colector-211	0,72	3,9	0,007	2006	Itália	Plano
Colector-212	0,71	3,7	0,013	2008	Alemanha	Plano
Colector-213	0,71	3,7	0,013	2008	Alemanha	Plano
Colector-214	0,71	3,7	0,013	2008	Alemanha	Plano
Colector-215	0,71	3,7	0,013	2008	Alemanha	Plano
Colector-216	0,73	3,4	0,011	2008	Alemanha	Plano
Colector-217	0,71	3,7	0,013	2008	Alemanha	plano
Colector-218	0,69	4,2	0,017	2008	Itália	Plano
Colector-219	0,78	4,4	0,017	2008	Eslováquia	plano
Colector-220	0,77	4,4	0,009	2006	Eslováquia	Plano
Colector-221	0,74	4,3	0,017	2008	Eslováquia	Plano
Colector-222	0,8	4,3	0,011	2009	Eslováquia	Plano
Colector-223	0,76	3,8	0,011	2009	Eslováquia	Plano
Colector-224	0,75	3,3	0,019	2007	Áustria	plano
Colector-225	0,75	3,7	0,011	2007	Áustria	plano
Colector-226	0,79	3,7	0,016	2009	Áustria	plano
Colector-227	0,79	3,7	0,016	2009	Áustria	plano
Colector-228	0,75	5	0	2010	Portugal	plano
Colector-229	0,74	7,9	0	1991	Portugal	plano
Colector-230	0,69	9	0	2000	Portugal	plano

Colector-231	0,79	5	0,001	2008	Portugal	plano
Colector-232	0,8	4,2	0,004	2006	Dinamarca	plano
Colector-233	0,8	4,2	0,004	2006	Dinamarca	plano
Colector-234	0,8	4,2	0,004	2006	Dinamarca	plano
Colector-235	0,76	3,5	0,005	2007	Dinamarca	plano
Colector-236	0,8	4,2	0,004	2006	Dinamarca	plano
Colector-237	0,64	0,9	0,001	2009	Alemanha	Tubo de Vácuo
Colector-238	0,64	0,9	0,001	2009	Alemanha	Tubo de Vácuo
Colector-239	0,74	4,2	0,014	2009	Portugal	plano
Colector-240	0,8	3,9	0,01	2007	Austrália	Plano
Colector-241	0,69	4,2	0,017	2010	Portugal	plano
Colector-242	0,76	4,1	0,014	2010	Portugal	plano
Colector-243	0,68	4,8	0,013	2009	Portugal	plano
Colector-244	0,77	3,7	0,017	2009	Portugal	plano
Colector-245	0,8	3,6	0,014	2009	Portugal	plano
Colector-246	0,8	3,8	0,018	2007	Austrália	plano
Colector-247	0,7	3,7	0,009	2007	Austrália	Plano
Colector-248	0,71	3,6	0,014	2008	Alemanha	plano
Colector-249	0,84	3,5	0,015	2010	Alemanha	plano
Colector-250	0,84	3,8	0,012	2009	Espanha	plano
Colector-251	0,84	3,8	0,012	2009	Espanha	plano
Colector-252	0,84	3,8	0,012	2009	Espanha	plano
Colector-253	0,84	3,8	0,012	2009	Espanha	plano
Colector-254	0,84	3,8	0,012	2009	Espanha	plano
Colector-255	0,75	3,4	0,016	2009	Portugal	plano
Colector-256	0,8	3,6	0,014	2006	Alemanha	plano
Colector-257	0,8	3,6	0,014	2006	Alemanha	plano
Colector-258	0,83	4,1	0,006	2008	Alemanha	plano
Colector-259	0,83	4,1	0,006	2008	Alemanha	plano
Colector-260	0,8	4,3	0,003	2005	Alemanha	plano
Colector-261	0,77	3,7	0,018	2010	Alemanha	plano
Colector-262	0,8	3,2	0,012	2007	Alemanha	plano
Colector-263	0,79	3,5	0,015	2008	Alemanha	Plano
Colector-264	0,72	3,6	0,014	2008	Portugal	Plano
Colector-265	0,72	3,6	0,014	2008	Portugal	Plano
Colector-266	0,76	3,5	0,016	2010	Portugal	Plano
Colector-267	0,73	4,3	0,014	2010	Portugal	Plano

Com os dados recolhidos foi possível organizar os colectores segundo o ano em que foi emitida certificação, Figura 24, permitindo uma visualização cronológica do número de colectores em análise. Neste conjunto 67% dos colectores recolhidos foram certificados em 2008, 2009 e 2010.

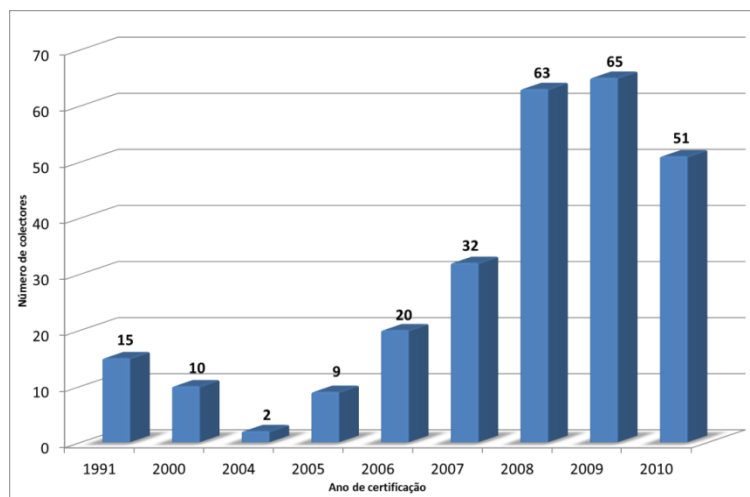


Figura 24 – Colectores do banco de dados distribuídos por ano de certificação.

Esta foi a amostra mais fidedigna que se pode reunir em circunstâncias de muita dificuldade em saber exactamente quais os colectores à venda no mercado do solar térmico em Portugal.

Entre 1991 e 2004 existem interrupções no banco de dados, existindo anos sem entrada de colectores no mercado devido à falta de informação.

No final do ano de 2003 a Solar Keymark iniciou a certificação de qualidade de colectores solares e sistemas tipo “kit”, (European Solar Thermal Industry Federation, 2003), apenas a partir desse ano foi criado o banco de dados da Solar Keymark com a informação disponível relativa aos colectores certificados. Anteriormente, não havia referências credíveis disponíveis para recolha de informação sobre colectores no mercado nacional.

A partir de 2006 com a saída do RCCTE (Decreto-Lei nº80/2006), que impõe a obrigatoriedade da colocação de colectores para o aquecimento de águas sanitárias, foi criado um “boom” no solar térmico nacional, aumentando a procura de produtos e consequentemente, aumentando a entrada de novas marcas e modelos disponíveis para comercialização.

Actualmente o website criado pelo programa Água Quente Solar para Portugal, (www.aguaquentesolar.com), contém um vasto conjunto de colectores solares térmicos certificados que ajudam na divulgação e promoção do solar térmico. Todos os colectores aí indicados até ao final de 2010 encontram-se inseridos no banco de dados deste estudo (excepto os colectores cujo certificado não se encontra disponível ou aqueles cujo certificado não contém informação técnica acerca do colector).

Para cada colector foi criado um ficheiro de texto de formato compatível com o software SolTerm, com a informação recolhida nos certificados e relatórios de ensaios dos respectivos colectores. Cada ficheiro, como se pode observar na Tabela 10, contém a marca e o modelo do colector, as características térmicas em ensaio normalizado, que correspondem aos valores de a1 e a2, as características ópticas em ensaio normalizado, onde é indicado o rendimento óptico do colector e os valores do modificador de ângulo transversal e longitudinal. Os valores do modificador de ângulo são indicados em intervalos de cinco graus, começando em zero e terminando em noventa graus. Quanto a características geométricas apenas é incluída (e necessária) a área de abertura do colector.

Sobre a certificação de cada um, é indicada a referência do certificado, o ano em que se realizou, a entidade certificadora, a validade do certificado e o país de origem². Nos casos em que se encontrava

² Neste contexto, país de origem de um colector significa o país no qual foi feito o pedido de certificação.

disponível o valor da temperatura de estagnação e a capacidade térmica efectiva dos colectores, foram também incluídas no ficheiro.

Tabela 10 – Exemplo dos ficheiro de dados de colectores formato SolTerm.

: Marca
: ----
ABC
:
: Modelo
: ----
XYZ
:
: Características térmicas em ensaio normalizado
: -----
: a1(W/m ² /K)
1.670
:
: a2(W/m ² /K ²)
0.0060
:
: Características ópticas em ensaio normalizado
: -----
: eficiência óptica (0..1)
0.582
:
: modificador de ângulo transversal em passos de 5°
1.00
1.00
1.00
1.01
1.03
1.05
1.08
1.16
1.25
1.25
1.25
1.25
1.24
1.21
1.17
0.88
0.58
0.29
0.00
:
: modificador de ângulo longitudinal em passos de 5°
1.00
1.00
1.00
1.00
0.99
0.99
0.99
0.98
0.97
0.96
0.95
0.93
0.91
0.87
0.82
0.62

0.41
0.20
0.00
:
:(reservado)
0.25
:
: Características geométricas
: -----
: área de abertura (m ²)
2.210
:
: Estratégia de seguimento do sol
: -----
: 0= não (fixo); 1= 1 eixo rotação horizontal; 2= 1 eixo rotação inclinado; 3= biaxial
0
:
: Certificação
: -----
sim
:
:Referência do certificado
011-7S828 R
:
:Entidade Certificadora
DIN CERTCO
:
Validade do certificado (aaaa-mm-dd)
30-04-2015
:
:Introdução de dados
LNEG
:
:Ano de certificação
2010
:
:País (Fabricante)
Portugal
:
:Temperatura de estagnação (°C)
215
:
: Capacidade térmica efectiva (kJ/m ² K)
78

Para a criação destes ficheiros utilizou-se o programa SolTerm que possui a opção de adicionar colectores, sejam eles certificados ou não. Para tal utilizou-se o editor disponibilizado e cuja interface se pode observar na imagem seguinte.

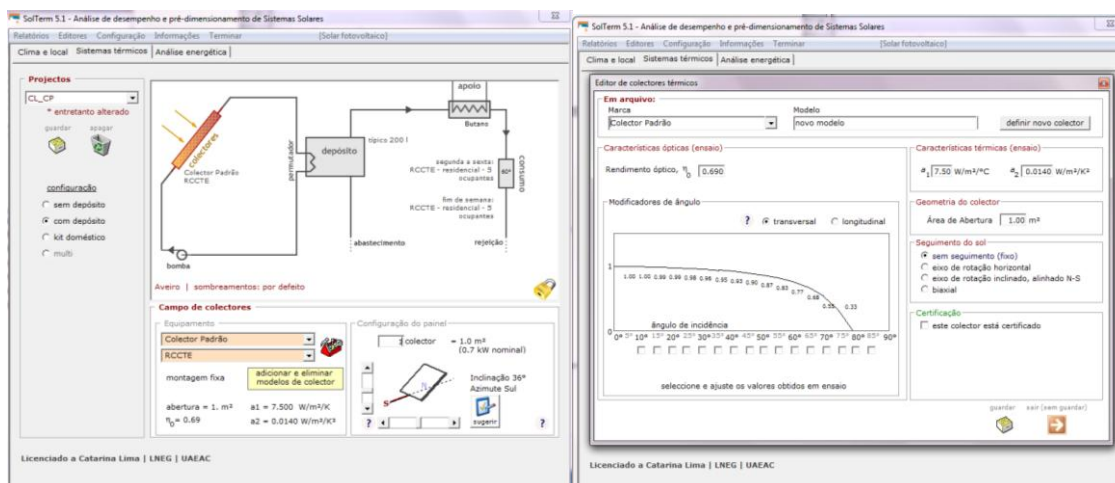


Figura 25 – Interface do SolTerm, opção de adicionar um novo colector.

11.2 Tratamento dos dados

Após a elaboração dos ficheiros individuais com as informações relativas aos 267 colectores, foi necessário realizar um tratamento de dados para facilitar e permitir analisar os colectores segundo os mesmos parâmetros.

Os colectores recolhidos de 1991 e 2000 possuem informação relativa ao coeficiente global de perdas, $F'U_L$, e não na forma de coeficiente global de perdas linear a_1 e coeficiente global de perdas quadrático a_2 . Os restantes colectores possuem os dois coeficientes de perdas térmicas a_1 e a_2 .

Para analisar todos os colectores através da mesma variável foi desenvolvida uma rotina na linguagem Visual Basic 6.0, (vd. Anexo 1), que calcula uma aproximação linear das curvas de rendimento de cada colector. O algoritmo realiza um ciclo para cada colector onde calcula uma aproximação linear da curva de rendimento através do método dos mínimos quadrados, gerando novos valores de rendimento óptico e de coeficiente global de perdas. Para tal recolhem-se os valores do rendimento óptico e dos coeficientes a_1 e a_2 dos colectores, e com esses valores obtém-se uma curva de rendimento de segundo grau. A gama explorada no eixo das abcissas, correspondente a $\left(\frac{T_m - T_a}{G}\right) \left[\frac{^\circ C m^2}{W}\right]$ e varia entre [0; 0,13]. Calcula-se os valores de rendimento instantâneo nesta gama para cinco valores de irradiação solar, (200,400,600,800,1000) [W/m²]. No passo seguinte é feita a aproximação linear das cinco curvas de rendimento, através do método dos mínimos quadrados, Figura 26.

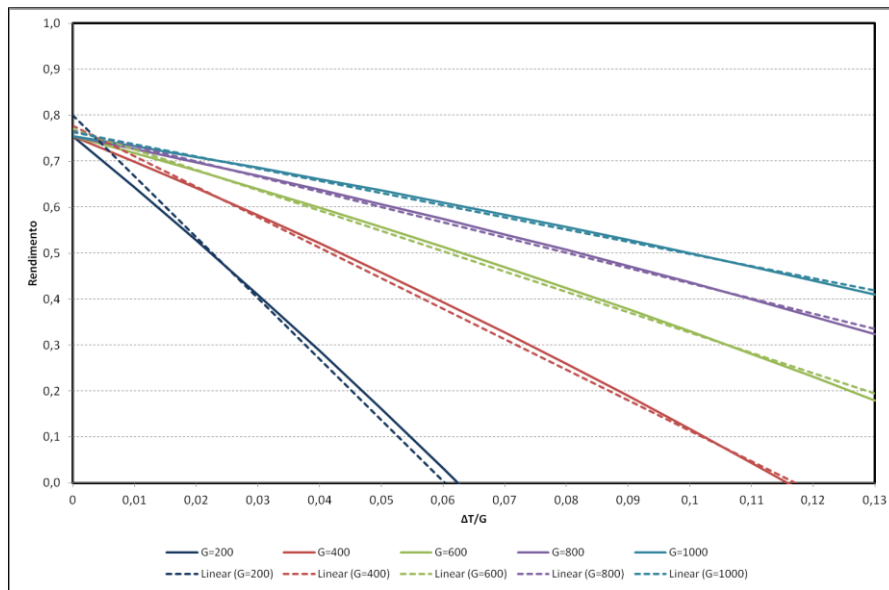


Figura 26 - Exemplo de curvas de rendimento quadráticas e lineares para cinco valores de irradiação solar.

Por fim calcula-se uma média dos valores de rendimento óptico e coeficiente global de perdas obtidos para as cinco irradiações, Tabela 11. Os valores médios finais vão ser os dados aplicados na análise feita no decorrer deste trabalho.

Como se verifica para o caso do exemplo, como o aumento da radiação incidente, menor vai ser a diferença entre as curvas de rendimento quadráticas e as aproximações lineares. Também se pode verificar que quanto maior for a radiação, maior vai ser o comprimento da curva, o que indica que para atingir a temperatura de estagnação necessita de uma maior diferença entre as temperaturas do fluido e do ar exterior.

Neste exemplo, a curva característica do colector de segundo grau é dada pela equação:

$$\eta = 0,755 - 4,398 \frac{\Delta T}{G} - 0,014G \left(\frac{\Delta T}{G} \right)^2$$

No final, a curva característica linear do colector é indicada pela equação:

$$\eta = 0,77 - 5,33 \frac{\Delta T}{G}$$

Após este processo de uniformização, foi possível representar o rendimento instantâneo de todos os colectores através da equação (12) de primeiro grau.

Devido à aproximação linear que se realizou, os novos valores de rendimento óptico, $F'\eta'_0$, são superiores aos valores teóricos originais, em média cerca de 2%.

Esta diferença de valores de rendimento óptico foi considerada pequena, assim sendo, os novos valores de $F'\eta'_0$ são utilizados daqui em diante sem referência ao erro inerente.

Tabela 11 – Tabela de rendimento óptico e coeficiente global de perdas obtido para cinco valores de irradiância solar e valores médios.

Valores de irradiação	200 W/m ²		400 W/m ²		600 W/m ²		800 W/m ²		1000 W/m ²		Média	
	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'U _i	F'η ₀
Colector-1	0,58	1,8	0,59	1,94	0,59	2,07	0,59	2,2	0,59	2,34	2,07	0,59
Colector-2	0,58	1,8	0,59	1,94	0,59	2,07	0,59	2,2	0,59	2,34	2,07	0,59
Colector-3	0,58	1,8	0,59	1,94	0,59	2,07	0,59	2,2	0,59	2,34	2,07	0,59
Colector-4	0,58	1,8	0,59	1,94	0,59	2,07	0,59	2,2	0,59	2,34	2,07	0,59
Colector-5	0,76	4,71	0,77	5,02	0,77	5,33	0,78	5,64	0,78	5,95	5,33	0,77
Colector-6	0,75	3,77	0,76	4,11	0,77	4,44	0,77	4,77	0,78	5,11	4,44	0,77
Colector-7	0,75	3,77	0,76	4,11	0,77	4,44	0,77	4,77	0,78	5,11	4,44	0,77
Colector-8	0,75	3,77	0,76	4,11	0,77	4,44	0,77	4,77	0,78	5,11	4,44	0,77
Colector-9	0,75	3,77	0,76	4,11	0,77	4,44	0,77	4,77	0,78	5,11	4,44	0,77
Colector-10	0,74	4,13	0,75	4,47	0,75	4,8	0,76	5,13	0,76	5,47	4,8	0,75
Colector-11	0,75	4,26	0,76	4,61	0,77	4,97	0,77	5,32	0,78	5,68	4,97	0,77
Colector-12	0,74	4,13	0,75	4,47	0,75	4,8	0,76	5,13	0,76	5,47	4,8	0,75
Colector-13	0,73	4,01	0,74	4,32	0,74	4,63	0,75	4,94	0,76	5,25	4,63	0,74
Colector-14	0,73	4,41	0,73	4,52	0,74	4,63	0,74	4,74	0,74	4,86	4,63	0,74
Colector-15	0,72	5,2	0,72	5,2	0,72	5,2	0,72	5,2	0,72	5,2	5,2	0,72
Colector-16	0,77	4,12	0,78	4,44	0,79	4,77	0,79	5,09	0,8	5,41	4,77	0,79
Colector-17	0,76	4,28	0,76	4,46	0,77	4,63	0,77	4,81	0,77	4,99	4,63	0,77
Colector-18	0,73	4,4	0,74	4,6	0,74	4,8	0,74	5	0,75	5,2	4,8	0,74
Colector-19	0,8	4,7	0,8	4,9	0,81	5,1	0,81	5,3	0,81	5,5	5,1	0,81
Colector-20	0,75	3,78	0,76	4,11	0,77	4,45	0,77	4,78	0,78	5,12	4,45	0,77
Colector-21	0,75	3,78	0,76	4,11	0,77	4,45	0,77	4,78	0,78	5,12	4,45	0,77
Colector-22	0,75	3,78	0,76	4,11	0,77	4,45	0,77	4,78	0,78	5,12	4,45	0,77
Colector-23	0,75	3,77	0,76	4,11	0,77	4,44	0,77	4,77	0,78	5,11	4,44	0,77
Colector-24	0,8	4,58	0,8	4,84	0,81	5,11	0,81	5,38	0,82	5,64	5,11	0,81
Colector-25	0,81	4,21	0,82	4,61	0,82	5,01	0,83	5,41	0,84	5,81	5,01	0,82
Colector-26	0,81	4,01	0,82	4,36	0,82	4,72	0,83	5,07	0,84	5,43	4,72	0,82
Colector-27	0,81	4,07	0,82	4,42	0,83	4,78	0,83	5,13	0,84	5,49	4,78	0,83
Colector-28	0,74	4,19	0,75	4,22	0,75	4,26	0,75	4,29	0,75	4,32	4,26	0,75
Colector-29	0,74	4,19	0,75	4,22	0,75	4,26	0,75	4,29	0,75	4,32	4,26	0,75
Colector-30	0,7	4,55	0,7	4,92	0,71	5,29	0,72	5,67	0,72	6,04	5,29	0,71
Colector-31	0,76	4,36	0,77	4,66	0,77	4,97	0,78	5,28	0,78	5,58	4,97	0,77
Colector-32	0,86	4,28	0,86	4,52	0,86	4,76	0,87	5	0,87	5,23	4,76	0,86
Colector-33	0,69	5,05	0,69	5,34	0,7	5,63	0,71	5,91	0,71	6,2	5,63	0,7
Colector-34	0,78	4,07	0,78	4,45	0,79	4,83	0,8	5,22	0,81	5,6	4,83	0,79
Colector-35	0,51	1,51	0,52	1,82	0,52	2,13	0,53	2,44	0,53	2,75	2,13	0,52
Colector-36	0,56	1,62	0,57	1,8	0,57	1,97	0,57	2,15	0,58	2,33	1,97	0,57
Colector-37	0,56	1,62	0,57	1,8	0,57	1,97	0,57	2,15	0,58	2,33	1,97	0,57
Colector-38	0,76	7,43	0,78	8,39	0,79	9,34	0,81	10,3	0,83	11,25	9,34	0,79
Colector-39	0,56	1,62	0,57	1,8	0,57	1,97	0,57	2,15	0,58	2,33	1,97	0,57
Colector-40	0,51	1,51	0,52	1,82	0,52	2,13	0,53	2,44	0,53	2,75	2,13	0,52

Valores de irradiação	200 W/m ²		400 W/m ²		600 W/m ²		800 W/m ²		1000 W/m ²		Média	
	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'U _i	F'η ₀
Colector-41	0,8	7,28	0,81	7,85	0,82	8,43	0,83	9,01	0,84	9,59	8,43	0,82
Colector-42	0,8	4,49	0,8	4,78	0,81	5,07	0,81	5,35	0,82	5,64	5,07	0,81
Colector-43	0,74	7,65	0,77	8,9	0,79	10,14	0,81	11,38	0,84	12,63	10,14	0,79
Colector-44	0,79	8,1	0,79	8,1	0,79	8,1	0,79	8,1	0,79	8,1	8,1	0,79
Colector-45	0,76	4,47	0,77	4,72	0,77	4,96	0,78	5,21	0,78	5,45	4,96	0,77
Colector-46	0,74	8,3	0,75	8,55	0,75	8,79	0,76	9,04	0,76	9,28	8,79	0,75
Colector-47	0,8	4,7	0,8	4,9	0,81	5,1	0,81	5,3	0,81	5,5	5,1	0,81
Colector-48	0,76	4,28	0,76	4,46	0,77	4,63	0,77	4,81	0,77	4,99	4,63	0,77
Colector-49	0,73	4,4	0,74	4,6	0,74	4,8	0,74	5	0,75	5,2	4,8	0,74
Colector-50	0,7	4,7	0,7	4,7	0,7	4,7	0,7	4,7	0,7	4,7	4,7	0,7
Colector-51	0,77	3,78	0,77	4,01	0,78	4,23	0,78	4,45	0,79	4,67	4,23	0,78
Colector-52	0,63	4,39	0,64	4,84	0,64	5,28	0,65	5,73	0,66	6,17	5,28	0,64
Colector-53	0,75	4,47	0,76	4,78	0,76	5,09	0,77	5,4	0,77	5,71	5,09	0,76
Colector-54	0,79	4,41	0,79	4,57	0,79	4,73	0,8	4,89	0,8	5,05	4,73	0,79
Colector-55	0,79	4,41	0,79	4,57	0,79	4,73	0,8	4,89	0,8	5,05	4,73	0,79
Colector-56	0,79	4,41	0,79	4,57	0,79	4,73	0,8	4,89	0,8	5,05	4,73	0,79
Colector-57	0,8	5,1	0,8	5,1	0,8	5,1	0,8	5,1	0,8	5,1	5,1	0,8
Colector-58	0,77	4,98	0,77	5,16	0,78	5,33	0,78	5,51	0,78	5,69	5,33	0,78
Colector-59	0,81	8,1	0,81	8,1	0,81	8,1	0,81	8,1	0,81	8,1	8,1	0,81
Colector-60	0,77	4,31	0,77	4,39	0,77	4,46	0,78	4,54	0,78	4,62	4,46	0,77
Colector-61	0,75	3,54	0,76	3,85	0,76	4,16	0,77	4,48	0,78	4,79	4,16	0,76
Colector-62	0,72	3,61	0,72	3,92	0,73	4,23	0,74	4,54	0,74	4,85	4,23	0,73
Colector-63	0,79	3,73	0,8	4,08	0,8	4,43	0,81	4,77	0,82	5,12	4,43	0,8
Colector-64	0,79	3,73	0,8	4,08	0,8	4,43	0,81	4,77	0,82	5,12	4,43	0,8
Colector-65	0,81	4,08	0,81	4,3	0,81	4,52	0,82	4,75	0,82	4,97	4,52	0,81
Colector-66	0,77	3,83	0,78	4,05	0,78	4,27	0,78	4,5	0,79	4,72	4,27	0,78
Colector-67	0,75	4,47	0,76	4,78	0,76	5,09	0,77	5,4	0,77	5,71	5,09	0,76
Colector-68	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	5	0,75
Colector-69	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	5	0,75
Colector-70	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	5	0,75
Colector-71	0,81	3,9	0,81	4,03	0,81	4,16	0,82	4,29	0,82	4,42	4,16	0,81
Colector-72	0,73	3,91	0,73	4,2	0,74	4,49	0,75	4,78	0,75	5,06	4,49	0,74
Colector-73	0,74	4,35	0,75	4,88	0,76	5,42	0,77	5,95	0,78	6,48	5,42	0,76
Colector-74	0,72	3,43	0,72	3,7	0,73	3,97	0,73	4,23	0,74	4,5	3,97	0,73
Colector-75	0,8	6,2	0,8	6,2	0,8	6,2	0,8	6,2	0,8	6,2	6,2	0,8
Colector-76	0,73	6,5	0,73	6,5	0,73	6,5	0,73	6,5	0,73	6,5	6,5	0,73
Colector-77	0,62	5,5	0,62	5,5	0,62	5,5	0,62	5,5	0,62	5,5	5,5	0,62
Colector-78	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-79	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-80	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-81	0,66	8,2	0,66	8,2	0,66	8,2	0,66	8,2	0,66	8,2	8,2	0,66

Valores de irradiação	200 W/m ²		400 W/m ²		600 W/m ²		800 W/m ²		1000 W/m ²		Média	
	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'U _i	F'η ₀
Colector-82	0,69	6,77	0,7	7,63	0,72	8,5	0,73	9,36	0,75	10,23	8,5	0,72
Colector-83	0,72	3,56	0,72	3,91	0,73	4,27	0,74	4,62	0,74	4,98	4,27	0,73
Colector-84	0,73	3,56	0,73	3,71	0,74	3,87	0,74	4,02	0,74	4,18	3,87	0,74
Colector-85	0,78	4,31	0,79	4,62	0,8	4,93	0,8	5,24	0,81	5,55	4,93	0,8
Colector-86	0,75	4,64	0,76	5,09	0,76	5,53	0,77	5,98	0,78	6,42	5,53	0,76
Colector-87	0,69	4,58	0,7	4,95	0,71	5,33	0,71	5,71	0,72	6,09	5,33	0,71
Colector-88	0,69	4,58	0,7	4,95	0,71	5,33	0,71	5,71	0,72	6,09	5,33	0,71
Colector-89	0,75	4,64	0,76	5,09	0,76	5,53	0,77	5,98	0,78	6,42	5,53	0,76
Colector-90	0,75	4,64	0,76	5,09	0,76	5,53	0,77	5,98	0,78	6,42	5,53	0,76
Colector-91	0,69	4,58	0,7	4,95	0,71	5,33	0,71	5,71	0,72	6,09	5,33	0,71
Colector-92	0,69	4,58	0,7	4,95	0,71	5,33	0,71	5,71	0,72	6,09	5,33	0,71
Colector-93	0,75	4,47	0,76	4,78	0,76	5,09	0,77	5,4	0,77	5,71	5,09	0,76
Colector-94	0,72	7,2	0,72	7,2	0,72	7,2	0,72	7,2	0,72	7,2	7,2	0,72
Colector-95	0,8	3,95	0,81	4,1	0,81	4,25	0,81	4,4	0,82	4,54	4,25	0,81
Colector-96	0,75	6,14	0,76	6,39	0,76	6,63	0,77	6,88	0,77	7,12	6,63	0,76
Colector-97	0,81	4,39	0,81	4,44	0,81	4,49	0,81	4,54	0,81	4,6	4,49	0,81
Colector-98	0,76	6,14	0,77	6,39	0,77	6,63	0,78	6,88	0,78	7,12	6,63	0,77
Colector-99	0,76	6,14	0,77	6,39	0,77	6,63	0,78	6,88	0,78	7,12	6,63	0,77
Colector-100	0,77	4,32	0,77	4,39	0,77	4,47	0,77	4,54	0,77	4,62	4,47	0,77
Colector-101	0,73	3,95	0,73	4,22	0,74	4,49	0,74	4,75	0,75	5,02	4,49	0,74
Colector-102	0,77	3,78	0,77	4,01	0,78	4,23	0,78	4,45	0,79	4,67	4,23	0,78
Colector-103	0,77	3,78	0,77	4,01	0,78	4,23	0,78	4,45	0,79	4,67	4,23	0,78
Colector-104	0,76	4,33	0,77	4,67	0,78	5	0,78	5,33	0,79	5,67	5	0,78
Colector-105	0,75	3,77	0,76	4,23	0,77	4,7	0,78	5,16	0,79	5,63	4,7	0,77
Colector-106	0,74	4,1	0,74	4,3	0,75	4,5	0,75	4,7	0,75	4,9	4,5	0,75
Colector-107	0,72	5,8	0,72	5,8	0,72	5,8	0,72	5,8	0,72	5,8	5,8	0,72
Colector-108	0,7	4,55	0,7	4,92	0,71	5,29	0,72	5,67	0,72	6,04	5,29	0,71
Colector-109	0,76	4,36	0,77	4,66	0,77	4,97	0,78	5,28	0,78	5,58	4,97	0,77
Colector-110	0,69	5,05	0,69	5,34	0,7	5,63	0,71	5,91	0,71	6,2	5,63	0,7
Colector-111	0,78	4,07	0,78	4,45	0,79	4,83	0,8	5,22	0,81	5,6	4,83	0,79
Colector-112	0,81	3,87	0,81	4,18	0,82	4,49	0,83	4,8	0,83	5,11	4,49	0,82
Colector-113	0,79	4,92	0,79	5,14	0,8	5,37	0,8	5,59	0,8	5,81	5,37	0,8
Colector-114	0,72	3,16	0,72	3,51	0,73	3,87	0,74	4,22	0,74	4,58	3,87	0,73
Colector-115	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	0,7	7	7	0,7
Colector-116	0,65	5,7	0,65	5,7	0,65	5,7	0,65	5,7	0,65	5,7	5,7	0,65
Colector-117	0,74	4,02	0,74	4,26	0,75	4,5	0,75	4,75	0,75	4,99	4,5	0,75
Colector-118	0,8	7,2	0,8	7,2	0,8	7,2	0,8	7,2	0,8	7,2	7,2	0,8
Colector-119	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76
Colector-120	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76
Colector-121	0,54	7	0,54	7	0,54	7	0,54	7	0,54	7	7	0,54
Colector-122	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76
Colector-123	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76

Valores de irradiação	200 W/m ²		400 W/m ²		600 W/m ²		800 W/m ²		1000 W/m ²		Média	
	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'U _i	F'η ₀
Colector-124	0,81	4,34	0,83	5,08	0,84	5,81	0,85	6,54	0,87	7,27	5,81	0,84
Colector-125	0,81	4,15	0,82	4,35	0,82	4,55	0,82	4,75	0,83	4,95	4,55	0,82
Colector-126	0,78	3,81	0,78	4,1	0,79	4,39	0,79	4,68	0,8	4,97	4,39	0,79
Colector-127	0,77	3,91	0,78	4,22	0,78	4,54	0,79	4,86	0,79	5,18	4,54	0,78
Colector-128	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76
Colector-129	0,59	6,53	0,6	6,87	0,61	7,2	0,61	7,53	0,62	7,87	7,2	0,61
Colector-130	0,73	5,49	0,73	5,58	0,74	5,67	0,74	5,76	0,74	5,84	5,67	0,74
Colector-131	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76
Colector-132	0,78	3,79	0,78	3,97	0,78	4,15	0,79	4,32	0,79	4,5	4,15	0,78
Colector-133	0,75	3,07	0,76	3,58	0,77	4,09	0,78	4,6	0,79	5,11	4,09	0,77
Colector-134	0,79	8,3	0,79	8,3	0,79	8,3	0,79	8,3	0,79	8,3	8,3	0,79
Colector-135	0,7	8,5	0,7	8,5	0,7	8,5	0,7	8,5	0,7	8,5	8,5	0,7
Colector-136	0,76	3,62	0,77	3,79	0,77	3,97	0,77	4,15	0,78	4,33	3,97	0,77
Colector-137	0,78	3,87	0,78	4,25	0,79	4,63	0,8	5	0,81	5,38	4,63	0,79
Colector-138	0,75	4,47	0,76	4,78	0,76	5,09	0,77	5,4	0,77	5,71	5,09	0,76
Colector-139	0,84	7,18	0,85	7,87	0,87	8,55	0,88	9,24	0,89	9,93	8,55	0,87
Colector-140	0,75	4,63	0,76	4,94	0,77	5,25	0,77	5,56	0,78	5,87	5,25	0,77
Colector-141	0,68	6,54	0,69	6,91	0,69	7,29	0,7	7,67	0,71	8,05	7,29	0,69
Colector-142	0,75	4,04	0,76	4,27	0,76	4,49	0,76	4,72	0,77	4,94	4,49	0,76
Colector-143	0,8	4,87	0,81	5,53	0,82	6,2	0,84	6,86	0,85	7,53	6,2	0,82
Colector-144	0,74	4,59	0,74	4,9	0,75	5,22	0,76	5,54	0,76	5,86	5,22	0,75
Colector-145	0,77	3,84	0,77	4,19	0,78	4,55	0,79	4,91	0,79	5,27	4,55	0,78
Colector-146	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76
Colector-147	0,75	4,19	0,75	4,48	0,76	4,77	0,76	5,05	0,77	5,34	4,77	0,76
Colector-148	0,76	3,75	0,76	3,98	0,77	4,2	0,77	4,42	0,77	4,64	4,2	0,77
Colector-149	0,76	3,75	0,76	3,98	0,77	4,2	0,77	4,42	0,77	4,64	4,2	0,77
Colector-150	0,75	2,12	0,75	2,23	0,75	2,34	0,75	2,45	0,76	2,56	2,34	0,75
Colector-151	0,79	4,41	0,79	4,57	0,79	4,73	0,8	4,89	0,8	5,05	4,73	0,79
Colector-152	0,74	4,34	0,75	4,88	0,76	5,41	0,77	5,94	0,78	6,47	5,41	0,76
Colector-153	0,69	6,41	0,7	6,61	0,7	6,81	0,7	7,01	0,71	7,21	6,81	0,7
Colector-154	0,73	3,91	0,73	4,2	0,74	4,49	0,75	4,77	0,75	5,06	4,49	0,74
Colector-155	0,71	3,77	0,71	3,99	0,72	4,22	0,72	4,44	0,72	4,66	4,22	0,72
Colector-156	0,72	3,95	0,72	4,26	0,73	4,58	0,73	4,89	0,74	5,21	4,58	0,73
Colector-157	0,8	4,12	0,8	4,47	0,81	4,81	0,82	5,16	0,82	5,5	4,81	0,81
Colector-158	0,77	4,27	0,78	4,53	0,78	4,8	0,79	5,07	0,79	5,33	4,8	0,78
Colector-159	0,8	4,2	0,81	4,57	0,81	4,95	0,82	5,33	0,83	5,71	4,95	0,81
Colector-160	0,8	4,27	0,81	4,51	0,81	4,75	0,81	5	0,82	5,24	4,75	0,81
Colector-161	0,78	3,9	0,78	4,21	0,79	4,52	0,79	4,83	0,8	5,14	4,52	0,79
Colector-162	0,79	4,12	0,79	4,52	0,8	4,92	0,81	5,32	0,82	5,72	4,92	0,8
Colector-163	0,77	4,12	0,78	4,44	0,79	4,77	0,79	5,09	0,8	5,41	4,77	0,79
Colector-164	0,77	4,12	0,78	4,44	0,79	4,77	0,79	5,09	0,8	5,41	4,77	0,79

Valores de irradiação	200 W/m ²		400 W/m ²		600 W/m ²		800 W/m ²		1000 W/m ²		Média	
	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'U _i	F'η ₀
Colector-165	0,79	4,59	0,8	4,9	0,8	5,21	0,81	5,52	0,81	5,83	5,21	0,8
Colector-166	0,79	4,59	0,8	4,9	0,8	5,21	0,81	5,52	0,81	5,83	5,21	0,8
Colector-167	0,76	4,58	0,77	4,87	0,77	5,16	0,78	5,45	0,78	5,74	5,16	0,77
Colector-168	0,7	4,9	0,7	4,9	0,7	4,9	0,7	4,9	0,7	4,9	4,9	0,7
Colector-169	0,81	4,08	0,81	4,3	0,81	4,52	0,82	4,75	0,82	4,97	4,52	0,81
Colector-170	0,85	6,88	0,86	7,5	0,87	8,12	0,88	8,74	0,89	9,36	8,12	0,87
Colector-171	0,79	5,7	0,79	5,7	0,79	5,7	0,79	5,7	0,79	5,7	5,7	0,79
Colector-172	0,84	6,4	0,84	6,4	0,84	6,4	0,84	6,4	0,84	6,4	6,4	0,84
Colector-173	0,81	4,2	0,81	4,6	0,82	5	0,83	5,4	0,84	5,8	5	0,82
Colector-174	0,7	3,88	0,71	4,08	0,71	4,28	0,71	4,48	0,72	4,68	4,28	0,71
Colector-175	0,8	4,41	0,8	4,54	0,8	4,67	0,81	4,81	0,81	4,94	4,67	0,8
Colector-176	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-177	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-178	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-179	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-180	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-181	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-182	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-183	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-184	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-185	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-186	0,74	1,9	0,75	2,27	0,75	2,63	0,76	3	0,77	3,37	2,63	0,75
Colector-187	0,7	7,71	0,7	8,02	0,71	8,33	0,72	8,64	0,72	8,95	8,33	0,71
Colector-188	0,74	8,6	0,74	8,6	0,74	8,6	0,74	8,6	0,74	8,6	8,6	0,74
Colector-189	0,72	7,9	0,72	7,9	0,72	7,9	0,72	7,9	0,72	7,9	7,9	0,72
Colector-190	0,76	3,58	0,77	3,95	0,78	4,33	0,78	4,71	0,79	5,09	4,33	0,78
Colector-191	0,81	4,08	0,81	4,3	0,81	4,52	0,82	4,75	0,82	4,97	4,52	0,81
Colector-192	0,81	4,08	0,81	4,3	0,81	4,52	0,82	4,75	0,82	4,97	4,52	0,81
Colector-193	0,6	4,15	0,6	4,44	0,61	4,73	0,61	5,02	0,62	5,31	4,73	0,61
Colector-194	0,6	4,15	0,6	4,44	0,61	4,73	0,61	5,02	0,62	5,31	4,73	0,61
Colector-195	0,73	3,71	0,73	3,95	0,74	4,19	0,74	4,44	0,75	4,68	4,19	0,74
Colector-196	0,73	3,71	0,73	3,95	0,74	4,19	0,74	4,44	0,75	4,68	4,19	0,74
Colector-197	0,71	5,64	0,72	6,26	0,73	6,88	0,75	7,51	0,76	8,13	6,88	0,73
Colector-198	0,75	4,47	0,76	4,78	0,76	5,09	0,77	5,41	0,77	5,72	5,09	0,76
Colector-199	0,75	4,47	0,76	4,78	0,76	5,09	0,77	5,41	0,77	5,72	5,09	0,76
Colector-200	0,74	2,08	0,76	3,19	0,78	4,3	0,8	5,41	0,82	6,52	4,3	0,78
Colector-201	0,74	2,08	0,76	3,19	0,78	4,3	0,8	5,41	0,82	6,52	4,3	0,78
Colector-202	0,74	2,08	0,76	3,19	0,78	4,3	0,8	5,41	0,82	6,52	4,3	0,78
Colector-203	0,72	1,08	0,72	1,2	0,72	1,31	0,73	1,42	0,73	1,53	1,31	0,72
Colector-204	0,64	7,3	0,64	7,3	0,64	7,3	0,64	7,3	0,64	7,3	7,3	0,64
Colector-205	0,67	5,8	0,67	5,8	0,67	5,8	0,67	5,8	0,67	5,8	5,8	0,67
Colector-206	0,66	6,46	0,67	6,95	0,68	7,44	0,69	7,92	0,7	8,41	7,44	0,68

Valores de irradiação	200 W/m ²		400 W/m ²		600 W/m ²		800 W/m ²		1000 W/m ²		Média	
	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'U _i	F'η ₀
Colector-207	0,74	4,11	0,74	4,45	0,75	4,78	0,76	5,11	0,76	5,44	4,78	0,75
Colector-208	0,78	3,87	0,78	4,25	0,79	4,63	0,8	5	0,81	5,38	4,63	0,79
Colector-209	0,66	4,54	0,66	4,59	0,66	4,63	0,66	4,68	0,66	4,72	4,63	0,66
Colector-210	0,72	4,02	0,72	4,18	0,72	4,33	0,73	4,48	0,73	4,64	4,33	0,72
Colector-211	0,72	4,02	0,72	4,18	0,72	4,33	0,73	4,48	0,73	4,64	4,33	0,72
Colector-212	0,72	3,98	0,72	4,27	0,73	4,56	0,73	4,85	0,74	5,14	4,56	0,73
Colector-213	0,72	3,98	0,72	4,27	0,73	4,56	0,73	4,85	0,74	5,14	4,56	0,73
Colector-214	0,72	3,98	0,72	4,27	0,73	4,56	0,73	4,85	0,74	5,14	4,56	0,73
Colector-215	0,72	3,98	0,72	4,27	0,73	4,56	0,73	4,85	0,74	5,14	4,56	0,73
Colector-216	0,73	3,69	0,74	3,93	0,74	4,17	0,75	4,42	0,75	4,66	4,17	0,74
Colector-217	0,72	3,98	0,72	4,27	0,73	4,56	0,73	4,85	0,74	5,14	4,56	0,73
Colector-218	0,69	4,58	0,7	4,95	0,71	5,33	0,71	5,71	0,72	6,09	5,33	0,71
Colector-219	0,78	4,77	0,79	5,15	0,8	5,52	0,8	5,9	0,81	6,28	5,52	0,8
Colector-220	0,78	4,63	0,78	4,82	0,78	5,02	0,79	5,21	0,79	5,4	5,02	0,78
Colector-221	0,75	4,65	0,75	5,03	0,76	5,41	0,77	5,78	0,78	6,16	5,41	0,76
Colector-222	0,81	4,58	0,81	4,83	0,82	5,07	0,82	5,31	0,82	5,56	5,07	0,82
Colector-223	0,77	4,05	0,77	4,29	0,78	4,54	0,78	4,78	0,79	5,02	4,54	0,78
Colector-224	0,75	3,67	0,76	4,08	0,77	4,49	0,78	4,9	0,78	5,31	4,49	0,77
Colector-225	0,76	3,97	0,76	4,2	0,77	4,44	0,77	4,67	0,78	4,91	4,44	0,77
Colector-226	0,8	4,06	0,8	4,41	0,81	4,75	0,82	5,1	0,82	5,44	4,75	0,81
Colector-227	0,8	4,06	0,8	4,41	0,81	4,75	0,82	5,1	0,82	5,44	4,75	0,81
Colector-228	0,75	4,99	0,75	4,99	0,75	4,99	0,75	4,99	0,75	4,99	4,99	0,75
Colector-229	0,74	7,9	0,74	7,9	0,74	7,9	0,74	7,9	0,74	7,9	7,9	0,74
Colector-230	0,69	9	0,69	9	0,69	9	0,69	9	0,69	9	9	0,69
Colector-231	0,79	5,02	0,79	5,04	0,79	5,07	0,79	5,09	0,79	5,11	5,07	0,79
Colector-232	0,8	4,26	0,8	4,35	0,8	4,44	0,8	4,52	0,81	4,61	4,44	0,8
Colector-233	0,8	4,26	0,8	4,35	0,8	4,44	0,8	4,52	0,81	4,61	4,44	0,8
Colector-234	0,8	4,26	0,8	4,35	0,8	4,44	0,8	4,52	0,81	4,61	4,44	0,8
Colector-235	0,76	3,64	0,77	3,75	0,77	3,86	0,77	3,97	0,77	4,08	3,86	0,77
Colector-236	0,8	4,26	0,8	4,35	0,8	4,44	0,8	4,52	0,81	4,61	4,44	0,8
Colector-237	0,64	0,91	0,64	0,93	0,64	0,95	0,64	0,97	0,64	1	0,95	0,64
Colector-238	0,64	0,91	0,64	0,93	0,64	0,95	0,64	0,97	0,64	1	0,95	0,64
Colector-239	0,75	4,47	0,76	4,78	0,76	5,09	0,77	5,4	0,77	5,71	5,09	0,76
Colector-240	0,81	4,08	0,81	4,3	0,81	4,52	0,82	4,75	0,82	4,97	4,52	0,81
Colector-241	0,7	4,55	0,7	4,92	0,71	5,29	0,72	5,67	0,72	6,04	5,29	0,71
Colector-242	0,76	4,36	0,77	4,66	0,77	4,97	0,78	5,28	0,78	5,58	4,97	0,77
Colector-243	0,69	5,05	0,69	5,34	0,7	5,63	0,71	5,91	0,71	6,2	5,63	0,7
Colector-244	0,78	4,07	0,78	4,45	0,79	4,83	0,8	5,22	0,81	5,6	4,83	0,79
Colector-245	0,81	3,87	0,81	4,18	0,82	4,49	0,83	4,8	0,83	5,11	4,49	0,82
Colector-246	0,81	4,2	0,81	4,6	0,82	5	0,83	5,4	0,84	5,8	5	0,82
Colector-247	0,7	3,88	0,71	4,08	0,71	4,28	0,71	4,48	0,72	4,68	4,28	0,71

Valores de irradiação	200 W/m ²		400 W/m ²		600 W/m ²		800 W/m ²		1000 W/m ²		Média	
	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'η ₀	F'U _i	F'U _i	F'η ₀
Colector-248	0,72	3,95	0,72	4,26	0,73	4,58	0,73	4,89	0,74	5,21	4,58	0,73
Colector-249	0,85	3,82	0,86	4,16	0,86	4,51	0,87	4,85	0,88	5,19	4,51	0,86
Colector-250	0,84	4,04	0,85	4,31	0,85	4,57	0,86	4,84	0,86	5,11	4,57	0,85
Colector-251	0,84	4,04	0,85	4,31	0,85	4,57	0,86	4,84	0,86	5,11	4,57	0,85
Colector-252	0,84	4,04	0,85	4,31	0,85	4,57	0,86	4,84	0,86	5,11	4,57	0,85
Colector-253	0,84	4,04	0,85	4,31	0,85	4,57	0,86	4,84	0,86	5,11	4,57	0,85
Colector-254	0,84	4,04	0,85	4,31	0,85	4,57	0,86	4,84	0,86	5,11	4,57	0,85
Colector-255	0,75	3,76	0,76	4,11	0,77	4,47	0,77	4,82	0,78	5,18	4,47	0,77
Colector-256	0,81	3,91	0,81	4,22	0,82	4,53	0,83	4,84	0,83	5,16	4,53	0,82
Colector-257	0,81	3,91	0,81	4,22	0,82	4,53	0,83	4,84	0,83	5,16	4,53	0,82
Colector-258	0,83	4,21	0,83	4,33	0,83	4,46	0,84	4,58	0,84	4,7	4,46	0,83
Colector-259	0,83	4,21	0,83	4,33	0,83	4,46	0,84	4,58	0,84	4,7	4,46	0,83
Colector-260	0,8	4,38	0,8	4,46	0,8	4,53	0,81	4,6	0,81	4,68	4,53	0,8
Colector-261	0,77	4,07	0,78	4,47	0,79	4,87	0,8	5,27	0,8	5,67	4,87	0,79
Colector-262	0,81	3,49	0,81	3,75	0,82	4,01	0,82	4,27	0,83	4,53	4,01	0,82
Colector-263	0,8	3,83	0,81	4,16	0,81	4,49	0,82	4,83	0,83	5,16	4,49	0,81
Colector-264	0,73	3,91	0,74	4,22	0,74	4,53	0,75	4,84	0,75	5,15	4,53	0,74
Colector-265	0,73	3,91	0,74	4,22	0,74	4,53	0,75	4,84	0,75	5,15	4,53	0,74
Colector-266	0,77	3,84	0,77	4,19	0,78	4,55	0,79	4,91	0,79	5,27	4,55	0,78
Colector-267	0,74	4,59	0,74	4,9	0,75	5,22	0,76	5,54	0,76	5,86	5,22	0,75

11.3 Características da amostra

Após o tratamento dos dados foi realizada uma análise estatística dos colectores que se seleccionaram para este estudo.

Estão representados três tipos de colectores solares, colectores planos (com cobertura), tubos de vácuo e concentrador parabólico composto. Quanto a esses tipos de colectores, o banco de dados apresenta a seguinte distribuição, Figura 27.

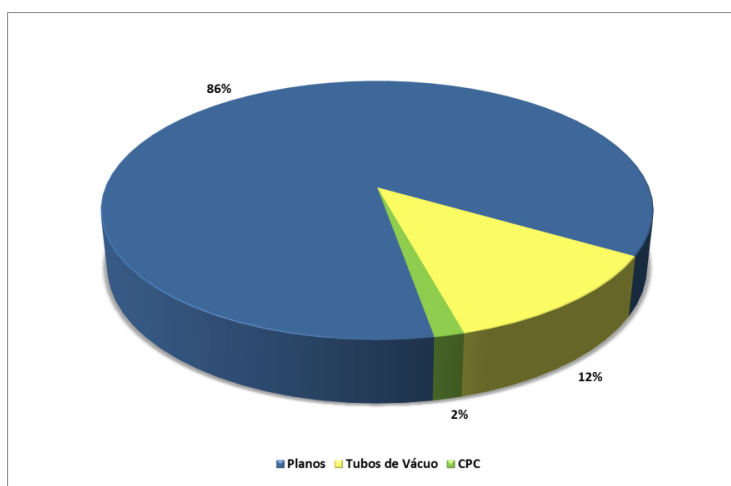


Figura 27 – Colectores no banco de dados, percentagem de cada tipo de colector presente.

Nesta amostra 86% são colectores do tipo plano, que é o tipo de colector mais comum, (Portal das Energias Renováveis), e mais amplamente utilizado (Eurofix Solutions). Dos restantes colectores, 12% são do tipo tubos de vácuo e apenas 2% são do tipo concentrador parabólico composto.

O banco de dados contém colectores de 14 países origem, Figura 28. Neste caso, o país de origem de um colector não indica que seja o país de fabrico, significa sim que a empresa ou entidade que solicitou a certificação do colector em causa tem uma nacionalidade e essa é definida como o país de origem. Por vezes a origem coincide com o país de fabrico dos colectores, mas nem sempre isso se verifica.

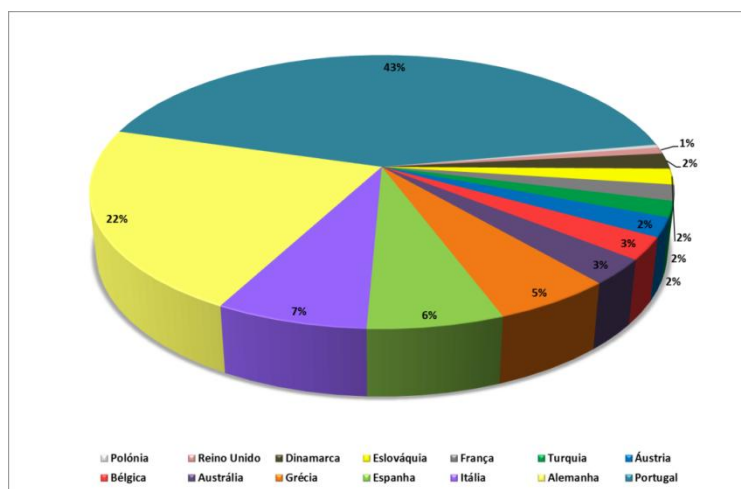


Figura 28 - Colectores no banco de dados, percentagem de colectores segundo o país de origem.

Portugal é responsável por 43% dos 267 colectores em estudo, de seguida a Alemanha contém 22%, a Itália 7%, a Espanha 6% e a Grécia 5%. Os restantes países, (Austrália, Bélgica, Áustria, Turquia, França, Eslováquia, Dinamarca, Reino Unido e Polónia) exibem uma percentagem inferior a 5%.

Analisando a origem das certificações dos colectores em estudo obteve-se a Figura 29Figura 28; este não contém a totalidade da amostra pois os colectores de 1991 e 2000 não foram submetidos ao processo de certificação, apenas 242 dos colectores foram certificados. A entidade certificadora Alemã, DIN CERTCO é responsável pela maior quantidade de certificações, 61% destas, a entidade Portuguesa, CERTIF certificou 30% dos colectores, enquanto a Italiana ICIM certificou 5% e a entidade Grega ELOT certificou apenas 4%.

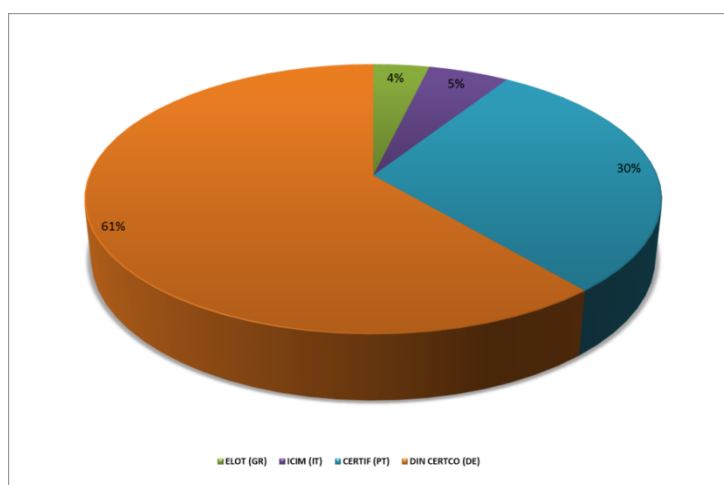


Figura 29 - Colectores no banco de dados, percentagem de colectores por entidade certificadora.

11.4 Resultados

Após a preparação e o tratamento do banco de dados foi possível proceder à análise da evolução dos colectores. Para essa análise foram seleccionados os parâmetros independentes das condições exteriores, responsáveis por fazer variar a o rendimento dos colectores. Designadamente o rendimento óptico e o coeficiente global de perdas.

Os dados relativos a esses dois parâmetros foram organizados segundo o ano de certificação.

11.4.1 Rendimento óptico

Os valores de rendimento óptico foram obtidos através do programa feito em Visual Basic já mencionado. Da representação pelos anos de certificação, Figura 30, é possível apreender o nível de dispersão dos rendimentos ópticos em cada ano.

Ao longo do período considerado a evolução global foi irregular: uns anos apresentaram grande variedade de rendimentos ópticos, outros apresentam valores mais concentrados. Em 2004 é observada a menor dispersão, enquanto que 2008 revela ser o ano com valores mais dispersos.

Nesta amostra existem colectores com rendimento óptico entre os 52% e nenhum superior a 87%.

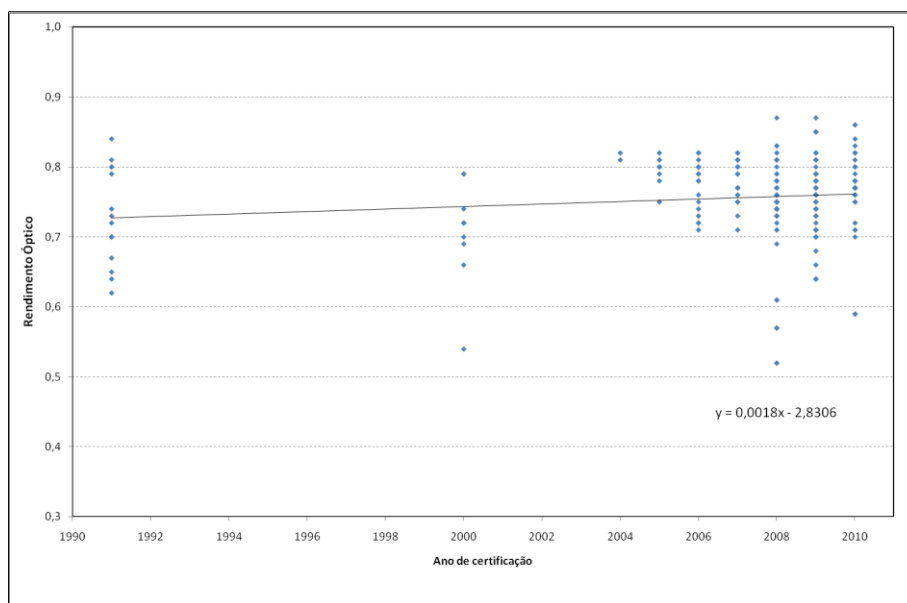


Figura 30 – Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por ano de certificação.

No intervalo contínuo entre 2004 e 2010, os valores máximos de rendimento óptico correspondem aos últimos 3 anos. No entanto, nesses anos também se verifica a entrada de colectores no mercado com valores muito baixos.

Através da linha de tendência verifica-se um ligeiro crescimento nos valores de rendimento óptico ao longo dos anos. Esse comportamento traduz uma melhoria nas propriedades de transmissibilidade da cobertura e da absorvidade da placa absorvora no período entre 1991 e 2010. Contudo ao longo de 19 anos o aperfeiçoamento da componente óptica dos colectores, não revela ser significativo.

Os colectores com rendimento óptico inferior a 60% representam valores muito baixo, mesmo para colectores do tipo tubo de vácuo. Em 2008 e 2010 não seria de esperar a presença de colectores com rendimento óptico tão baixo.

11.4.2 Coeficiente Global de Perdas

Na distribuição anual dos valores do coeficiente global de perdas, é possível constatar que para este parâmetro a dispersão em cada ano é muito acentuada. Os colectores da amostra apresentam coeficientes entre os 10,14 e os 0,95 W/m²K. Sendo 2008 o ano com maior dispersão e 2004 ano de menor.

Uma tendência linear calculada sobre estes dados sugere uma descida dos valores do coeficiente entre 1990 a 2010, aproximadamente 2 W/m²K. Essa descida traduziria uma melhoria nos coeficientes térmicos, i.e. menos perdas do colector para a atmosfera (contudo a incerteza associada a esta tendência é grande, ver adiante).

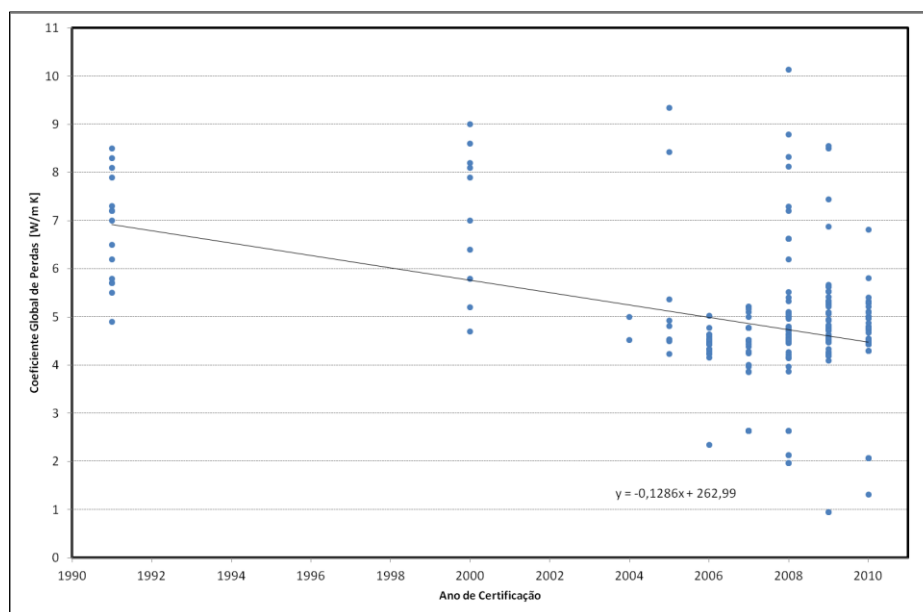


Figura 31 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por ano de certificação.

Apesar da diminuição de perdas sugerida pelos dados, nos últimos anos ainda entraram no mercado colectores com elevadas perdas térmicas especialmente em 2005, 2008 e 2009.

11.5 Análise

Para analisar os resultados obtidos com menos perturbação pela dispersão que se verifica na Figura 30 e Figura 31, e de certa forma contornar a diferença entre a dimensão das amostras anuais (em especial antes de 2006), os dados foram organizados em outro tipo de gráfico. Os valores de rendimento óptico, coeficiente global de perdas, temperatura de estagnação e capacidade térmica efectiva foram organizados em gráficos do tipo estatística descritiva designado por “box plot” ou “box and whiskers”, (caixa e bigodes). É uma maneira de representar e comparar graficamente grandes grupos de dados numéricos através de cinco parâmetros estatísticos: os quartis 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, (mínimo, Q1, Q2, Q3 e máximo) da amostra. Neste tipo de gráfico (Figura 32), a parte inferior e superior da caixa referem-se ao percentil 25% e 75%, isto é os quartis Q1e Q3 respectivamente. A linha/ponto central da caixa representam Q2, isto é o valor abaixo ou acima do qual se encontram 50% dos dados, também conhecido como mediana.

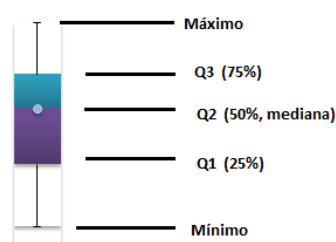


Figura 32 – Exemplo de uma representação do tipo box plot.

Os espaçamentos entre quartis permitem uma percepção do grau de dispersão e da assimetria da distribuição dos dados. As extremidades, ou “bigodes”, permitem uma percepção da gama total dos dados.

A representação em box plot tem a vantagem de ocupar “pouco espaço” fazendo um resumo total da amostra em causa, e é particularmente útil para comparar distribuições entre vários grupos ou conjuntos de dados. A análise desses gráficos pode ser feita em termos da distância entre a mediana e os lados do rectângulo e entre a mediana e os extremos das linhas que saem dos lados dos (bigodes). Através dessas observações é possível apreciar em resumo a assimetria e dispersão dos dados, (Martins, 2000).

11.5.1 Rendimento óptico

Para a análise do rendimento óptico em função do ano de certificação foi obtido a Figura 33, nesta a distribuição dos valores é assimétrica, verificando-se anos com pequenas amplitudes de valores e outros com grande dispersão dos valores.

Para este caso o valor esperado (média) do rendimento óptico é 75,6% tendo uma variância de 4%.

São salientes dois períodos, um contendo os valores de rendimento óptico referentes a 1991 e 2000 e outro correspondente ao intervalo de 2004 a 2010.

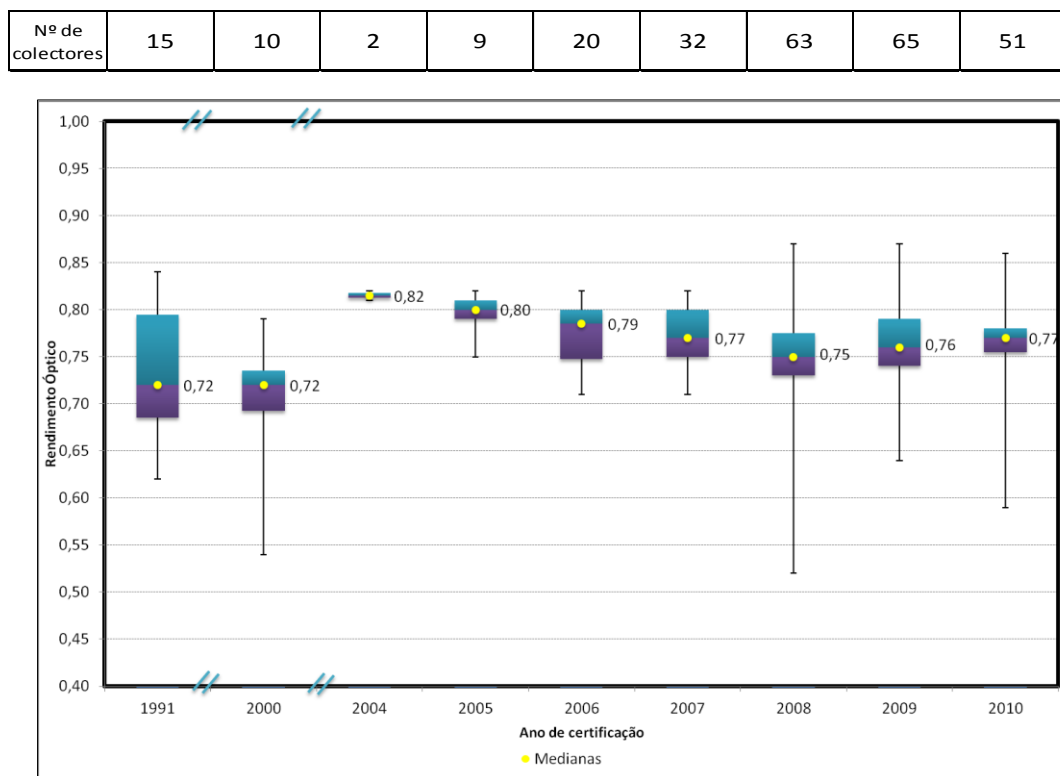


Figura 33 – Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por ano de certificação.

No primeiro período, as medianas do rendimento óptico têm um valor igual a 72%, inferior a todos os valores de mediana do intervalo de 2004 a 2010. Neste último intervalo as medianas variam entre 75% e 82%, mas não apresentam uma evolução contínua ao longo do tempo.

O aumento verificado entre os dois períodos, é relevante, no entanto entre 2004 e 2008 as medianas diminuíram. Tendo em conta o baixo número de colectores representados em 2004 e 2005, a amostra pode não reflectir o comportamento real do rendimento óptico nesses anos. Entre 2006 e 2010 o número de colectores aumenta, sendo uma amostra mais representativa do mercado real.

Em 1991, 2000, 2008, 2009 e 2010 são observados os conjuntos de valores mais dispersos.

De 2008 a 2010 os valores de rendimento são superiores aos restantes, tanto em valor máximo, mediana e mínimo. Relacionando as informações deste gráfico com a distribuição do número de colectores segundo o ano de certificação, Figura 33, observa-se que 2009 é o ano com maior número de colectores certificados, seguido de 2008. A dispersão máxima de valores ocorreu em 2008, o que indica que apesar da grande quantidade de produtos certificados nesse ano, não reflectem as melhores características de rendimento óptico. Por outro lado 1991 é o ano com maior dispersão entre Q1 e Q3, tendo diminuído esse intervalo em 2000, o que revela uma evolução positiva nos parâmetros ópticos por concentrar os dados, mas desfavorável nos valores máximos e mínimos dos colectores nesse ano. Era de esperar que em 9 anos os valores de rendimento óptico fossem melhorando paulatinamente, o que objectivamente não se confirmou.

Em 2004 e 2005 a pequena dispersão pode ser explicada pelo pequeno número de colectores certificados nesses anos, no entanto em 2010 (51 colectores), o estreitamento da dispersão é um sinal de evolução nas características ópticas dos colectores.

Na Figura 34, foram representados de novo os resultados relativos ao rendimento óptico segundo o ano de certificação, mas distinguindo o tipo de colector.

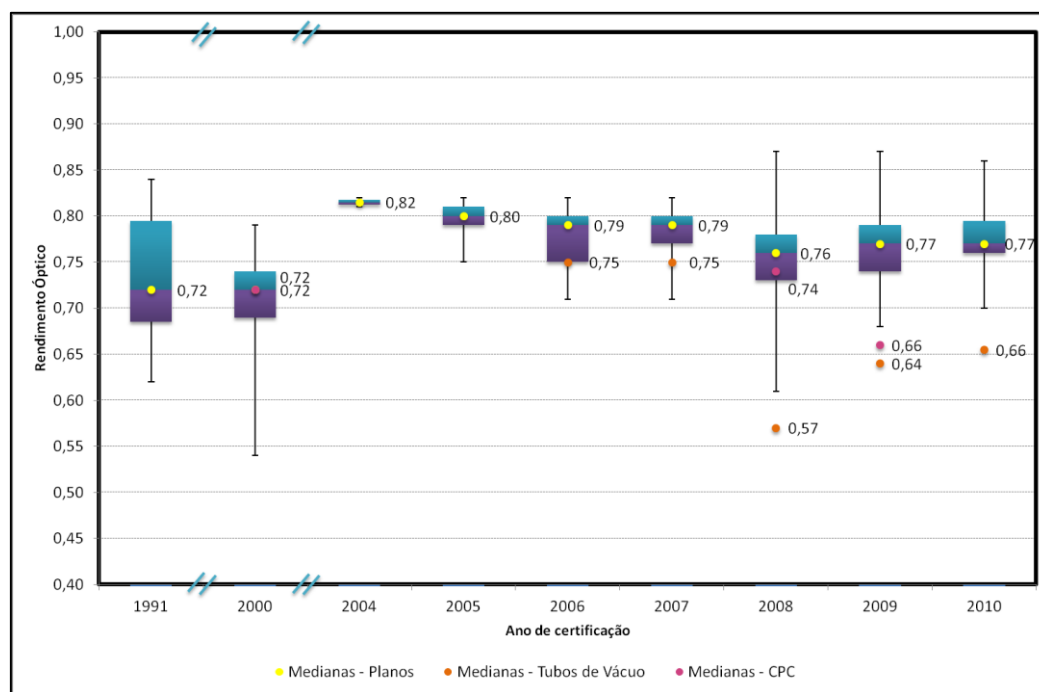


Figura 34 – Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por ano de certificação (segundo o tipo de colector).

Os colectores planos apresentam os valores mais elevados de rendimento óptico, mantendo aproximadamente os mesmos valores de medianas e dispersão que na Figura 33.

Tal como mencionado anteriormente, os colectores planos representam 86% da amostra, os restantes 14% correspondem a colectores tubo de vácuo e concentradores parabólicos compostos. Como o número de colectores de tubos de vácuo e colectores parabólicos compostos certificados em alguns anos são muito baixos ou mesmo inexistentes, não seria adequado fazer uma representação em box plot para esse tipo de colectores, sendo representadas apenas as medianas.

Os tubos de vácuo revelam valores entre os 57% e os 75%, verificando-se que em 2008 foram certificados os colectores com menor valor de RO, tendo aumentado os valores dos colectores certificados nos dois anos seguintes.

Tendo sempre em conta que há poucos dados para colectores parabólicos compostos, nota-se que a Figura 34 sugere que os valores de rendimento óptico se mantiveram estáveis, existindo apenas um aumento de 2% no período de 8 anos.

Para melhorar a observação dos dados foram ainda classificados os colectores planos em selectivos e não selectivos. Como em muitos casos não era referido no certificado a selectividade (ou não) do colector, foi estipulada a condição que colectores com coeficiente global de perdas até $6,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ são selectivos, do qual se obteve a seguinte tabela.

Tabela 12 – Número de colectores no banco de dados tendo em conta a selectividade da placa absorvora.

Colectores	Número de elementos
Planos selectivos	200
Planos não selectivos	30
Tubos de vácuo	33
CPC	4

Com este critério, o maior grupo é representado pelo tipo plano selectivo com 200 colectores.

No gráfico 35 observa-se a evolução do rendimento óptico dos colectores planos selectivos e não selectivos. Os dados sugerem que o rendimento óptico não varia com a selectividade.

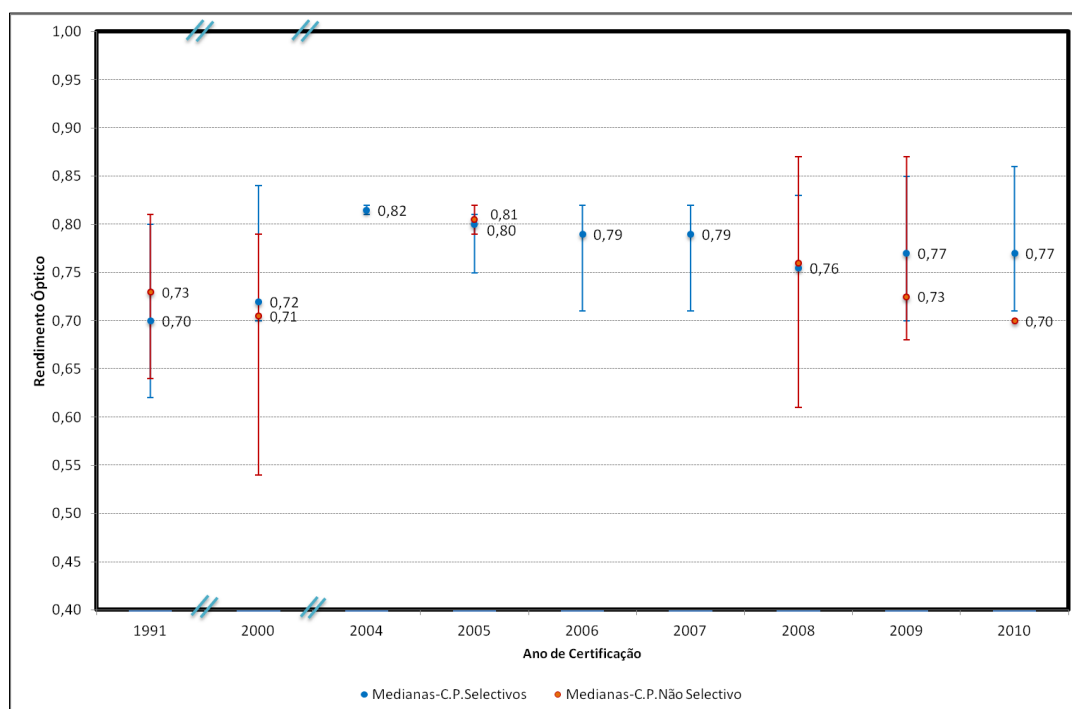


Figura 35 - Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores planos por ano de certificação (segundo a selectividade da placa absorvora).

O revestimento selectivo no absorvora é utilizado de modo a aumentar o coeficiente de absorção nos comprimentos de onda da radiação visível. Este revestimento permite também diminuir o coeficiente de emissividade nos comprimentos de onda do infravermelho.

Como já referido, o rendimento óptico é produto da transmissividade da cobertura com a absorvabilidade da placa. Nos colectores selectivos o rendimento óptico deveria então ser próximo ou superior ao dos colectores não selectivos, o que não se verifica em 1991 e 2005. Apenas nos últimos dois anos se verificam valores conforme o esperado, o que em princípio traduzirá uma melhoria no tratamento das placas absorvoras.

Para analisar os resultados segundo a origem dos colectores, obteve-se a Figura 36.

Em termos medianos, a percentagem de radiação incidente que pode ser convertida pelo colector encontra-se entre os 74% e os 81%, excepto no caso dos dois colectores do Reino Unido, com rendimento óptico nos 61%.

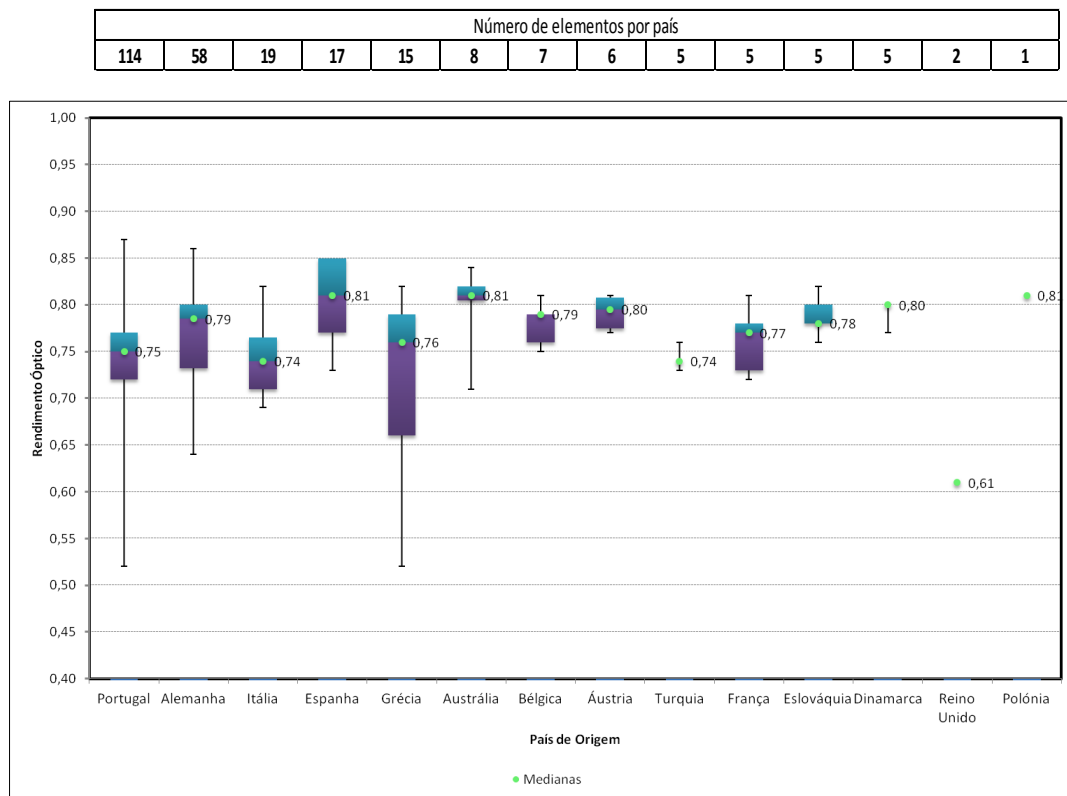


Figura 36 - Gráfico da distribuição do rendimento óptico dos colectores por país de origem.

Tal como já discutido, o país de onde é oriundo o maior número de colectores na amostra é Portugal. Este contém os valores mais elevados e mais baixos de rendimento óptico deste banco de dados. No entanto a sua baixa dispersão entre Q1 e Q3, tendo em conta o elevado número de elementos, sugere sinais de maturidade no fabrico de colectores de origem portuguesa.

A Alemanha é o segundo principal representante de colectores neste estudo e estes apresentam rendimentos ópticos entre os 64 e os 86%, com mediana de 79%. Com origem em Itália registam-se 19 colectores com valor de rendimento óptico mediano de 74%, de Espanha provêm 17 colectores com um dos valores mais altos de mediana, 81%. A Grécia é o país com maior dispersão dos valores no seu intervalo entre Q1 e Q3, apresentando um valor mínimo tão baixo quanto em Portugal, 52%.

Os restantes países apresentam menores dispersões, contudo não correspondem a muitos colectores considerados, dificultando a análise comparativa entre os diferentes países de origem. No caso particular do Reino Unido, apenas se inclui dois colectores. São ambos do tipo plano e foram certificados em 2008, tendo um rendimento óptico de 61%.

11.5.2 Coeficiente Global de Perdas

O valor do coeficiente global de perdas, traduz as perdas de calor devido à estrutura e ao isolamento térmico do colector. Quanto menor for o valor desse coeficiente, menor vão ser as perdas de calor para o ambiente.

Para a análise deste coeficiente foi representada a evolução segundo o ano de certificação dos colectores, Figura 37.

Nesta amostra o valor esperado de coeficiente global de perdas é $4,87 \text{ W/m}^2\text{K}$, com uma variância de $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

No gráfico verifica-se uma diferença significativa entre os valores de 1991 e 2000 para os valores do intervalo de 2004 a 2010. Os colectores de 1991 e 2000 apresentam coeficientes de perdas térmicas muito superiores ao esperado, enquanto no período seguinte os valores estão próximos deste.

A dispersão dos valores entre Q1 e Q3 é claramente superior em 1991 e 2000 que nos restantes anos, (á excepção de 2007 que apresenta valores muito dispersos entre Q1 e Q2).

Os valores máximos do coeficiente de perdas foram atingidos em 2005 e 2008. Os mínimos inferiores foram registados em 2009 e 2010.

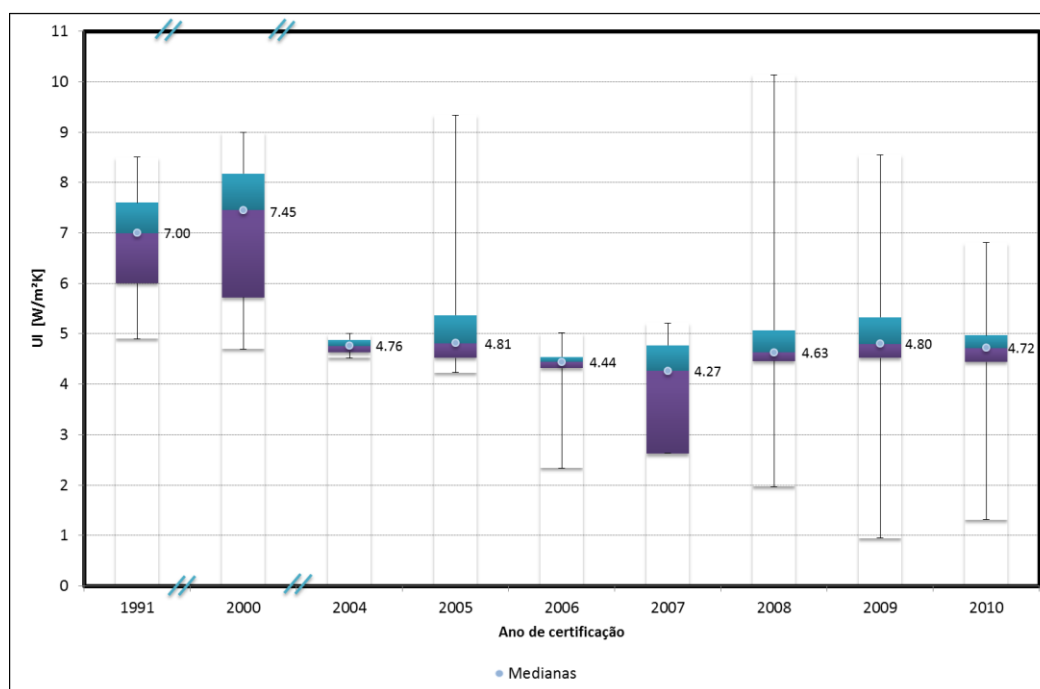


Figura 37 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por ano de certificação.

O ano com maior dispersão total dos valores foi 2008, nesse ano foram certificados colectores com coeficientes globais de perdas entre os $1,97$ e os $10,14 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Entre 1991 e 2000 os valores de coeficiente de perdas aumentaram o que indica uma degradação das componentes térmicas dos colectores. Nos anos seguintes, entre 2000 e 2004 verificou-se um “salto” positivo neste parâmetro, que se manteve aproximadamente constante até 2010.

Observando a distribuição da Figura 38, segundo o tipo de colectores, os colectores planos apresentam coeficientes de perdas superiores aos colectores parabólicos compostos e esses superiores aos tubos de vácuo.

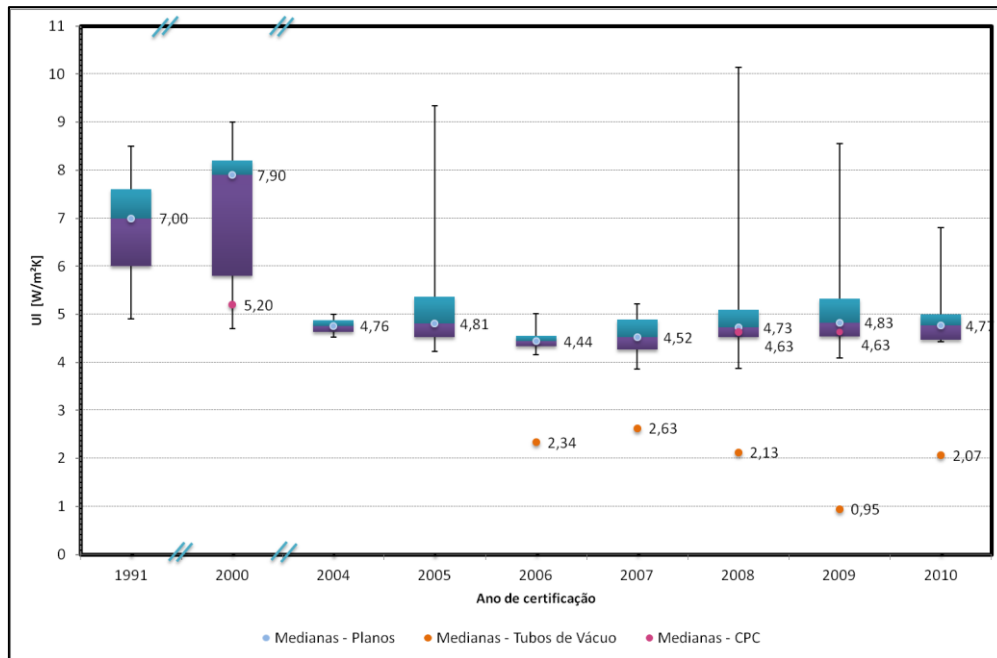


Figura 38 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por ano de certificação (segundo o tipo de colector).

Com esta análise é possível verificar que os valores máximos da distribuição pertencem a colectores planos. As medianas deste tipo de colector são da ordem de $7 W/m^2K$, para os colectores de 1991 e 2000 e da ordem dos $4 W/m^2K$ para os colectores de 2004 a 2010.

Os colectores parabólicos compostos apenas certificados em 2000 e 2008, apresentam coeficientes próximos de $5,20$ e $4,63 W/m^2K$ respectivamente. Os tubos de vácuo apenas surgiram nesta base de estudo, a partir de 2006. Apresentam coeficientes de perdas entre os $2,66$ e os $0,95 W/m^2K$, muito inferiores aos restantes tipos de colectores. Deve-se principalmente à ausência de ar (vácuo) no interior dos tubos de vidro, o que elimina as perdas por convecção, (GREENPRO, 2004). Os tubos de vácuo também isolam o fluido nele contido, prevenindo assim as perdas de calor por condução, neste tipo de colector predominam as perdas por radiação.

No gráfico seguinte efectuou-se a distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores planos, tendo em conta a selectividade da placa absorvora. Tal como mencionado anteriormente foi definido um critério para a detecção da selectividade, colectores com U_L entre $[0 ; 6,5] W/m^2K$ são considerados colectores com revestimento selectivo. Os valores de U_L superiores a $6,5 W/m^2K$ correspondem a colectores planos sem revestimento selectivo.

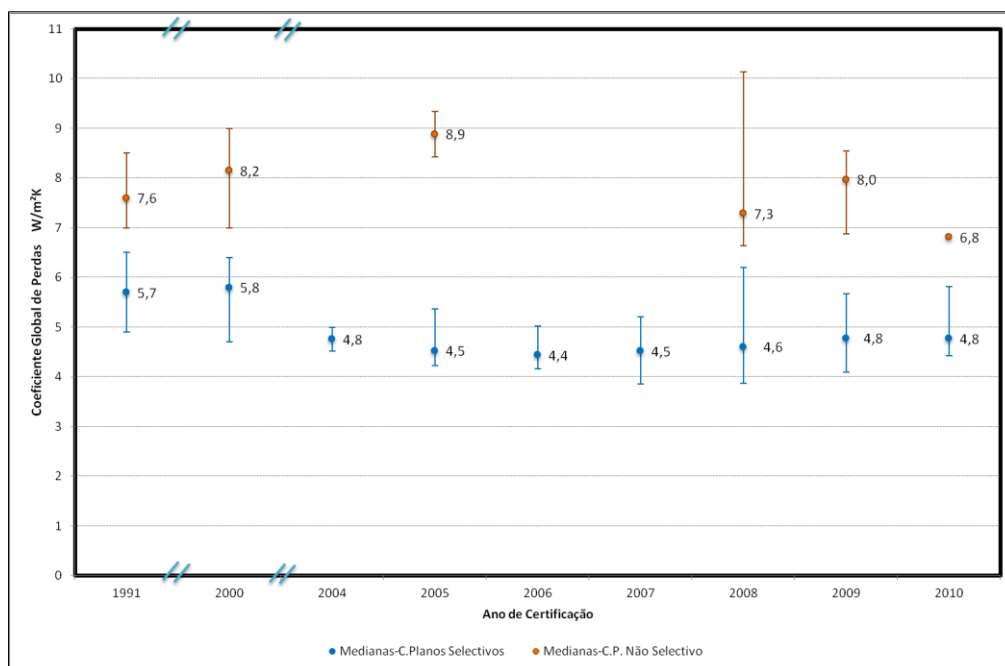


Figura 39 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores planos por ano de certificação (segundo a selectividade da placa absorvora).

Os colectores planos com revestimento selectivo são hoje em dia os mais comuns no mercado, como confirmaram os dados reunidos. Este tipo de colectores possui um coeficiente global de perdas com medianas tipicamente entre os 4,4 W/m^2K e os 5,8 W/m^2K . Verifica-se que o revestimento selectivo no tratamento da placa absorvora assegura baixos valores de perdas térmicas.

Na análise global dos dados segundo o país origem, Figura 40, os valores medianos de U_L encontram-se entre os 4,19 W/m^2K e os 5,33 W/m^2K .

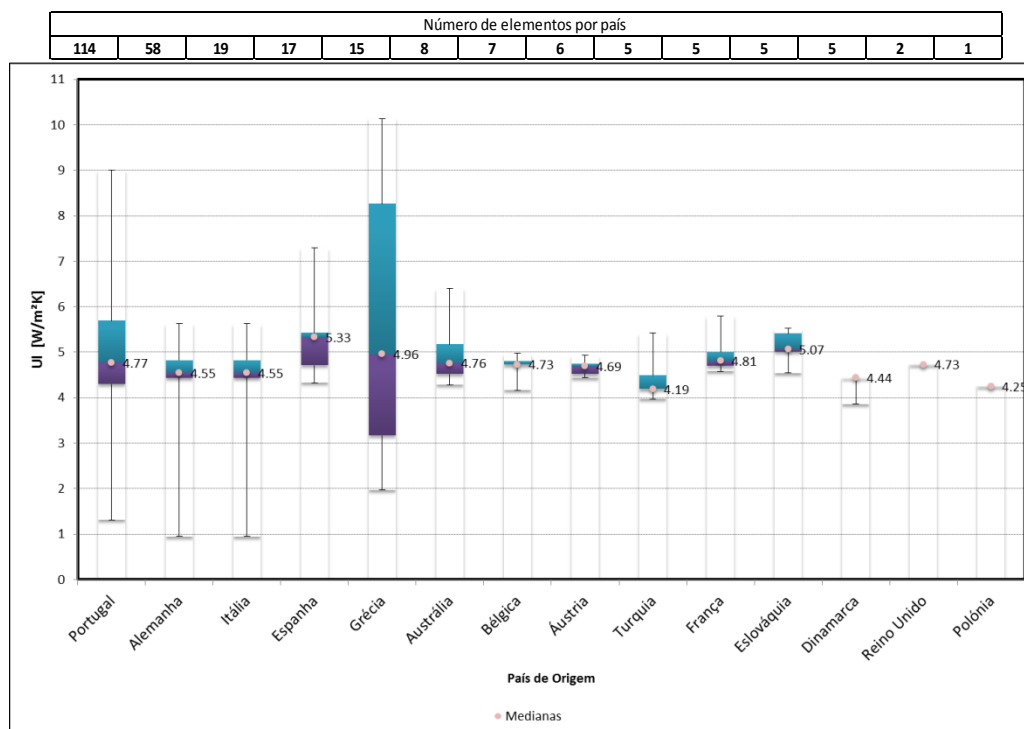


Figura 40 - Gráfico da distribuição do coeficiente global de perdas dos colectores por país de origem.

A Grécia é novamente o país com maior dispersão dos seus valores entre Q1 e Q3, neste caso, também com maior dispersão total e coeficientes globais de perdas mais elevados, superiores a 10 W/m²K.

Portugal, o país com maior representação de colectores contém a segunda maior dispersão total de coeficientes mas a maioria de valores cai numa zona mais concentrada que para a Grécia.

Os colectores com menores perdas são de origem Alemã, Italiana e Portuguesa, o que resulta da origem dos colectores do tipo tubos de vácuo. Os restantes países apresentam distribuições muito semelhantes entre si, com pouca dispersão e com zona central de valores semelhante aos da amostra global.

11.5.3 Representatividade e incertezas

É possível comparar os valores de rendimento óptico e coeficiente global de perdas indicados por alguns autores e verificar se se encontram conforme os dados reais reunidos no banco de dados em estudo.

Os valores típicos indicados para “bons” colectores solares são representados nas seguintes tabelas:

Tabela 13 – Valores típicos segundo o tipo de colector, fonte (GREENPRO, 2004).

Tipos de Colector:	Rendimento óptico	Coefficiente global de perdas [W/m ² K]
Plano	0,8	6
Tubos de vácuo	0,6-0,8	1,5
Parabólico composto	0,7	3,5

Tabela 14 - Valores típicos segundo o tipo de colector, fonte (Lebeña & Costa, 2006).

Tipos de Colector:	Rendimento óptico	Coefficiente global de perdas [W/m ² K]
Não selectivo sem cobertura	0,8-0,9	20
Plano não selectivo	0,7-0,8	8-9
Plano selectivo	0,7-0,8	3-6
Parabólico composto	0,7-0,75	4,2
Tubo de vácuo	0,7-0,8	1,8-3

Tabela 15 - Valores típicos segundo o tipo de colector, fonte (Ruiz, Rosendo, Lourenço, & Calhau, 2010).

Tipos de Colector:	Rendimento óptico	Coefficiente global de perdas [W/m ² K]
Sem cobertura	0,9	10
Plano	0,7-0,8	--
Tubos de vácuo	0,6-0,8	1,5
Parabólico composto	0,7	3,5

Os dados indicados na Tabela 13, Tabela 14, Tabela 15 são valores aproximados, podendo nos melhores casos apresentar rendimento óptico superior e coeficiente global de perdas inferior ao indicado.

Com os colectores solares presentes na amostra em estudo foi representada a Tabela 16 com uma síntese dos valores obtidos.

Tabela 16 – Rendimento óptico e coeficiente global de perdas obtidos para os colectores em estudo.

Tipos de Colector:	Rendimento óptico			Coeficiente global de perdas [W/m ² K]		
	Valor esperado (Média)	Variância	Mediana	Valor esperado (Média)	Variância	Mediana
Plano não selectivo	0,74	0,005	0,74	7,87	0,78	8,00
Plano selectivo	0,77	0,002	0,77	4,78	0,22	4,73
Planos (Totais)	0,77	0,002	0,77	5,19	1,38	4,77
Parabólico composto	0,72	0,001	0,73	4,77	0,08	4,63
Tubo de vácuo	0,70	0,008	0,75	2,67	1,03	2,63

Em comparação com as tabelas anteriores, os valores obtidos na presente amostra encontram-se efectivamente dentro das gamas apontadas pelos vários autores. Há no entanto uma excepção: o coeficiente global de perdas dos colectores parabólicos compostos encontrado é em média superior aos valores típicos referidos.

A amostra de colectores reunida tem o óbice de poder não reunir em certos anos uma quantidade de colectores parabólicos compostos e tubos de vácuo representativas dos colectores entrados no mercado nesse ano. Já para os colectores planos a amostra de colectores tem uma dimensão respeitável (230 elementos) o que permite esperar uma boa representatividade dos colectores inseridos no mercado solar térmico nacional em quase todos os anos examinados.

Para avaliar mais objectivamente as incertezas resultantes de insuficiências amostrais, foram calculadas incertezas para as médias (μ) de valores de rendimento óptico e coeficiente global de perdas. A teoria da amostragem (Cruz, Filipe, Almeida, Valadares, & Pellegrino) informa-nos que considerando uma população com distribuição gaussiana, numa amostra com N valores podemos esperar, com um grau de confiança de 95%, que a média verdadeira da população de onde se extraiu a amostra estará dentro do intervalo $[\mu - 2 \sigma/\sqrt{N}; \mu + 2 \sigma/\sqrt{N}]$, onde σ é o desvio-padrão experimental dado pela equação (28).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \mu)^2}{N - 1}} \quad (28)$$

Para os colectores parabólicos compostos, por serem poucos os modelos, e ainda mais em cada ano particular, não é adequado calcular desta forma as incertezas associadas aos seus valores médios. Assim os resultados obtidos para este tipo de colectores não permitem nunca afiançar a existência de tendências no tempo.

Para os colectores planos, Figura 41a), verifica-se que o rendimento óptico dos colectores que entraram no mercado em 1991 e 2000 apresentam grande incerteza, de forma que não se podem considerar provadas tendências neste período, nem em rigor se pode partir destes valores médios como base de tendências nos anos seguintes.

Já de 2004 a 2010 a incerteza nas médias é razoavelmente baixa e assim parece poder ser real a tendência de degradação de rendimento óptico dos colectores entrados no mercado entre 2004 e 2008, seguida de uma melhoria de 2008 a 2010.

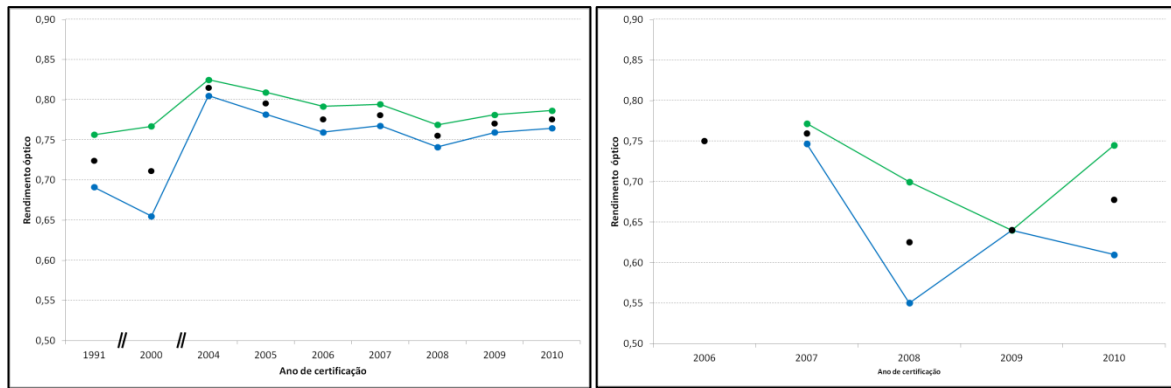


Figura 41- Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão do rendimento óptico para cada ano. a) Colectores planos b)Tubos de vácuo.

No caso dos tubos de vácuo foram calculadas as incertezas associadas, Figura 41b), mas o padrão é irregular: os anos de 2008 e 2010 apresentam grandes incertezas enquanto que 2007 e 2009 não. Assim não se podem validar tendências no rendimento óptico deste tipo de colector.

Das incertezas associadas aos coeficientes globais de perdas dos colectores planos, Figura 42a), verifica-se que é significativa a melhoria verificada entre as amostras de 1990 e 2000 e as de 2004 em diante, mas não se podem provar tendências entre 2004 e 2010.

Quanto ao coeficiente global de perdas para os tubos de vácuo, Figura 42 b), também nada se pode afirmar em relação a tendências no período em análise.

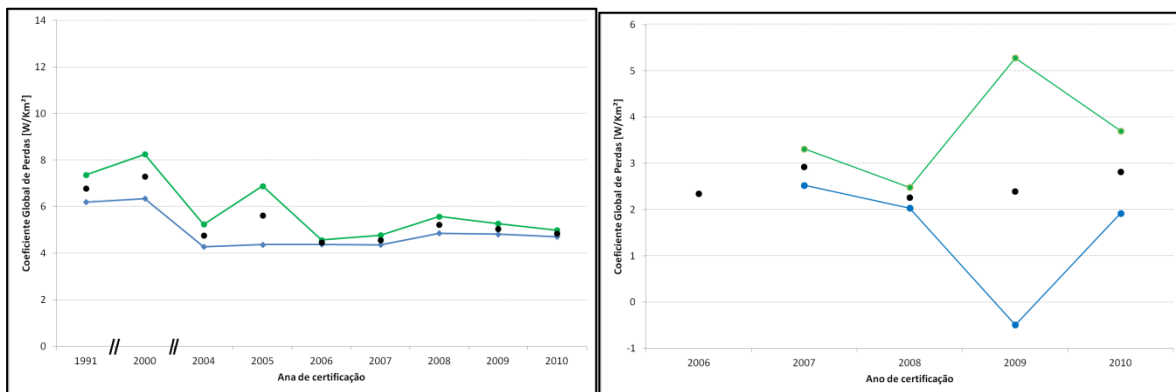


Figura 42 – Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão do coeficiente global de perdas para cada ano. a) Colectores planos b)Tubos de vácuo.

11.5.4 Temperatura de estagnação

Num sistema solar quando o depósito já se encontra muito quente, a circulação pára. Nos colectores, como não é retirada energia pelo fluido circulante, a temperatura do absorsor vai aumentando, e se o dia for muito quente pode chegar a um limite, que se designa temperatura de estagnação. Esta pode ser definida como a temperatura máxima que o absorsor pode atingir quando as perdas de calor para a atmosfera são iguais ao calor absorvido pelo absorsor (Roriz, 2008-2009). Na curva de rendimento equivale ao ponto em que o rendimento do colector é igual a zero, tal como referido na página 20.

Na representação da Figura 43, por tipo de colector, encontram-se os valores de temperaturas de estagnação de 255 colectores. Não foi possível obter a temperaturas de estagnação para todos os colectores reunidos pois alguns certificados não o indicavam.

Da análise do gráfico verifica-se que as temperaturas de estagnação são sempre superiores a 100 °C; os colectores do tipo tubos de vácuo podem atingir temperaturas acima dos 200 °C, superiores às dos colectores planos.

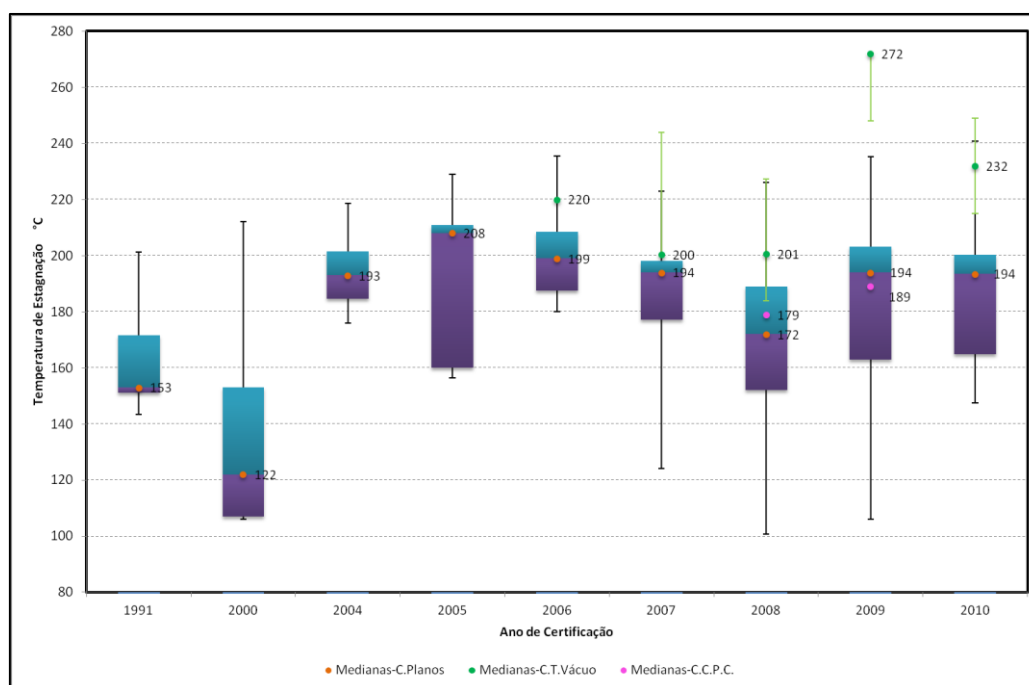


Figura 43 – Gráfico da temperatura de estagnação por tipo de colector segundo o ano de certificação.

Em 2000 os colectores planos ensaiados atingiam temperaturas de estagnação com mediana inferior aos restantes períodos. Em 2004 os valores aumentaram e a dispersão diminuiu o que sugere uma evolução positiva na tolerância de temperaturas elevadas no absorsor. De 2004 a 2010 a evolução deste parâmetro não foi estável, tendo-se verificado uma diminuição dos valores medianos de 2006 a 2008 e de seguida um aumento das temperaturas de estagnação dos colectores planos.

Os tubos de vácuo apresentam medianas mais elevadas que os restantes tipos de colector, verificando-se um valor máximo em 2009.

Os colectores parabólicos compostos apenas estão representados em 2008 e 2009, com valores medianos muito próximos dos colectores planos.

11.5.4.1 Incertezas

Através da Figura 44, é possível avaliar o significado das tendências dos valores. Parece significativo que os colectores planos introduzidos após 2004 suportam temperaturas de estagnação mais elevadas, sendo que o ano de 2008 é provavelmente atípico e portanto não se prova depois de 2006 uma tendência nestes valores.

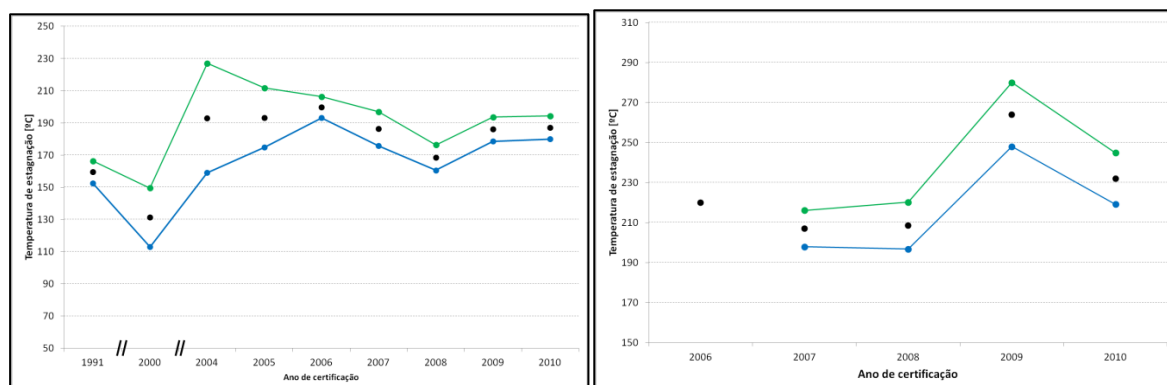


Figura 44 – Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão da temperatura de estagnação para cada ano. a) Colectores planos b) Tubos de vácuo.

Para os tubos de vácuo, Figura 44 b), os intervalos de incerteza obtidos são relativamente pequenos pelo que permitem detectar alguma melhoria das temperaturas de estagnação suportada nos colectores introduzidos após 2008.

Tal como referido anteriormente, as incertezas relativas aos valores esperados para os colectores parabólicos compostos não foram calculadas devido ao pequeno número de colectores em cada ano. O mesmo acontece em 2006 para os tubos de vácuo.

11.5.5 Capacidade Térmica efectiva

A capacidade térmica ou capacidade calorífica, é a grandeza física que determina o calor que é necessário fornecer a um corpo para produzir uma determinada variação de temperatura (dimensões J/K). Para um corpo complexo esta é calculada pela soma das capacidades de cada elemento constituinte. No caso de um colector será a cobertura, absorvedor, fluido e isolamento.

$$C = \sum_i p_i m_i c_i \quad (29)$$

A massa m_i de cada elemento é indicada em kg, o calor específico, c_i em J/kgK e o factor de peso, p_i corresponde a valores tabelados entre 0 e 1, Tabela 17.

Tabela 17 – Valores do factor de peso, (Instituto Português da Qualidade, 2007).

Elementos	Absorvedor	Isolamento	Líquido de transferência de calor	Cobertura exterior	Segunda cobertura	Terceira cobertura
Pi	1	0,5	1	0,01*a1	0,2*a1	0,35*a1

Os valores de calor específico dependem do material de cada elemento do colector. Esses valores podem ser consultados em tabelas existentes ou calculado através da equação seguinte:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} \quad (30)$$

O calor específico de uma substância é dado pela quantidade de calor cedida a um corpo dessa substância Q , da massa desse corpo, e da variação térmica que ele sofre, (ΔT = temperatura final - temperatura inicial).

Neste caso as capacidades térmicas são relacionadas com a área de abertura de cada colector fornecendo um valor efectivo (dimensões J/Km²).

Na Figura 45, encontram-se indicadas as capacidades de 241 colectores. As capacidades térmicas efectivas não eram declaradas nos relatórios de ensaio realizados anteriores às certificações de qualidade dos colectores, daí os dados começarem apenas em 2004.

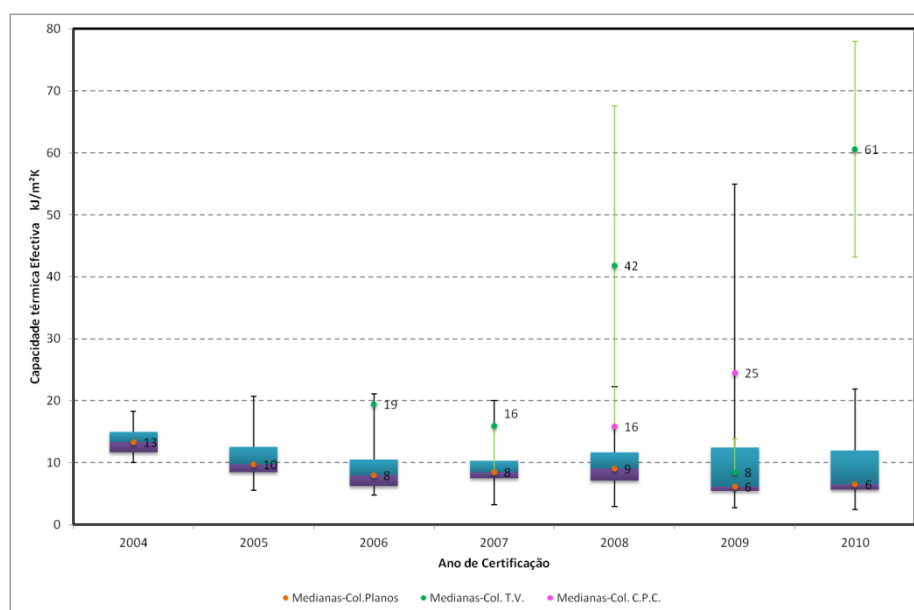


Figura 45 – Gráfico da capacidade térmica efectiva por tipo de colector segundo o ano de certificação.

Como se pode verificar os colectores planos têm capacidades térmicas efectivas em média mais baixas que os outros tipos de colectores. Os colectores parabólicos compostos apresentam valores superiores aos colectores planos mas inferiores aos tubos de vácuo. Apenas nos colectores certificados em 2009 se observa que os colectores parabólicos compostos revelam valores de capacidade superior aos tubos de vácuo.

Ao longo do período considerado, os colectores planos apresentam valores estáveis e próximos do valor médio global de $9,4 \text{ kJ/Km}^2$. Para os tubos de vácuo o valor médio é $31,2 \text{ kJ/Km}^2$, muito superior à capacidade térmica dos colectores planos. Os colectores parabólicos compostos devido ao baixo número de elementos no banco de dados podem não indicar valores representativos dos colectores comercializados. Seja como for a capacidade térmica efectiva desses colectores foi em média de $18,7 \text{ kJ/Km}^2$.

11.5.5.1 Incertezas

Analisando as incertezas obtidas para cada ano de certificação, verifica-se que para os colectores planos, Figura 46, os valores médios de capacidade térmica efectiva a partir de 2005 são muito próximos, no entanto os intervalos de incertezas em 2005 e 2009 são ligeiramente superiores aos outros anos. Sem considerar o ano de 2004, onde se verificou um grande intervalo de incertezas, a tendência revela ser ligeiramente decrescente mas não se pode provar que seja significativa.

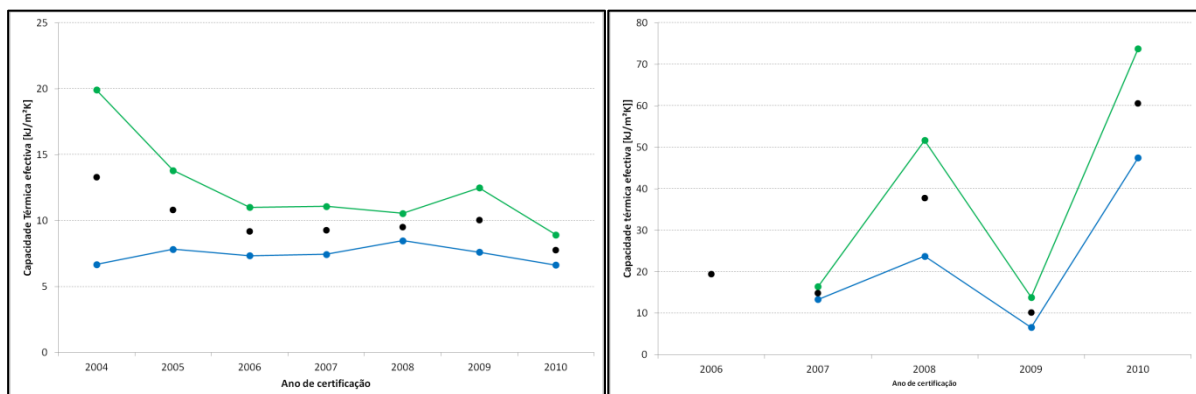


Figura 46- Gráfico dos valores esperados e incertezas padrão do Capacidade térmica efectiva para cada ano. a) Colectores planos b) Tubos de vácuo.

Ao analisar o gráfico obtido com os intervalos de incerteza para os tubos de vácuo, Figura 46, verifica-se que em alguns anos o intervalo é muito grande e em outros não, daí não serem extraídas conclusões.

11.5.6 Produtividade dos colectores

Através do programa Energy Output Calculator v3.0 (EOC), foi possível estimar a produção de energia anual de cada colector, para temperaturas médias de fluido, (25°, 50° e 75°).

As temperaturas de fluido seleccionadas indicam condições de operação a baixa temperatura, (25°), média temperatura (50°) e média/alta temperatura (75°). A baixa temperatura representa condições de funcionamento para aquecimento de piscinas (Florida Solar Energy Center, 2010), a temperatura média representa condições de funcionamento para aplicações domésticas e a média/alta temperatura representa aplicações em condições específicas.

No capítulo destinado à explicação do funcionamento do EOC, foram descritas as equações usadas para calcular a energia produzida por um colector.

De forma a facilitar a observação da produtividade de cada colector representou-se graficamente os resultados da energia produzida anualmente por unidade de área de abertura, [kWh/m²]. Para essa conversão foi necessário dividir todos os valores da energia anual captada por cada colector, pela área de abertura respectiva.

$$Q_a = \frac{Q}{A_a} \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad (31)$$

A Figura 47, representa a distribuição da produtividade dos colectores planos segundo o ano de certificação para as três temperaturas médias do fluido.

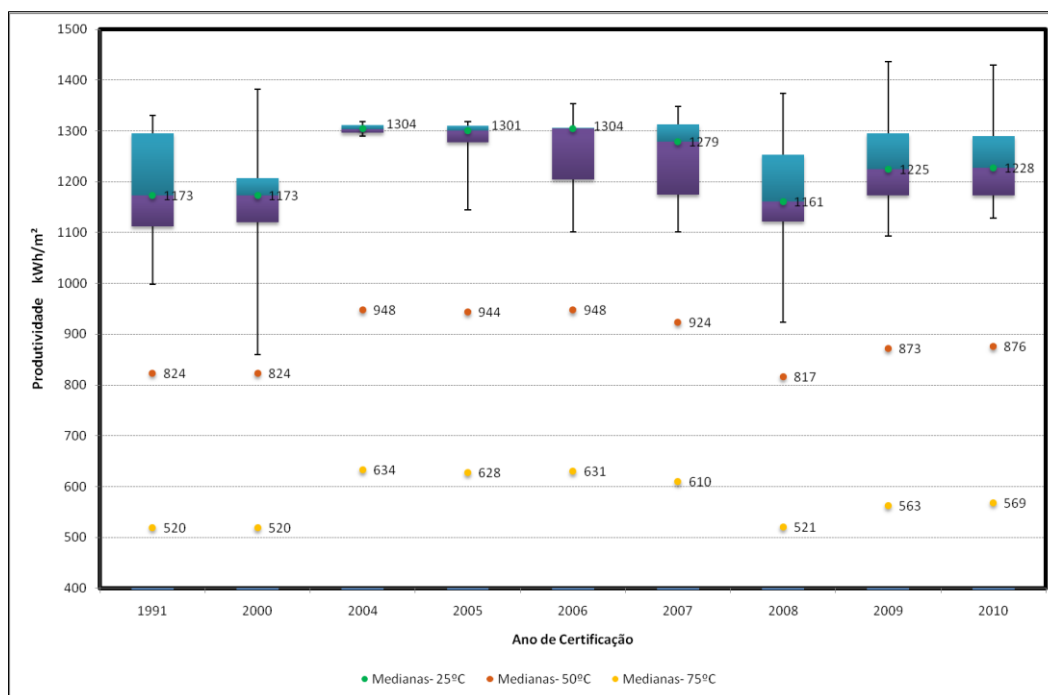


Figura 47 – Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores planos para três temperaturas médias do fluido.

Apenas para o fluido a baixa temperatura, (25°C) foi representado o gráfico do tipo box plot, para as restantes temperaturas apenas foram representadas pelas medianas dos ganhos anuais de energia, pois a dispersão para os 50° e 75° é semelhante à dispersão verificada para os 25°.

A maior produção de energia é obtida para o fluido a menor temperatura, 25°C. Sendo a menor produção de energia pertencente aos colectores com temperatura média a 75°C. Esse comportamento

traduz que quanto menor for a temperatura do fluido, maior vai ser a sua eficiência de conversão térmica.

O valor médio esperado para a produção dos colectores planos com cobertura é 1235 kWh/m². Nesta amostra os colectores de 1991 apresentam maior produção anual de energia que os de 2000. Contudo a mediana manteve-se em 1173 kWh/m².

No período entre 2000 e 2004 a melhoria terá sido significativa, com valores de mediana superiores a 1991 e 2000, até 2008. Nesse ano a produtividade apresenta um mínimo, mas como indicado atrás, isto pode ser um resultado atípico.

Para as temperaturas médias de 50° e 75°C o comportamento das medianas ao longo dos anos é idêntico ao verificado para a temperatura média de 25°. A evolução mais significativa verificou-se entre 2000 e 2004, mantendo-se com pequenas oscilações até 2010.

Assim a apreciação que se pode fazer é que não se pode provar nem melhoria nem degradação de produtividade nos colectores introduzidos no mercado desde 2004 ao presente.

Na análise segundo o país de origem, são representados os colectores planos para com fluido a 25°C. Os gráficos da produção segundo país de origem para as duas temperaturas médias superiores não são representados pois a distribuição por países segue o mesmo padrão.

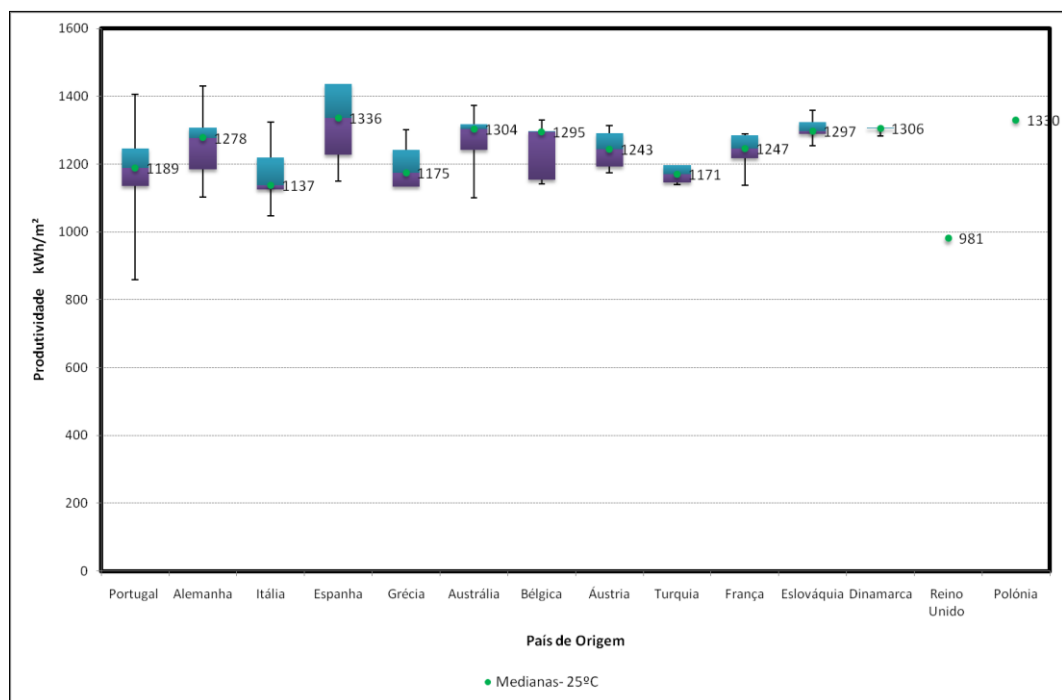


Figura 48 – Gráfico da energia produzida pelos colectores planos (T.m= 25°) segundo o país de origem.

Observa-se que em termos medianos os colectores com melhor produtividade são originários da Espanha, com 1336 kWh/m², de seguida Dinamarca e Áustria respectivamente, os restantes países revelarem produtividades muito próximas dos 1.200 kW, próximas da média global. Os colectores do Reino Unido são uma excepção, apresentam uma produtividade anual baixa, 981 kWh/m².

No caso dos colectores parabólicos compostos, Figura 49, a mediana da produtividade é ligeiramente inferior à produtividade para os colectores planos em 2000. Nos anos seguintes onde pontualmente se observaram a entrada de colectores parabólicos compostos no mercado, a produção de energia por unidade de área nunca chega a aumentar. Para este tipo de colector o melhor valor atingido foi em 2000 para uma temperatura média do fluido a 25°C.

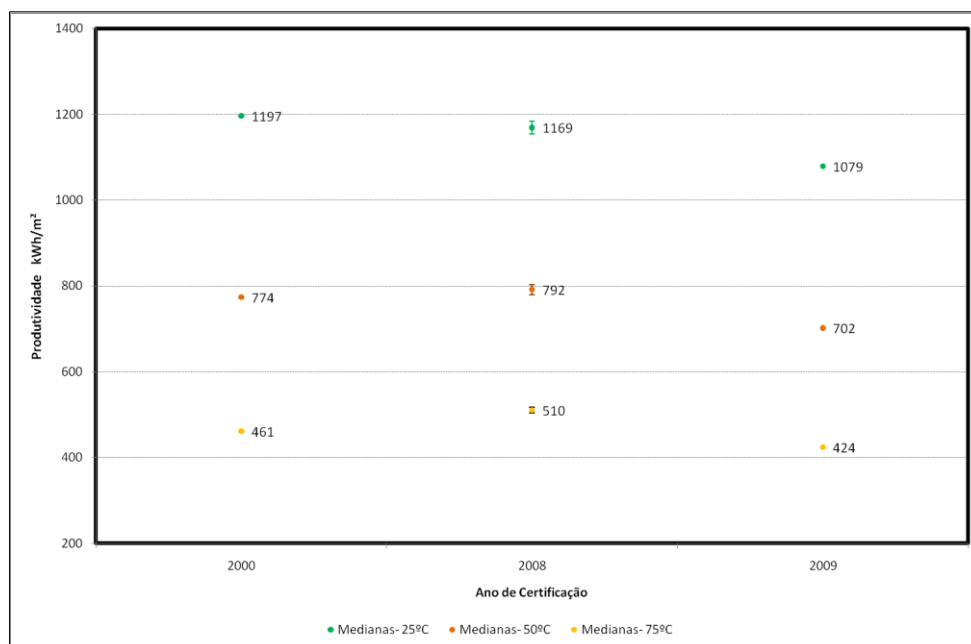


Figura 49 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores parabólicos compostos para três temperaturas médias de fluido.

O valor médio esperado de energia anual produzida para o fluido a temperatura média 25° para os colectores parabólicos compostos é 1153 kWh/m², ligeiramente inferior ao valor correspondente para os colectores planos.

Nesta amostra todos os colectores parabólicos compostos são de origem Portuguesa como é indicado na Figura 50.

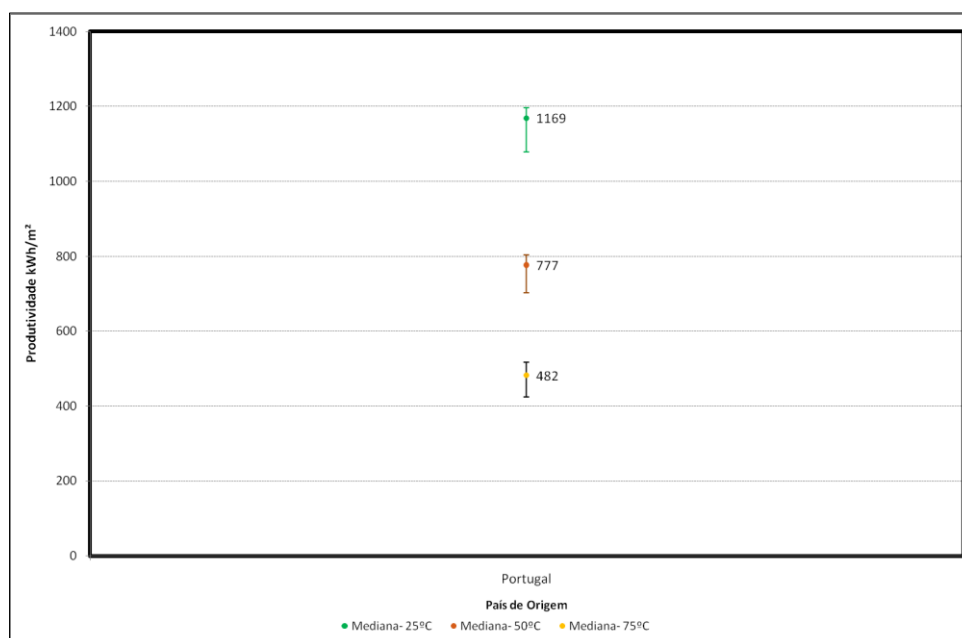


Figura 50 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores parabólicos compostos para três temperaturas médias do fluido, segundo o país de origem.

Os colectores do tipo tubos de vácuo, representam 12% dos colectores neste banco de dados, superior à percentagem relativa aos colectores parabólicos compostos, 2%. A Figura 51 revela a produção de energia segundo as três temperaturas médias do fluido seleccionadas; observa-se que em 2006 e 2007

os valores das medianas são iguais, em 2008 houve uma queda aparente na produtividade, contrariada nos dois anos seguintes.

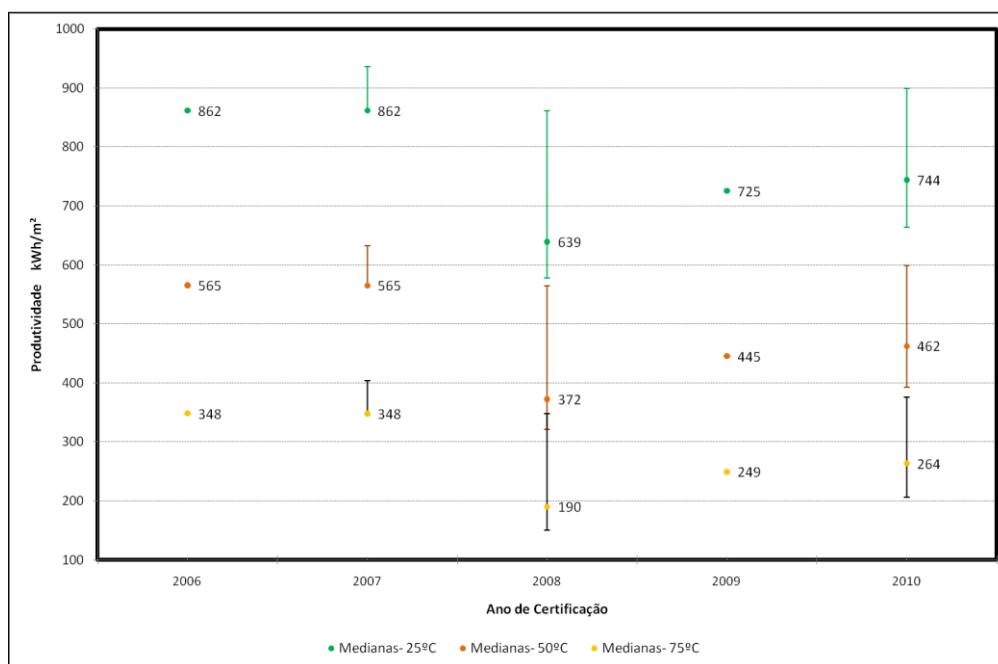


Figura 51 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores de tubos de vácuo para três temperaturas médias do fluido.

Este tipo de colector revela ser o que tem menor produtividade por metro quadrado de área de abertura. Para a temperatura média do fluido a 25° o valor médio esperado é 794,7 kWh/m², inferior à produtividade dos outros tipos de colectores.

Na Figura 52, verifica-se que de entre os tubos de vácuo presentes nesta base de dados, os de origem Alemã têm a maior produção energética anual por metro quadrado.

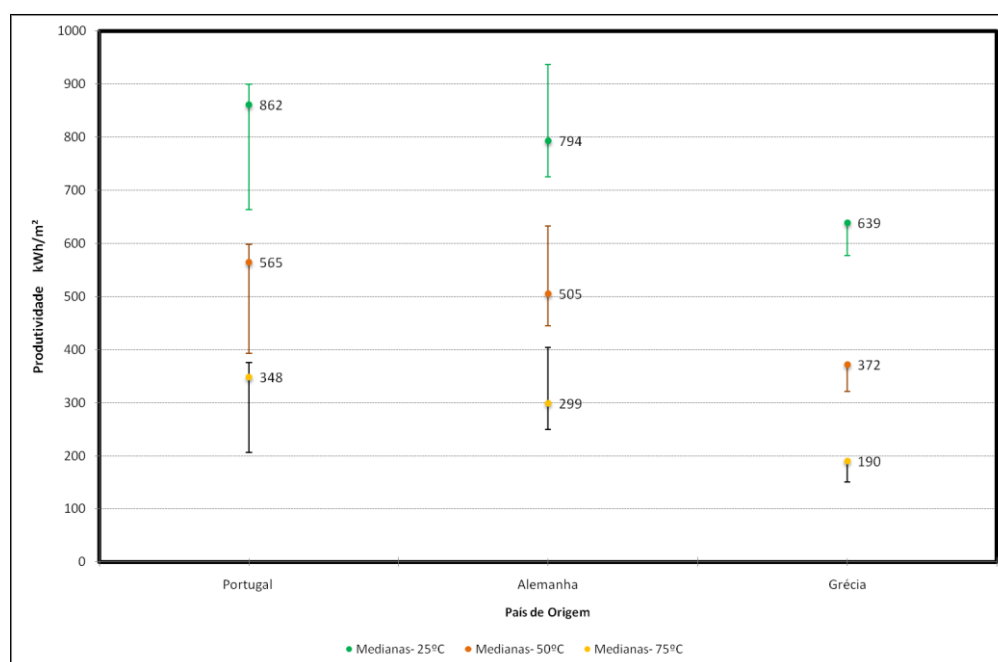


Figura 52 - Gráfico dos valores de energia produzida pelos colectores tubos de vácuo para três temperaturas médias, segundo o país de origem.

Dos tubos de vácuo considerados em termos medianos a pior produtividade pertence aos colectores de origem grega, por outro lado a melhor produtividade pertence aos de origem portuguesa.

Sendo a aplicação doméstica a utilização mais comum dos colectores solares em Portugal, a Tabela 18 indica os valores esperados de energia produzida pelos três tipos de colectores presentes na amostra para uma temperatura média de 50°.

Tabela 18 – Valores esperados de produção de energia anual segundo o tipo de colector.

Tipo de colector	Energia anual produzida por área de abertura [kWh/m²] (T_m=50°C)
Colectores Planos	872,5
Tubos de vácuo	507,1
Colectores Parabólicos Compostos	764,7

12. Proposta de definição de um Colector Padrão

Com a recolha de um banco de dados para o estudo da evolução de parâmetros dos colectores solares descrito anteriormente, foi possível realizar o estudo de um novo colector padrão para a revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios actualmente em curso.

Para os edifícios abrangidos pelo regulamento conhecido como RCCTE, é obrigatório o recurso a sistemas solares para a produção de águas quentes sanitárias, na base de 1 m² de “colector padrão” por ocupante, isto para uma exposição solar adequada na cobertura.

O colector padrão encontra-se inserido no programa SolTerm que é de uso obrigatório no cálculo da contribuição de sistemas de colectores solares para a preparação de águas quentes sanitárias. Para determinar essa contribuição é necessário realizar uma análise energética no programa, aí o utilizador obtém a energia que o sistema solar térmico fornece anualmente para consumo. No SolTerm esse valor é indicado como o valor *Fornecido*, em termos de RCCTE é denominado como *Esolar*.

O colector padrão serve pois de referência para determinar um valor de *Esolar* que funciona como um limite mínimo de energia a fornecer pelo sistema térmico.

Para realizar a análise de desempenho de um sistema solar térmico no SolTerm, através da regra de 1 m² de colector padrão por ocupante determina-se um valor de *Esolar* [kWh] do sistema. De seguida pode ser escolhido um colector comercializado existente no banco de dados do programa ou pode ser introduzido um novo colector pelo projectista. Seja como for com este colector concreto realiza-se o mesmo processo de ensaio feito para o colector padrão, mantendo os parâmetros iguais aos utilizados nessa simulação (localização, obstruções, orientação). Ao realizar a análise energética o projectista obtém um novo valor de energia fornecida pelo sistema.

Comparando os dois sistemas, se o *Esolar* do sistema com o novo colector for igual ou superior ao *Esolar* do sistema do colector padrão, é considerado aceite a sua utilização no edifício. O novo sistema pode ter uma área de captação inferior à área padrão desde que mantenha o valor da energia fornecida pelo sistema superior ao *Esolar* definido pelo colector padrão. O valor de *Esolar* obtido para os colectores a instalar é posteriormente utilizado no cálculo regulamentado das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias, Nac.

Segundo o relatório de Perguntas e Respostas sobre o RCCTE, Versão 2.0 de Maio de 2011, (ADENE, 2008) para além do *Esolar* do novo colector ter de ser igual ou superior ao *Esolar* do colector padrão, tem que cumprir outros critérios. É necessário garantir o cumprimento dos seguintes requisitos:

- Os produtos solares têm que ser certificados com a marca Certif ou com a marca europeia equivalente Solar Keymark.
- Os instaladores têm que ser acreditados pela DGEG.
- Garantia de manutenção do sistema durante um período mínimo de 6 anos.

O colector padrão definido para o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, do Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril, possui as seguintes características:

- Rendimento óptico = 69 %
- Coeficientes de perdas térmicas $a_1 = 7,500 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $a_2 = 0,014 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^2)$
- Modificador de ângulo para incidência de 50° = 0,87
- Área de abertura = 1,0 m²

12.1 Metodologia

Neste estudo pretende-se propor um colector padrão com características de rendimento, mais aproximadas das dos colectores comercializados actualmente no mercado, com características objectivamente baseadas em informação recente.

Para a proposta de um novo colector padrão, foi necessário reorganizar o banco de dados já existente. Dos 267 colectores foram retirados os 25 colectores sem certificado, e os colectores da mesma marca que apenas mudavam de área de abertura mantendo o mesmo rendimento óptico e os coeficientes de perdas.

Dessa selecção resultaram 177 colectores, 165 planos, 10 tubos de vácuo e 2 colectores parabólicos compostos. Para esse conjunto foi realizada a média do rendimento óptico e dos coeficientes de perdas, Tabela 19. Dos valores obtidos verificou-se que o quociente de perdas linear é baixo, isso deve-se à presença dos colectores de tubos de vácuo e parabólico compostos que possuem coeficientes de perdas menores que os colectores planos.

Para um conjunto com colectores apenas do tipo plano, Tabela 19, o valor médio do coeficiente a_2 mantém-se igual mas o coeficiente a_1 é superior, o que representa um valor mais indicado para o coeficiente de perdas lineares da proposta de um colector padrão. Os rendimentos ópticos mantêm-se próximos nos dois conjuntos, mas no caso dos colectores planos o rendimento óptico é ligeiramente superior.

Tabela 19 – Tabela de dos valores médios de rendimento óptico e coeficientes de perdas.

Colectores	Planos	Tubos de Vácuo	CPC	Rendimento Óptico	a_1 W/m ² .K	a_2 W/m ² .K ²
177	165	10	2	0,748	3,997	0,014
165	165	0	0	0,753	4,123	0,014

Deste modo, o colector que apresenta melhores características para representar o colector padrão possui as seguintes características:

- Rendimento óptico = 75.3 %
- Coeficientes de perdas térmicas $a_1 = 4,1230$ W/(m².K) e $a_2 = 0,014$ W/(m².K²)

As características dos 165 colectores utilizados para a análise dos valores médios da proposta do colector padrão, são indicadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Colectores considerados para o estudo de um colector padrão (algumas características).

Colectores descaracterizados	Área de abertura m ²	a_1 W/m ² .K	a_2 W/m ² .K ²	Rendimento óptico	K_t (50°)	K_I (50°)
ColectorECP-1	1,82	4,398	0,014	0,755	0,84	0,88
ColectorECP-2	1,77	3,44	0,015	0,748	0,91	0,94
ColectorECP-3	1,844	3,8	0,015	0,733	0,87	0,89
ColectorECP-4	2,35	3,9	0,016	0,748	0,82	0,85
ColectorECP-5	2,128	3,8	0,015	0,767	0,95	0,963
ColectorECP-6	1,82	4,1	0,008	0,757	0,91	0,929
ColectorECP-7	2,39	4,2	0,009	0,729	0,87	0,893
ColectorECP-8	2,01	3,44	0,015	0,748	0,91	0,93
ColectorECP-9	1,96	3,44	0,015	0,748	0,91	0,93

Colectores descaracterizados	Área de abertura m ²	a1 W/m ² K	a2 W/m ² K ²	Rendimento óptico	Kt (50°)	KI (50°)
ColectorECP-10	1,89	4,31	0,012	0,794	0,93	0,95
ColectorECP-11	1,89	3,81	0,018	0,801	0,93	0,95
ColectorECP-12	2,37	3,65	0,016	0,802	0,93	0,95
ColectorECP-13	2,38	3,71	0,016	0,807	0,93	0,95
ColectorECP-14	2,06	4,162	0,001	0,744	0,89	0,91
ColectorECP-15	2,26	4,76	0,013	0,684	0,93	0,95
ColectorECP-16	2,256	3,681	0,017	0,77	0,91	0,94
ColectorECP-17	2,09	4,036	0,011	0,851	0,95	0,96
ColectorECP-18	1,95	4,174	0,017	0,689	0,96	0,97
ColectorECP-19	1,94	4,052	0,014	0,756	0,95	0,97
ColectorECP-20	1,38	6,48	0,043	0,74	0,9	0,92
ColectorECP-21	2,03	6,7	0,026	0,79	0,9	0,92
ColectorECP-22	1,98	4,2	0,013	0,79	0,88	0,902
ColectorECP-23	1,98	6,41	0,056	0,72	0,87	0,893
ColectorECP-24	2,25	4,23	0,011	0,76	0,88	0,902
ColectorECP-25	1,83	4,5	0,009	0,794	0,88	0,902
ColectorECP-26	1,82	4,1	0,008	0,757	0,91	0,929
ColectorECP-27	2,39	4,2	0,009	0,729	0,87	0,893
ColectorECP-28	2,34	3,562	0,01	0,766	0,94	0,95
ColectorECP-29	2,06	4,16	0,014	0,744	0,89	0,91
ColectorECP-30	2,364	4,25	0,007	0,784	0,94	0,95
ColectorECP-31	1,97	4,8	0,008	0,766	0,91	0,93
ColectorECP-32	1,983	5,1	0	0,795	0,91	0,929
ColectorECP-33	1,9	4,23	0,004	0,77	0,87	0,9
ColectorECP-34	1,89	3,232	0,014	0,746	0,92	0,938
ColectorECP-35	2,16	3,3	0,014	0,713	0,85	0,9
ColectorECP-36	1,98	3,38	0,016	0,783	0,92	0,94
ColectorECP-37	1,86	3,858	0,01	0,801	0,93	0,946
ColectorECP-38	2,258	3,608	0,01	0,768	0,92	0,938
ColectorECP-39	2,54	4,16	0,014	0,744	0,9	0,92
ColectorECP-40	1,62	4,999	0	0,751	0,85	0,88
ColectorECP-41	2,32	3,766	0,006	0,807	0,94	0,954
ColectorECP-42	2,16	3,622	0,013	0,724	0,88	0,9
ColectorECP-43	1,97	3,819	0,024	0,73	0,87	0,89
ColectorECP-44	2,65	3,168	0,012	0,711	0,89	0,91
ColectorECP-45	1,66	5,9	0,039	0,669	0,93	0,946
ColectorECP-46	1,66	3,2	0,016	0,709	0,94	0,95
ColectorECP-47	2,1	3,4	0,007	0,728	0,93	0,946
ColectorECP-48	2,015	4	0,014	0,778	0,94	0,954
ColectorECP-49	2,3	4,2	0,02	0,739	0,91	0,929
ColectorECP-50	1,96	4,2	0,017	0,685	0,91	0,929

Colectores descaracterizados	Área de abertura m ²	a1 W/m ² K	a2 W/m ² K ²	Rendimento óptico	Kt (50°)	KI (50°)
ColectorECP-51	2,06	4,16	0,014	0,744	0,89	0,91
ColectorECP-52	1,818	3,8	0,007	0,802	0,94	0,954
ColectorECP-53	0,8	5,9	0,011	0,75	0,92	0,938
ColectorECP-54	1,868	4,34	0,002	0,805	0,96	0,971
ColectorECP-55	2	5,9	0,011	0,758	0,92	0,938
ColectorECP-56	2,007	4,24	0,003	0,765	0,94	0,96
ColectorECP-57	1,84	3,687	0,012	0,724	0,92	0,938
ColectorECP-58	2,34	3,562	0,01	0,766	0,94	0,954
ColectorECP-59	2	4	0,015	0,757	0,95	0,963
ColectorECP-60	2	3,3	0,021	0,744	0,9	0,92
ColectorECP-61	1,99	3,9	0,009	0,734	0,96	0,971
ColectorECP-62	1,95	4,174	0,017	0,689	0,96	0,97
ColectorECP-63	1,94	4,052	0,014	0,756	0,95	0,97
ColectorECP-64	2,26	4,76	0,013	0,684	0,93	0,95
ColectorECP-65	2,256	3,681	0,017	0,77	0,91	0,94
ColectorECP-66	2,255	3,56	0,014	0,803	0,91	0,94
ColectorECP-67	1,84	4,7	0,01	0,784	0,938	0,938
ColectorECP-68	2,47	2,8	0,016	0,71	0,9	0,92
ColectorECP-69	2,25	3,771	0,011	0,732	0,86	0,884
ColectorECP-70	2,3	3,9	0,013	0,74	0,83	0,86
ColectorECP-71	2,3	3,9	0,013	0,74	0,83	0,857
ColectorECP-72	1,99	3,612	0,033	0,8	0,96	0,97
ColectorECP-73	1,99	3,954	0,009	0,81	0,95	0,96
ColectorECP-74	1,91	3,525	0,013	0,77	0,851	0,876
ColectorECP-75	2,33	3,59	0,014	0,764	0,88	0,9
ColectorECP-76	1,78	3,9	0,013	0,74	0,83	0,86
ColectorECP-77	1,91	6,2	0,015	0,588	0,87	0,893
ColectorECP-78	1,91	5,4	0,004	0,731	0,82	0,848
ColectorECP-79	1,78	3,9	0,013	0,74	0,83	0,83
ColectorECP-80	2,02	3,614	0,008	0,774	0,93	0,94
ColectorECP-81	2,01	2,556	0,023	0,743	0,88	0,9
ColectorECP-82	2,17	3,438	0,008	0,761	0,945	0,959
ColectorECP-83	2,157	3,494	0,017	0,77	0,95	0,963
ColectorECP-84	2,54	4,16	0,014	0,744	0,9	0,92
ColectorECP-85	2,16	6,49	0,031	0,829	0,88	0,9
ColectorECP-86	2,05	4,32	0,014	0,749	0,91	0,93
ColectorECP-87	1,814	6,16	0,017	0,673	0,86	0,884
ColectorECP-88	1,804	3,82	0,01	0,748	0,86	0,884
ColectorECP-89	2,195	4,2	0,03	0,786	0,92	0,938
ColectorECP-90	2,24	4,269	0,014	0,733	0,94	0,96
ColectorECP-91	2,22	3,48	0,016	0,759	0,95	0,97

Colectores descaracterizados	Área de abertura m ²	a1 W/m ² K	a2 W/m ² K ²	Rendimento óptico	Kt (50°)	KI (50°)
ColectorECP-92	1,78	3,9	0,013	0,74	0,83	0,87
ColectorECP-93	2,03	3,533	0,01	0,753	0,96	0,97
ColectorECP-94	2,36	4,25	0,007	0,784	0,94	0,95
ColectorECP-95	1,97	3,81	0,024	0,73	0,87	0,89
ColectorECP-96	2,16	6,21	0,009	0,69	0,93	0,95
ColectorECP-97	2,16	3,62	0,013	0,724	0,88	0,9
ColectorECP-98	2,65	3,55	0,01	0,704	0,88	0,88
ColectorECP-99	2,009	3,63	0,014	0,711	0,889	0,91
ColectorECP-100	2,015	3,78	0,016	0,791	0,9	0,92
ColectorECP-101	1,88	4	0,012	0,77	0,92	0,94
ColectorECP-102	2,49	3,818	0,017	0,792	0,96	0,97
ColectorECP-103	2,5	4,021	0,011	0,796	0,92	0,94
ColectorECP-104	2,5	3,589	0,014	0,771	0,96	0,97
ColectorECP-105	2,5	3,718	0,018	0,779	0,95	0,96
ColectorECP-106	2,128	3,8	0,015	0,767	0,95	0,963
ColectorECP-107	2,501	4,28	0,014	0,784	0,95	0,963
ColectorECP-108	2,501	4,29	0,013	0,757	0,95	0,963
ColectorECP-109	1,86	3,858	0,01	0,801	0,93	0,946
ColectorECP-110	1,86	6,254	0,028	0,835	0,89	0,911
ColectorECP-111	1,86	3,8	0,018	0,799	0,89	0,911
ColectorECP-112	1,86	3,683	0,009	0,7	0,885	0,907
ColectorECP-113	1,91	4,273	0,006	0,797	0,96	0,97
ColectorECP-114	1,62	7,4	0,014	0,692	0,87	0,893
ColectorECP-115	1,97	3,2	0,017	0,755	0,92	0,938
ColectorECP-116	2,82	3,865	0,013	0,591	0,94	0,954
ColectorECP-117	1,92	3,461	0,011	0,725	0,93	0,95
ColectorECP-118	2,23	3,461	0,011	0,725	0,93	0,95
ColectorECP-119	1,91	5,02	0,028	0,7	0,87	0,89
ColectorECP-120	2,06	4,162	0,014	0,744	0,89	0,91
ColectorECP-121	2,54	4,162	0,014	0,744	0,9	0,92
ColectorECP-122	2,1	5,97	0,022	0,655	0,93	0,93
ColectorECP-123	2,11	3,78	0,015	0,732	0,88	0,9
ColectorECP-124	2,211	3,494	0,017	0,77	0,95	0,963
ColectorECP-125	1,797	3,87	0,007	0,716	0,87	0,893
ColectorECP-126	1,52	3,696	0,013	0,713	0,869	0,9
ColectorECP-127	1,87	3,696	0,013	0,713	0,869	0,893
ColectorECP-128	2,59	3,442	0,011	0,73	0,852	0,877
ColectorECP-129	1,96	4,2	0,017	0,685	0,91	0,929
ColectorECP-130	1,778	4,391	0,017	0,776	0,95	0,963
ColectorECP-131	1,779	4,443	0,009	0,773	0,957	0,968
ColectorECP-132	1,778	4,275	0,017	0,74	0,95	0,963

Colectores descaracterizados	Área de abertura m ²	a1 W/m ² K	a2 W/m ² K ²	Rendimento óptico	Kt (50°)	KI (50°)
ColectorECP-133	1,78	4,337	0,011	0,802	0,95	0,96
ColectorECP-134	1,845	3,803	0,011	0,763	0,95	0,963
ColectorECP-135	2,735	3,26	0,019	0,745	0,857	0,882
ColectorECP-136	3,659	3,73	0,011	0,754	0,857	0,882
ColectorECP-137	2,36	3,72	0,016	0,791	0,86	0,884
ColectorECP-138	2,24	4,99	0	0,751	0,85	0,88
ColectorECP-139	1,86	5	0,001	0,787	0,83	0,857
ColectorECP-140	1,2	4,177	0,004	0,797	0,934	0,95
ColectorECP-141	1,888	3,532	0,005	0,761	0,961	0,972
ColectorECP-142	2,06	4,16	0,014	0,744	0,89	0,91
ColectorECP-143	1,86	3,858	0,01	0,801	0,93	0,946
ColectorECP-144	1,86	3,8	0,018	0,799	0,89	0,911
ColectorECP-145	1,86	3,683	0,009	0,7	0,885	0,907
ColectorECP-146	2,26	4,76	0,013	0,684	0,93	0,95
ColectorECP-147	2,256	3,681	0,017	0,77	0,91	0,94
ColectorECP-148	2,255	3,56	0,014	0,803	0,91	0,94
ColectorECP-149	1,95	4,174	0,017	0,689	0,96	0,97
ColectorECP-150	1,94	4,052	0,014	0,756	0,95	0,97
ColectorECP-151	2,01	3,63	0,014	0,711	0,9	0,92
ColectorECP-152	2,37	3,48	0,015	0,844	0,95	0,963
ColectorECP-153	2,02	3,774	0,012	0,838	0,97	0,979
ColectorECP-154	2,48	3,4	0,016	0,747	0,93	0,95
ColectorECP-155	2,32	3,601	0,014	0,802	0,903	0,923
ColectorECP-156	2,283	4,09	0,006	0,827	0,92	0,938
ColectorECP-157	2,142	4,31	0,003	0,8	0,93	0,946
ColectorECP-158	2	3,669	0,018	0,767	0,95	0,963
ColectorECP-159	1,99	3,235	0,012	0,804	0,94	0,954
ColectorECP-160	2	3,494	0,015	0,794	0,954	0,966
ColectorECP-161	1,65	3,6	0,014	0,724	0,84	0,866
ColectorECP-162	1,92	3,48	0,016	0,759	0,93	0,94
ColectorECP-163	2,24	4,269	0,014	0,733	0,94	0,96
ColectorECP-164	1,83	4,5	0,009	0,794	0,88	0,902
ColectorECP-165	2,26	8,06	0,011	0,74	0,87	0,893

Cada colector possui dados sobre o modificador do ângulo de incidência, K_{θ} . Este avalia de forma percentual, a quantidade de energia que chega ao colector em função de dois ângulos (transversal e longitudinal) que o sol forma de hora em hora, com o colector inclinado. Estes ângulos θ_T e θ_L são as projecções do ângulo incidente no planos da abertura do colector.

Excepto casos especiais, o modificador de ângulo de incidência individual pode ser estimado através do produto dos modificadores de ângulo dos planos perpendiculares, transversal e longitudinal, (equação (20)).

Considerando que o colector padrão se comporta como um colector do tipo plano, visto ser o mais simples e mais usual, segundo a Norma Europeia: EN 12975-2, Secção 6.1 – Ensaio de colectores com cobertura em regime estacionário, em boa aproximação para colectores com simetria transversal é igual ao longitudinal, (como é o caso dos colectores planos), o IAM é igual para as duas direcções.

Tal como se observa na Figura 53, o K_{θ} é quase sem excepção uma função monótona decrescente para colectores planos, suave até à gama de 40° a 60° mas que depois diminui rapidamente tendo valores já abaixo de 0.05 para incidências acima de 85°.

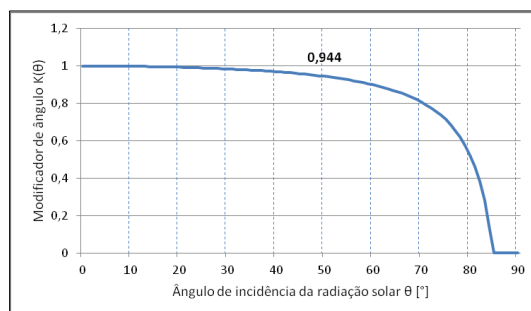


Figura 53 – Gráfico do modificador de ângulo de incidência segundo a equação (21).

No SolTerm, tal como é indicado na Norma EN 12975, é admitido que uma certa curva é ajustada medindo um único valor do modificador de ângulo, para uma incidência de 50°.

Neste caso, o colector não foi submetido a ensaios para determinar o modificador de ângulo, assim foi determinado o valor de $K_{\theta}(50^{\circ})$ utilizando a modelação básica através da equação (21).

Através deste método obteve-se o valor de 0.94 para uma incidência de 50°.

Por outro lado através do calculo médio dos valores de $K_{\theta}(50^{\circ})$ dos 165 colectores planos obteve-se o valor 0.91.

Com os valores de rendimento óptico, coeficientes de perdas e modificador de ângulo de incidência, foram introduzidos dois novos colectores no SolTerm com os parâmetros indicados na Tabela 21.

Tabela 21 – Dados de colectores em estudo.

Colector	Rendimento Óptico	a1 W/m ² .K	a2 W/m ² .K ²	Kt(50°)	KI(50°)	Aa m ²
ColectorP_Novo1	0,748	3,997	0,014	0.94	0.94	1
ColectorP_Novo2	0,748	3,997	0,014	0.91	0.91	1

Para o estudo e simulação do desempenho dos colectores foi seleccionado um concelho de cada distrito de Portugal, tendo em conta as divisões de zonas climáticas feitas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, do Decreto-Lei 80/2006.

O País é dividido em três zonas climáticas, (Diário da República , 2006), de Inverno (I1,I2 eI3) e em três zonas climáticas de Verão (V1,V2 eV3). Nesta classificação as zonas com índice 1 representam climas mais amenos tanto no Verão como no Inverno. Por outro lado o índice 3 indica climas muito rigorosos.

Nos 20 distritos seleccionados encontram-se todas as combinações climáticas de Inverno-Verão definidas pelo regulamento, (isto porque cada zona tem a sua necessidade de aquecimento).

Na Tabela 22 encontram-se os distritos escolhidos para a análise do desempenho do novo colector padrão, indica a zona climática por concelho, Número de graus-dias de aquecimento (na base de 20°C) correspondente à estação convencional de aquecimento; Duração da estação de aquecimento; Temperatura exterior de projecto de Verão; Amplitude térmica média diária do mês mais quente.

Tabela 22 – Zonas climáticas por distrito.

Distritos Portugueses	Escolha de um Concelho por Distrito	Zona Climática Inverno	Num. Graus-dia (°C)	Duração da estação de aquecimento(meses)	Zona Climática Verão	Tmp. Externa de projecto (°C)	Amplitude térmica (°C)
Aveiro	Aveiro	I1	1390	6.0	V1	29	9
Beja	Beja	I1	1290	5.7	V3	36	17
Braga	Braga	I2	1800	7.0	V2	32	13
Bragança	Bragança	I3	2850	8.0	V2	33	15
Castelo Branco	Castelo Branco	I2	1650	6.7	V3	35	15
Coimbra	Coimbra	I1	1460	6.0	V2	33	13
Évora	Évora	I1	1390	5.7	V3	35	17
Faro	Faro	I1	1060	4.3	V2	32	12
Guarda	Guarda	I3	2500	8.0	V1	31	13
Leiria	Leiria	I2	1610	6.0	V1	31	12
Lisboa	Lisboa	I1	1190	5.3	V2	32	11
Portalegre	Portalegre	I2	1740	6.7	V3	34	14
Porto	Porto	I2	1610	6.7	V1	30	9
Santarém	Santarém	I1	1440	5.7	V3	34	14
Setúbal	Setúbal	I1	1190	5.3	V2	33	12
Viana do Castelo	Valpaços	I3	2570	7.3	V3	34	17
Vila Real	Vila Real	I3	2660	7.0	V2	33	15
Viseu	Viseu	I2	1940	7.3	V2	33	14
Açores	Ponta Delgada	I1	1010	5.4	V1	25	6
Madeira	Funchal	I1	803.6	3.0	V1	26	6

Depois de definidos os conselhos para a simulação, foram fixas as condições de projecto para a análise do comportamento dos colectores no programa SolTerm;

- Clima - 20 concelhos (indicados anteriormente)
- Obstruções - Por defeito (3°)
- Azimute - Sul (0°)
- Consumo - padrão RCCTE para 5 ocupantes, (200l, tudo às 17h, temperatura de entrada 15° e saída 60°)
- Depósitos 200l
- Número de colectores - 5
- Tubagem - 14m (comprimento total)

Nota: O caudal foi ajustado para a sugestão em todos os colectores.

Nisto, foram simulados os pré-dimensionamentos dos novos colectores inseridos no SolTerm e o colector padrão actual.

12.2 Resultados

Nas condições de projecto definidas, obtiveram-se os resultados da Tabela 23, Tabela 24 e Tabela 25 para os três casos de estudo, (Colector padrão Actual, Colector Padrão Novo1, Colector Padrão Novo2).

Tabela 23 – Resultados obtidos no SolTerm para o colector padrão actual.

Colector Padrão Actual										
Valores Anuais										
Distritos	Rad.Horiz. [kWh/m ²]	Rad.Inclin. [kWh/m ²]	Desperdiçado [kWh]	Fornecido [kWh]	Carga [kWh]	Apoio [kWh]	Fracção Solar [%]	Rendimento do sistema	Produtividade [kWh/m ²]	Inclinação otimizada [°]
Aveiro	1466	1685	0	2090	3820	1730	54.7	25	418	32
Beja	1726	1966	0	2532		1288	66.3	26	506	33
Braga	1443	1659	0	2053		1767	53.7	25	411	33
Bragança	1506	1750	0	2171		1648	56.8	25	434	37
Castelo Branco	1621	1860	0	2335		1485	61.1	25	467	37
Coimbra	1520	1745	0	2211		1608	57.9	25	442	32
Évora	1709	1949	0	2513		1307	65.8	26	503	34
Faro	1729	1951	0	2526		1293	66.1	26	505	32
Guarda	1563	1797	0	2128		1692	55.7	24	426	36
Leiria	1536	1763	0	2262		1558	59.2	26	452	31
Lisboa	1646	1876	0	2405		1415	63.0	26	481	34
Portalegre	1678	1930	0	2415		1404	63.2	25	483	34
Porto	1447	1658	0	2052		1767	53.7	25	410	33
Santarém	1634	1870	0	2431		1389	63.6	26	486	31
Setúbal	1680	1916	0	2464		1356	64.5	26	493	34
Valpaços	1486	1724	0	2205		1615	57.7	26	441	37
Vila Real	1478	1708	0	2183		1637	57.1	26	437	33
Viseu	1510	1735	0	2086		1734	54.6	24	417	32
Ponta Delgada	1361	1509	0	1908		1911	50.0	25	382	29
Funchal	1394	1500	0	1948		1871	51.0	26	390	24

Tabela 24 - Resultados obtidos no SolTerm para o colector padrão novo-1.

ColectorP Novo1										
Valores Anuais										
Distritos	Rad.Horiz. [kWh/m ²]	Rad.Inclin. [kWh/m ²]	Desperdiçado [kWh]	Fornecido [kWh]	Carga [kWh]	Apoio [kWh]	Fracção Solar [%]	Rendimento do sistema	Produtividade [kWh/m ²]	Inclinação otimizada [°]
Aveiro	1466	1686	0	2760	3820	1060	72.3	33	552	36
Beja	1726	1964	28	3126		694	81.8	32	625	36
Braga	1443	1659	7	2694		1125	70.5	32	539	33
Bragança	1506	1750	22	2786		1034	72.9	32	557	37
Castelo Branco	1621	1862	37	2953		867	77.3	32	591	35
Coimbra	1520	1745	7	2859		961	74.8	33	572	32
Évora	1709	1946	22	3120		700	81.7	32	624	37
Faro	1729	1948	13	3133		687	82.0	32	627	35
Guarda	1563	1797	22	2795		1024	73.2	31	559	36
Leiria	1536	1765	5	2893		926	75.8	33	579	35
Lisboa	1646	1876	15	3027		793	79.2	32	605	34
Portalegre	1678	1927	35	3032		788	79.4	31	606	38
Porto	1447	1658	4	2708		1112	70.9	33	542	33
Santarém	1634	1869	10	3042		778	79.6	33	608	38
Setúbal	1680	1913	16	3059		761	80.1	32	612	37
Valpaços	1486	1724	31	2796		1023	73.2	32	559	37
Vila Real	1478	1709	23	2768		1052	72.5	32	554	36
Viseu	1510	1736	6	2744		1075	71.9	32	549	36
Ponta Delgada	1361	1505	1	2550		1270	66.8	34	510	26
Funchal	1394	1500	0	2596		1223	68.0	35	519	24

Tabela 25 - Resultados obtidos no SolTerm para o colector padrão novo-2.

Distritos	ColectorP_Novo2									
	Valores Anuais									
Rad.Horiz [kWh/m ²]	Rad.Inclin [kWh/m ²]	Desperdiçado [kWh]	Fornecido [kWh]	Carga [kWh]	Apoio [kWh]	Fracção Solar [%]	Rendimento do sistema	Produtividade [kWh/m ²]	Inclinação optimizada [°]	
Aveiro	1466	1686	0	2723	3820	1096	71.3	32	545	36
Beja	1726	1964	19	3098		722	81.1	32	620	36
Braga	1443	1659	1	2658		1161	69.6	32	532	37
Bragança	1506	1750	15	2755		1065	72.1	31	551	37
Castelo Branco	1621	1862	25	2922		898	76.5	31	584	35
Coimbra	1520	1745	5	2824		996	73.9	32	565	32
Évora	1709	1946	14	3090		729	80.9	32	618	37
Faro	1729	1948	7	3104		716	81.3	32	621	35
Guarda	1563	1797	15	2761		1058	72.3	31	552	36
Leiria	1536	1765	2	2859		961	74.8	32	572	35
Lisboa	1646	1873	5	2995		824	78.4	32	599	37
Portalegre	1678	1927	23	3001		818	78.6	31	600	38
Porto	1447	1658	2	2671		1148	69.9	32	534	33
Santarém	1634	1869	6	3011		809	78.8	32	602	38
Setúbal	1680	1913	8	3030		790	79.3	32	606	37
Valpaços	1486	1724	23	2766		1054	72.4	32	553	37
Vila Real	1478	1709	16	2736		1083	71.6	32	547	36
Viseu	1510	1736	2	2709		1110	70.9	31	542	36
Ponta Delgada	1361	1505	0	2509		1310	65.7	33	502	26
Funchal	1394	1500	0	2556		1264	66.9	34	511	24

Devido ao facto das necessidades de projecto serem as mesmas, as cargas são iguais para os três casos.

Foi considerado que os colectores têm um posicionamento fixo, o que se traduz numa inclinação constante (durante o ano).

Verifica-se que para o projecto definido, a energia desperdiçada pelos sistemas utilizando o colector padrão é sempre nula. Para o ColectorP_Novo1 a energia dissipada é em média 15,2kWh enquanto que para sistemas com o ColectorP_Novo2 o desperdício é menor, 9,4kWh.

O SolTerm tem disponível na sua interface, a possibilidade de realizar uma optimização energética; nas simulações indicadas anteriormente foi realizada sempre a optimização da orientação dos colectores, mantendo um azimute constante. Nesse processo, o programa seleccionou a inclinação a que os colectores se deviam encontrar de forma a que o sistema obtenha a maior fracção solar possível, desperdiçando pouca ou mesmo nenhuma energia captada.

12.3 Análise

Com os valores de energia obtidos nas simulações foi possível representar graficamente os três caso em estudo, Figura 54.

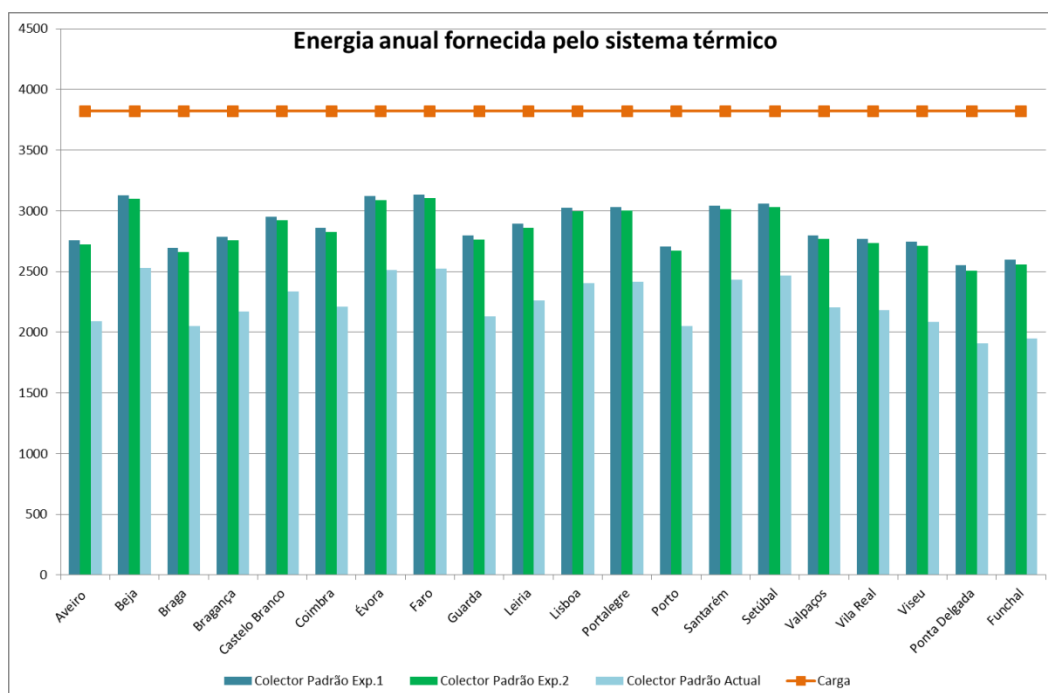


Figura 54 – Gráfico da energia anual fornecida por sistemas solares térmicos com o colector padrão actual e dois colectores padrão em estudo.

Com o colector padrão actual os valores de energia fornecida pelo sistema solar térmico é sempre menor que para os colectores padrão do exemplo 1 e 2. A diferença média verificada entre o colector padrão actual e o colector do exemplo 1 é de 22%, enquanto que para o colector do exemplo 2 é de 21%.

Apesar do colector padrão do exemplo 1 apresentar melhores resultados energéticos, fornecendo mais energia a partir do seu sistema, os seus modificadores de ângulo de incidência transversal e longitudinais, são iguais a 0,94 (para 50°), um valor bem superior ao registado na grande maioria dos colectores comercializados. Ora neste estudo é pretendido propor um colector padrão que mais se aproxime dos colectores comercializados. Assim, o colector que apresenta características mais adequadas é o colector padrão do exemplo 2, com as seguintes características:

Tabela 26 – Características do colector padrão actual e do colector proposto.

	Rendimento óptico	Coefficiente de perdas a1 (W/m ² K)	Coefficiente de perdas a2 (W/m ² K ²)	Área de abertura (m ²)	Kt(50°)	Kl(50°)
Colector Padrão	69%	7,50	0,014	1	0,87	0,87
Colector exemplo 2(Proposto)	73%	4,12	0,014	1	0,91	0,91

Com a sugestão de um novo colector, é pretendido que a diferença entre o Esolar obtido para o novo colector padrão e o Esolar de um colector seleccionado pelo projectista, seja menor que a actual. Ao melhorar as características de desempenho do colector padrão aproxima-se este colector da melhor estimativa de desempenho típico dos colectores no mercado. Assim tal novo colector padrão pode incentivar ao desenvolvimento e/ou comercialização de colectores de melhor comportamento energético para que não apresentem energias inferiores ao novo padrão e não obriguem à instalação de área adicional de colectores nos edifícios certificados.

13. Conclusões

Nos últimos anos o mercado solar térmico nacional tem vindo a beneficiar de vários impulsos às energias renováveis. Os incentivos e legislações aplicados a este sector contribuíram para o crescimento e amadurecimento do mercado do solar térmico.

Com o crescimento do mercado nos últimos anos foi aumentando também a competitividade do mercado, levando ao aparecimento de novos produtos e marcas. No final de 2010 a capacidade total de colectores em operação era de 672 697m². Nesse ano registou-se um aumento de 5% em comparação com a nova capacidade instalada no ano anterior. A fim de alcançar objectivos comunitários a capacidade instalada não devia diminuir, prevendo-se a instalação de 100 000 m² de colectores por ano até 2020. Com este objectivo e ritmos de instalação pretende-se que Portugal vá aumentando a sua experiência, qualidade de produtos e valor do mercado solar térmico.

Em termos futuros a remoção dos benefícios fiscais e o aumento do IVA num contexto de crise imobiliária e financeira do país, poderá com muita probabilidade reduzir o ritmo anual de instalação de solar térmico (e de outras FER). A longo prazo essas medidas de austeridade podem contribuir para que Portugal não consiga cumprir os objectivos comunitários para 2020. Seja como for é necessário continuar a suportar a aproveitamento da energia solar de um ponto de vista técnico e científico, para o qual se pretende dar uma contribuição.

Com o objectivo de observar a evolução das características térmicas dos colectores que entraram no mercado nacional nos últimos 19 anos, reuniu-se um conjunto de 267 colectores para representar uma aproximação da evolução dessas características.

Os dados reunidos comprovam que os colectores planos são o tipo mais comercializado no mercado nacional, e mais, predominam os colectores com tratamento selectivo da placa absorvora.

Os tubos de vácuo são ainda uma tecnologia pouco difundida no nosso país, sendo distribuídos por muito menos marcas que os colectores planos. Quanto aos colectores parabólicos compostos a sua presença no mercado solar térmico ao longo dos anos é quase insignificante em termos de marcas e modelos disponíveis.

Nesta amostra existem colectores de 14 países de origem, revelando grande diversidade no mercado nacional. No conjunto de colectores reunidos, Portugal é o país de origem do maior número de colectores, seguido da Alemanha, Itália e Espanha. Ignorando os colectores nacionais, que pertencem ao mercado em estudo, os três maiores representantes de colectores nesta amostra coincidem com os três maiores mercados de solar térmico da EU.

Em relação à produtividade verificou-se que para esta amostra, em média os colectores planos no mercado produzem mais energia por metro quadrado de área de abertura que os restantes tipos de colectores, um resultado que à primeira vista se pode considerar algo surpreendente. Em média os valores de energia produzida pelos colectores planos para uma temperatura média de fluido de 50 °C é de 872,5 kWh/m²; para os colectores parabólicos compostos é 764,7 kWh/m² e para os tubos de vácuo, 507,1 kWh/m². No entanto se a análise fosse organizada com outro critério, por exemplo em relação à área de absorção, o resultado poderia ser diferente.

Na análise das características dos colectores, a amostra de colectores em causa revela algumas lacunas e heterogeneidades – desde logo não é a mesma quantidade e tipo de colectores a entrar no mercado ao longo dos 19 anos. No entanto pelo menos para o caso dos colectores planos é suficiente para demonstrar quer a presença quer a ausência de tendências, em especial a partir de 2004.

Assim para o rendimento óptico, os colectores planos selectivos apresentam valores médios de rendimento óptico superiores aos colectores planos não selectivos, como seria de esperar, seguidos dos colectores parabólicos compostos e os tubos de vácuo, Tabela 16.

Numa análise de todos os dados de rendimento óptico dos colectores presentes na amostra, Figura 30, parece haver uma melhoria entre 1991 e 2010.

No caso dos colectores planos os resultados obtidos apenas são representativos a partir de 2004, onde os intervalos de incerteza obtidos são pequenos. Ora nesse período, 2004 a 2010, verifica-se que existe uma tendência de diminuição dos parâmetros ópticos contrariando a tendência “global” observada na Figura 30. Contudo essa descida não é significativa. Para os tubos de vácuo e colectores parabólicos compostos o baixo número de colectores desse tipo impossibilita a validação estatística de alguns resultados e a detecção de tendências no rendimento óptico dos colectores certificados.

Para o coeficiente global de perdas os colectores planos não selectivos apresentam os maiores valores médios de perdas térmicas, seguidos dos colectores planos selectivos, colectores parabólicos compostos e tubos de vácuo respectivamente. Os dados globais dos colectores em amostra sugerem uma tendência decrescente deste parâmetro, Figura 31.

Os valores médios para os colectores planos têm pequena incerteza entre 2006 e 2010; nesse período parece poder provar-se um ligeiro aumento das perdas térmicas, contrariamente ao resultado apontado na Figura 31.

Para os tubos de vácuo colectores parabólicos compostos, e tal como no caso do rendimento óptico, o pequeno número de colectores deste tipo em análise impede a determinação das incertezas em alguns anos e em outros conduz a grande dispersão dos valores, o que não permite provar tendências das perdas térmicas neste tipo de colectores.

Na análise da temperatura de estagnação foram examinados 255 colectores. Tal como esperado os tubos de vácuo apresentaram valores médios mais elevadas que para os colectores planos. Não é possível provar melhoria da temperatura de estagnação suportada pelos colectores planos. De igual forma para os tubos de vácuo os resultados não permitem apontar uma evolução na temperatura de estagnação mas verifica-se que em 2008 foram certificados os tubos de vácuo com maiores valores de todos os colectores analisados.

Na análise das distribuições de capacidade térmica efectiva, os tubos de vácuo apresentaram valores médios consideravelmente superiores aos dos colectores planos. Os resultados dos colectores planos revelam uma evolução ligeiramente decrescente, enquanto nos tubos de vácuo não foi possível determinar uma tendência.

Nos resultados de produtividade verifica-se que os valores medianos máximos e mínimos de energia produzida anualmente coincidem com os anos em que também se registaram medianas máximas e mínimas no rendimento óptico. O mesmo não se verifica para os coeficientes de perdas.

Neste banco de dados os colectores que apresentam maior produção de energia por metro quadrado de área de abertura são colectores planos de origem espanhola.

Apesar dos parâmetros analisados neste trabalho não revelarem melhorias significativas nos últimos anos, não significa que no mercado solar térmico não tenha existido desenvolvimento em outros pontos (i.e. preço, durabilidade, ente outros). Este estudo incide apenas em características técnicas dos colectores, não representa uma análise global das características do mercado.

Utilizando o conjunto de colectores solares reunidos, foi possível elaborar uma proposta de um novo colector padrão para o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Para esta proposta foram analisados os dados de 165 colectores planos.

Neste estudo propõe-se a utilização de um colector com maior rendimento óptico, menor coeficiente linear de perdas e maior modificador de ângulo de incidência do que na definição actual, cf. Tabela 26.

Esta alteração nas características do colector padrão reflecte-se no aumento da estimativa de referência da energia solar aproveitada por um sistema solar térmico. Através de resultados obtidos para 20 concelhos de Portugal, conclui-se que um projecto com o colector padrão proposto aproveitaria em média mais 21% de energia solar que o colector padrão actual. No entanto produziria algum desperdício de energia, que surge porque se ultrapassam por vezes as temperaturas máximas de armazenamento de água em situações de pequena carga. Seja como for num projecto real existem quase sempre desperdícios.

Uma modificação dos Regulamentos com esta proposta promoveria o aumento do desempenho dos colectores escolhidos para a instalação dos sistemas solares térmicos.

14.Referências

- ADENE. (Abril de 2008). *Pergunta & Repostas sobre o RCCTE*. Obtido em 2010, de Pergunta & Repostas sobre o RCCTE: http://www.norgrupo.com/documentacao/Perguntas_Respostas_RCCTE.pdf
- Água Quente Solar. (s.d.). *Água Quente Solar*. Obtido em 5 de Julho de 2011, de <http://www.aguaquentesolar.com/faq/questao.asp?id=6>
- Água Quente Solar. (2004). *Água Quente Solar*. Obtido em 20 de Julho de 2011, de Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de água no Sector Doméstico: <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/9/domestico.pdf>
- Água Quente Solar. (s.d.). *Certificação de equipamentos solares térmicos -Colectores solares e sistemas do tipo "kit"*. Obtido em Junho de 2011, de Água Quente Solar: www.aguaquentesolar.com/publicacoes/3/certificacaoEquipamentos.pdf
- Água Quente Solar. (2003). *Colectores Solares para Aquecimento de água -Pavilhões e Piscinas*. Lisboa.
- Água Quente Solar. (Jun/Dez de 2002). Criar um mercado Sustentável de colectores solares com garantia de qualidade para o aquecimento de água em Portugal. *Revista Energia Solar Nº1* .
- Aguiar, R., & Coelho, R. E. (12 de Maio de 2010). *Manual de Instalação e Utilização do software SolTerm*. Lisboa.
- APISOLAR. (s.d.). *Associação Portuguesa da Indústria Solar* . Obtido em 5 de Julho de 2011, de <http://www.apisolar.pt/>
- APREN - Associação de Energias Renováveis. (12 de Março de 2009). *Roteiro Nacional das Energias Renováveis Aplicação da Directiva 2009/28/CE* .
- Cardoso, F. (Julho/Agosto de 2011). Mercado poderá crescer 15% ao ano até 2020, prevê ESTIF. *Climatização* , p. 42.
- Cardoso, F. (Março/Abril de 2011). Se os planos de acção para as renováveis forem implementados, prevemos um crescimento médio de 10a 15% por ano entre 2010 e 2020. *Climatização* .
- Carvalho, M. J. (2005). *Certificação de equipamentos e instaladores- Formação RENAE*.
- CERTIF. (s.d.). Obtido em 20 de Junho de 2011, de Regras Gerais para a Certificação de produtos Solares térmicos: <http://www.certif.pt/pdf/DOPST01v02.pdf>

- CERTIF. (s.d.). *Certif- Solar Keymark*. Obtido em 10 de Junho de 2011, de <http://www.certif.pt/keymark.asp#>
- CERTIF. (s.d.). *Certificação com concessão da licença para uso da Marca CERTIF-Produto Certificado*. Obtido em 20 de Junho de 2011, de <http://docs.google.com/viewer?url=http://www.certif.pt/pdf/DO06v03.pdf&pli=1>
- Climatização. (20 de Outubro de 2011). *Revista Climatização - "Governo confirma intenção de subir IVA de equipamentos de energia renováveis"*. Obtido em 20 de Outubro de 2011, de www.climatização.pt
- Cruz, A., Filipe, E., Almeida, G. d., Valadares, J., & Pellegrino, O. (s.d.). *Gazeta de Física*. Obtido em 10 de 2011, de *Gazeta de Física*: <http://www.gazetadefisica.spf.pt/index.php?page=73&view=Article:Edition&id=676&where=fe>
- DGGE/ IP-AQSpP. (2004). *Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processos Industriais*. Lisboa.
- Diário da República . (4 de Abril de 2006). *Diário da República . Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios .*
- Energia, C. p., & INETI. (1991). *Colectores e sistemas solares*.
- Energia, D. G., Energia, P., & INETI. (2000). *Colectores Solares Térmicos: Requisitos Mínimos de Qualidade*.
- Energias Renováveis. (s.d.). *Energias Renováveis*. Obtido em Setembro de 2011, de www.energiasrenovaveis.com/DetelhConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area
- Energias Renováveis. (s.d.). *Energias renováveis: Tecnologias: Colectores Solares Térmicos*. Obtido em 22 de Junho de 2011, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area=8&ID_sub_area=26
- ESTIF. (Junho de 2011). *2010 European Solar Thermal Markets. 2010 European Solar Thermal Markets .*
- ESTIF- European Solar Thermal Industry Federation. (2010). *Solar Thermal Markets in Europe-Trends and Market Statistics 2009*. Bruxelas .
- European Solar Thermal Industry Federation. (20 de Outubro de 2003). *The first Solar Keymark has been issued .*

- Florida Solar Energy Center. (Janeiro de 2010). *FSEC Standard*. Obtido em Outubro de 2011, de Operation of the Solar Thermal Collector Certification Program: www.fsec.ucf.edu/EN/publications/pdf/standards/FSECstd_101-10.pdf
- GREENPRO. (2004). *Energia Solar Térmica -Manual sobre tecnologias, projectos e instalações*.
- Instituto Português da Qualidade. (2007). *Norma Portuguesa EN 12975-2*.
- International Institute for Environment and Development. (2005). *Planning and Installing Solar Thermal Systems*. London • Washington, DC: Earthscan.
- IST, DGS, DLR, UE. (2004). Energia Solar Térmica. In *Energia Solar térmica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalações*.
- James, J. &. (2010). *Planning and Installing, Solar Thermal Systems -A guide for installers, architects and engineers- Second edition*. London: earthscan.
- Lebeña, E. P., & Costa, J. C. (2006). *Conversão termica da Energia Solar*. Lisboa.
- LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. (2009). *SolTerm*. Obtido de SolTerm-Software de análise de desempenho e pré dimensionamento de sistemas solares térmicos; Versão 5.1.3: <http://www.lneg.pt>
- LNEG. (s.d.). *SolTerm: Colectores- Banco de dados*. Obtido em Dezembro de 2010, de <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/paginas/37>
- Martins, M. G. (2000). *Introdução á probabilidade e estatistica- Capítulo 2*. Obtido em 10 de Junho de 2011, de <http://area.dgicd.min-edu.pt/mat-no-sec/pdf/Parte%204.pdf>
- Nascimento, J. (2002). *Agua Quente Solar: Certificação Produtos solares térmicos*. Obtido em 21 de Junho de 2011, de http://www.aguaquentesolar.com/noticiaseventos/e1/CERTIF_certificacao.pdf
- Nina, N. (1999). *Visual Basic 6 - Curso completo*. FCA.
- Norquente. (s.d.). *Norquente*. Obtido em 21 de Junho de 2011, de <http://www.norquente.pt/empresa.php>
- Perdigoto, J. (28 de Janeiro de 2011). *Cátedra BES - Energias Renováveis*. Obtido em 10 de Maio de 2011, de <http://www.catedrabes.uevora.pt/Site/Jose%20Perdigoto.pdf>
- Portal das Energias Renováveis . (s.d.). *Portal das Energias Renováveis* . Obtido em 2 de Maio de 2011, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area=8&ID_sub_area=26

- Portal das Energias Renováveis. (25 de Agosto de 2008). *Certificação de Colectores e Sistemas Solares Térmicos*. Obtido em 20 de Junho de 2011, de http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheNoticias.asp?ID_conteudo=92&ID_area=15
- Portal de Engenharia Química. (s.d.). *Portal de Engenharia Química - Energia, Calor e Temperatura*. Obtido em 20 de Setembro de 2011, de Portal de Engenharia Química: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?Itemid=371&id=206&option=com_content&task=view
- Portal do Governo Portugês. (s.d.). *Paineis Solares*. Obtido em 20 de Julho de 2011, de Paineis Solares: <http://www.paineissolares.gov.pt/index.html>
- Rabl, A. (1985). *Active Solar Collectors and Their Applications*. New York: Oxford University Press.
- República Portuguesa . (2009). *PLANO NACIONAL DE ACÇÃO PARA AS ENERGIAS RENOVÁVEIS AO ABRIGO DA DIRECTIVA 2009/28/CE*.
- Rodriguez, J., & Fedrizzi, R. (25 de Janeiro de 2010). *Descrição e representação visual* . Obtido em 11 de Julho de 2011, de Solar Combi Plus: http://www.solarcombiplus.eu/docs/D4_7_V05_PT.pdf
- Roriz, L. (2008-2009). *Solar Térmico: Uso de paineis solares térmicos*. Obtido em 24 de Maio de 2010, de <http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solarvp.pdf>
- Ruiz, L., Rosendo, J., Lourenço, F., & Calhau, K. (2010). *Energia Solar em Edifícios* . Amadora: Edições Orion.
- Sociedade Portuguesa de Energia Solar. (s.d.). *Sociedade Portuguesa de Energia Sola-Missão da SPES*. Obtido em 25 de Julho de 2011, de http://www.spes.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=68
- Sociedade Portuguesa de Energia Solar, FER - Fórum das Energias Renováveis de Portugal. (s.d.). *Eurofix Solutions*. Obtido em 2 de Maio de 2011, de Eurofix Solutions: http://www.eurofix.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=61:-quais-os-tipos-de-colectores-solares-&catid=31:faq&Itemid=41
- Solar KeyMark . (s.d.). *Solar KeyMark* . Obtido em 2010, de Solar KeyMark : <http://www.estif.org/solarkeymark/>
- Vallêra, A. (9 de Fevereiro de 2009). Obtido em Agosto de 2011, de Energia 2020- Um objectivo a 10 anos.

- XVI Governo Constitucional. (2004). *Programa de Actuação para Reduzir a Dependência de Portugal face ao Petróleo* . Obtido em 20 de Julho de 2011, de http://www2.egi.ua.pt/cursos/files/PE/Prog_Reducacao_Dependencia_Petroleo.pdf

15. Anexo 1- Códigos utilizados para criar ficheiros de resultados

```
Dim Marca As String
Dim Lixo As String
Dim Modelo As String
Dim a1 As String
Dim a2 As String
Dim Eficiencia As String
Dim Aa As String
Dim RefCertif As String
Dim EntidCertif As String
Dim ValidCertif As String
Dim AnoCertif As String
Dim Pais As String
Dim TempEstag As String
Dim CapTerm As String
Dim contador As Integer
Dim inicio As Integer
Dim fim As Integer

Private Sub cmdCorrer_Click()

'indicar pasta com os colectores
IstColectores.Path = "C:\Users\catarina\Desktop\exercicios VisualBasic\ST colectores 267\"
IstColectores.Refresh

'abrir o ficheiro onde se vão escrever os valores calculados
Open "C:\Users\catarina\Desktop\exercicios VisualBasic\Tabela de Resultados.csv" For Output As #2

'escrever como cabeçalho:
Print #2, "Marca" + ";" + "Modelo" + ";" + "Marca Modelo" + ";" + "Rendimento Óptico" + ";" + "AnoCertif" + ";" + "Pais" + ";" + "a1
[W/Km^2]" + ";" + "a2 [W/K^2m^2]" + ";" + "F'eta0_200[W/m^2]" + ";" + "F'UI_200[W/m^2]" + ";" + "F'eta0_400[W/m^2]" + ";" +
"F'UI_400[W/m^2]" + ";" + "F'eta0_600[W/m^2]" + ";" + "F'UI_600[W/m^2]" + ";" + "F'eta0_800[W/m^2]" + ";" + "F'UI_800[W/m^2]"
+ ";" + "F'eta0_1000[W/m^2]" + ";" + "F'UI_1000[W/m^2]" + ";" + "F'UI_Med" + ";" + "F'eta0_Med"

'contar o número de colectores
No_colectores = IstColectores.ListCount

'ciclo
For i = 0 To No_colectores - 1

'obter nome do ficheiro
Ficheiro = IstColectores.List(i)

'abrir ficheiro de dados
Open "C:\Users\catarina\Desktop\exercicios VisualBasic\ST colectores 267\" + Ficheiro For Input As #1

    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Marca
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Modelo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, a1
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, a2
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, Lixo
    Input #1, RendOptico
    For i=1 to 75 :Input #1, Lixo : Next i
    Input #1, AnoCertif
Close #1

'Na folha de Excel:
Print #2, Marca; ";"; Modelo; ";"; Marca; Modelo; ";"; Format$(RendOptico, "0.000"); ";"; AnoCertif; ";"; Pais; ";"; Format$(a1,
"0.000"); ";"; + Format$(a2, "0.000"); ";";
```

```
'Gerar os valores de (Tf-Tamb)/G= XX
'Valores [0;0.001;0.13]
```

'Cálculos:

```
'1º RendInst VS (DT/G)
For G = 200 To 1000 Step 200
```

```
For j = 0 To 130
```

```
ww(j) = 1
xx(j) = j / 1000
RendInst(j) = RendOptico - a1 * xx(j) - a2 * G * xx(j) ^ 2
```

```
Next j
```

'3º Método dos quadrados mínimos

```
Call Linear_fit(111, ww(), xx(), RendInst(), F_eta0, F_UI)
```

```
If G = 200 Then F_eta0_200 = F_eta0
If G = 200 Then F_UI_200 = F_UI
If G = 400 Then F_eta0_400 = F_eta0
If G = 400 Then F_UI_400 = F_UI
If G = 600 Then F_eta0_600 = F_eta0
If G = 600 Then F_UI_600 = F_UI
If G = 800 Then F_eta0_800 = F_eta0
If G = 800 Then F_UI_800 = F_UI
If G = 1000 Then F_eta0_1000 = F_eta0
If G = 1000 Then F_UI_1000 = F_UI
```

```
Next G
```

'Calculo das médias

```
F_UI_Med = (F_UI_200 + F_UI_400 + F_UI_600 + F_UI_800 + F_UI_1000) / 5
F_eta0_Med = (F_eta0_200 + F_eta0_400 + F_eta0_600 + F_eta0_800 + F_eta0_1000) / 5
```

'Na folha de Excel:

```
Print #2, Abs(Format$(F_eta0_200, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_UI_200, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_eta0_400, "0.00")); ";";
Abs(Format$(F_UI_400, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_eta0_600, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_UI_600, "0.00")); ";";
Abs(Format$(F_eta0_800, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_UI_800, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_eta0_1000, "0.00")); ";";
Abs(Format$(F_UI_1000, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_UI_Med, "0.00")); ";"; Abs(Format$(F_eta0_Med, "0.00")); ""
```

```
Next i
```

```
Close #2
```

```
Label1.Caption = "Terminou de escrever no ficheiro Excel"
```

```
End Sub
```

```
Sub Linear_fit(nn, ww(), xx(), yy(), intercept, slope)
'-----'
```

```
' Fit a line to data
'-----
' INPUTS
'-----
' nn    = no. of data inspected
' xx(nn) = x data
' yy(nn) = y data
' ww(nn) = weight to be applied (optional)

' OUTPUTS
'-----
' intercept = intercept with OY axis
' slope    = slope of linear fit

' METHOD fit linear function using analytic weighted least squares
'-----

xbar = 0
x2bar = 0
ybar = 0
yxbar = 0
wsum = 0

For i = 1 To nn
  If ww(i) > 0 Then
    xbar = xbar + xx(i) * ww(i)
    x2bar = x2bar + ww(i) * xx(i) ^ 2
    ybar = ybar + yy(i) * ww(i)
    yxbar = yxbar + xx(i) * yy(i) * ww(i)
    wsum = wsum + ww(i)
  End If
Next i

xbar = xbar / wsum
x2bar = x2bar / wsum
ybar = ybar / wsum
yxbar = yxbar / wsum

slope = (ybar * xbar - yxbar) / (xbar ^ 2 - x2bar)
intercept = ybar - slope * xbar

End Sub
```