

## **Avaliação da Viabilidade de Colectores Híbridos Fotovoltaicos e Térmicos para Aplicação ao Aquecimento de Águas e Micro-Geração de Electricidade**

Relatório da Dissertação do MIEM

Ricardo Licínio Moreira da Rocha Pereira Marques  
MIEM 2008

043)  
/AVA

Avaliação da Viabilidade de Colectores Híbridos Fotovoltaicos e  
Térmicos para Aplicação ao Aquecimento de Águas e Micro-Geração de  
Electricidade

*Ricardo Licínio Moreira da Rocha Pereira Marques*

*Armando Oliveira*

**Relatório da Dissertação do MIEM**

Orientador na FEUP: Prof. Armando Oliveira



**FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**  
**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Fevereiro 2008

100502  
61/013/928/1111  
2 0 1 0 4

## Resumo

Neste trabalho foi estudado a viabilidade económica de colectores híbridos para aplicação ao aquecimento de águas e micro - geração de electricidade. O colector híbrido converte a radiação solar, simultaneamente, em electricidade e calor.

Numa primeira fase do trabalho, foram escolhidas três configurações de colectores híbridos: Placa – Tubo Com Cobertura, Placa – Tubo Sem Cobertura e Placa – Tubo Com Células Transparentes. Cada uma destas configurações foi simulada com células policristalinas e monocristalinas.

Seguidamente, foram desenvolvidos três modelos numéricos, que representam as várias trocas de calor entre os elementos do colector; com o objectivo de obter-se as características de rendimento (térmico e eléctrico). O Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura possui o melhor comportamento térmico, enquanto o Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura, tem um desempenho eléctrico superior aos restantes módulos. Isto acontece, porque a cobertura no topo permite diminuir as perdas calor, aumentando o rendimento térmico. Por outro lado, a sua existência faz aumentar a temperatura do módulo, diminuindo o rendimento eléctrico. O Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes apresenta um rendimento eléctrico e térmico baixo, em comparação com os restantes módulos. O tipo de células fotovoltaicas influencia os resultados obtidos. O tipo monocristalino proporciona uma maior geração de energia eléctrica, enquanto o tipo policristalino permite uma conversão maior em energia térmica.

Posteriormente, analisou-se o comportamento anual dos colectores híbridos, para uma habitação de quatro pessoas, em três climas diferentes (Bragança, Faro e Porto). A energia eléctrica gerada é, na sua totalidade, injectada na rede, sendo remunerada com a tarifa em vigor no Decreto-Lei 363/2007. A energia térmica e eléctrica, obtida nos colectores híbridos, foi comparada com quatro sistemas mistos (fotovoltaico + térmico em separado), de aproximada potência eléctrica instalada. Os sistemas mistos originam uma maior quantidade de energia térmica, contudo, os Colectores Híbridos (Sem Cobertura e Com Células Transparentes) geram uma maior quantidade de energia eléctrica, comparando com módulos fotovoltaicos de igual potência. Dentro dos colectores híbridos, os Com Cobertura, obtêm mais energia térmica.

Por fim, realizou-se uma análise económica, aos colectores híbridos e aos sistemas mistos. Foi considerado um sistema de apoio, ao aquecimento de água, a gás natural.

O colector híbrido mais viável é o Placa – Tubo Sem Cobertura com células monocristalinas, tendo-se obtido a seguinte relação de viabilidade por ordem decrescente:

(Colector Híbrido Sem Cobertura Monocristalino) > (Colector Híbrido Com Cobertura Monocristalino) > (Colector Híbrido Sem Cobertura Policristalino) > (Colector Híbrido Com Cobertura Policristalino/ Colector Híbrido Com Células Transparentes Monocristalino) > (Colector Híbrido Com Células Transparentes Policristalino)

Em comparação com os sistemas mistos, os colectores híbridos são mais viáveis para áreas colectoras elevadas.

## Evaluation the Viability of Photovoltaic and Thermal Hybrid Solar Collectors for Water Heating and Electricity Generation Applications

### Abstract

In this Work Project the economic viability of hybrid solar collectors for water heating and electricity generation was studied. The hybrid solar collector converts, solar radiation into both electrical and thermal energy.

In the first stage of the project, three hybrid solar collectors configurations were selected: Sheet and Tube PVT With One Cover, Sheet and Tube PVT Uncovered and Sheet and Tube PVT With Transparent Solar Cells. Each one was simulated with polycrystalline and monocrystalline solar cells.

Afterwards, three numeric models, which consider the heat transfer balances between the collector elements, were developed, with the aim of obtaining the electrical and thermal efficiencies. The Sheet and Tube PVT With Cover has the best thermal performance, while the Sheet and Tube PVT Uncovered has an electrical efficiency higher than the remaining collectors. This is due to the fact that the top cover allows less thermal losses, therefore increasing the thermal efficiency. On the other hand, the cover glass increases cell temperature, decreasing the electric efficiency. The Sheet and Tube PVT With Transparent Solar Cells shows a low electrical and thermal behavior, compared with the other collectors. The type of solar cells influences the results. The monocrystalline cells provide a higher electrical yield, while polycrystalline cells lead to a better thermal energy conversion.

After that, the hybrid collector's annual yield was studied for a four person residential building in three different climates (Bragança, Faro e Porto). The generated electric is sold to the grid, according to "Decreto-Lei 363/2007". The thermal and electrical energy, obtained in hybrid collectors, was compared with four mixed systems (photovoltaic + thermal collector apart), having approximately the same electrical peak power. The mixed systems provide higher thermal energy, although hybrid collectors (Uncovered PVT and Transparent cells PVT) generate a larger quantity of electrical energy, comparing with the same photovoltaic power. Between the hybrid collectors, the models with the top cover can provide more thermal energy.

At the end, an economic analysis for hybrid collectors and mixed systems has been done. An auxiliary heating system using natural gas was considered.

The most viable hybrid collector is the Uncovered Sheet and Tube PVT with monocrystalline cells; meanwhile, it was possible to draw the following viability relation (by decreasing order):

(Uncovered Sheet and Tube PVT Monocrystalline) > (Sheet and Tube PVT Monocrystalline With One Cover) > (Uncovered Sheet and Tube PVT Polycrystalline) > (Sheet and Tube PVT Polycrystalline With One Cover/ Sheet and tube PVT With Transparent Solar Cells Monocrystalline) > (Sheet And Tube PVT With Transparent Solar Cells Polycrystalline)

Comparing with mixed systems, hybrid collectors are more interesting for higher collectors areas.

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Professor Armando Oliveira pela ajuda e disponibilidade demonstrada ao longo do Projecto.

Agradeço, também, ao Professor Jorge Facão a disponibilidade demonstrada.

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Apresentação do Tema e Principais Objectivos .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Estado da Arte – Colector Solar Híbrido .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Enquadramento.....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Solar Térmico .....	6
2.1.2 Fotovoltaico .....	7
<b>2.2 O que é um Colector Solar Híbrido? .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Rendimento Eléctrico e Térmico.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Tipos de Colectores Híbridos a Água .....</b>	<b>14</b>
2.4.1 Colectores Híbridos Analisados .....	15
<b>2.5 Presente Mercado e Desenvolvimento Futuro dos Colectores Híbrido.....</b>	<b>17</b>
<b>3. Determinação das Curvas de Rendimento Térmico e Eléctrico .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Caracterização dos Colectores Híbridos.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 Características Térmicas e Suas Dimensões .....	20
3.1.2 Características Eléctricas .....	23
<b>3.2 Modelos Desenvolvidos .....</b>	<b>27</b>
3.2.1 Introdução.....	27
3.2.2 Modelo para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura .....	29
3.2.3 Modelo para o Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura.....	35
3.2.4 Modelo para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes .....	38
<b>3.3 Resultados Obtidos – Rendimento Térmico e Eléctrico .....</b>	<b>44</b>
<b>4. Energia Anual Obtida .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2 Energia Térmica .....</b>	<b>49</b>
4.2.1 Apresentação dos Resultados .....	51
<b>4.3 Energia Eléctrica .....</b>	<b>57</b>
4.3.1 Apresentação dos Resultados .....	61
<b>5. Análise Económica.....</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Introdução.....</b>	<b>69</b>
5.1.1 Critérios da Análise do Investimento.....	69
<b>5.2 Elementos de Base para a Avaliação dos Projectos .....</b>	<b>72</b>
5.2.1 Investimento Inicial .....	72
5.2.2 Benefícios Económicos do Aproveitamento da Energia .....	76
5.2.3 Custos ao Longo da Vida do Projecto.....	77
<b>5.3 Apresentação dos Resultados.....</b>	<b>78</b>
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>86</b>
<b>7. Bibliografia.....</b>	<b>88</b>



<b>Anexo A – Tipo de Células de Silício.....</b>	<b>92</b>
<b>A1 – Células Policristalinas .....</b>	<b>92</b>
<b>A2 – Células Monocristalinas.....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo B – Distribuição da Temperatura na Placa Absorsora .....</b>	<b>94</b>
<b>Anexo C – Características Eléctricas dos Módulos Fotovoltaicos para Comparação..</b>	<b>98</b>
<b>C1 - Suntech STP 240 – 24/V .....</b>	<b>98</b>
<b>C2 - Suntech STP 280S – 24/Vb.....</b>	<b>99</b>
<b>C3 - Mitsubishi PV – MF 185 TD4 .....</b>	<b>100</b>
<b>C4 - SunPower SPR – 210 - BLK .....</b>	<b>101</b>
<b>Anexo D - Investimento Inicial - Colectores Híbridos e Sistema Misto (Fotovoltaico + Térmico) .....</b>	<b>102</b>

## Lista de Símbolos de Abreviaturas

Símbolo	Símbolo (EES)	Descrição	Unidades
$A_{célula}$	$A_{célula}$	Área de uma célula fotovoltaica	$[m^2]$
$A_{células}$	$A_{células}$	Área de células fotovoltaicas	$[m^2]$
$A_{colector}$	$A_{col}$	Área do colector	$[m^2]$
$C_{págua}$	$C$	Calor específico a pressão constante da água	$[J/kgK]$
$C_{par}$	$C_{pair}$	Calor específico a pressão constante do ar	$[J/kgK]$
$D$	$D$	Diâmetro exterior do tubo	$[m]$
$D_i$	$D_i$	Diâmetro interior do tubo	$[m]$
$esp_{abs}$	$esp_{abs}$	Espessura da placa absorvora	$[m]$
$esp_{vidrocélulas}$	$esp_{pvglass}$	Espessura do vidro de protecção das células	$[m]$
$esp_{vidrocélulas,baixo}$	$esp_{pvglass}$	Espessura do vidro de protecção das células (vidro de baixo) – colector placa – tubo com células transparentes	$[m]$
$esp_{vidrocélulas,cima}$	$esp_{topglass1}$	Espessura do vidro de protecção das células (vidro de cima) – colector placa – tubo com células transparentes	$[m]$
$esp_{vidrocobertura}$	$esp_{topglass}$	Espessura do vidro da cobertura	$[m]$
$F'U_L$	$[-]$	Factor de Perdas Globais num Colector Térmico para uma Temperatura Média do Fluido	$[W/m^2K]$
$F'\tau\alpha$	$[-]$	Factor de Energia Absorvida na Placa num Colector Térmico para uma Temperatura Média do Fluido	$[-]$
$F_RU_L$	$[-]$	Factor de Perdas Globais num Colector Térmico para a Temperatura de Entrada do Fluido	$[W/m^2K]$
$F_R\tau\alpha$	$[-]$	Factor de Energia Absorvida na Placa num Colector Térmico para a Temperatura de Entrada do Fluido	$[-]$
$G$	$G$	Radiação incidente no colector	$[W/m^2]$
$g$	$g_1$	Aceleração da gravidade	$[m/s^2]$
$G_{ref}$	$G_{ref}$	Radiação incidente de referência	$[W/m^2]$
$H$	$H$	Espessura da camada de ar	$[m]$
$I_{cc}$	$I_{cc}$	Corrente de curto - circuito	$[A]$
$I_{max}$	$I_{max}$	Corrente máxima	$[A]$
$\dot{m}_{água}$	$m_{água}$	Caudal mássico de água	$[Kg/s m^2]$
$n_{células}$	$n_{células}$	Número de células	$[-]$
$Nu_{água}$	$Nu_{tube}$	Número de Nusselt da água	$[-]$
$Nu_{ar}$	$Nu_{air}$	Número de Nusselt do ar	$[-]$

PF	PF	Razão entre a área de células e área do colector	[-]
$Pr_{\text{água}}$	$Pr_{\text{water}}$	Número de Prandtl da água	[-]
$Pr_{\text{ar}}$	$Pr_{\text{air}}$	Número de Prandtl do ar	[-]
$Q_{\text{água}}$	$Q_{\text{water}}$	Fluxo de calor na água	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{amb.conv}}$	$Q_{\text{skyconv}}$	Fluxo de calor por convecção para o ambiente	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{amb.rad}}$	$Q_{\text{skyrad}}$	Fluxo de calor por radiação para o ambiente	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{ar.conv}}$	$Q_{\text{airconv}}$	Fluxo de calor por convecção no espaço de ar	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{ar.rad}}$	$Q_{\text{airrad}}$	Fluxo de calor por radiação no espaço de ar	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{ba}}$	$Q_{\text{ba}}$	Fluxo de calor por condução entre placa absorvora e o ambiente	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{ca}}$	$Q_{\text{ca}}$	Fluxo de calor por condução entre células e a placa absorvora	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{vidrocélulas}}$	$Q_{\text{pvglass}}$	Fluxo de calor por condução entre as células e o vidro de protecção	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{vidrocélulas,baixo}}$	$Q_{\text{pvglass}}$	Fluxo de calor por condução entre as células e o vidro de protecção de baixo (colector híbrido placa – tubo com células transparentes)	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{vidrocélulas,cima}}$	$Q_{\text{topglass1}}$	Fluxo de calor por condução entre as células e o vidro de protecção de cima (colector híbrido placa – tubo com células transparentes)	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{\text{vidrocobertura}}$	$Q_{\text{topglass}}$	Fluxo de calor por condução no vidro da cobertura	[W/m <sup>2</sup> ]
$Re_{\text{água}}$	$Re_{\text{water}}$	Número de Reynolds	[-]
$Ra_{\text{ar}}$	$Ra_{\text{air}}$	Número de Rayleigh	[-]
$T_{\text{água}}$	$T_{\text{water}}$	Temperatura de saída da água	[K]
$T_{\text{amb}}$	$T_{\text{amb}}$	Temperatura ambiente	[K]
$T_{\text{bond}}$	$T_{\text{bond}}$	Temperatura na base do tubo	[K]
$T_{\text{células}}$	$T_{\text{cell}}$	Temperatura da célula fotovoltaica	[K]
$T_{\text{céu}}$	$T_{\text{sky}}$	Temperatura do céu	[K]
$T_{\text{in}}$	$T_{\text{in}}$	Temperatura de entrada da água	[K]
$T_{\text{vidrocélulas}}$	$T_{\text{pvglass}}$	Temperatura do vidro de protecção das células	[K]
$T_{\text{vidrocélulas,baixo}}$	$T_{\text{pvglass}}$	Temperatura do vidro de protecção das células (baixo) - colector híbrido placa – tubo com células transparentes	[K]
$T_{\text{vidrocélulas,cima}}$	$T_{\text{topglass1}}$	Temperatura do vidro de protecção das células (cima) - colector híbrido placa – tubo com células transparente	[K]
$T_{\text{vidrocobertura,baixo}}$	$T_{\text{topglassbaixo}}$	Temperatura do vidro da cobertura (baixo)	[K]
$T_{\text{vidrocobertura,cima}}$	$T_{\text{topglasscima}}$	Temperatura do vidro da cobertura (cima)	[K]

$U_{ba}$	$h_{ba}$	Coeficiente de transferência de calor entre a placa absorvora e o ambiente	$[W/m^2K]$
$U_{ca}$	$h_{ca}$	Coeficiente de transferência de calor entre as células e a placa absorvora	$[W/m^2K]$
$V_{ca}$	$V_{ca}$	Tensão de circuito aberto	$[V]$
$V_{max}$	$V_{max}$	Tensão máxima	$[V]$
$V_{vento}$	$V_{Wind}$	Velocidade do vento	$[m/s]$
$W$	$W$	Distância entre dois tubos	$[m]$
$\alpha_{abs}$	alfaabs	Coeficiente de absorção da placa absorvora	$[-]$
$\alpha_{vento}$	$h_{wind}$	Coeficiente de transferência de calor por convecção para o ambiente	$[W/m^2K]$
$\beta_{ar}$	$B_{ai}$	Coeficiente de expansão	$[1/K]$
$\epsilon_{abs}$	$\epsilon_{abs}$	Emissividade da placa absorvora	$[-]$
$\epsilon_{Vidrocelulas}$	$\epsilon_{pv}$	Emissividade do vidro de protecção das células	$[-]$
$\epsilon_{vidrocelulas,baixo}$	$\epsilon_{pvglass}$	Emissividade do vidro de protecção das células (baixo) - colector híbrido placa – tubo com células transparente	$[-]$
$\epsilon_{vidrocelulas,cima}$	$\epsilon_{top1}$	Emissividade do vidro de protecção das células (cima) - colector híbrido placa – tubo com células transparente	$[-]$
$\epsilon_{vidrocobertura}$	$\epsilon_{top}$	Emissividade do vidro da cobertura	$[-]$
$\eta_{células}$	Rel	Rendimento eléctrico das células fotovoltaicas	$[-]$
$\eta_{MP(REF)}$	Rel0	Rendimento eléctrico das células fotovoltaicas à máxima potência nas condições STC	$[-]$
$\eta_{eléctrico}$	$R_{eléctrico}$	Rendimento eléctrico do colector híbrido	$[-]$
$\eta_{Térmico}$	$R_{térmico}$	Rendimento térmico do colector híbrido	$[-]$
$\lambda_{abs}$	$K_{abs}$	Condutividade da placa absorvora	$[W/mK]$
$\lambda_{água}$	$K_{water}$	Condutividade da água	$[W/mK]$
$\lambda_{ar}$	$K_{airdentro}$	Condutividade do ar	$[W/mK]$
$\lambda_{vidrocelulas}$	$K_{pvglass}$	Condutividade do vidro de protecção das células	$[W/mK]$
$\lambda_{vidrocelulas, baixo}$	$K_{pvglass}$	Condutividade do vidro (baixo) de protecção das células – colector híbrido placa – tubo com células transparente	$[W/mK]$
$\lambda_{vidrocelulas, cima}$	$K_{glass1}$	Condutividade do vidro (cima) de protecção das células – colector híbrido placa – tubo com células transparente	$[W/mK]$
$\lambda_{vidrocobertura}$	$K_{glass}$	Condutividade do vidro da cobertura	$[W/mK]$
$\mu_{ar}$	$u_{air}$	Viscosidade do ar	$[Kg/m s]$
$\mu_{Ice}$	$\mu_{Ice}$	Coeficiente de variação da corrente de curto – circuito com a temperatura	$[A/K]$

Avaliação da Viabilidade de Colectores Híbridos Fotovoltaicos e Térmicos para Aplicação ao Aquecimento de Águas e Micro-Geração de Electricidade

$\mu_{MP}$	B	Coeficiente da variação da eficiência com a temperatura no ponto de máxima potência	[1/K]
$\nu_{ar}$	$\nu_{air}$	Viscosidade cinemática do ar	[m <sup>2</sup> /s]
$\sigma$	SB1	Constante de Stefan – Boltzman	[W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]
$\tau_{vidro}$	$\tau_{glass}$	Coeficiente de transmissão dos dois vidros de protecção das células - colector híbrido placa – tubo com células transparente	[-]
$\tau_{vidrocobertura}$	$\tau_{elec}$	Coeficiente de transmissão do vidro da cobertura	[-]
$(\tau\alpha)_{célula}$	$\tau\alpha$	Coeficiente de transmissão - absorção das células	[-]
$\Phi$	incli	Inclinação dos colectores híbridos	[°]

# 1. Introdução

## 1.1. Apresentação do Tema e Principais Objectivos

O projecto, desenvolvido em seguida, foi realizado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Este trabalho tem como principal objectivo a avaliação da viabilidade de colectores híbridos (colector que gera energia térmica e eléctrica) para aplicação ao aquecimento de águas e microgeração de electricidade.

Numa primeira fase, pretende-se elaborar um modelo computacional de três configurações de colectores híbridos, variando o tipo de células fotovoltaicas (policristalinas ou monocristalinas). O modelo será utilizado para se obter as características de rendimento (térmico e eléctrico), para condições de referência.

Seguidamente, irá ser feita uma avaliação do comportamento anual, dos colectores híbridos, para diferentes climas de Portugal (Bragança, Faro e Porto), sendo comparado com um sistema fotovoltaico mais térmico em separado (misto). Por fim, pretende-se elaborar um estudo económico, comparando os colectores híbridos a um sistema misto, tendo em conta os preços da energia e tarifas de venda de electricidade vigentes em Portugal.

A figura 1.1 resume os principais objectivos aqui retratados.

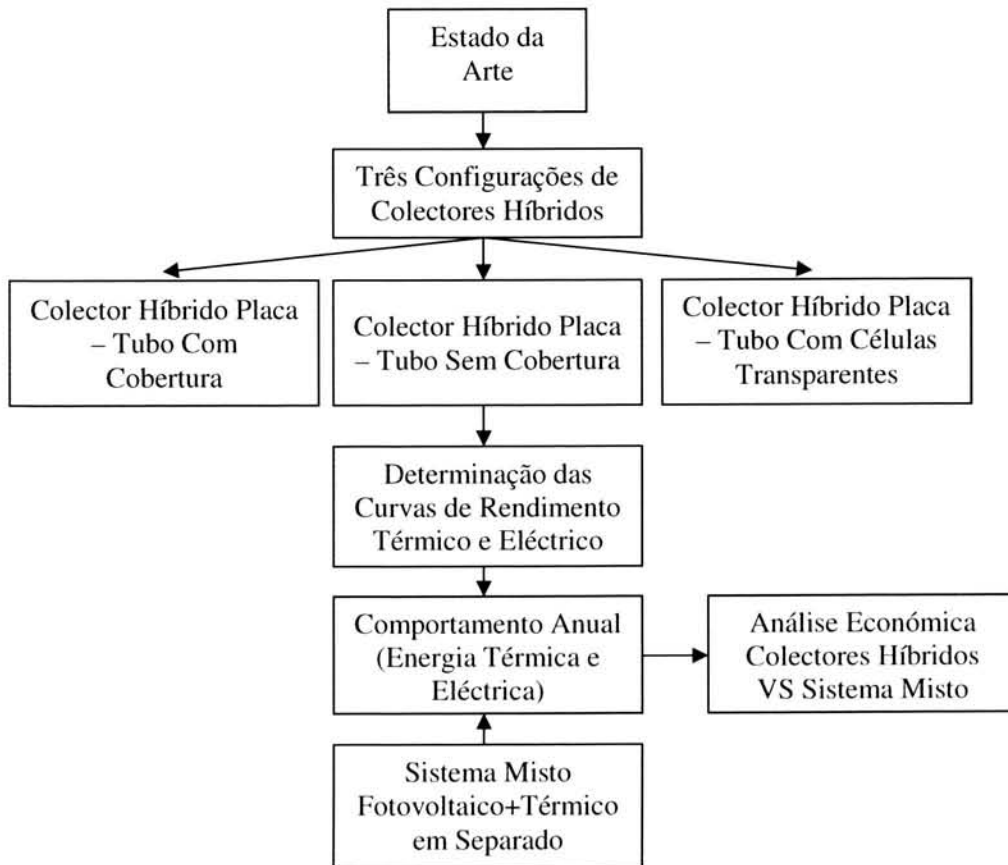


Figura 1.1 – Objectivos do trabalho.

2.

Estado da Arte – Colector Solar Híbrido



## 2.1 Enquadramento

Nas últimas décadas e, em particular, a partir dos anos noventa, a procura de energia nacional tem apresentado um crescimento bastante acentuado. De facto, entre o período de 1990 - 2005, a procura de energia final aumentou, aproximadamente, 3,2 % ao ano, superior a média dos restantes Estados – Membro da União Europeia que se situou em cerca de 1,1% (Mantzou, L. e Capros, P., 2005). Uma análise desagregada, por sector consumidor, evidencia um forte aumento da taxa de crescimento da procura de energia nos sectores dos Transportes e Edifícios (Residencial e Serviços) (figura 2.1).

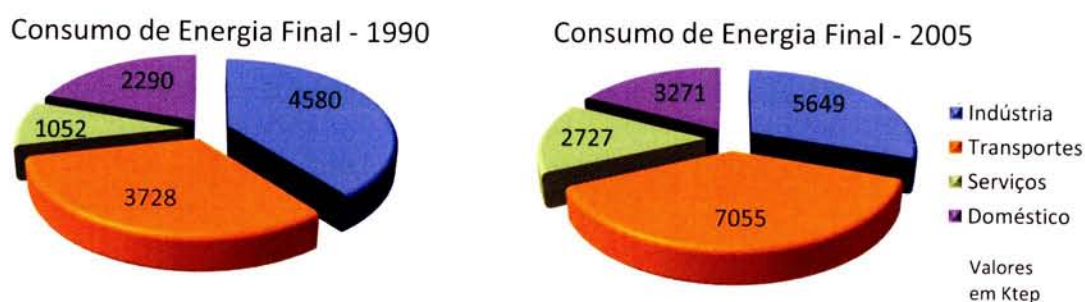


Figura 2.1 – Comparação do consumo de energia final por sector em 1990 e 1995.

Fonte: (Mantzou, L. e Capros, P., 2005).

O sector dos edifícios representa cerca de 32% do consumo energético final em Portugal (Mantzou, L. e Capros, P., 2005). Com o decorrer dos tempos, a qualidade e o conforto dos edifícios aumentou. Hoje, encontram-se à disposição do utilizador novas comodidades, que originam um maior consumo de energia, quer no sector doméstico quer no sector de serviços (Fernandes, E., 2002); (Monteiro, J., 2005). No sector dos edifícios a procura de energia eléctrica tem aumentado gradualmente, representando aproximadamente 42% da energia final (Direcção – Geral de Geologia e Energia, 2005). Sendo 64% da energia eléctrica gerada por combustíveis fósseis (Direcção – Geral de Geologia e Energia, 2007).

Com este ascendente do consumo de energia e a forte dependência do sector energético do exterior, devido à ausência de recursos de origem fóssil, torna-se necessário uma sinergia entre eficiência energética e a aposta em fontes de energia renovável. Com efeito, o aproveitamento das energias endógenas e utilização racional da energia, não só servirá para baixar a factura energética externa, mas também contribuirá para o aumento do desempenho ambiental dos sistemas energéticos, vertente fundamental para o desenvolvimento sustentável (Martins, A. e Santos, V., 2005).

Como em Portugal a disponibilidade do recurso solar é elevada, situando-se acima da média Europeia (figura 2.2), o aproveitamento da energia solar para fins energéticos é exequível (Direcção – Geral de Energia, 2003).

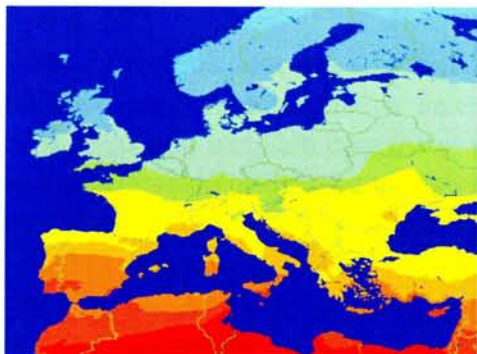


Figura 2.2 – Mapa da distribuição da radiação solar incidente no plano horizontal na Europa.

Geralmente, a energia solar é convertida de duas formas (Fernandes, E. O., 2002):

- Conversão Térmica, produzindo calor, geralmente em colectores solares para aquecimento de águas (figura 2.3);

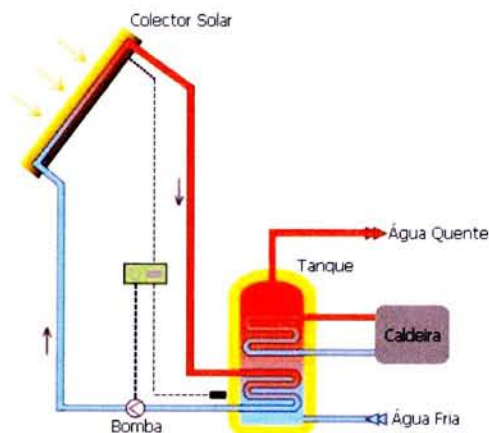


Figura 2.3 – Sistema de produção de águas quentes sanitárias.

- Conversão directa em energia eléctrica, em módulos fotovoltaicos (figura 2.4).



Figura 2.4 – Sistema fotovoltaico de geração de electricidade.

## 2.1.1 Solar Térmico

O colector solar é o dispositivo que converte a radiação solar incidente em calor útil. Calor esse que pode ser utilizado para aquecimento de águas ou ambiente (ar). O sector doméstico, tradicionalmente, representa o mercado com maior potencial para utilização desta tecnologia, particularmente no aquecimento de águas quentes sanitárias (Martins, A. e Santos, V., 2005). Pois, neste sector, o aquecimento de águas representa cerca de 50% do consumo de energia (Mendes, J., 2006). O colector solar ganha interesse à medida que os consumos de água quente se intensificarem, uma vez que é uma tecnologia sem custos de exploração e com custos reduzidos de manutenção. Daí que há um grande campo de expansão no sector de serviços (piscinas, hotéis, hospitais, etc.) e no sector industrial (Fernandes, E., 2002).

Nos últimos anos, foram tomadas várias medidas no sentido de fomentar o aproveitamento da energia solar, para o aquecimento de águas quentes sanitárias, destacando-se:

- Programa “Água Quente Solar”, cujo objectivo era a criação de um mercado sustentável de energia solar, atingindo-se um milhão de m<sup>2</sup> de colectores instalados até 2010 (Direcção – Geral de Energia, 2003). Para tal, existia um incentivo fiscal, na qual o utilizador poderia deduzir ao IRS – Imposto sobre o Rendimento Singular 30% das importâncias despendidas com a aquisição de equipamentos solares novos, com um limite de 700 euros. Esta dedução não era acumulável com as deduções relativas a encargos com imóveis (Direcção – Geral de Energia, 2003);
- A nova versão do RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, obriga à instalação de painéis solares para a produção de águas quentes sanitárias (Decreto-Lei n° 80/2006);
- Decreto-Lei n° 363/2007, estabelece que o microprodutor de electricidade para beneficiar do regime de remuneração bonificado tem de possuir colectores solares térmicos (Decreto-Lei n° 363/2007);
- Orçamento de Estado para 2008, permite uma dedução ao IRS 30% do valor dispendido com equipamento para aproveitamento de energias de fonte renovável, com um limite de 777 euros. Sendo acumulável com as deduções relativamente a encargos com imóveis.

Embora, após o Programa “Água Quente Solar” o número de colectores instalados tenha aumentado, verifica-se que ainda está longe de um milhão de m<sup>2</sup>. Espera-se que estas novas medidas abram um amplo mercado para o desenvolvimento da energia solar, contribuindo para a diminuição da poluição e da dependência energética de Portugal (Mendes, J., 2006).

## 2.1.2 Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos permitem converter directamente a radiação solar em electricidade. Normalmente, utiliza-se o silício como material conversor, possuindo a energia eléctrica gerada um elevado grau de fiabilidade (Castro, R., 2004). É a forma com menos impacto ambiental de produzir energia eléctrica, sendo a única poluição resultante a que está associada ao fabrico das próprias células (Monteiro, J., 2005).

Os painéis fotovoltaicos podem ser empregues em sistemas (Castro, R., 2004):

- Ligados a rede eléctrica, injectando nesta a totalidade da energia;
- Isolados, onde a energia é consumida pelo utilizador;
- Híbridos, alimentando directamente cargas isoladas, em conjunto com outros conversores de energias endógenas (eólico).

No caso de instalações fotovoltaicas, directamente ligadas à rede pública, existem incentivos na compra da energia eléctrica gerada. Assim, o produtor pode vender a electricidade a um preço superior ao da rede. Com o novo Decreto-Lei nº 363/2007, o microprodutor terá uma remuneração de 65 cêntimos por quilowatt – hora gerado, comparativamente aos 10 cêntimos por quilowatt – hora vendidos pela rede pública. No fundo, em termos de balanço de energia, o produtor beneficia se vender a totalidade da energia à rede e depois comprar o que necessita para consumo. Para o acesso a esta tarifa, do regime bonificado, os requisitos necessários são: ser uma fonte de energia renovável, não poder injectar na rede uma potência superior a 50% da potência contratada para a instalação eléctrica de utilização, potência de ligação até 3,68 kW, possuir um colector solar e a electricidade vendida ser limitada a 2,4 MWh/ano por cada quilowatt instalado (figura 2.5) (Decreto-Lei nº 363/2007).

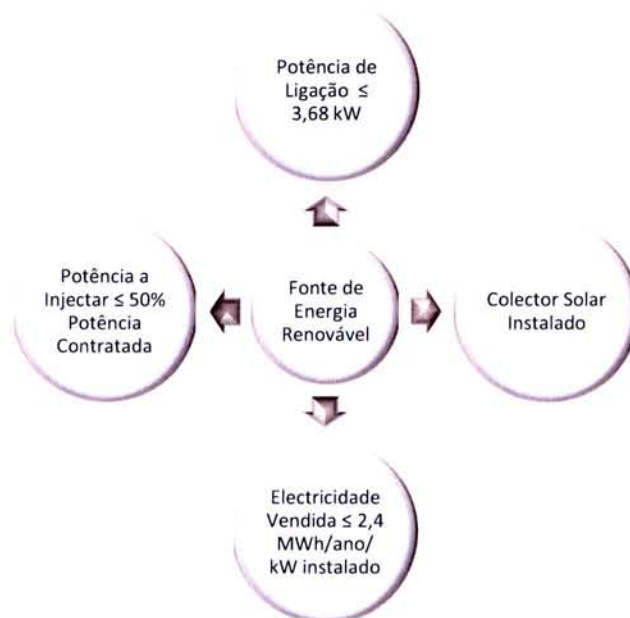


Figura 2.5 – Condições de acesso ao regime bonificado.

O regime bonificado está dividido em três etapas, caracterizadas na figura 2.6 (Decreto-Lei nº 363/2007).

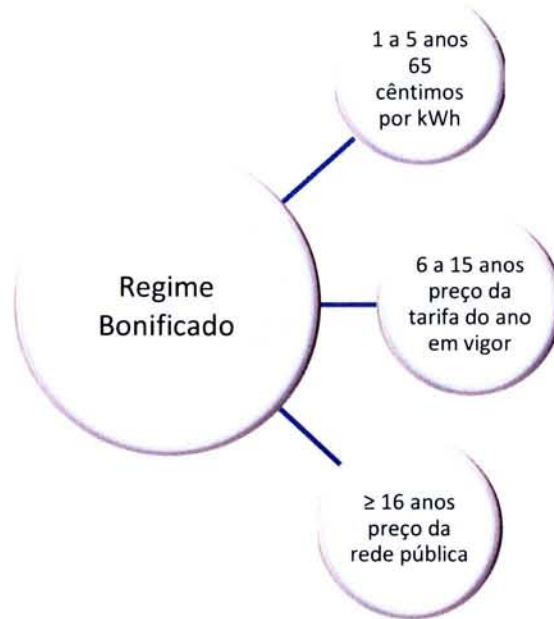


Figura 2.6 – Etapas do regime bonificado.

Da mesma forma, como a electricidade é de origem renovável, reduzem-se as emissões de dióxido de carbono das centrais térmicas, que podem assim ser menos solicitadas. Como é obrigatório a existência de colectores solares térmicos, esta diminuição de emissões é ampliada. Assim, em alternativa, ou em compensação às grandes centrais electro – produtoras, a microgeração impõe-se cada vez mais como uma solução para o futuro (Fernandes, E., 2002).

## 2.2 O que é um Colector Solar Híbrido?

O colector solar híbrido é uma tecnologia que converte a radiação solar, simultaneamente, em electricidade e calor (figura 2.7). Combina as funções do colector solar térmico e fotovoltaico (Charalambous, P. G. et al, 2006; Zondag, H. A. et al, 2003; Zondag, H. A., 2007).

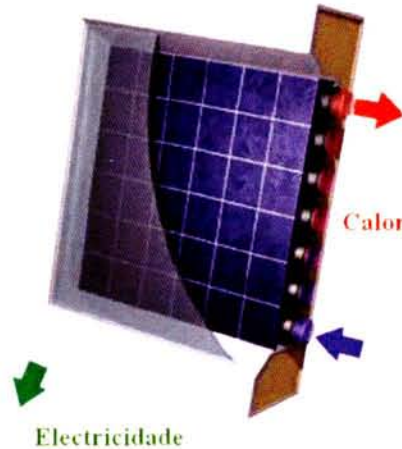


Figura 2.7 – Colector híbrido composto por células fotovoltaicas e um sistema de aproveitamento de calor.

Basicamente, consiste na adição de uma placa absorvedora a um módulo fotovoltaico (figura 2.8). Desta forma, a placa absorvedora irá colectar a energia térmica provocando um arrefecimento no módulo fotovoltaico, o que resulta numa melhoria no seu comportamento eléctrico. Essa energia térmica é aproveitada para aquecer água ou ar (Charalambous, P. G. et al, 2006; Zondag, H. A. et al, 2003).

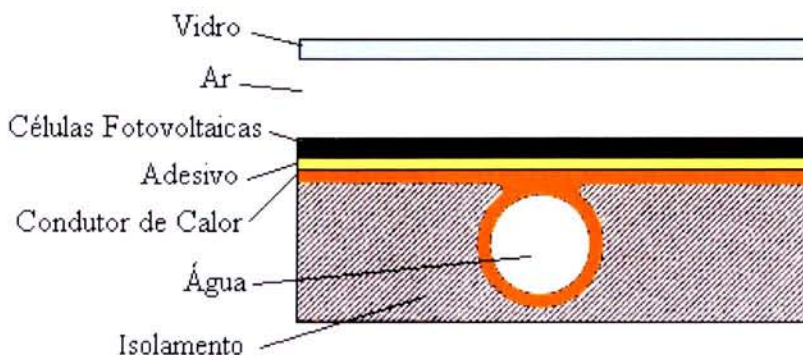


Figura 2.8 – Estrutura habitual de um colector híbrido.

O sistema híbrido é composto por uma parte térmica e uma eléctrica, como pode ser visto na figura 2.9. O sistema eléctrico é formado por cabos de ligação, inversor e ligação a rede eléctrica (no presente caso). O sistema térmico, para aquecimento de águas sanitárias, é constituído por tubagens, depósito de armazenamento, permutador exterior e grupo de circulação (bomba circuladora, válvulas, regulador de caudal e termómetros de ida e retorno) (Vries, D. W., 1998).

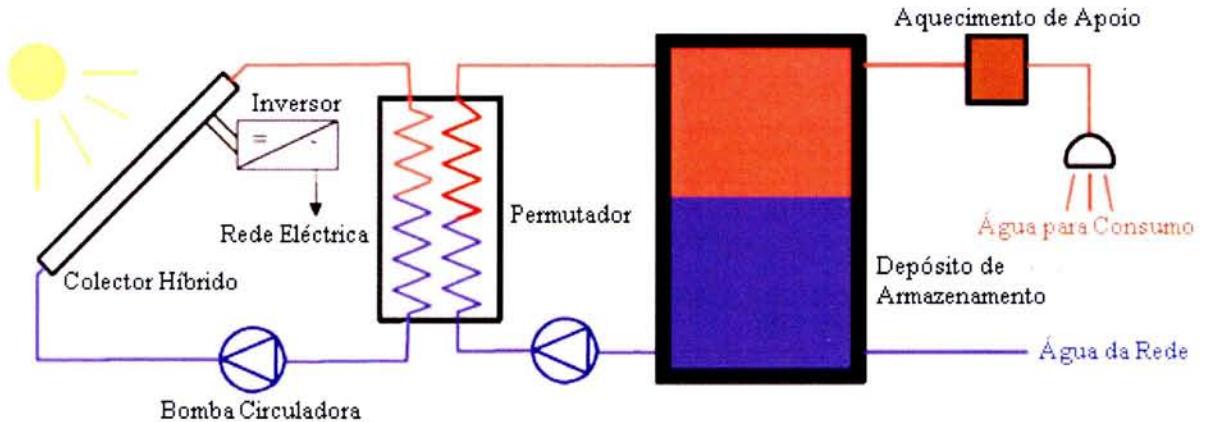


Figura 2.9 – Componentes de um sistema híbrido para aquecimento de águas e geração de electricidade (ligada a rede pública).

As principais vantagens do colector híbrido são:

- Este tipo de colectores gera uma maior quantidade de energia eléctrica e térmica por  $m^2$ , do que uma solução em separado (térmico + fotovoltaico). O que é particularmente útil em situações em que a área de telhado é reduzida;
- Do ponto de vista estético, o colector híbrido proporciona uma solução mais harmoniosa, em contraste com a combinação de um térmico com um fotovoltaico;
- Pelo facto, de que apenas um tipo de colector ser instalado, em vez de dois, o custo de instalação é menor.

Fonte: (Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2003; Zondag, H. A., 2007).

### 2.3 Rendimento Eléctrico e Térmico

Embora, como referido acima, o aproveitamento do calor gerado pelas células fotovoltaicas aumente a eficiência eléctrica, na verdade, um colector híbrido, tem geralmente, um rendimento eléctrico mais baixo que um fotovoltaico (figura 2.10). Isto deve-se à radiação solar reflectida na cobertura do módulo, causando perdas no rendimento na ordem dos 8% (Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2003; Zondag, H. A., 2007).

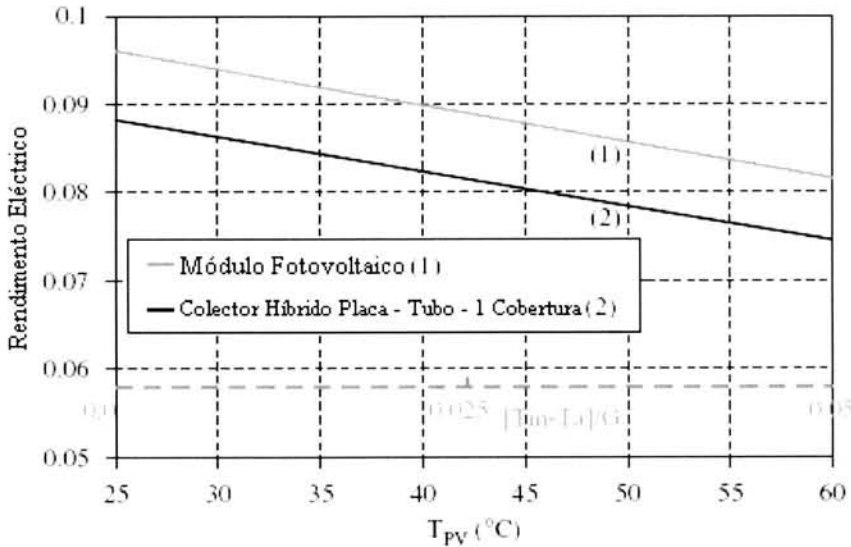


Figura 2.10 – Comparação entre o rendimento eléctrico de um Colector Híbrido com Uma Cobertura e um módulo fotovoltaico.

\* O segundo eixo dos x representa a diferença entre a temperatura de entrada da água no colector e a temperatura ambiente, a dividir pela radiação incidente. Geralmente, nos colectores híbridos, o rendimento térmico e eléctrico vem em função deste parâmetro.

Fonte: (Zondag, H. A., 2007).

O rendimento eléctrico depende bastante do tipo de material das células, que pode ser: monocristalino, policristalino e amorfo

O rendimento térmico de um painel híbrido é inferior a um colector solar térmico (figura 2.11).



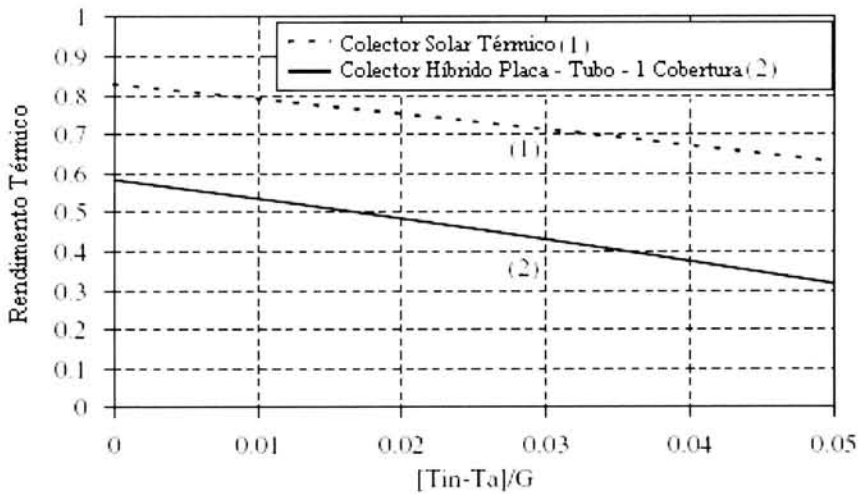


Figura 2.11 – Comparação entre o rendimento térmico de um coletor térmico e um Colector Híbrido de Uma Cobertura.

Fonte: (Zondag, H. A., 2007).

Esta perda no rendimento é devido a quatro factores:

- O coeficiente de absorção da superfície fotovoltaica é menor do que um coletor térmico, e existem as várias perdas por reflexão. Enquanto num coletor normal o coeficiente de absorção é superior a 95%, num coletor híbrido situa-se entre 75 – 85% (Santbergen, R., 2006; Kalogirou, S. A., 2006; Zondag, H. A., 2007). A célula fotovoltaica só absorve radiação solar se a energia do fóton for superior a energia da banda de condução. Assim, as radiações com comprimento de onda longo, com uma energia de fóton menor que a da banda de condução, serão dificilmente absorvidas (Santbergen, R., 2006; Monteiro, C., 2007). As perdas por reflexão podem ocorrer na cobertura do módulo (se existir), no vidro de protecção das células e nas próprias células fotovoltaicas (Zondag, H. A., 2007);
- A resistência térmica, entre a superfície absorvora e o fluido do coletor (neste casos água), aumenta devido a adição de sucessivas camadas de material (células fotovoltaicas, material de encapsulamento (EVA – silicone), lâmina de protecção das células, vidro e a convencional placa absorvora). O que implica um coeficiente de transferência de calor menor, tendo um efeito depreciativo tanto no rendimento térmico como eléctrico (Zondag, H. A., 2007);
- A superfície fotovoltaica não é selectiva, resultando em elevadas perdas térmicas por radiação. De facto, o silício possui uma elevada emissividade a comprimentos de onda longos, originando elevadas perdas por radiação. Um coletor híbrido apresenta maiores perdas no topo do módulo (Zondag, H. A., 2007; Santbergen, R., 2006);
- A radiação solar que é convertida em electricidade, não é aproveitada para fins térmicos.

A figura 2.12 mostra o efeito da remoção sucessiva destes factores, concluindo-se, que num colector híbrido, o declínio de rendimento térmico advém, principalmente, do baixo coeficiente de absorção e as perdas elevadas por radiação.

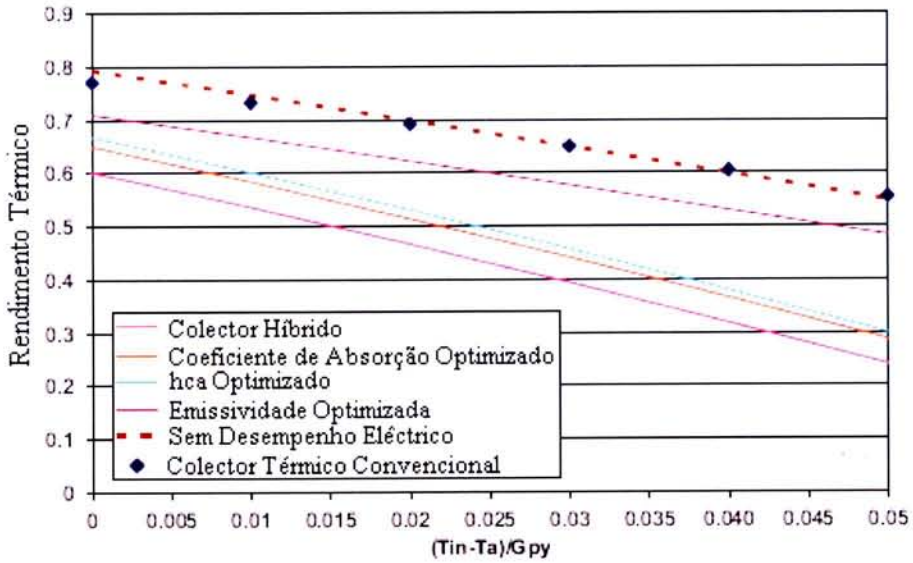


Figura 2.12 – Efeito da remoção sucessiva das perdas de rendimento num colector híbrido até alcançar um colector térmico.

\* Hca é coeficiente de transferência de calor entre as células e a placa absorvora:

Fonte: (Zondag, H. A., 2007).

## 2.4 Tipos de Colectores Híbridos a Água

Os colectores híbridos a água podem ser divididas em quatro grupos (figura 2.13):

- Colector Híbrido Placa – Tubo (1);
- Colector Híbrido de Canais (2);
- Colector Híbrido de Corrente Livre (3);
- Colector Híbrido com Duas Superfícies Absororas (4).

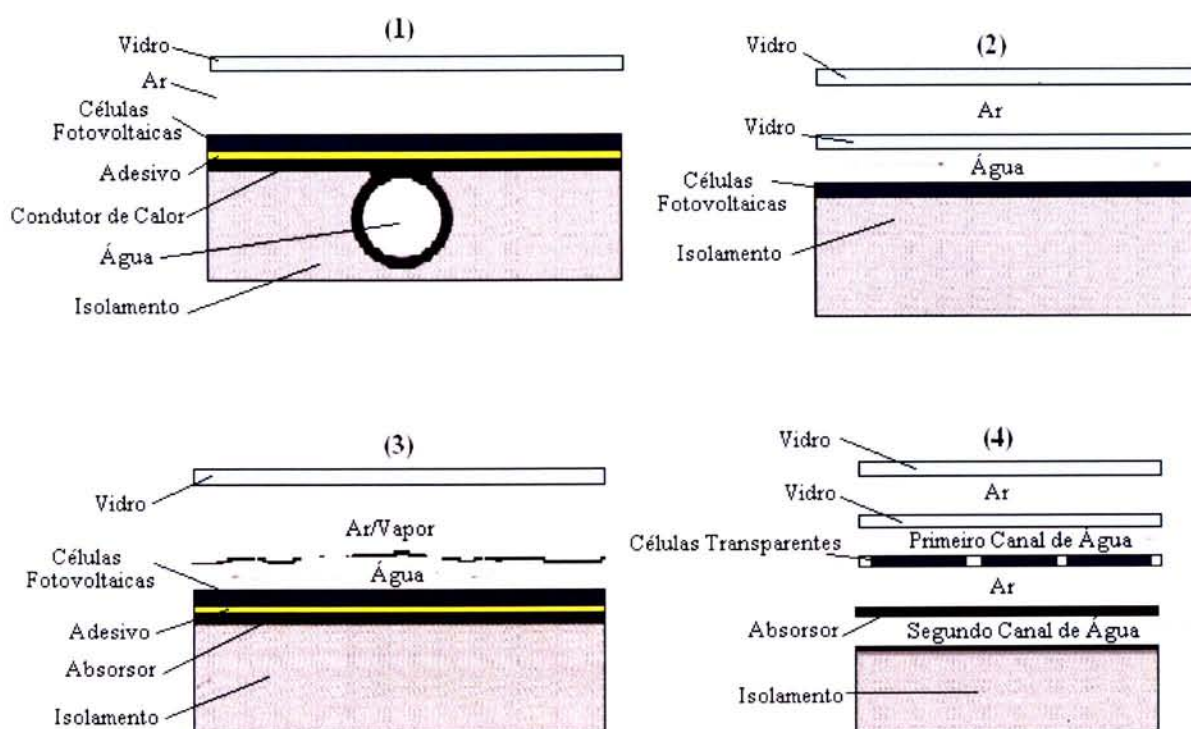


Figura 2.13 – Diferentes tipos de módulos híbridos a água.

Fonte: (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998).

O tipo de colectores (2), (3) e (4) não foram ainda comercializados por nenhuma empresa do sector. A principal desvantagem, destes módulos, é possuírem um design diferente do frequente colector térmico, sendo mais difícil a sua construção. De facto, os módulos (2) e (3) apresentam problemas de construção devido a sua estrutura pesada e frágil. Por sua vez, no colector (3), a livre circulação de água origina evaporação, responsável por perdas no rendimento térmico e eléctrico (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Kalogirou, S. A., 2006). Assim, no presente trabalho, e pelas razões atrás referidas, só será analisado o tipo de Colector Placa – Tubo.

## 2.4.1 Colectores Híbridos Analisados

Os colectores híbridos analisados foram os seguintes:

- Colector Híbrido Placa - Tubo Com Uma Cobertura (1);
- Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (2);
- Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (3).

O Colectores Híbridos Placa – Tubo Com Ou Sem Cobertura ((1) e (2)) contêm a construção mais simples e com maior fiabilidade para um módulo híbrido. Estes módulos são obtidos pela integração de células fotovoltaicas e seus componentes (material de encapsulamento (EVA – silicone), lâmina de protecção das células e vidro) num colector térmico, sem nenhuma modificação (figura 2.14) (Zondag, H. A. et al, 2003; Kalogirou, S. A., 2006; Charalambous, P. G. et al, 2006).

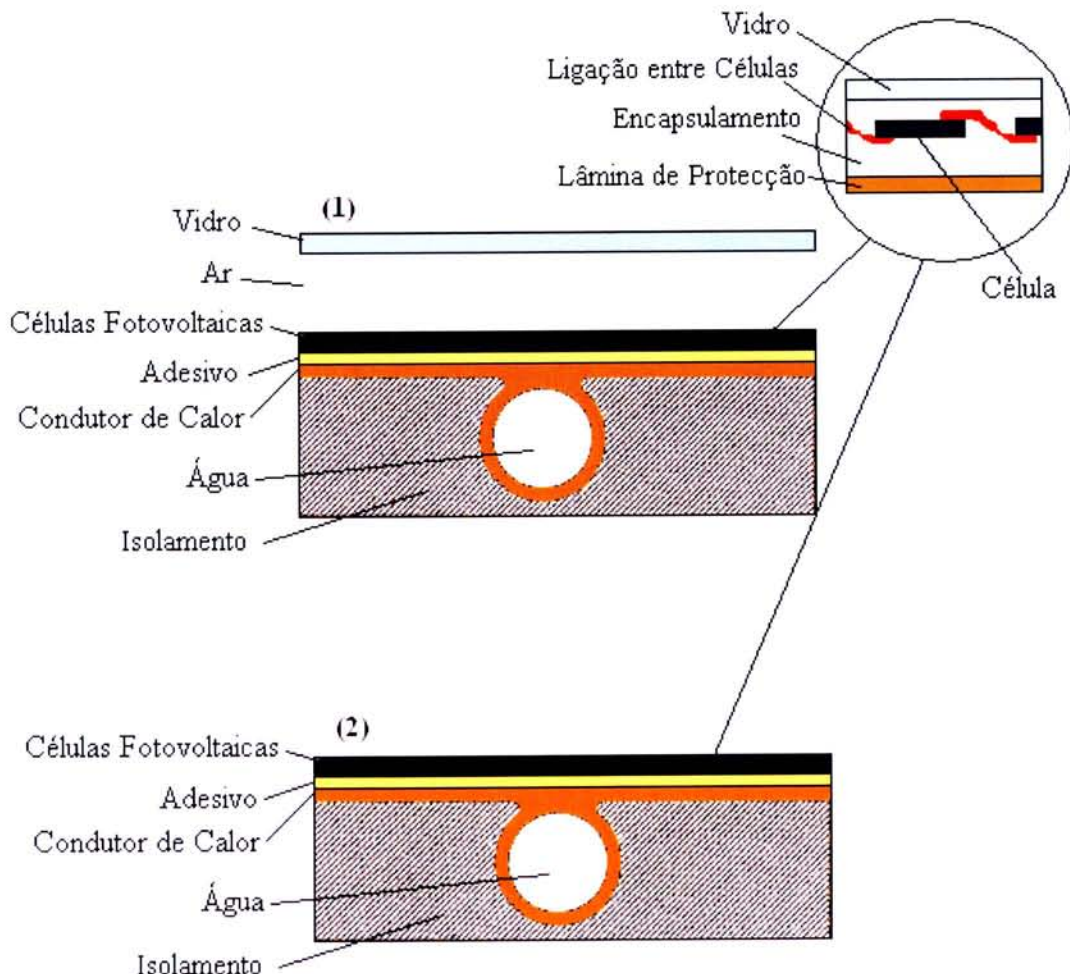


Figura 2.14 – Colector Híbrido Placa – Tubo com Cobertura (1) e sem Cobertura (2).

Com o intuito de diminuir as perdas térmicas e aumentar a temperatura de operação da água, adiciona-se uma cobertura no topo do módulo (Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (1)). Assim melhora-se, substancialmente, o rendimento térmico. Contudo, a cobertura no topo faz diminuir a energia eléctrica obtida, devido a radiação que é absorvida e reflectida no vidro e devido ao aumento da temperatura das células (Zondag, H. A., 2007; Kalogirou, S. A., 2006). Por essa razão, em soluções em que se pretende um rendimento eléctrica mais elevada, opta-se por colectores sem cobertura (Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (2)).

Colectores híbridos com mais que duas coberturas não têm grande aplicabilidade, pois o rendimento eléctrico diminui bastante (Zondag, H. A., 2007).

O Colector Híbrido de Células Transparentes, como é do tipo placa – tubo, possui uma construção simples. Embora, este tipo de módulos não contenha uma cobertura no topo, o rendimento eléctrico não é muito elevado. Isto deve-se a reduzida área fotovoltaica. A transparência das células, ou melhor, o mais baixo número de células por módulo, permite a penetração directa da radiação solar na placa absorptora, melhorando o rendimento térmico (figura 2.15).

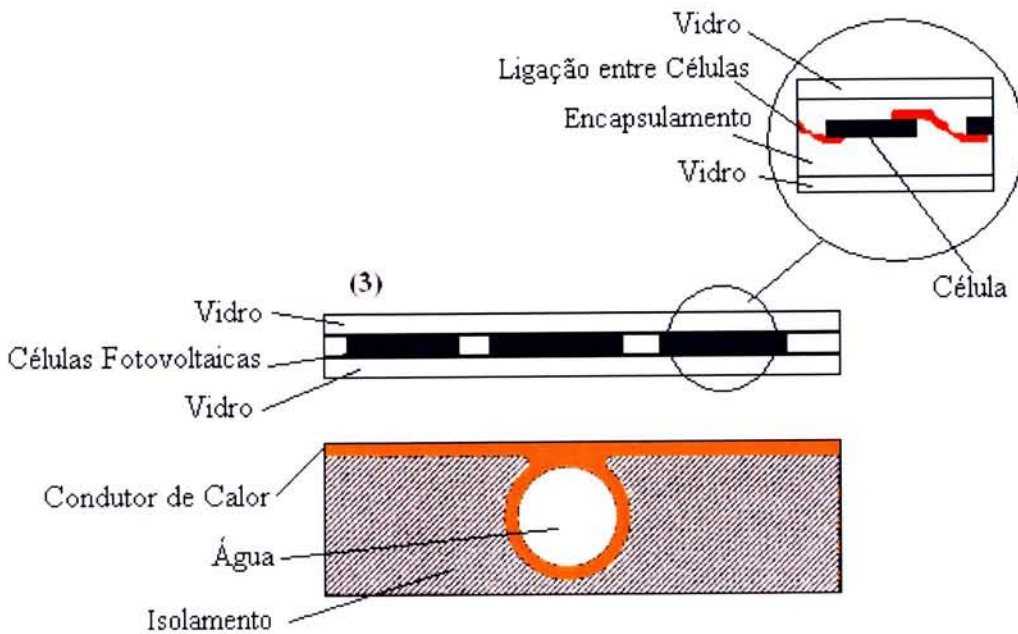


Figura 2.15 – Colector Híbrido Placa – Tubo com Células Transparentes (3).

De facto, as células fotovoltaicas empregadas não são transparentes, o espaço entre elas é que deixa entrar a radiação solar.

## 2.5 Presente Mercado e Desenvolvimento Futuro dos Colectores Híbrido

Os colectores híbridos ainda não têm grande expressão no mercado da energia solar. A maioria dos módulos a água foram desenvolvidos a partir do tradicional colector solar térmico, adaptado pela adição de células fotovoltaicas na superfície absorvora. As principais empresas na área dos painéis híbridos a água estão expressas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Empresas na área dos colectores híbridos a água.

<b>Millennium Electric</b>	Fabrica Colectores Híbridos Sem Cobertura que opera a água e ar no mesmo módulo (figura 2.16 (1)).
<b>PVTWINS</b>	Constrói Colectores Híbridos Placa – Tubo Com ou Sem Cobertura (figura 2.16 (2) e (3)).
<b>Solon</b>	Está a desenvolver um Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura. Esta empresa continua o trabalho desenvolvido pela <b>Solarwerk</b> no âmbito dos módulos Placa - Tubo Com Cobertura (figura 2.16 (5)).
<b>Solarwatt</b>	Desenvolveu um projecto no âmbito dos colectores híbridos entre 1996 – 1997. Contudo, problemas de fabrico levaram a queda do projecto (figura 2.16 (6)).
<b>Zenit</b>	Construiu um protótipo de um colector híbrido em 1997, mas ainda não o comercializa
<b>Powerlight</b>	Desenvolveu um projecto no âmbito dos colectores híbridos entre 1997 – 2003, mas como foram detectados problemas de construção a sua comercialização foi adiada.
<b>ICEC</b>	Construiu um colector híbrido a água em 1999 mas ainda não o comercializa.
<b>Sekisui Chemical</b>	Começou a comercializar um colector híbrido em 1999, porém já não o confecciona este tipo de módulos (figura 2.16 (4)).

Fonte: (Affolter, P. et al, 2006;International Energy Agency, 2002).

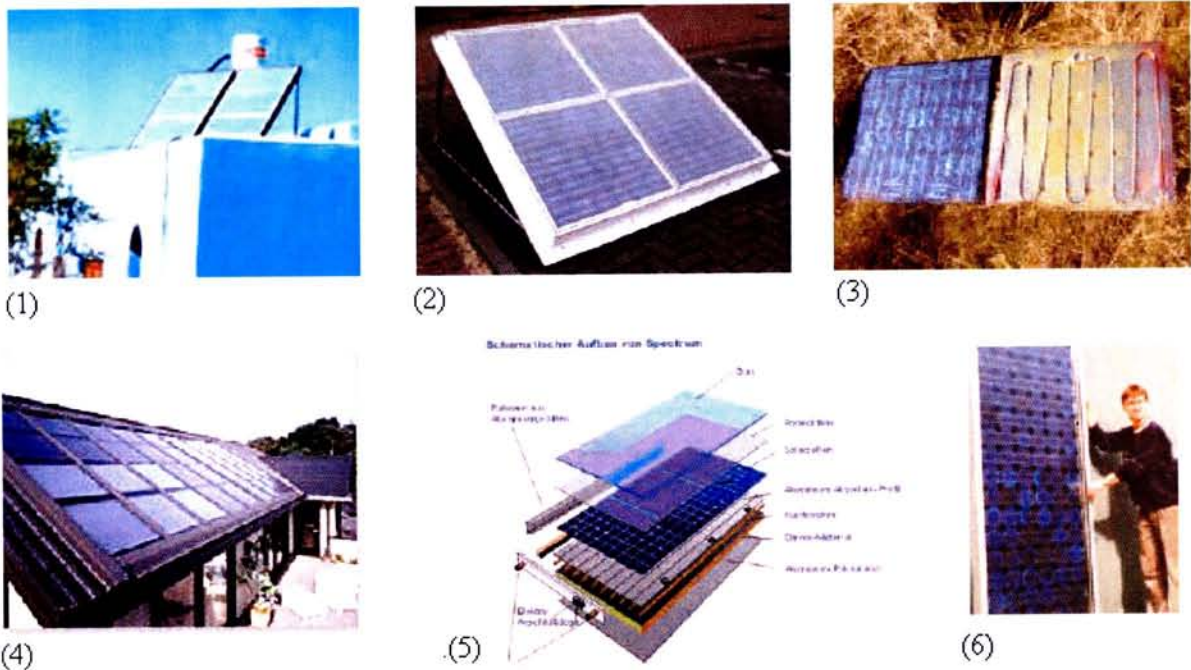


Figura 2. 16 – Colectores híbridos fabricados ((1) - Millennium Electric, (2) e (3) – PVTWINS, (4) - Sekisui Chemical, (5) – Solarwerk e (6) – Solarwatt).

A falta de certificação dos módulos híbridos muito tem contribuído para a sua pouca expansão. Nos seus congénitos, colector solar térmico e fotovoltaico existe já um processo de certificação, o que faz aumentar a confiança e credibilidade no consumidor, levando a standarização dos produtos (Affolter, P. et al, 2006).

Num futuro próximo, espera-se um aumento na aplicação de colectores híbridos No sector dos edifícios várias mudanças têm ocorrido. Cada vez mais, há prevalência para edificações multifamiliares e para o aproveitamento da energia solar. Como nos edifícios multifamiliares, a área de telhado por habitante é reduzida, este factor pode ser importante para o progresso do colector híbrido, que é uma solução mais eficiente por  $m^2$ . Também, o aumento das necessidades de conforto, nos edifícios, abrirá um amplo mercado para os colectores híbridos a ar, integrados em sistemas de ventilação com recuperador de calor (Affolter, P. et al, 2006). Com os novos incentivos à microgeração, o sistema fotovoltaico conectado à rede pública irá prosperar, o que será vantajoso para os colectores híbridos.

Em suma, no futuro, grande parte da procura de energia nos edifícios será fornecida por sistemas solares, onde se prevê que os colectores híbridos ocupem um lugar de destaque (Affolter, P. et al, 2006).

3.

### Determinação das Curvas de Rendimento Térmico e Eléctrico



### 3.1 Caracterização dos Colectores Híbridos

#### 3.1.1 Características Térmicas e Suas Dimensões

Como referido anteriormente, o colector híbrido é composto por um módulo fotovoltaico adaptado a um colector térmico. No presente trabalho, não foi sugerida nenhuma marca, em particular, para estes dois constituintes. Como tal, foram seleccionadas determinadas células de silício policristalino e monocristalino e aplicadas num colector térmico. As características, deste colector térmico, são semelhantes ao empregue por Douwe de Vries e H.A. Zondag nos seus trabalhos de investigação (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001). As principais dimensões e propriedades térmicas dos materiais, utilizados nos colectores híbridos, são mostradas na figura 3.1 e 3.2, e nas tabela 3.1 e 3.2.

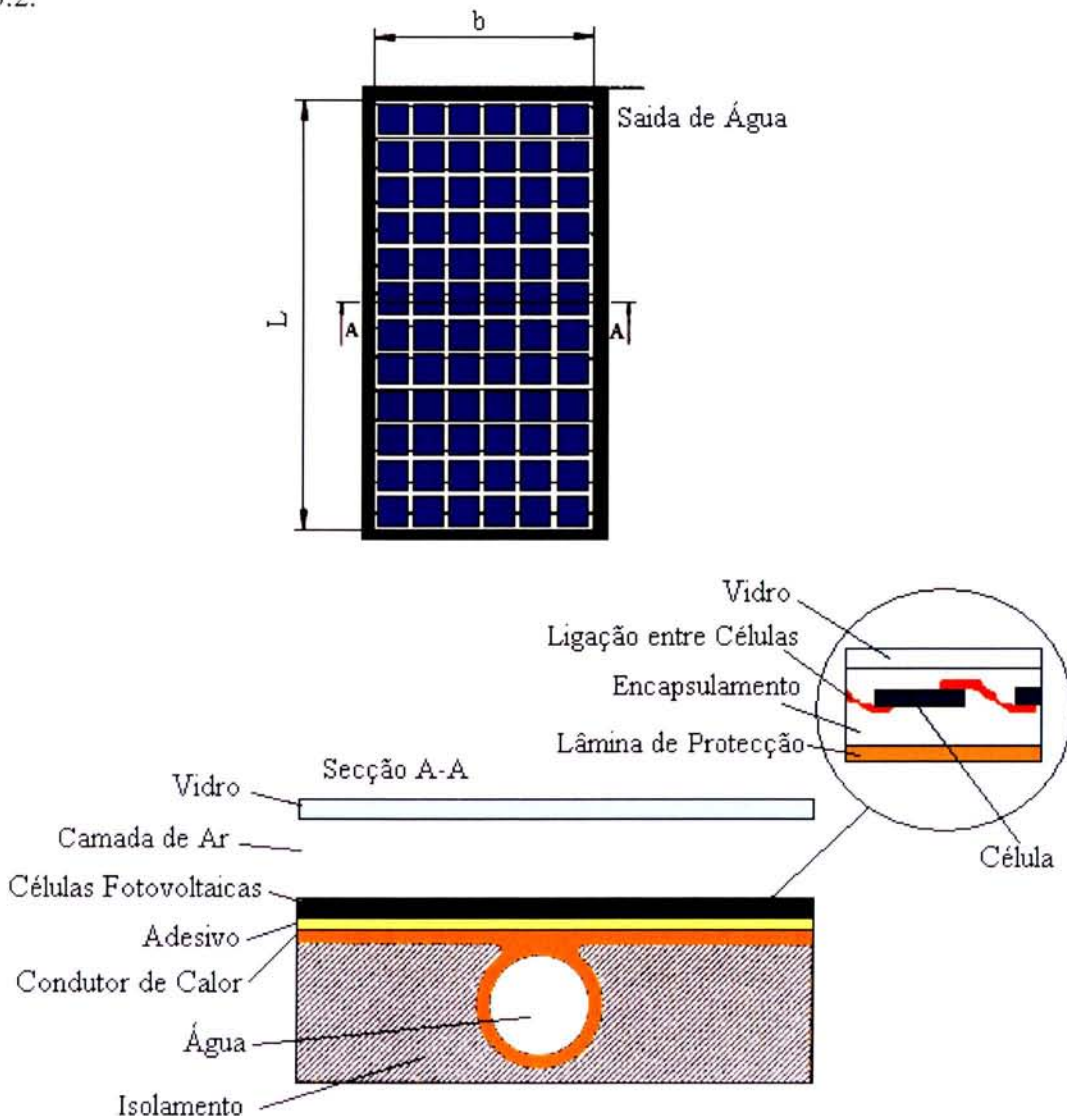


Figura 3.1 – Estrutura do Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (A estrutura é a mesma para o colector híbrido placa – tubo sem cobertura excepto a presença do vidro no topo).

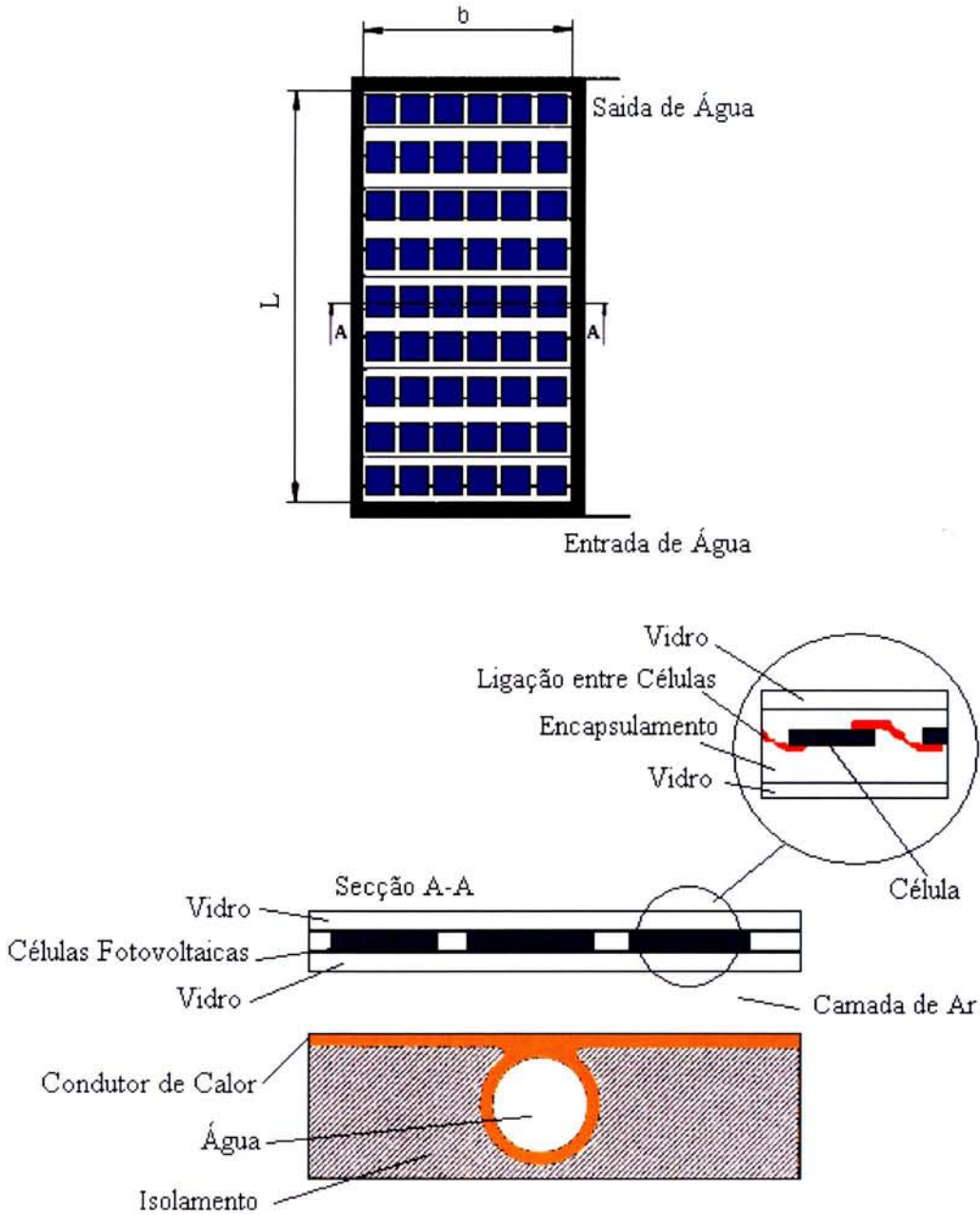


Figura 3.2 – Estrutura do Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes.

Tabela 3.1 – Principais dimensões dos colectores híbridos.

Símbolo	Descrição	Valor
$A_{\text{colector}}$	Área do Colector Híbrido	$1,767 \text{ m}^2$ ( $b \times L = 1,88 \times 0,94 \text{ m}^2$ )
$A_{\text{células}}$	(Colector Híbrido Placa – Tubo Com ou Sem Cobertura)	$1,752 \text{ m}^2$ ( $n^\circ$ de células x Área de Célula = $72 \times 0,156^2 \text{ m}^2$ )
$A_{\text{células}}$	(Colector Híbrido Placa – Tubo com Células Transparentes)	$1,314 \text{ m}^2$ ( $n^\circ$ de células x Área de Célula = $54 \times 0,156^2 \text{ m}^2$ )
$D_i$	Diâmetro Interior do Tubo	0,010 m
$D$	Diâmetro Exterior do Tubo	0,012 m
$W$	Distância entre Tubos	0,095 m
$H$	Espessura da Camada de Ar	0,02 m

Tabela 3.2 – Propriedades térmicas e espessuras dos materiais utilizados nos colectores.

Símbolo	Descrição	Valor
$U_{ca}$	Coefficiente de Transferência de Calor entre as Células e a Placa Absorsora (figura 3.1)	500 W/m <sup>2</sup> K
$\lambda_{abs}$	Condutividade da Placa Absorsora	390 W/m K
$esp_{abs}$	Espessura da Placa Absorsora	0,0002 m
$\lambda_{vidrocobertura}$	Condutividade do Vidro da Cobertura	0,9 W/m K
$\lambda_{vidrocelulas}$	Condutividade do Vidro de Protecção das Células (Vidro + Encapsulamento)	0,9 W/m K
$esp_{vidrocelulas}$	Espessura do Vidro de Protecção das Células (Vidro + Encapsulamento)	0,003 m
$esp_{vidrocelulas,cima}$	Espessura do Vidro (Cima) de Protecção das Células (Vidro + Encapsulamento) – Colector Com Células Transparentes	0,0032 m
$\lambda_{vidrocelulas,cima}$	Condutividade do Vidro (Cima) de Protecção das Células (Vidro + Encapsulamento) – Colector Com Células Transparentes	0,9 W/m K
$esp_{vidrocelulas,baixo}$	Espessura do Vidro (Baixo) de Protecção das Células (Vidro + Encapsulamento) – Colector Com Células Transparentes	0,003 m
$\lambda_{vidrocelulas,baixo}$	Condutividade do Vidro (Baixo) de Protecção das Células (Vidro + Encapsulamento) – Colector Com Células Transparentes	0,9 W/m K
$esp_{vidrocobertura}$	Espessura do Vidro da Cobertura	0,0032 m
$U_{ba}$	Coefficiente de Transferência de Calor no Isolamento	1 W/m <sup>2</sup> K

Fonte: (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001).

### 3.1.2 Características Eléctricas

A potência máxima de uma célula fotovoltaica é muito baixa, geralmente insuficiente para a maioria das aplicações. Por esse motivo, as células são agrupadas em série e paralelo. Neste caso, nos colectores híbridos analisados, as células são ligadas em série, como acontece em grande parte dos módulos fotovoltaicos (figura 3.3) (Luque, A. e Hegedus, S., 2003).

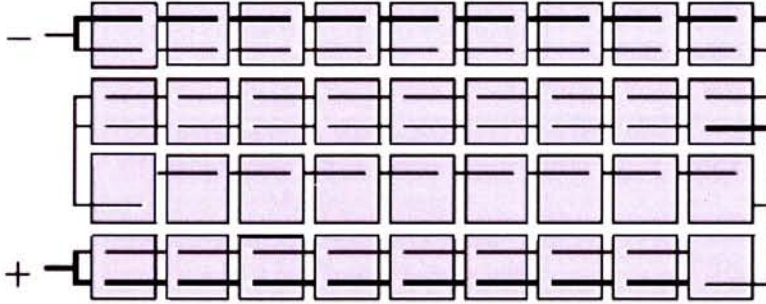


Figura 3.3 – Módulo fotovoltaico com 36 células ligadas em série.

As células aplicadas têm as seguintes especificidades (tabelas 3.3 e 3.4):

Tabela 3.3 – Propriedades eléctricas das células policristalinas.

Célula Policristalina (nas condições STC*)		
Símbolo	Descrição	Valor
$A_{\text{célula}}$	Área da Célula	0,02434 m <sup>2</sup>
$I_{\text{max}}$	Corrente Máxima	6,95 A
$V_{\text{max}}$	Tensão Máxima	0,481 V
$I_{\text{cc}}$	Corrente de Curto - Circuito	7,70 A
$V_{\text{ca}}$	Tensão de Circuito Aberto	0,594 V
$\mu_{\text{Icc}}$	Coefficiente de Variação da Corrente de Curto – Circuito com a Temperatura	0,0055A/°C
$\mu_{\text{MP}}$	Coefficiente da Variação da Eficiência com a Temperatura no Ponto de Máxima Potência	-0,004/°C
$\eta_{\text{MP(REF)}}$	Rendimento Eléctrico das Célula Fotovoltaica à Máxima Potência nas Condições STC	13,7%

\* Condições de referência ( $T_{\text{célula}} = 25^{\circ}\text{C}$ , Radiação Incidente = 1000W/m<sup>2</sup> e espectro solar AM 15)

Fonte: (Ver anexo A1).

Tabela 3.4 - Propriedades eléctricas das células monocristalinas.

Célula Monocristalina (nas condições STC*)		
Símbolo	Descrição	Valor
$A_{célula}$	Área da Célula	0,02434 m <sup>2</sup>
$I_{max}$	Corrente Máxima	8,005
$V_{max}$	Tensão Máxima	0,5
$I_{cc}$	Corrente de Curto - Circuito	8,7
$V_{ca}$	Tensão de Circuito Aberto	0,61
$\mu_{Icc}$	Coefficiente de Variação da Corrente de Curto – Circuito com a Temperatura	0,00261 A/K (0,0003 (1/K) x $I_{cc}$ (A))
$\mu_{MP}$	Coefficiente da Variação da Eficiência com a Temperatura no Ponto de Máxima Potência	-0,0051/K
$\eta_{MP(REF)}$	Rendimento Eléctrico da Célula Fotovoltaica à Máxima Potência nas Condições STC	16,4%

\* Condições de referência ( $T_{célula} = 25^{\circ}C$ , Radiação Incidente = 1000W/m<sup>2</sup> e espectro solar AM 15)

Fonte: (Ver anexo A2).

$\eta_{MP(REF)}$  foi calculado pela seguinte equação:

$$\eta_{MP(REF)} = \frac{I_{max} V_{max}}{A_{célula} G_{ref}}$$

Sendo o  $G_{ref}$  igual a 1000W/m<sup>2</sup>

As características eléctricas dos módulos são determinadas pelas seguintes expressões:

$$(I_{cc})_{módulo} = (I_{cc})_{célula} \times N^{\circ} \text{ de Células em Paralelo}$$

$$(I_{max})_{módulo} = (I_{max})_{célula} \times N^{\circ} \text{ de Células em Paralelo}$$

$$(V_{ca})_{módulo} = (V_{ca})_{célula} \times N^{\circ} \text{ de Células em Série}$$

$$(V_{max})_{módulo} = (V_{max})_{célula} \times N^{\circ} \text{ de Células em Série}$$

Como se trata de uma junção em série, as correntes máxima e de curto – circuito, são iguais à da célula. Sendo as tensões, máxima e de circuito aberto, proporcionais ao número de células. Os coeficientes  $\mu_{Icc}$ ,  $\mu_{MP}$  e o rendimento  $\eta_{MP(REF)}$  permanecem iguais.

As principais características eléctricas dos colectores híbridos estão expressas nas tabelas 3.5,3.6,3.7e 3.8.

Tabela 3.5 – Características eléctricas dos Colectores Híbridos Placa – Tubo Com ou sem Cobertura (células policristalinas).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com ou Sem Cobertura (Células Policristalinas)		
Símbolo	Descrição	Valor
$n_{células}$	Número de Células	72
$I_{max}$	Corrente Máxima	6,95 A
$V_{max}$	Tensão Máxima	34,63 V
$I_{cc}$	Corrente de Curto - Circuito	7,70 A
$V_{ca}$	Tensão de Circuito Aberto	42,77 V
$\mu_{Icc}$	Coeficiente de Variação da Corrente de Curto – Circuito com a Temperatura	0,0055A/°C
$\mu_{MP}$	Coeficiente da Variação da Eficiência com a Temperatura no Ponto de Máxima Potência	-0,004/°C
$\eta_{MP(REF)}$	Rendimento Eléctrico das Células Fotovoltaicas à Máxima Potência nas Condições STC	13,7%

Tabela 3 6 - Características eléctricas dos Colectores Híbridos Placa – Tubo Com ou sem Cobertura (células monocristalinas).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com ou Sem Cobertura (Células Monocristalinas)		
Símbolo	Descrição	Valor
$n_{células}$	Número de Células	72
$I_{max}$	Corrente Máxima	8,005
$V_{max}$	Tensão Máxima	36,0
$I_{cc}$	Corrente de Curto - Circuito	8,7
$V_{ca}$	Tensão de Circuito Aberto	43,92
$\mu_{Icc}$	Coeficiente de Variação da Corrente de Curto – Circuito com a Temperatura	0,00261 A/K (0,0003 x $I_{cc}$ A/K)
$\mu_{MP}$	Coeficiente da Variação da Eficiência com a Temperatura no Ponto de Máxima Potência	-0,0051/K
$\eta_{MP(REF)}$	Rendimento Eléctrico das Células Fotovoltaicas à Máxima Potência nas Condições STC	16,4%

Tabela 3.7 - Características eléctricas do Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (células policristalinas).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Células Policristalinas)		
Símbolo	Descrição	Valor
$n_{\text{células}}$	Número de Células	54
$I_{\text{max}}$	Corrente Máxima	6,95 A
$V_{\text{max}}$	Tensão Máxima	25,97
$I_{\text{cc}}$	Corrente de Curto - Circuito	7,70 A
$V_{\text{ca}}$	Tensão de Circuito Aberto	32,08
$\mu_{\text{Icc}}$	Coeficiente de Variação da Corrente de Curto – Circuito com a Temperatura	0,0055A/°C
$\mu_{\text{MP}}$	Coeficiente da Variação da Eficiência com a Temperatura no Ponto de Máxima Potência	-0,004/°C
$\eta_{\text{MP(REF)}}$	Rendimento Eléctrico das Células Fotovoltaicas à Máxima Potência nas Condições STC	13,7%

Tabela 3.8 - Características eléctricas do Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (células monocristalinas).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Células Monocristalinas)		
Símbolo	Descrição	Valor
$n_{\text{células}}$	Número de Células	54
$I_{\text{max}}$	Corrente Máxima	8,005
$V_{\text{max}}$	Tensão Máxima	27,0
$I_{\text{cc}}$	Corrente de Curto - Circuito	8,7
$V_{\text{ca}}$	Tensão de Circuito Aberto	32,94
$\mu_{\text{Icc}}$	Coeficiente de Variação da Corrente de Curto – Circuito com a Temperatura	0,00261 A/K (0,0003 x $I_{\text{cc}}$ A/K)
$\mu_{\text{MP}}$	Coeficiente da Variação da Eficiência com a Temperatura no Ponto de Máxima Potência	-0,0051/K
$\eta_{\text{MP(REF)}}$	Rendimento Eléctrico das Células Fotovoltaicas à Máxima Potência nas Condições STC	16,4%

## 3.2 Modelos Desenvolvidos

### 3.2.1 Introdução

Os modelos desenvolvidos, no presente relatório, têm por base os trabalhos de investigação elaborados pelos autores dos seguintes artigos (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001).

Com o intuito de determinar as curvas de rendimento, dos módulos híbridos apresentados anteriormente, foram desenvolvido três modelos numéricos. Tais modelos representam os vários processos de transferência de calor entre os elementos do colectore. No entanto, devido à complexidade da geometria dos colectores e de alguns fenómenos subjacentes a esta, foram feitas algumas aproximações. A primeira simplificação foi considerar os tubos de água rectilíneos, em vez de serpenteados, como acontece na realidade (figura 3.4).

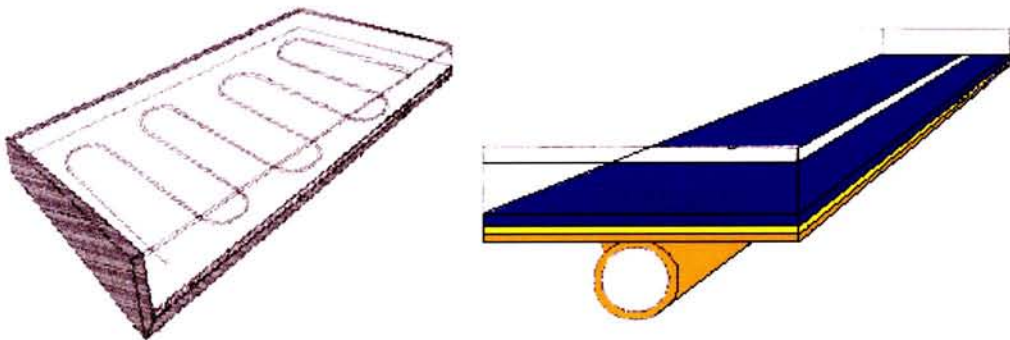


Figura 3.4 – Colector híbrido real com tubos serpenteados (esquerda) , colector híbrido considerado no modelo com tubos rectilíneos (direita).

Assim, ignora-se os efeitos relacionados com as curvas do serpenteado que são: menor coeficiente de transferência de calor entre a parede do tubo e o fluido (água) e variação da secção do tubo (Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001). Geralmente, os autores de modelos de transferências de calor, em colectores híbridos, consideram esta primeira opção. Na verdade, “os efeitos que advêm da suposição de tubos de água rectilíneos são de mínima importância”, citando Douwe de Vries em (Vries, D. W., 1998).

Num colector híbrido, as trocas de calor, entre os seus elementos, são tridimensionais e dinâmicas. Porém, no presente caso, os modelos são estacionários e unidimensionais. Os erros resultantes, destas duas aproximações, são mínimos. Os efeitos dinâmicos têm pouca influência nos resultados e os modelos unidimensionais conduzem a resultados bastante satisfatórios (Zondag, H. A. et al, 2001).

Para se determinar, as curvas de rendimento térmico e eléctrico, para um colector, são necessários dois modelos: um modelo de transferências de calor e um óptico. O segundo modelo, o óptico, tem como objectivo determinar o coeficiente de transmissão – absorção ( $\tau\alpha$ )



das células fotovoltaicas e o respectivo coeficiente de transmissão do vidro da cobertura. Contudo, este modelo não foi objecto de estudo neste trabalho. Os seus resultados são mostrados na tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Resultados do modelo óptico.

Tipo de Colector	$(\tau\alpha)_{\text{célula}}$	$\tau_{\text{vidrocobertura}}$
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	0,78	1
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	0,74	0,92

Fonte: (Zondag, H. A. et al, 2003).

Estes valores serão introduzidos nos modelos térmicos, que a seguir se descrevem. Na literatura sobre colectores híbridos, não foi encontrado nenhum modelo óptico para o Colector Com Células Transparentes. Como tal, aplicou-se os valores do módulo sem cobertura no modelo térmico do módulo com células transparentes. Como, ambos os colectores não possuem cobertura no topo, o coeficiente de transmissão – absorção nas células é o mesmo (Tabela 3.10).

Tabela 3.10 – Factores de transmissão – absorção utilizados no Colector Híbrido Com Células Transparentes.

Tipo de Colector	$(\tau\alpha)_{\text{célula}}$	$\tau_{\text{vidrocobertura}}$
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	0,78	1

Os colectores forma simulados nas condições apresentadas na tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Condições de simulação dos colectores híbridos.

$T_{\text{amb}}$	Temperatura Ambiente	20°C
$G$	Radiação Incidente	800W/m <sup>2</sup>
$V_{\text{vento}}$	Velocidade do Vento	1m/s
$T_{\text{in}}$	Temperatura de Entrada da Água	20 – 60°C
$\dot{m}_{\text{água}}$	Caudal de Água	76/3600 kg/(m <sup>2</sup> s)
$\phi$	Inclinação do Colector	45°

### 3.2.2 Modelo para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura

Os fluxos de calor, no Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura, estão descritos na figura 3.5 Estes fluxos são expressos por  $m^2$  de colector, ou seja, ( $W/(m^2 \text{ Colector})$ )

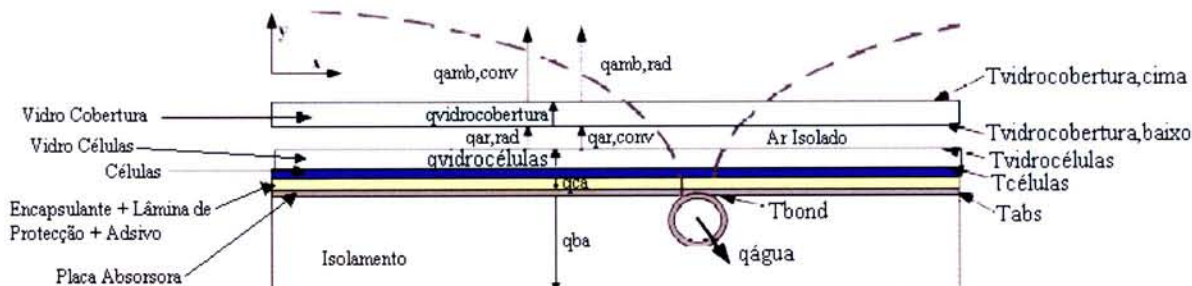


Figura 3.5 – Transferências de calor no Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura.

#### *Transferências de Calor no Topo da Cobertura*

No topo da cobertura, as perdas de calor para o ambiente são por convecção ( $q_{amb,conv}$ ) e radiação ( $q_{amb,rad}$ ).

$$q_{vidrocobertura} = q_{amb,conv} + q_{amb,rad} \quad (1)$$

De acordo com Duffie e Beckman, o céu pode ser considerado um corpo negro a uma determinada temperatura. Assim, a irradiação que é libertada pela cobertura pode ser obtida pela expressão (2) (Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

$$q_{amb,rad} = \epsilon_{vidrocobertura} \sigma (T_{vidrocobertura,cima}^4 - T_{céu}^4) \quad (2)$$

$\sigma$  é a constante de Stefan – Boltzman e  $\epsilon_{vidrocobertura}$  é a emissividade do vidro da cobertura ( $\epsilon_{vidrocobertura} = 0,9$ ).

A temperatura do céu é estimada pela equação (3).

$$T_{céu} = 0,0552 T_{amb}^{1,5} \quad (3)$$

(Vries, D. W., 1998)

Sendo  $T_{amb}$  a temperatura ambiente

As perdas por convecção são obtidas por:

$$q_{amb,conv} = \alpha_{vento} (T_{vidrocobertura,cima} - T_{amb}) \quad (4)$$

em que  $\alpha_{vento}$  é o coeficiente de convecção entre o vidro da cobertura e ar ambiente.

Este coeficiente é dado por:

$$\alpha_{\text{vento}} = 5,7 + 3,8 V_{\text{vento}} \quad (5)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

Também, ocorre condução na cobertura. De facto, considerou-se uma temperatura no fundo do vidro diferente da superfície.

$$q_{\text{Vidrocobertura}} = \frac{\lambda_{\text{vidrocobertura}}}{\text{esp}_{\text{vidrocobertura}}} (T_{\text{Vidrocobertura,baixo}} - T_{\text{Vidrocobertura,cima}}) \quad (6)$$

*Transferências de Calor entre o Vidro da Cobertura e o Vidro de Protecção das Células*

A transferência de calor entre os dois vidros dá-se por convecção e radiação.

$$q_{\text{Vidrocélulas}} = q_{\text{ar,conv}} + q_{\text{ar,rad}} \quad (7)$$

O fluxo de calor total,  $q_{\text{Vidrocélulas}}$ , é igual ao do vidro da cobertura.

$$q_{\text{Vidrocélulas}} = q_{\text{vidrocobertura}} \quad (8)$$

Entre as duas superfícies paralelas, o fluxo de calor por radiação é determinado por:

$$q_{\text{ar,rad}} = \frac{\sigma (T_{\text{Vidrocélulas}}^4 - T_{\text{Vidrocobertura,baixo}}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{Vidrocélulas}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{Vidrocobertura}}} - 1} \quad (9)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

sendo  $\varepsilon_{\text{Vidrocélulas}}$  a emissividade do vidro de protecção das células ( $\varepsilon_{\text{Vidrocélulas}} = 0,9$ ).

Por sua vez,

$$q_{\text{ar,conv}} = \frac{Nu_{\text{ar}} \lambda_{\text{ar}}}{H} (T_{\text{Vidrocélulas}} - T_{\text{Vidrocobertura,baixo}}) \quad (10)$$

O número de Nusselt ( $Nu_{\text{ar}}$ ) é determinado por:

$$Nu_{\text{ar}} = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708}{Ra_{\text{ar}} \cos \varphi} \right]^* \left[ 1 - \frac{1708 (\sin(1,8\varphi))^{1,6}}{Ra_{\text{ar}} \cos(\varphi)} \right] + \left[ \left( \frac{Ra_{\text{ar}} \cos \varphi}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^* \quad (11)$$

\*Se a grandeza, entre parênteses, for negativa, o seu valor deve ser igualado a zero.

(Incropera, F. e DeWitt, D., 2002)

Sendo,

$$Ra_{ar} = \frac{Pr_{ar} g \beta_{ar} (T_{vidrocélulas} - T_{vidrocobertura,baixo}) H^3}{\nu_{ar}^2} \quad (12)$$

e,

$$Pr_{ar} = \frac{Cp_{ar} \mu_{ar}}{\lambda_{ar}} \quad (13)$$

Há, igualmente, condução entre as células e o vidro de protecção.

$$q_{vidrocélulas} = \frac{\lambda_{vidrocélulas}}{esp_{vidrocélulas}} (T_{células} - T_{vidrocélulas}) \quad (14)$$

#### *Transferências de Calor nas Células Fotovoltaicas*

A radiação solar que incide nas células, parte é convertida em energia eléctrica, sendo o restante da radiação absorvida por estas. Assim,

$$((\tau\alpha)_{célula} - \eta_{células} \tau_{vidrocobertura}) G = q_{ca} + q_{vidrocélulas} \quad (15)$$

sendo  $q_{ca}$  o fluxo de calor por condução entre as células e placa absorvora.

$$q_{ca} = U_{ca} (T_{células} - T_{abs}) \quad (16)$$

$U_{ca} = 500 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , valor definido nos artigos (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001).

#### *Transferências de Calor na Placa Absorvora*

A distribuição da temperatura, na placa absorvora, é aproximada pelas seguintes equações:

$$\text{Para } x \in \left[0, \frac{w-D}{2}\right], T_{abs}(x) = T(x) \quad (17)$$

$$\text{Para } x \in \left[\frac{w-D}{2}, \frac{w}{2}\right], T_{abs}(x) = T_{bond} \quad (18)$$

(Vries, D. W., 1998)

Sendo  $T_{bond}$  a temperatura da placa na base do tubo

A temperatura  $T(x)$  é calculada através das equações (19) e (20). Estas expressões foram desenvolvidas a partir de estudos realizados por Duffie e Beckman, sobre a distribuição da temperatura numa placa absorvora. A temperatura da placa varia ao longo do eixos dos  $xx$  de acordo com a figura 3.5 (linha a traço interrompido).

$$T(x) = \left[ T_{bond} - \left( \frac{U_{ca} T_{células} + U_{ba} T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right) \right] \frac{\cosh(mx)}{\cosh\left(m\left(\frac{W-D}{2}\right)\right)} + \frac{U_{ca} T_{células} + U_{ba} T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \quad (19)$$

onde,

$$m = \sqrt{\frac{U_{ca} + U_{ba}}{\lambda_{abs} esp_{abs}}} \quad (20)$$

(Demonstração das equações (17) e (18) ver anexo B)

A temperatura média da placa absorvora é obtida integrando as equações (17) e (18), dentro dos respectivos limites em x, ou seja,

$$T_{abs} = \frac{2}{W} \left( \int_0^{\frac{W-D}{2}} T(x) dx + \int_{\frac{W-D}{2}}^{\frac{W}{2}} T_{bond} dx \right) \quad (21)$$

resultando,

$$T_{abs} = \frac{2}{W} \left[ T_{bond} \left( \frac{D}{2} \right) + aaaa \left( \frac{W-D}{2} \right) + \frac{bbbb}{m} \left[ \sinh\left(m\left(\frac{W-D}{2}\right)\right) - \sinh(0) \right] \right] \quad (22)$$

sendo,

$$aaaa = \frac{U_{ca} T_{células} + U_{ba} T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \quad (23)$$

e

$$bbbb = \left[ T_{bond} - \left( \frac{U_{ca} T_{células} + U_{ba} T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right) \right] \frac{1}{\cosh\left(m\left(\frac{W-D}{2}\right)\right)} \quad (24)$$

(Demonstração das equações (22) ver anexo B)

Por outro lado,  $T_{bond}$  é obtida por,

$$T_{bond} = T_{água} + q_{água} \frac{D_i}{Nu_{água} \lambda_{água}} \quad (25)$$

em que o número de Nusselt ( $Nu_{água}$ ) é,

$$\text{para } Re_{água} > 2300 \implies Nu_{água} = 0,023 Re_{água}^{0,8} Pr_{água}^{0,4} \quad (26)$$

$$\text{para } Re_{água} < 2300 \implies Nu_{água} = 4,364 \quad (27)$$

*Transferências de Calor no Isolamento*

No isolamento existe transferência de calor por condução entre a placa absorvora e o ambiente.

$$q_{ba} = U_{ba}(T_{abs} - T_{amb}) \quad (28)$$

por outro lado,

$$q_{ba} = q_{ca} - q_{\text{água}} \quad (29)$$

*Rendimento Térmico e Eléctrico*

O rendimento eléctrico de um colector híbrido é dado por:

$$\eta_{\text{eléctrico}} = \frac{\text{Potência Eléctrica Obtida}}{\text{Potência da Radiação Incidente no Colector}} \quad (30)$$

sendo,

$$\text{Potência Eléctrica Obtida} = \eta_{\text{células}} A_{\text{células}} \tau_{\text{vidrocobertura}} G \quad (31)$$

e

$$\text{Potência da Radiação Incidente no Colector} = A_{\text{Colector}} G \quad (32)$$

resultando,

$$\eta_{\text{eléctrico}} = \frac{\eta_{\text{célula}} A_{\text{células}} \tau_{\text{vidrocobertura}} G}{A_{\text{Colector}} G} \quad (33)$$

(Chow, T.T. et al, 2005; Chow, T.T., 2003)

Nos Colectores Híbridos Placa – Tubo Com Ou Sem Cobertura, a área de células ocupa, praticamente, o módulo todo ( $A_{\text{células}}/A_{\text{colector}} = 0,992$ ) Como tal, para o cálculo do rendimento eléctrico considerou-se a área de células igual ao colector. Aproximação feita, igualmente, pelos autores dos artigos (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001).

$$\eta_{\text{eléctrico}} = \eta_{\text{células}} \tau_{\text{vidrocobertura}} \quad (34)$$

Sendo o rendimento das células dado por:

$$\eta_{\text{células}} = \eta_{MP(REF)} (1 + \mu_{MP}(T_{\text{células}} - 25^{\circ}\text{C})) \quad (35)$$

O rendimento térmico é calculado por:

$$\eta_{T\acute{e}rmico} = \frac{q_{\acute{a}gua}}{G} \quad (36)$$

sendo,

$$q_{\acute{a}gua} = \dot{m}_{\acute{a}gua} C_{p\acute{a}gua} (T_{\acute{a}gua} - T_{in}) \quad (37)$$

A potência térmica é igual a,

$$Pot\acute{e}ncia\ T\acute{e}rmica\ Obtida = \eta_{T\acute{e}rmico} A_{Colector} G \quad (38)$$

As curvas de rendimento estão em função da temperatura  $T_{red}$ , definida pela seguinte expressão:

$$T_{red} = \frac{(T_{in} - T_{amb})}{G} \quad (39)$$

### 3.2.3 Modelo para o Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura

Os fluxos de calor, no Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura, estão descritos na figura 3.6. Estes fluxos são expressos por  $m^2$  de colector, ou seja, ( $W/(m^2 \text{ Colector})$ )

O modelo do Colector Híbrido Sem Cobertura é muito semelhante ao anterior (Colector Híbrido Com Cobertura). Como tal, no presente modelo, não será feita uma descrição exhaustiva; apresenta-se apenas as equações que caracterizam as trocas de calor, no referido módulo.

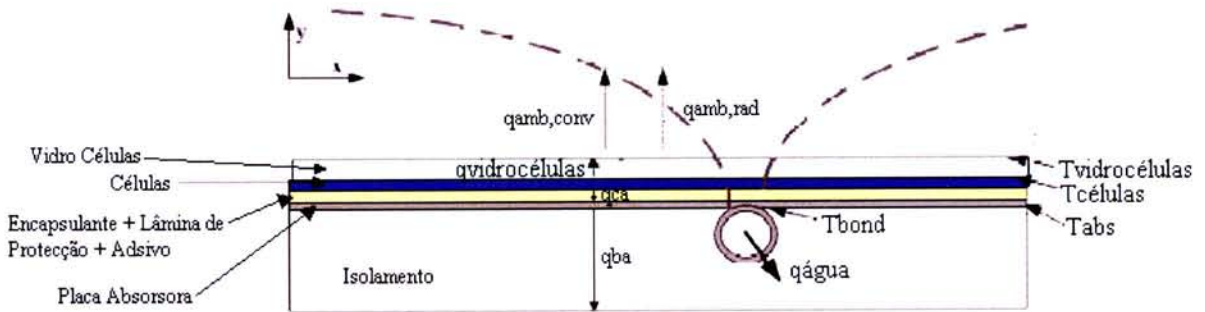


Figura 3.6 – Transferências de calor no Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura

#### *Transferências de Calor no Vidro das Células*

$$q_{vidrocélulas} = q_{amb,conv} + q_{amb,rad} \quad (1)$$

$$q_{amb,rad} = \epsilon_{vidrocélulas} \sigma (T_{vidrocélulas}^4 - T_{cél}^4) \quad (2)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

$\sigma$  é a constante de Stefan – Boltzman e sendo  $\epsilon_{vidrocélulas}$  a emissividade do vidro de protecção das células ( $\epsilon_{vidrocélulas} = 0,9$ ).

$$T_{cél} = 0,0552 T_{amb}^{1,5} \quad (3)$$

(Vries, D. W., 1998)

Sendo  $T_{amb}$  a temperatura ambiente

$$q_{amb,conv} = \alpha_{vento} (T_{vidrocélulas} - T_{amb}) \quad (4)$$

em que  $\alpha_{vento}$  é o coeficiente de convecção entre o vidro das células e ar ambiente.

$$\alpha_{vento} = 5,7 + 3,8 V_{vento} \quad (5)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)



$$q_{vidrocélulas} = \frac{\lambda_{vidrocélulas}}{esp_{vidrocélulas}} (T_{células} - T_{vidrocélulas}) \quad (6)$$

### Transferências de Calor nas Células Fotovoltaicas

$$((\tau\alpha)_{célula} - \eta_{células}\tau_{vidrocobertura})G = q_{ca} + q_{vidrocélulas} \quad (7)$$

$q_{ca}$  é o fluxo de calor por condução entre as células e a placa absorsora.

$$q_{ca} = U_{ca} (T_{células} - T_{abs}) \quad (8)$$

$U_{ca} = 500 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , valor definido nos artigos (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001).

### Transferências de Calor na Placa Absorsora

$$T_{abs} = \frac{z}{W} \left[ T_{bond} \left( \frac{D}{2} \right) + aaaaa \left( \frac{W-D}{2} \right) + \frac{bbbb}{m} \left[ \sinh \left( m \left( \frac{W-D}{2} \right) \right) - \sinh(0) \right] \right] \quad (9)$$

onde,

$$m = \sqrt{\frac{U_{ca} + U_{ba}}{\lambda_{abs} esp_{abs}}} \quad (10)$$

$$aaaaa = \frac{U_{ca}T_{células} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \quad (11)$$

$$bbbb = \left[ T_{bond} - \left( \frac{U_{ca}T_{células} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right) \right] \frac{1}{\cosh \left( m \left( \frac{W-D}{2} \right) \right)} \quad (12)$$

(Demonstração da equações 9 ver anexo B)

$T_{bond}$  é a temperatura da placa na zona do tubo

$$T_{bond} = T_{\text{água}} + q_{\text{água}} \frac{D_i}{Nu_{\text{água}} \lambda_{\text{água}}} \quad (13)$$

Número de Nusselt ( $Nu_{\text{água}}$ ) é,

$$\text{para } Re_{\text{água}} > 2300 \implies Nu_{\text{água}} = 0,023 Re_{\text{água}}^{0,8} Pr_{\text{água}}^{0,4} \quad (14)$$

$$\text{para } Re_{\text{água}} < 2300 \Rightarrow Nu_{\text{água}} = 4,364 \quad (15)$$

*Transferências de Calor no Isolamento*

$$q_{ba} = U_{ba}(T_{abs} - T_{amb}) \quad (16)$$

$$q_{ba} = q_{ca} - q_{\text{água}} \quad (17)$$

*Rendimento Térmico e Eléctrico*

$$\text{Potência Eléctrica Obtida} = \eta_{\text{células}} A_{\text{células}} \tau_{\text{vidrocobertura}} G \quad (18)$$

e

$$\eta_{\text{eléctrico}} = \frac{\eta_{\text{célula}} A_{\text{células}} \tau_{\text{vidrocobertura}} G}{A_{\text{Colector}} G} \quad (19)$$

(Chow, T.T. et al, 2005; Chow, T.T., 2003)

Nos Colectores Híbridos Placa – Tubo Com Ou Sem Cobertura, a área de células ocupa, praticamente, o módulo todo ( $A_{\text{células}}/A_{\text{colector}} = 0,992$ ) Como tal, para o cálculo do rendimento eléctrico considerou-se a área de células igual ao colector. Aproximação feita, igualmente, pelos autores dos artigos (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001).

$$\eta_{\text{eléctrico}} = \eta_{\text{células}} \tau_{\text{vidrocobertura}} \quad (20)$$

$$\eta_{\text{células}} = \eta_{MP(REF)} (1 + \mu_{MP}(T_{\text{células}} - 25^{\circ}\text{C})) \quad (21)$$

O rendimento térmico é calculado por:

$$\eta_{\text{Térmico}} = \frac{q_{\text{água}}}{G} \quad (22)$$

$$q_{\text{água}} = \dot{m}_{\text{água}} C p_{\text{água}} (T_{\text{água}} - T_{in}) \quad (23)$$

A potência térmica é igual a,

$$\text{Potência Térmica Obtida} = \eta_{\text{Térmico}} A_{\text{Colector}} G \quad (24)$$

As curvas de rendimento estão em função da temperatura  $T_{red}$ , definida pela seguinte expressão:

$$T_{red} = \frac{(T_{in} - T_{amb})}{G} \quad (25)$$

### 3.2.4 Modelo para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes

Os fluxos de calor, no Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes, estão descritos na figura 3.7. Estes fluxos são expressos por  $m^2$  de colector, ou seja, ( $W/(m^2$  Colector))

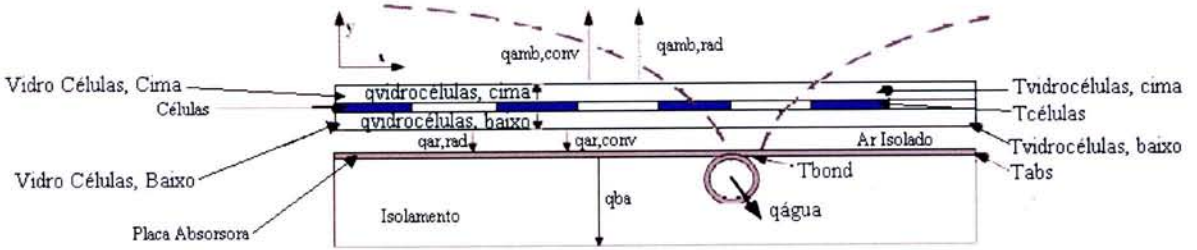


Figura 3.7 – Transferências de calor no Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes

#### *Transferências de Calor no Vidro de Protecção das Células (Cima)*

No vidro de protecção das células (cima), as perdas de calor para o ambiente são por convecção ( $q_{amb,conv}$ ) e radiação ( $q_{amb,rad}$ ).

$$q_{vidrocélulas,cima} = q_{amb,conv} + q_{amb,rad} \quad (1)$$

Onde,

$$q_{amb,rad} = \epsilon_{vidrocélulas,cima} \sigma (T_{vidrocélulas,cima}^4 - T_{céu}^4) \quad (2)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

$\sigma$  é a constante de Stefan – Boltzman e  $\epsilon_{vidrocélulas,cima}$  é a emissividade do vidro de protecção das células (cima) ( $\epsilon_{vidrocélulas,cima} = 0,9$ ).

A temperatura do céu é estimada pela equação (3).

$$T_{céu} = 0,0552 T_{amb}^{1,5} \quad (3)$$

(Vries, D. W., 1998)

Sendo  $T_{amb}$  a temperatura ambiente

As perdas por convecção são obtidas por:

$$q_{amb,conv} = \alpha_{vento} (T_{vidrocélulas,cima} - T_{amb}) \quad (4)$$

em que  $\alpha_{vento}$  é o coeficiente de convecção entre o vidro superior das células e ar ambiente.

Este coeficiente é dado por:

$$\alpha_{\text{vento}} = 5,7 + 3,8 V_{\text{vento}} \quad (5)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

A condução entre as células fotovoltaicas e o vidro de cima determina-se por:

$$q_{\text{Vidrocélulas,cima}} = \frac{\lambda_{\text{vidrocélulas,cima}}}{\text{esp}_{\text{vidrocélulas,cima}}} (T_{\text{células}} - T_{\text{Vidrocélulas,cima}}) PF \quad (6)$$

A condução, descrita anteriormente, não é estendida a toda a área do colector. Neste tipo de módulos híbridos existe uma grande diferença entre área de células e área do módulo. Como tal, define-se o parâmetro PF,

$$PF = \frac{\text{Área de Células Fotovoltaicas}}{\text{Área de Colector Híbrido}} \quad (7)$$

(Tiwari, A. e Sodha, M., 2005)

#### *Transferências de Calor entre Vidro de Protecção das Células (Baixo) e a Placa Absorsora*

A transferência de calor entre o vidro de baixo da célula e a placa absorsora dá-se por convecção e radiação.

$$q_{\text{Vidrocélulas,baixo}} = q_{\text{ar,conv}} + q_{\text{ar,rad}} \quad (8)$$

Entre as duas superfícies paralelas, o fluxo de calor por radiação é determinado por:

$$q_{\text{ar,rad}} = \frac{\sigma (T_{\text{Vidrocélulas,baixo}}^4 - T_{\text{abs}}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{Vidrocélulas,baixo}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{abs}}} - 1} \quad (9)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

sendo  $\varepsilon_{\text{Vidrocélulas,baixo}}$  e  $\varepsilon_{\text{abs}}$  a emissividade do vidro de protecção das células(baixo) ( $\varepsilon_{\text{Vidrocélulas,baixo}}=0,9$ ) e a emissividade da placa absorsora ( $\varepsilon_{\text{abs}}=0,8$ ).

Por sua vez,

$$q_{\text{ar,conv}} = \frac{Nu_{\text{ar}} \lambda_{\text{ar}}}{H} (T_{\text{Vidrocélulas,baixo}} - T_{\text{abs}}) \quad (10)$$

O número de Nusselt ( $Nu_{\text{ar}}$ ) é determinado por:

$$Nu_{ar} = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708}{Ra_{ar} \cos \varphi} \right]^* \left[ 1 - \frac{1708(\sin(1,8\varphi))^{1,6}}{Ra_{ar} \cos(\varphi)} \right] + \left[ \left( \frac{Ra_{ar} \cos \varphi}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^* \quad (11)$$

\*Se a grandeza, entre parênteses, for negativa, o seu valor deve ser igualado a zero.

(Incropera,F. e DeWitt,D., 2002)

Sendo,

$$Ra_{ar} = \frac{Pr_{ar} g \beta_{ar} (T_{Vidrocélulas,baixo} - T_{abs}) H^3}{\nu_{ar}^2} \quad (12)$$

e,

$$Pr_{ar} = \frac{Cp_{ar} \mu_{ar}}{\lambda_{ar}} \quad (13)$$

A condução, entre as células fotovoltaicas e o seu vidro de protecção (baixo), é obtida por:

$$q_{Vidrocélulas,baixo} = \frac{\lambda_{vidrocélulas,baixo}}{esp_{vidrocélulas,baixo}} (T_{células} - T_{Vidrocélulas,baixo}) PF \quad (14)$$

Sendo PF definido em cima.

### Transferências de Calor nas Células Fotovoltaicas

Na fracção fotovoltaica do colector, como foi explicado previamente, parte da radiação solar é transformada em electricidade, sendo o restante absorvido pelas células. Assim,

$$((\tau\alpha)_{célula} - \eta_{células} \tau_{vidrocobertura}) G PF = q_{vidrocélulas,baixo} + q_{vidrocélulas,cima} \quad (15)$$

### Transferências de Calor na Placa Absorsora

Neste colector, a temperatura média da placa é determinada pelo método de discretização. A placa é dividida em volumes de controlo, onde se realiza um balanço de energia em torno de cada nó. (Oliveira, A., 2006) (figura 3.8). Sendo  $\Delta x=0,012$ .

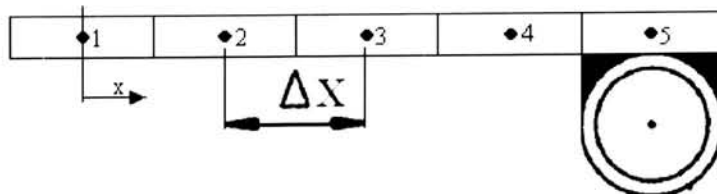


Figura 3. 8 – Discretização da placa absorvedora.

Nesse balanço é contabilizado a condução entre os elementos ( $q_{cond1}$  e  $q_{cond2}$ ), a troca calor entre a placa absorvora e o vidro de protecção das células (baixo) ( $q_{ar,rad}$  e  $q_{ar,conv}$ ), a radiação que incide directamente na placa ( $G_{inc}$ ) e as perdas de calor para o ambiente ( $q_{ba}$ ) (figura 3.9). De facto, nesta geometria de colectores, como a área de células não ocupa o módulo todo e visto estas estarem entre dois vidros, a radiação solar embate directamente na placa.

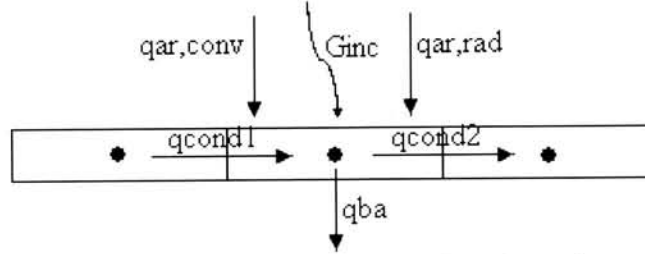


Figura 3.9 – Balanço de energia num nó da placa absorvora.

As propriedades térmicas, para o cálculo dos fluxos de calor, são obtidas em função da temperatura da placa em cada nó.

Efectuando um volume de controlo ao nó 2 obtém-se:

$$(\tau_{Vidro}\alpha_{abs})(1 - PF)G \Delta x + \frac{\lambda_{abs}esp_{abs}}{\Delta x}(T_1 - T_2) + \frac{Nu_{ar}\lambda_{ar}}{H}(T_{Vidro\text{células,baixo}} - T_2)\Delta x + \varepsilon_{abs}\sigma(T_{Vidro\text{células,baixo}}^4 - T_2^4)\Delta x = \frac{\lambda_{abs}esp_{abs}}{\Delta x}(T_2 - T_3) + U_{ba}(T_2 - T_{amb})\Delta x \quad (16)$$

$\tau_{vidro}$  é o coeficiente de transmissão entre os vidros das células ( $\tau_{vidro} = 0,92$ ) e  $\alpha_{abs}$  é o coeficiente de absorção da placa ( $\alpha_{abs} = 0,9$ ).

Por sua vez no nó 3,

$$(\tau_{Vidro}\alpha_{abs})(1 - PF)G \Delta x + \frac{\lambda_{abs}esp_{abs}}{\Delta x}(T_2 - T_3) + \frac{Nu_{ar}\lambda_{ar}}{H}(T_{Vidro\text{células,baixo}} - T_3)\Delta x + \varepsilon_{abs}\sigma(T_{Vidro\text{células,baixo}}^4 - T_3^4)\Delta x = \frac{\lambda_{abs}esp_{abs}}{\Delta x}(T_3 - T_4) + U_{ba}(T_3 - T_{amb})\Delta x \quad (17)$$

Como foi sugerido, anteriormente, a temperatura na extremidade da placa, para  $x \in [0, (W-D)/2]$ , era aproximada a  $T_{bond}$ . Como tal, no presente modelo, tomou-se igual consideração. Assim,

$$T_4 = T_5 = T_{bond}. \quad (18)$$

Esta aproximação torna-se mais realista a medida que  $\Delta x$  tende para 0.

No nó 4 obtém-se,

$$(\tau_{Vidro}\alpha_{abs})(1 - PF)G \Delta x + \frac{\lambda_{abs}esp_{abs}}{\Delta x}(T_3 - T_4) + \frac{Nu_{ar}\lambda_{ar}}{H}(T_{Vidro\text{células,baixo}} - T_4)\Delta x + \varepsilon_{abs}\sigma(T_{Vidro\text{células,baixo}}^4 - T_4^4)\Delta x = U_{ba}(T_4 - T_{amb})\Delta x \quad (19)$$

Por fim, a temperatura média da placa é determinada por,

$$T_{abs} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} \quad (20)$$

por sua vez,

$$T_{bond} = T_{\acute{a}gua} + q_{\acute{a}gua} \frac{D_i}{Nu_{\acute{a}gua} \lambda_{\acute{a}gua}} \quad (21)$$

Número de Nusselt ( $Nu_{\acute{a}gua}$ ) é,

$$\text{para } Re_{\acute{a}gua} > 2300 \implies Nu_{\acute{a}gua} = 0,023 Re_{\acute{a}gua}^{0,8} Pr_{\acute{a}gua}^{0,4} \quad (22)$$

$$\text{para } Re_{\acute{a}gua} < 2300 \implies Nu_{\acute{a}gua} = 4,364 \quad (23)$$

### *Transferências de Calor no Isolamento*

$$q_{ba} = U_{ba}(T_{abs} - T_{amb}) \quad (24)$$

### *Rendimento Térmico e Eléctrico*

Como definido previamente,

$$\text{Potência Eléctrica Obtida} = \eta_{células} A_{células} \tau_{vidrocobertura} G \quad (25)$$

e

$$\eta_{eléctrico} = \frac{\eta_{célula} A_{células} \tau_{vidrocobertura} G}{A_{Colector} G} \quad (26)$$

como,

$$PF = \frac{\text{Área de Células Fotovoltaicas}}{\text{Área de Colector Híbrido}} \quad (27)$$

por fim,

$$\eta_{eléctrico} = \eta_{células} \tau_{vidrocobertura} PF \quad (28)$$

Expressão desenvolvida nos artigos - (Chow,T.T. et al, 2005; Chow,T.T., 2003)

O rendimento térmico é calculado por:

$$\eta_{Térmico} = \frac{q_{\acute{a}gua}}{G} \quad (29)$$

$$q_{\acute{a}gua} = \dot{m}_{\acute{a}gua} Cp_{\acute{a}gua} (T_{\acute{a}gua} - T_{in}) \quad (30)$$

A potência térmica é igual a,

$$\text{Potência Térmica Obtida} = \eta_{\text{Térmico}} A_{\text{Colector}} G \quad (31)$$

As curvas de rendimento estão em função da temperatura  $T_{red}$ , definida pela seguinte expressão:

$$T_{red} = \frac{(T_{in} - T_{amb})}{G} \quad (32)$$



### 3.3 Resultados Obtidos – Rendimento Térmico e Eléctrico

As curvas de rendimento obtidas, para as diferentes configurações, foram determinadas pelo programa EES (Engineering Equation Solver).

Da análise das figuras 3.10 e 3.11, conclui-se que o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura possui um comportamento térmico melhor que os demais módulos.

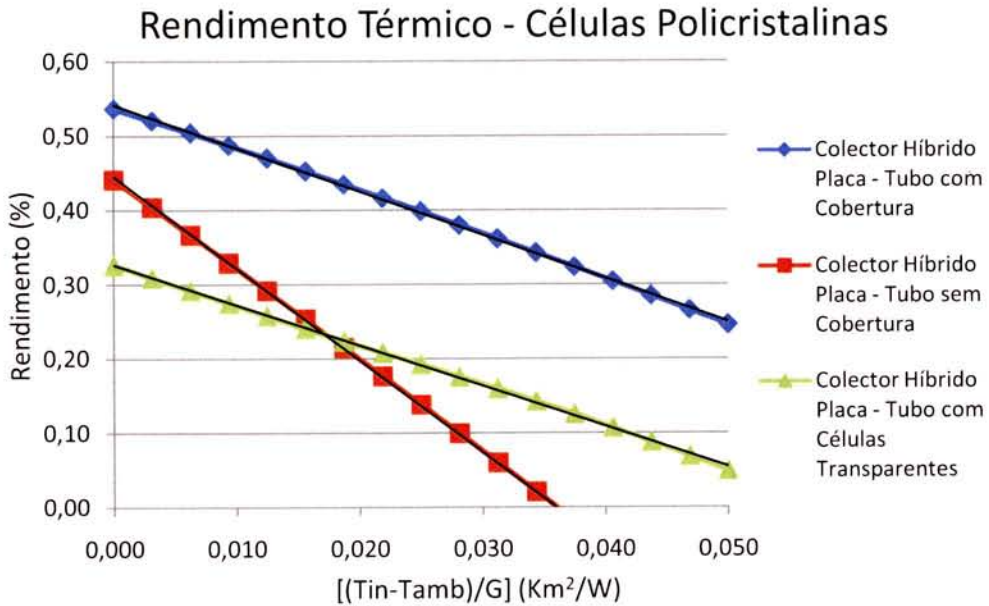


Figura 3.10 – Curvas de rendimento térmico (células policristalinas).

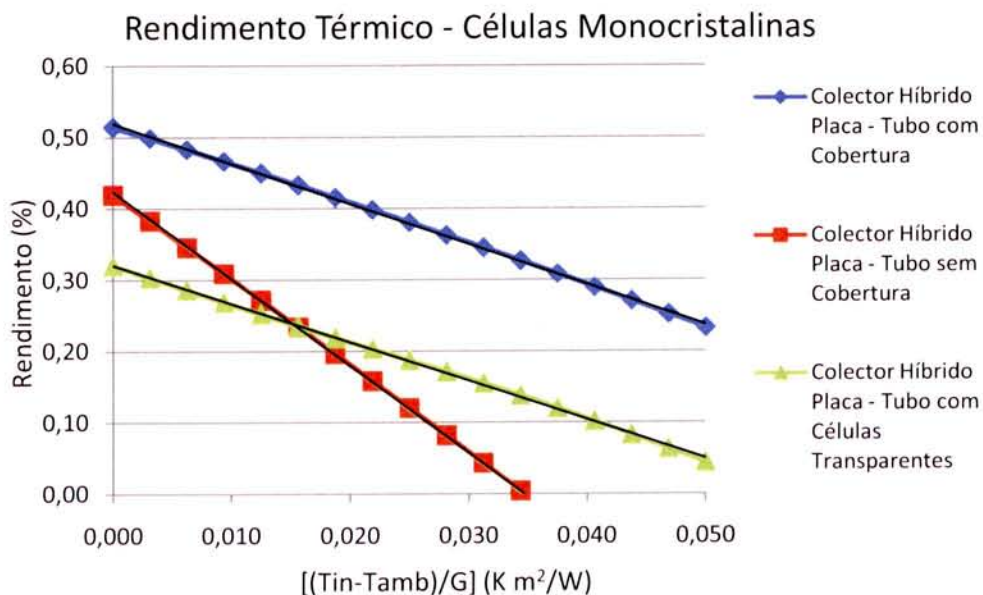


Figura 3.11 - Curvas de rendimento térmico (células monocristalinas).

A principal razão, para tal, é a existência de uma cobertura de vidro no topo do módulo, que diminui as perdas de calor (Vries, D. W., 1998).

O Colector Placa – Tubo Sem Cobertura tem elevadas perdas de calor, como se depreende observando a inclinação das suas curvas de rendimento (figura 3.10 e 3.11). Isto sucede, porque este módulo não possui uma cobertura no topo. Contudo, como esta geometria de painel não possui uma estrutura no topo, a radiação reflectida é mínima, proporcionando um aumento da energia absorvida (Zondag, H. A. et al, 2003). Assim, este tipo de colector é mais apropriado para aplicações que necessitem de uma temperatura de água mais baixa; pois, desta forma, consegue-se reduzir as perdas de calor, porque a temperatura do fluido é menor (Affolter, P. et al, 2006).

No Colector Com Células Transparentes, o rendimento térmico está muito dependente da área de células, no topo do módulo. De facto, quanto menor for a área de células, maior será a radiação solar incidente na placa absorvora, melhorando o rendimento térmico. As perdas de calor são baixas devido a estrutura das células na cobertura. Contudo, esta estrutura provoca reflexão na radiação que incide na placa absorvora, diminuindo o rendimento térmico. A grande vantagem, deste tipo de módulo, é poder-se controlar, mais facilmente, a fracção de energia eléctrica e térmica que se pretende obter, através da redução ou aumento do número de células.

O tipo de células fotovoltaicas influencia o rendimento térmico. As células de silício policristalino proporcionam um rendimento térmico mais elevado, pois não geram tanta energia eléctrica. Assim, há mais excedente de energia que pode ser aproveitado para fins térmicos.

O rendimento eléctrico, nos colectores híbridos, depende fortemente da existência ou não de uma cobertura no topo. Para colectores com cobertura (Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura), há perdas de radiação por reflexão, que originam uma baixa no rendimento eléctrico (figura 3.12 e 3.13) (Zondag, H. A. et al, 2003). Embora a cobertura no topo proporcione uma temperatura de água mais elevada, melhorando o rendimento térmico, todavia, a temperatura das células aumenta, piorando o desempenho eléctrico (Vries, D. W., 1998).

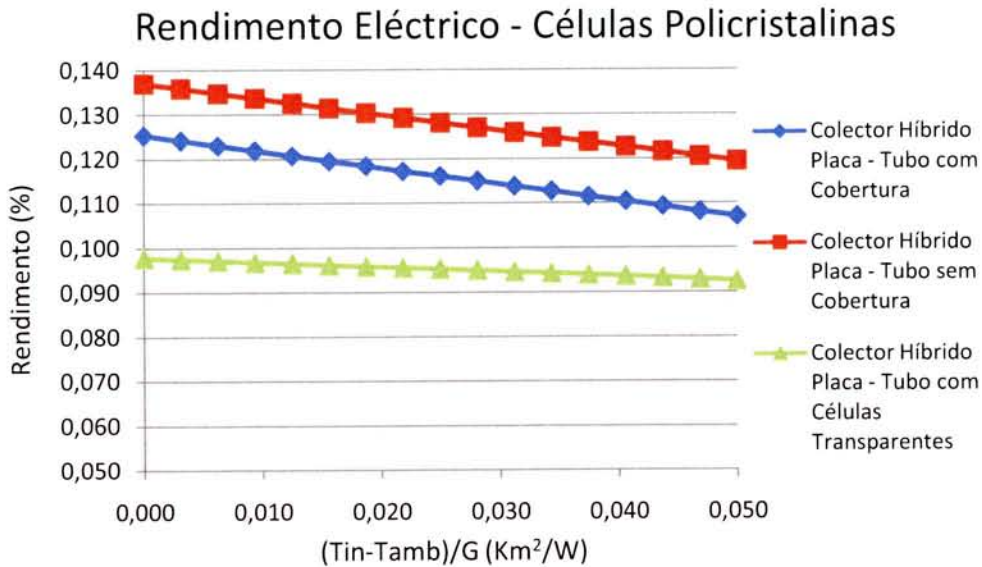


Figura 3.12 - Curvas de rendimento eléctrico (células policristalinas).

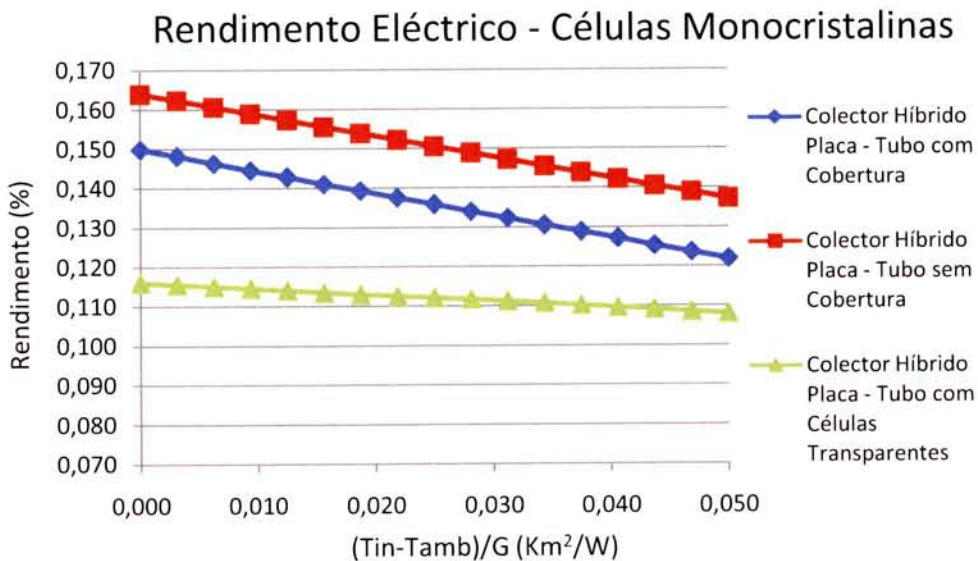


Figura 3.13 - Curvas de rendimento eléctrico (células monocristalinas).

No Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura o rendimento eléctrico é elevado pelas razões apontadas em cima.

Apesar de, o Módulo Híbrido Com Células Transparentes não ter cobertura, o seu rendimento eléctrico é baixo. Tal deve-se, a reduzida área de células comparada com os outros colectores.

O rendimento eléctrico está estritamente dependente do tipo de células. Nas células monocristalinas o rendimento é superior pois o silício é mais puro, proporcionando uma maior geração de energia eléctrica (Monteiro, C., 2007).



## Energia Anual Obtida

## 4.1 Introdução

No capítulo anterior, determinou-se o rendimento térmico e eléctrico de três configurações de colectores híbridos, recorrendo a modelos numéricos. Contudo, para se efectuar uma posterior análise económica, as curvas de rendimento instantâneo não são suficientes. Torna-se necessário calcular a quantidade anual de energia térmica e eléctrica gerada pelos módulos híbridos, sendo esta obtida para um número de colectores até seis. Seguidamente, será comparada a energia obtida nos colectores híbridos, com um colector solar térmico e um fotovoltaico, em separado.

Os colectores são simulados em três climas diferentes: Porto, Bragança e Faro. O objectivo é estudar a variação do comportamento, dos colectores, em diferentes condições climáticas (figura 4.1 e 4.2).

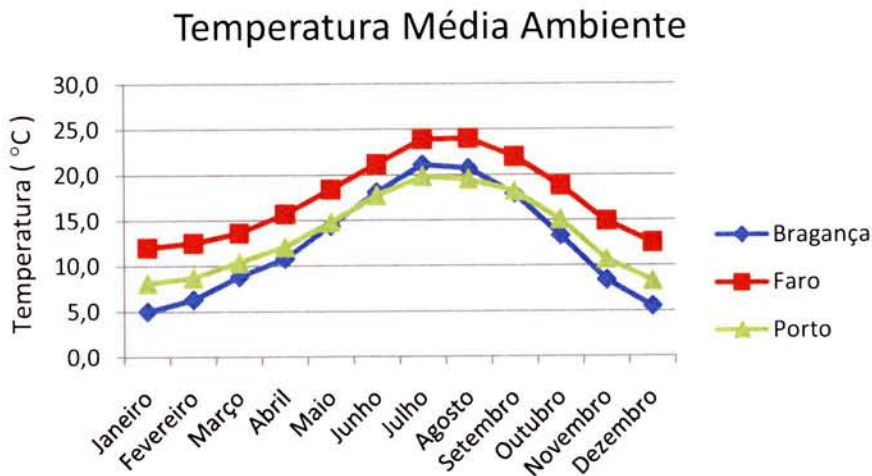


Figura 4.1 – Temperatura ambiente nos diferentes climas analisados.

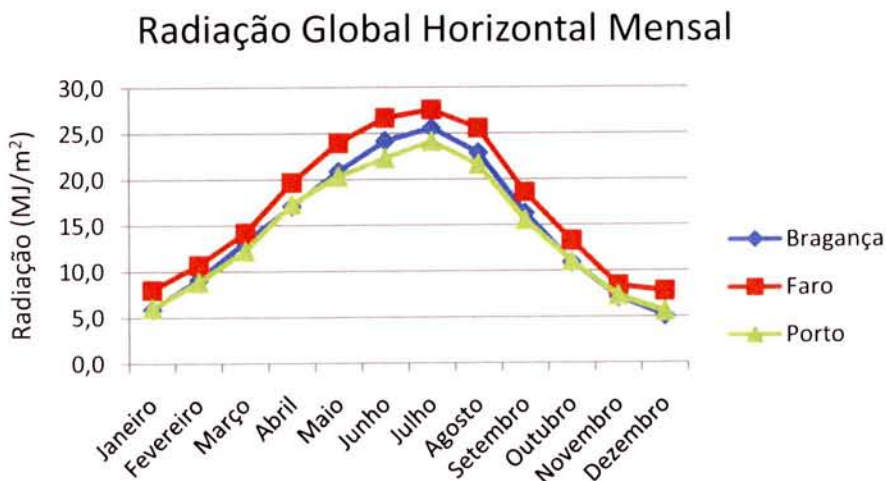


Figura 4.2 – Radiação global horizontal nos diferentes climas analisadas.

Fonte: (Solterm versão 4.5).

## 4.2 Energia Térmica

O sistema térmico de um módulo híbrido é semelhante a um vulgar colector solar térmico (Vries, D. W., 1998). Este sistema está descrito na figura 2.9.

A análise será feita para uma habitação de quatro pessoas, que consomem 40 l/(pessoa dia) a 50°C. A distribuição da procura de água, ao longo do tempo, é variável. O padrão de consumo diário considerado é o da figura 4.3. Esta distribuição repete-se todos os dias do ano.

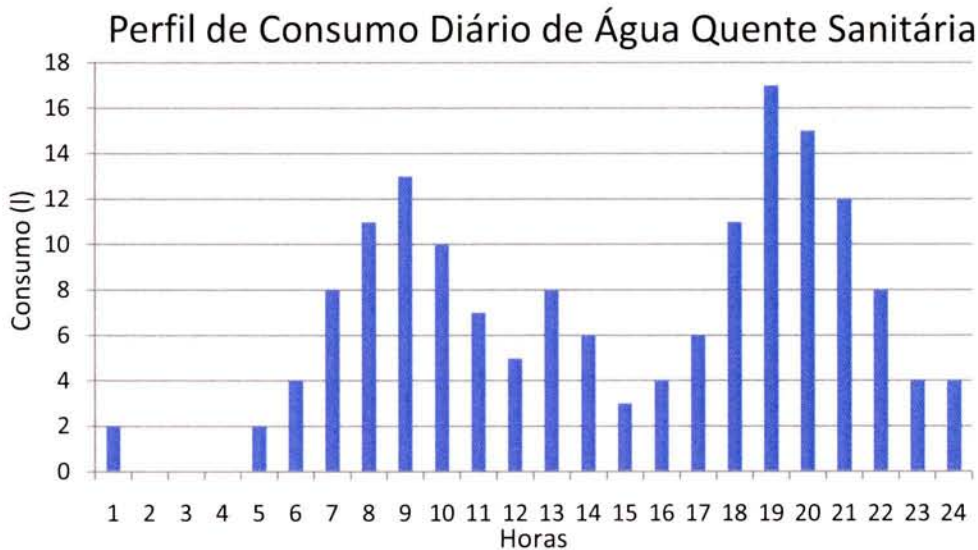


Figura 4.3 – Perfil de consumo de água quente sanitária.

A fracção solar é maior para perfis de consumo em paralelo com a captação de energia solar. Quanto mais irregular for o perfil, maior a necessidade de armazenamento de água (Duffie, J. e Beckman, W., 1991).

Como se trata do perfil típico para uma habitação, foi proposto um volume de armazenamento de 75 l/(m<sup>2</sup> de colector), valor de referência do método “f – chart”. O volume dos depósitos é mostrado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Volume de armazenamento dos depósitos.

Número de Colectores	1	2	3	4	5	6
Área de Colectores (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Volume do Depósito (l)	133	265	399	530	664	796

As equações de rendimento instantâneo, determinadas no capítulo anterior, são essenciais para a simulação dos colectores. De facto, são necessários os parâmetros  $F'\tau\alpha$  e  $F'U_L$ , obtidos das curvas características dos módulos.

As equações das curvas de rendimento térmico estão expressas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Equação das curvas de rendimento térmico.

Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	$\eta_{Térmico} = 0,54 + 5,83 (T_{in} - T_{amb})/G$
	Monocristalino	$\eta_{Térmico} = 0,52 + 5,65 (T_{in} - T_{amb})/G$
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	$\eta_{Térmico} = 0,44 + 12,38 (T_{in} - T_{amb})/G$
	Monocristalino	$\eta_{Térmico} = 0,42 + 12,23 (T_{in} - T_{amb})/G$
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	$\eta_{Térmico} = 0,33 + 5,44 (T_{in} - T_{amb})/G$
	Monocristalino	$\eta_{Térmico} = 0,32 + 5,42 (T_{in} - T_{amb})/G$
Colector Solar Térmico	-	$\eta_{Térmico} = 0,83 + 4,33 (T_{in} - T_{amb})/G$

O colector solar térmico é o mesmo que os autores dos artigos (Zondag, H. A. et al, 2003; Vries, D. W., 1998; Zondag, H. A. et al, 2001) utilizaram nos seus trabalhos de investigação

O rendimento térmico, em função da temperatura de entrada da água, é definido por:

$$\eta_{Térmico} = F_R\tau\alpha - F_RU_L \left( \frac{T_{in} - T_{amb}}{G} \right) \quad (1)$$

sendo,

$$F'U_L = \frac{\dot{m}C_p}{A_{colector}} \ln \left( 1 - \frac{F_RU_L A_{colector}}{\dot{m}C_p} \right) \quad (2)$$

(Duffie, J. e Beckman, W., 1991)

Os coeficientes  $F'\tau\alpha$  e  $F'U_L$  alcançados estão descritos na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Coeficientes  $F'\tau\alpha$  e  $F'U_L$  utilizados nas simulações.

Tipo de Colector		$F_R\tau\alpha$	$F_RU_L$	$F'\tau\alpha$	$F'U_L$
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	0,54	5,83	0,56	6,03
	Monocristalino	0,52	5,65	0,54	5,84
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	0,44	12,38	0,48	13,34
	Monocristalino	0,42	12,23	0,46	13,16
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	0,33	5,44	0,34	5,62
	Monocristalino	0,32	5,42	0,33	5,60
Colector Solar Térmico		-	0,83	4,33	0,85

## 4.2.1 Apresentação dos Resultados

Os resultados apresentados, nesta secção, foram obtidos pelo programa Solterm versão 4.5.

A energia térmica gerada, nos diferentes colectores, está representada nas figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9.

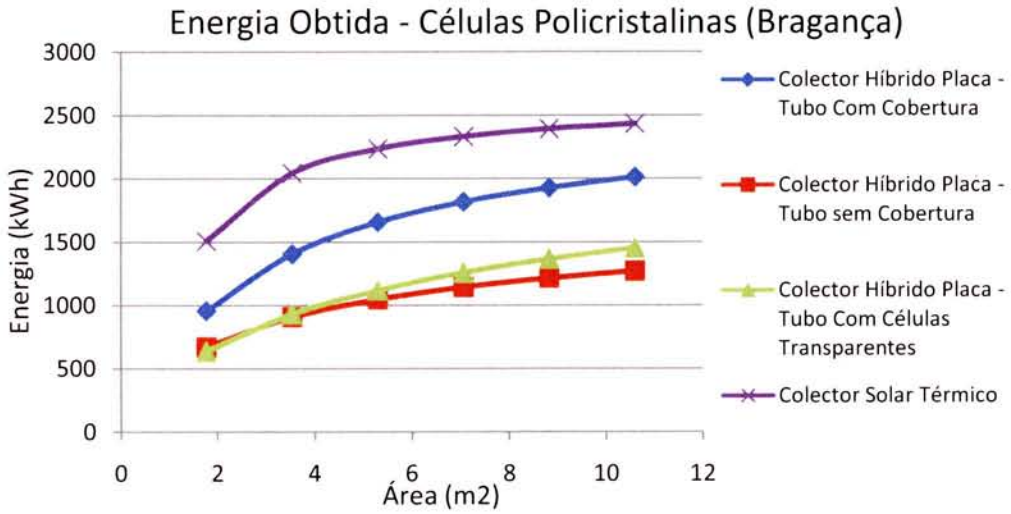


Figura 4.4 – Energia térmica obtida em Bragança (células policristalinas).

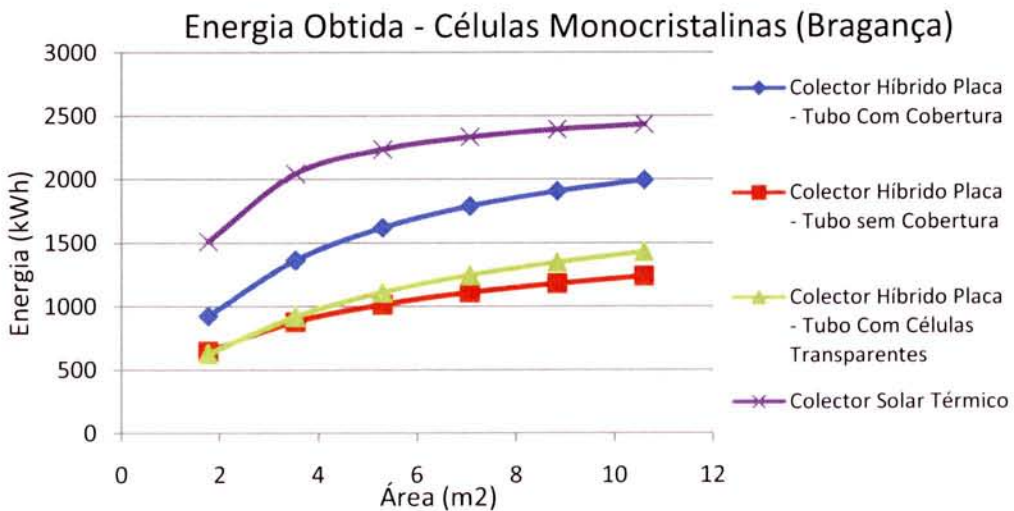


Figura 4.5 - Energia térmica obtida em Bragança (células monocristalinas).



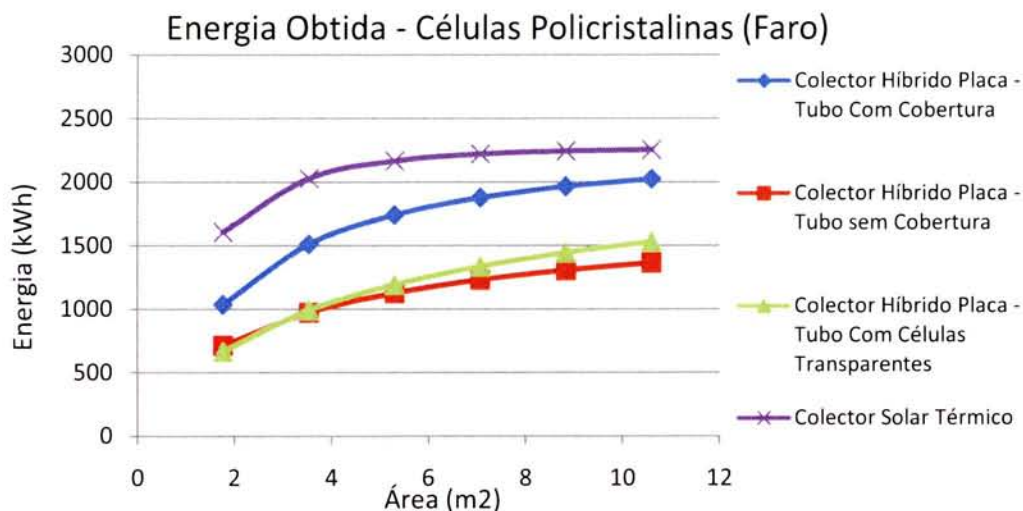


Figura 4.6 - Energia térmica obtida em Faro (células policristalinas).

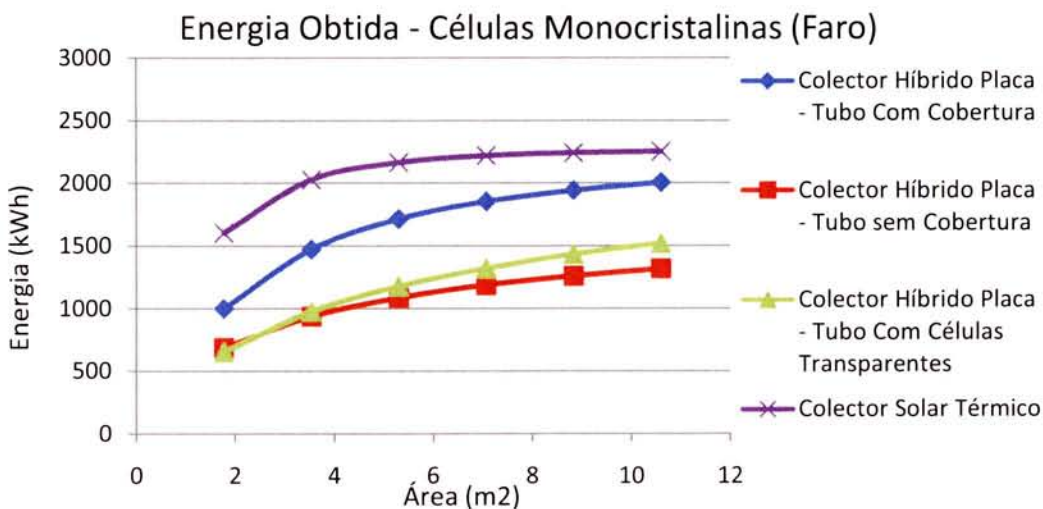


Figura 4.7 - Energia térmica obtida em Faro (células monocristalinas).

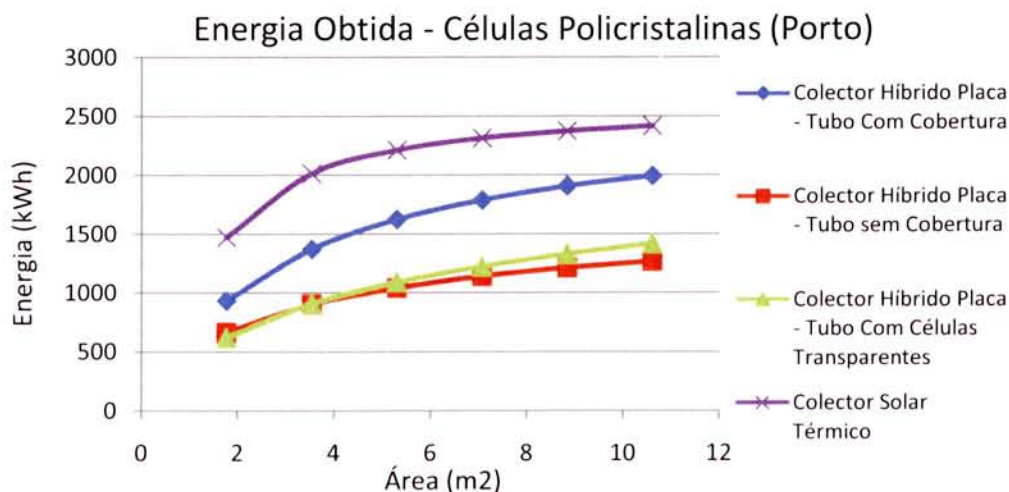


Figura 4.8 - Energia térmica obtida no Porto (células policristalinas).

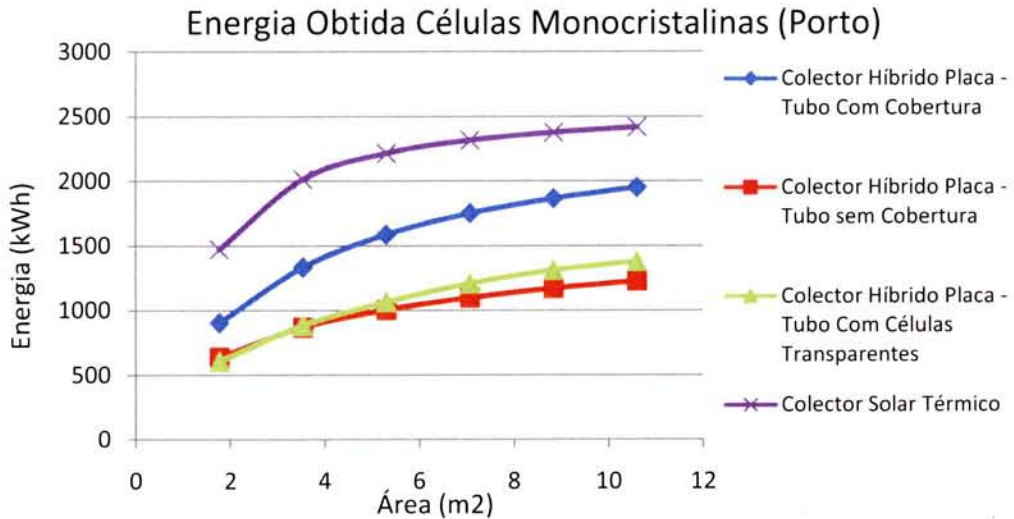


Figura 4.9 - Energia térmica obtida no Porto (células monocristalinas).

Fonte: (CD – ROM de anexo).

Numa primeira análise conclui-se, como já era esperado, que a energia obtida para um colector híbrido é menor do que a fornecida por um térmico. Tal acontece, porque o rendimento instantâneo de um colector híbrido é mais baixo do que um térmico, pelas razões descritas nos capítulos anteriores.

O Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura proporciona uma maior quantidade de energia térmica, que os restantes módulos. A principal razão para este facto é a existência de uma cobertura no topo, que reduz as perdas térmicas. O módulo sem cobertura tem o pior comportamento térmico, pois para temperaturas de água elevadas, regista-se um aumento acentuado de perdas de calor. Como se pode ver nas figuras anteriores, o colector sem cobertura, para áreas a partir de 4 m<sup>2</sup>, obtém a menor quantidade de energia térmica. O Colector Com Células Transparentes, como possui uma elevada área de células no topo, responsável pela baixa radiação incidente na placa absorvedora, gera uma baixa quantidade de energia para fins térmicos.

Nos locais estudados, a energia obtida, por cada tipo de colector híbrido, não apresenta grandes variações. Sendo as maiores diferenças entre Porto e Faro. O Colector Híbrido Com Cobertura, tem as maiores oscilações para áreas reduzidas (tabela 4.4). De facto, este colector tem um rendimento óptico elevado, em comparação com os restantes módulos, e um coeficiente de perdas baixo, o que lhe permite uma boa captação da energia solar. Contudo, para um número elevado de painéis, a temperatura da água é mais elevada, o que provoca uma descida no rendimento do colector; ficando este praticamente insensível a alterações de clima.

Tabela 4.4 – Variação da energia térmica - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura.

Variação de Energia Térmica (%)							
Porto – Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	2,9%	2,6%	2,2%	1,7%	1,3%	1,1%
	Monocristalino	2,3%	2,3%	2,1%	2,2%	2,2%	2,3%
Porto - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	11,0%	10,1%	7,3%	4,9%	3,0%	1,6%
	Monocristalino	10,8%	10,6%	8,1%	5,8%	4,1%	2,9%
Bragança - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	7,8%	7,4%	4,9%	3,1%	1,7%	0,4%
	Monocristalino	8,2%	8,2%	5,9%	3,5%	1,8%	0,6%

O Colector Sem Cobertura está mais dependente da temperatura exterior em relação aos restantes módulos, pois possui um coeficiente de perdas elevado. Assim, para climas quentes regista-se aumento na geração de energia térmica (tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Variação da energia térmica - Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura.

Variação de Energia Térmica (%)							
Porto – Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	1,1%	0,6%	0,5%	0,2%	0,2%	0,3%
	Monocristalino	1,7%	1,2%	1,1%	1,0%	0,8%	0,8%
Porto - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	6,9%	7,6%	7,9%	7,7%	7,6%	7,5%
	Monocristalino	7,4%	7,8%	8,2%	8,0%	7,6%	7,3%
Bragança - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	5,8%	7,0%	7,3%	7,5%	7,3%	7,2%
	Monocristalino	5,6%	6,6%	7,0%	6,9%	6,8%	6,5%

O Colector Híbrido Com Células Transparentes, tem um coeficiente de perdas de calor baixo, o que o torna pouco sensível a temperatura exterior. O comportamento térmico, deste colector, está mais dependente da radiação incidente, e em comparação com o Colector de

Cobertura, não tem temperaturas de água tão elevadas. Assim, para zonas de maior insolação, verifica-se um aumento da energia térmica mais uniforme (tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Variação da energia térmica - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes.

Variação de Energia Térmica (%)							
Porto – Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	2,8%	2,5%	2,5%	2,7%	2,7%	2,5%
	Monocristalino	3,5%	4,0%	4,4%	3,1%	2,6%	3,6%
Porto - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	7,6%	9,1%	9,1%	9,0%	8,4%	7,9%
	Monocristalino	8,0%	10,4%	10,6%	9,3%	9,2%	10,1%
Bragança - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	4,7%	6,4%	6,5%	6,1%	5,6%	5,2%
	Monocristalino	4,3%	6,2%	5,9%	5,9%	6,5%	6,3%

O tipo de célula fotovoltaica utilizado (policristalina e monocristalina) não é preponderante para a energia térmica obtida. O Colector Sem Cobertura é o mais sensível ao tipo de célula empregue, pois neste módulo há uma maior conversão da radiação incidente em energia eléctrica, piorando o seu desempenho térmico (tabela 4.7). Por outro lado, o Colector Com Células Transparentes, como não dispõe de uma área de módulo totalmente fotovoltaica, o seu comportamento térmico é pouco afectado pelo tipo de célula.

Tabela 4.7 - Variação de energia térmica entre células policristalinas e monocristalinas.

Variação de Energia Térmica Entre Células Policristalinas e Monocristalinas (%)							
Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura		-3,7%	-3,1%	-2,4%	-1,6%	-1,2%	-1,0%
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura		-3,4%	-3,3%	-3,2%	-3,0%	-3,0%	-2,8%
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes		-1,4%	-1,3%	-0,7%	-1,0%	-1,5%	-1,7%
Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura		-3,3%	-2,5%	-1,5%	-1,2%	-1,1%	-0,8%
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura		-3,7%	-3,7%	-3,6%	-3,5%	-3,4%	-3,4%
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes		-1,8%	-1,5%	-1,3%	-1,2%	-0,7%	-0,7%

Porto						
Tipo de Colector	Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	-3,1%	-2,8%	-2,3%	-2,0%	-2,0%	-2,1%
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	-4,1%	-3,9%	-3,8%	-3,8%	-3,5%	-3,2%
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	-2,1%	-2,6%	-2,6%	-1,5%	-1,4%	-2,7%

Na tabela seguinte (tabela 4.8), mostra a fracção de energia térmica obtida, para diferentes tipos de colectores.

Tabela 4.8 – Fracção de energia térmica.

Fracção de Energia Térmica							
Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	0,37	0,54	0,64	0,70	0,74	0,78
	Monocristalino	0,36	0,52	0,62	0,69	0,74	0,77
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	0,26	0,35	0,40	0,44	0,47	0,49
	Monocristalino	0,25	0,34	0,39	0,43	0,46	0,48
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	0,24	0,36	0,43	0,49	0,53	0,56
	Monocristalino	0,24	0,35	0,43	0,48	0,52	0,55
Colector Solar Térmico	-	0,58	0,79	0,86	0,90	0,92	0,94
Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	0,46	0,67	0,77	0,83	0,87	0,89
	Monocristalino	0,44	0,65	0,76	0,82	0,86	0,89
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	0,31	0,43	0,50	0,54	0,58	0,60
	Monocristalino	0,30	0,41	0,48	0,52	0,56	0,58
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	0,29	0,44	0,53	0,59	0,64	0,68
	Monocristalino	0,29	0,43	0,52	0,58	0,63	0,67
Colector Solar Térmico	-	0,71	0,89	0,96	0,98	0,99	0,99
Porto							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	0,37	0,54	0,64	0,71	0,75	0,79
	Monocristalino	0,36	0,53	0,63	0,69	0,74	0,77
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	0,26	0,36	0,41	0,45	0,48	0,50
	Monocristalino	0,25	0,34	0,40	0,43	0,46	0,48
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	0,24	0,36	0,43	0,48	0,53	0,56
	Monocristalino	0,24	0,35	0,42	0,48	0,52	0,55
Colector Solar Térmico	-	0,58	0,80	0,87	0,91	0,94	0,95

### 4.3 Energia Eléctrica

Como a unidade de microprodução em causa (sistema fotovoltaico) cumpre os requisitos para o acesso ao regime de remuneração bonificado (figura 2.5), optou-se por um sistema eléctrico ligado à rede. Assim, este sistema não necessita de um dispositivo de armazenamento (bateria), sendo apenas constituído por inversores e cabos. O inversor tem a função de converter a energia eléctrica de corrente contínua, gerada pelo módulo fotovoltaico, em corrente alternada utilizada pela rede pública (Solar Energy International, 2004).

A geração de energia eléctrica está dependente, em parte, da escolha do inversor. Com o objectivo de se alcançar uma energia máxima no sistema fotovoltaico, a potência eléctrica de saída do módulo deve corresponder à potência de entrada do inversor (Mondol, J. et al, 2006). Para a escolha de um inversor, define-se um parâmetro  $R_s$ , que não é mais que a razão entre a potência de saída do módulo nas condições (STC) e potência de entrada no inversor.

$$R_s = \frac{P_{\text{módulo fotovoltaico (STC)}}}{P_{\text{inversor (DC)}}} \quad (1)$$

Na maioria das vezes, os inversores são subdimensionados; visto que, como os módulos, geralmente, trabalham com uma radiação incidente abaixo das condições standard (STC), raramente atingem a potência máxima nas condições de teste. Para climas do Sul da Europa (33° - 45° N), ou seja de Portugal, aconselha-se que o parâmetro  $R_s$  esteja dentro dos limites 1,0 – 1,2 (Mondol, J. et al, 2006). Porém, para uma escolha correcta do inversor, não chega analisar a potência de entrada; também é essencial verificar os limites, máximo e mínimo, de tensão e corrente aceites por este. O factor custo é igualmente importante.

Neste trabalho, a selecção dos inversores, para os diferentes módulos, foi realizada pelo programa PVSYST 4.21, tendo em consideração os parâmetros mencionados anteriormente. Para cada área de módulo foi seleccionado apenas um inversor, sendo os módulos ligados em série. Na tabela 4.9 mostra-se os inversores escolhidos para os módulos híbridos.

Tabela 4.9 – Inversores seleccionados para os colectores híbridos.

Inversores Seleccionados para os Colectores Híbridos				
Área de Módulo (m <sup>2</sup> )	Colector Híbrido Placa – Tubo Com ou Sem Cobertura		Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	
	Policristalino	Monocristalino	Policristalino	Monocristalino
1,77	DMI 200	DMI 250/35	DMI 250/22	DMI 250/22
3,53	Soladin 600	Soladin 600	DMI 350/60D	DMI 350/60D
5,30	DMI 1200/90	DMI 1200/90	Soladin 600	Soladin 600
7,07	SunMaster Qs 1200	Top Class Spark	DMI 1200/90	DMI 1200/90
8,84	Sunrise Mini	Top Class Spark	Sunmaster QS 1200	Top Class Spark
10,60	IG15	IG15	Sunny Boy SWR 850	Sunrise Mini

As características dos inversores estão no CD – ROM de anexo

Os colectores híbridos não trabalham nas mesmas condições que os fotovoltaicos, devido a existência de um fluido a circular debaixo das células (ar ou água). Assim, a temperatura de operação das células é menor. Nos colectores híbridos, a temperatura normal de funcionamento das células (NOCT) foi estimada através da relação entre a temperatura de entrada da água e a temperatura das células, nas condições “normalizadas” de funcionamento (radiação incidente de  $800 \text{ W/m}^2$ , temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$  e velocidade do vento de  $1\text{m/s}$ ) figura 4.10 e 4.11. A temperatura média de entrada da água foi considerada a  $35^\circ\text{C}$ .

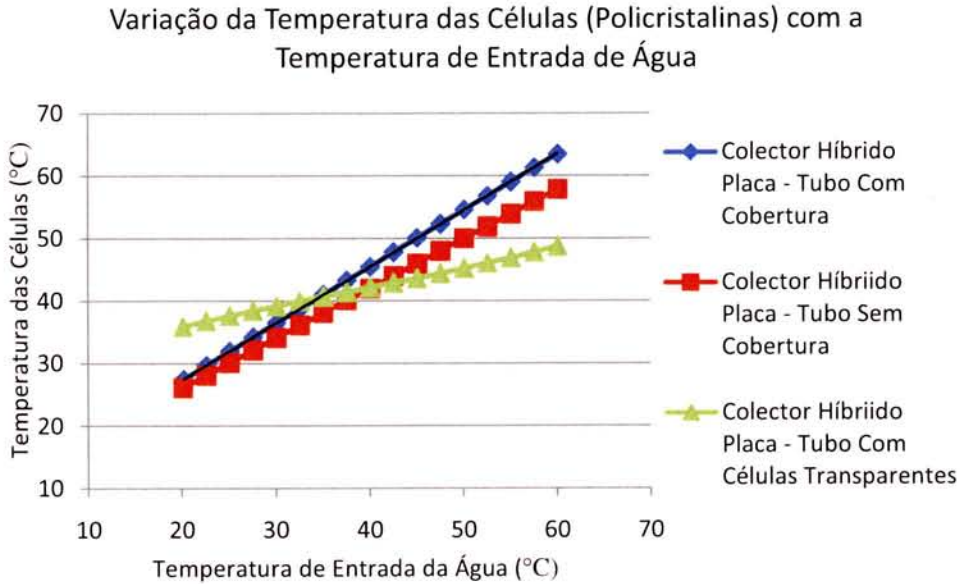


Figura 4.10 – Variação da temperatura das células (policristalinas) com a temperatura de entrada de água.

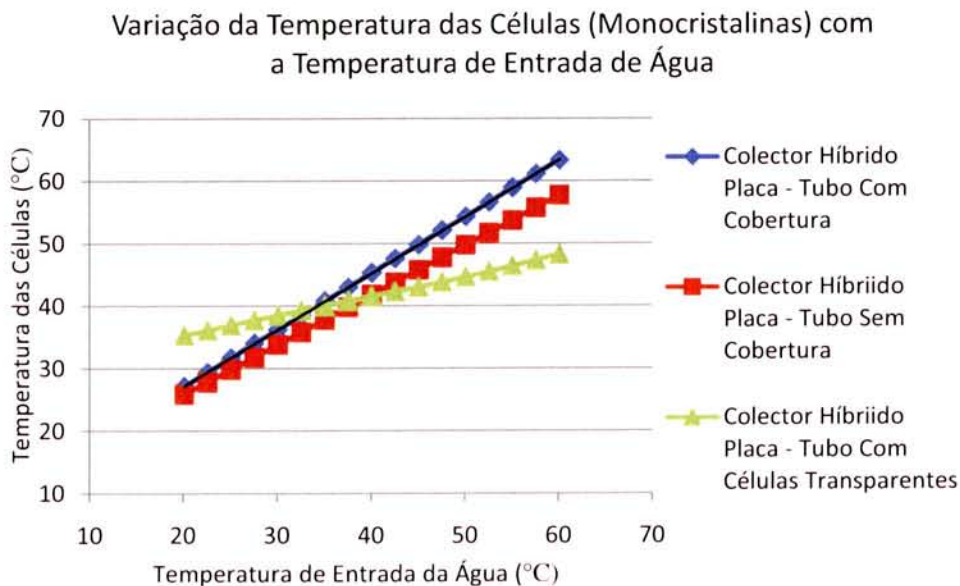


Figura 4.11 - Variação da temperatura das células (monocristalinas) com a temperatura de entrada de água.

Resultando (tabela 4.10),

Tabela 4.10 – Temperatura das células (NOCT).

Tipo de Colector		Temperatura das Células (NOCT) (°C)
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	40
	Monocristalino	39
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	37
	Monocristalino	37
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	39
	Monocristalino	38

Como referido anteriormente, o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura possui perdas de radiação, no topo, por reflexão. Estas perdas são de 8%, pois o coeficiente de transmissão passa de 1 para 0,92 pela adição da cobertura (tabela 3.9). Visto o programa de simulação se destinar a módulos fotovoltaicos (PVSYST 4.21), não foi possível introduzir uma cobertura adicional. Assim, para se contabilizar este facto, foi inserido um factor de sujidade no topo do módulo, originando um valor de perdas de 8%.

Com o objectivo de confrontar a energia obtida dos colectores híbridos, foram seleccionados quatro módulos fotovoltaicos. Para uma comparação rigorosa, as características eléctricas, dos módulos fotovoltaicos, são quase semelhantes às dos híbridos. Assim, dois módulos fotovoltaicos são equiparados com os Colectores Híbridos Com ou Sem Cobertura (policristalino e monocristalino) e os outros dois com o Colector Híbrido de Células Transparentes (policristalino e monocristalino). As características eléctricas, dos módulos fotovoltaicos, estão expressas nas tabelas 4.11 e 4.12.

Tabela 4.11 – Características eléctricas dos módulos fotovoltaicos para comparação com os Colector Híbridos Placa – Tubo Com ou Sem Cobertura.

Módulos Fotovoltaicos para Comparação com os Colectores Híbridos Placa – Tubo Com ou Sem Cobertura		
Símbolo	Policristalino (Suntech STP 240 – 24/V)	Monocristalino (Suntech STP 280S – 24/Vb)
$I_{max}$	6,80 A	7,95 A
$V_{max}$	35,2 V	35,2 V
$I_{cc}$	7,20 A	8,30 A
$V_{ca}$	43,2 V	44,2 V
$P_{max}$	240 W	280 W

Fonte: (Ver anexo C1 e C2).



Tabela 4.12 - Características eléctricas dos módulos fotovoltaicos para comparação com os Colector Híbridos Placa – Tubo Com Células Transparentes.

Módulos Fotovoltaicos para Comparação com o Colector Híbrido Com Células Transparentes		
Símbolo	Policristalino (Mitsubishi PV – MF 185 TD4 )	Monocristalino (SunPower SPR – 210 - BLK)
$I_{max}$	7,58 A	5,25 A
$V_{max}$	24,4 V	40,0 V
$I_{cc}$	8,13 A	5,85 A
$V_{ca}$	30,6 V	47,7 V
$P_{max}$	185 W	210 W

Fonte: (Ver anexo C3 e C4).

Os módulos fotovoltaicos estão ligados em série (excepto num caso), com um inversor para cada situação. Os inversores seleccionados estão expressos na tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Inversores seleccionados para os módulos fotovoltaicos.

Inversores Seleccionados para os Módulos Fotovoltaicos				
Área de Módulo (m <sup>2</sup> )	Suntech STP 240 – 24/V	Suntech STP 280S – 24/Vb	Mitsubishi PV – MF 185 TD4	SunPower SPR – 210 - BLK
1,77	DMI 200	DMI 250/35	DMI 250/22	DMI 200
3,53	Soladin 600	Soladin 600	DMI 450/35	Soladin 600
5,30	DMI 1200/90	DMI 1200/90	Soladin 600	Sunny Boy SWR 700 Low
7,07	Sunrise Mini – s*	Top Class Spark	DMI 1200/90	Sunny Boy SWR 700
8,84	Sunrise Mini	Top Class Spark	DMI 1200/90	Sunrise Micro
10,60	IG15	IG15	Sunny Boy SWR 850	Sunrise Mini

\* Ligação em paralelo 2x2.

As características dos inversores estão no CD – ROM de anexo.

### 4.3.1 Apresentação dos Resultados

Nesta secção, os resultados apresentados foram obtidos pelo programa PVSYST 4.21. A energia eléctrica gerada, nos diferentes tipos de módulos, esta representada nas figuras 4.12 a 4.23.

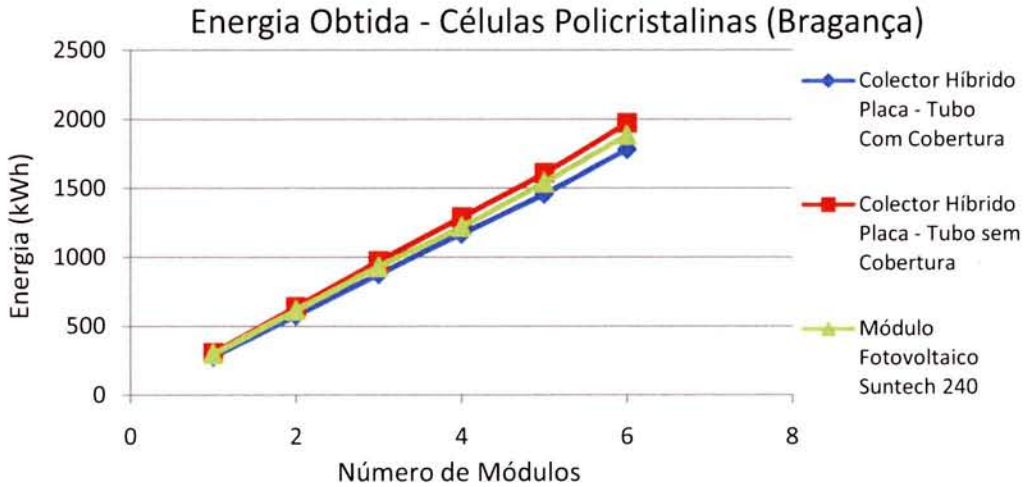


Figura 4.12 – Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura em Bragança (células policristalinas).

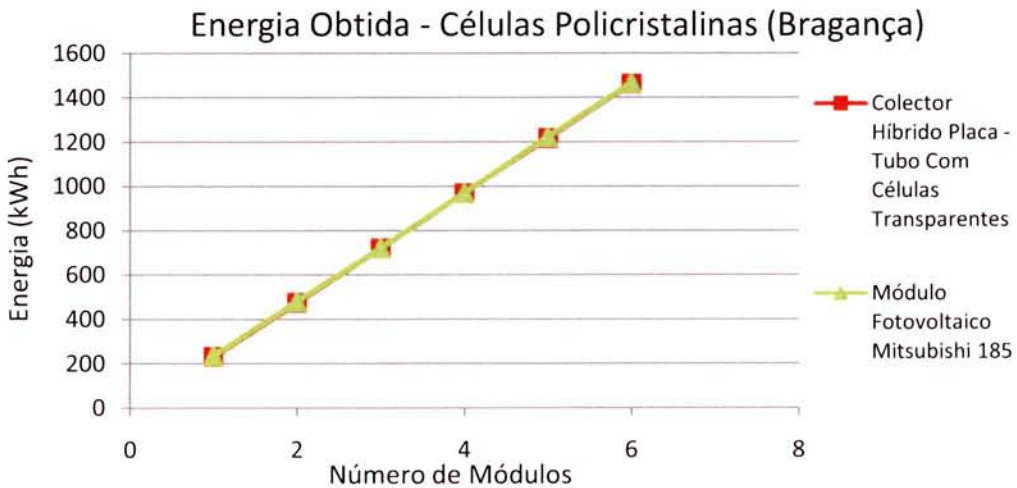


Figura 4.13 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com Células Transparentes em Bragança (células policristalinas).

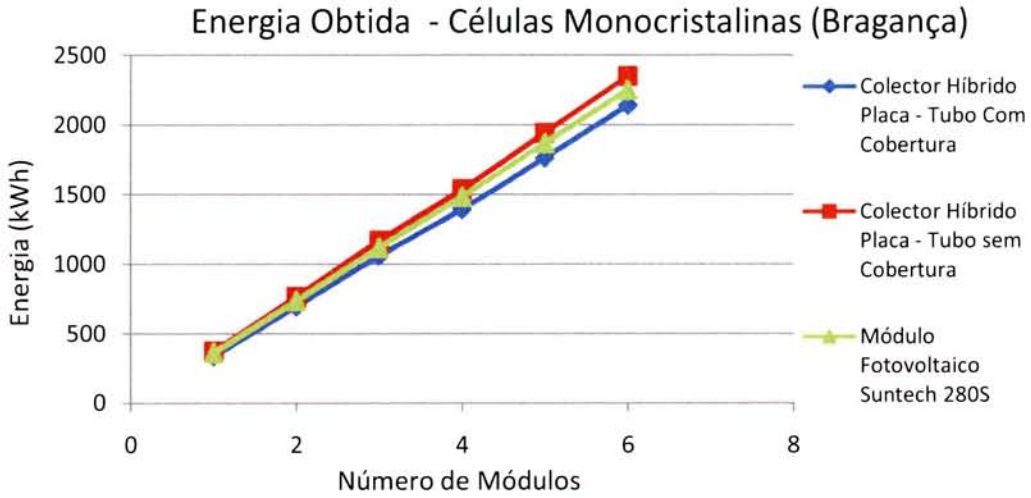


Figura 4.14 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura em Bragança (células monocristalinas).

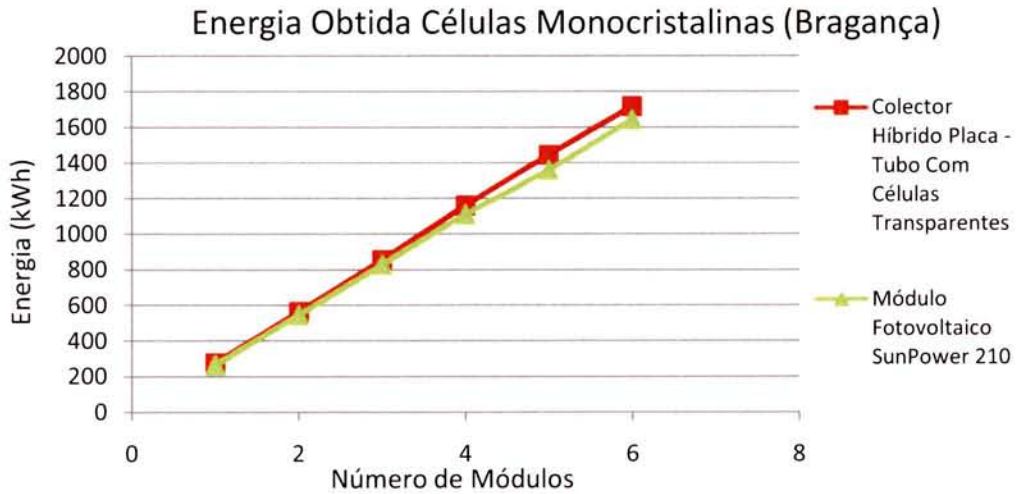


Figura 4.15 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com Células Transparentes em Bragança (células monocristalinas).

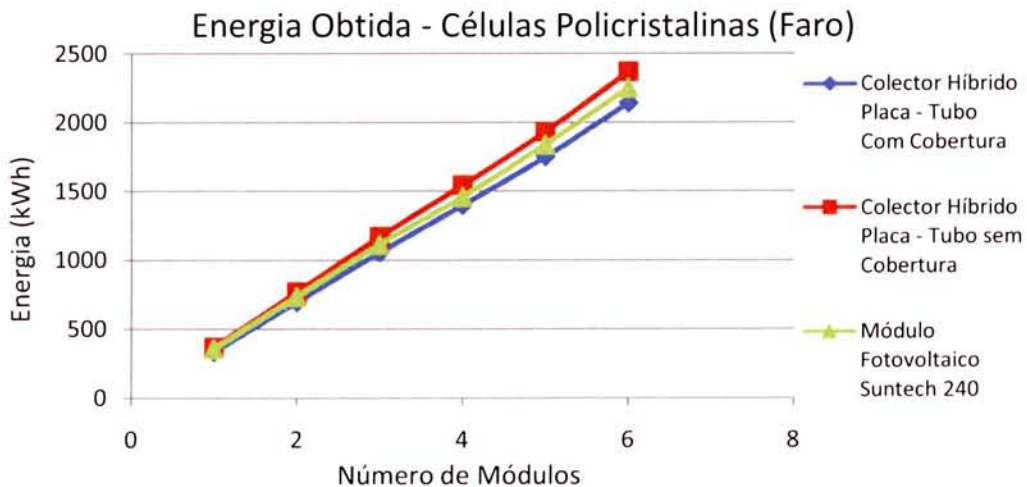


Figura 4.16 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura em Faro (células policristalinas).

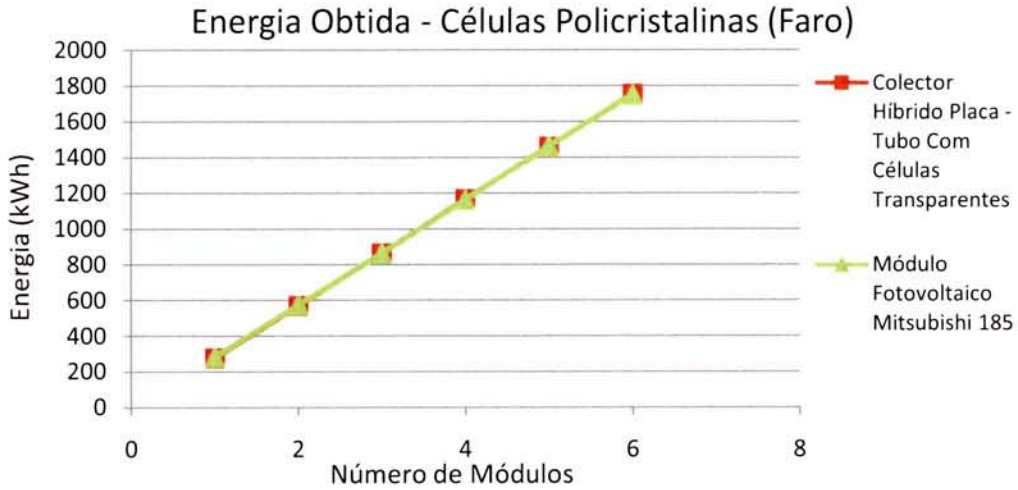


Figura 4.17 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com Células Transparentes em Faro (células policristalinas).

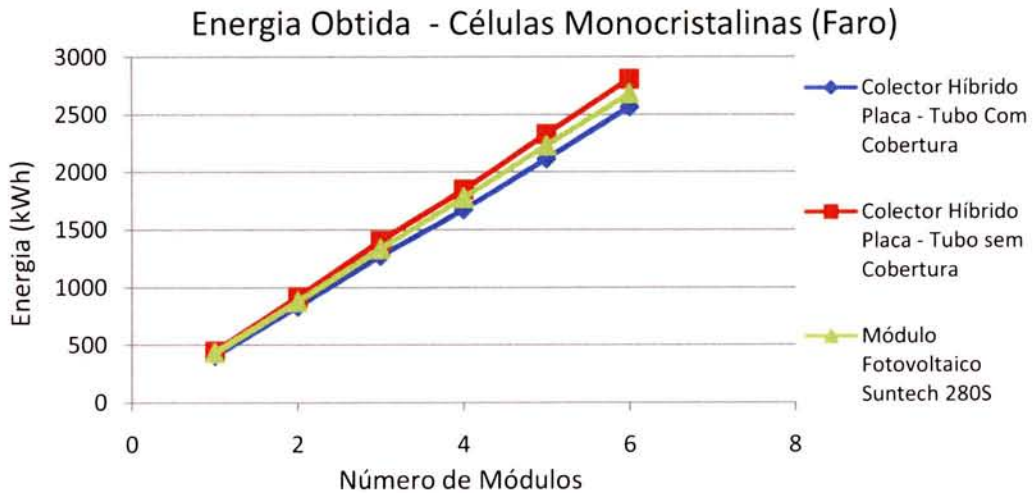


Figura 4.18 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura em Faro (células monocristalinas).

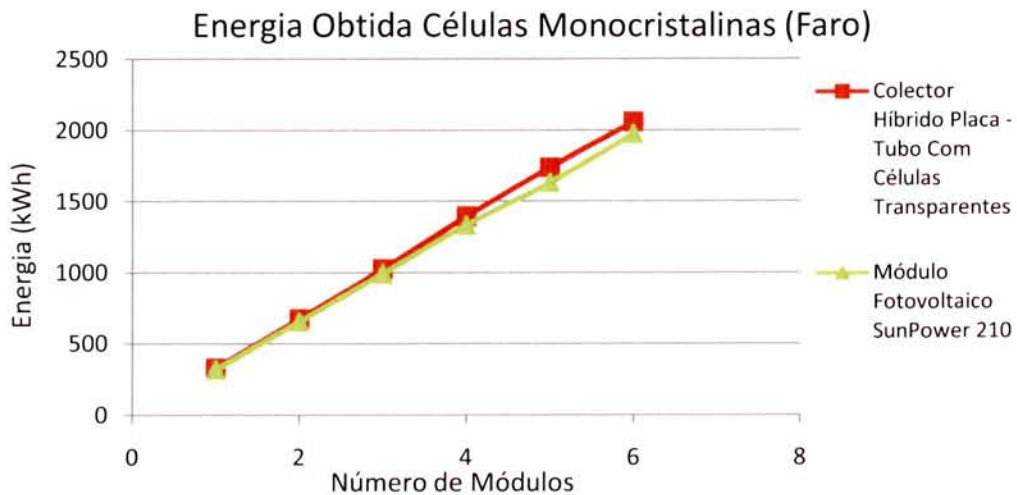


Figura 4.19 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com Células Transparentes em Faro (células monocristalinas).

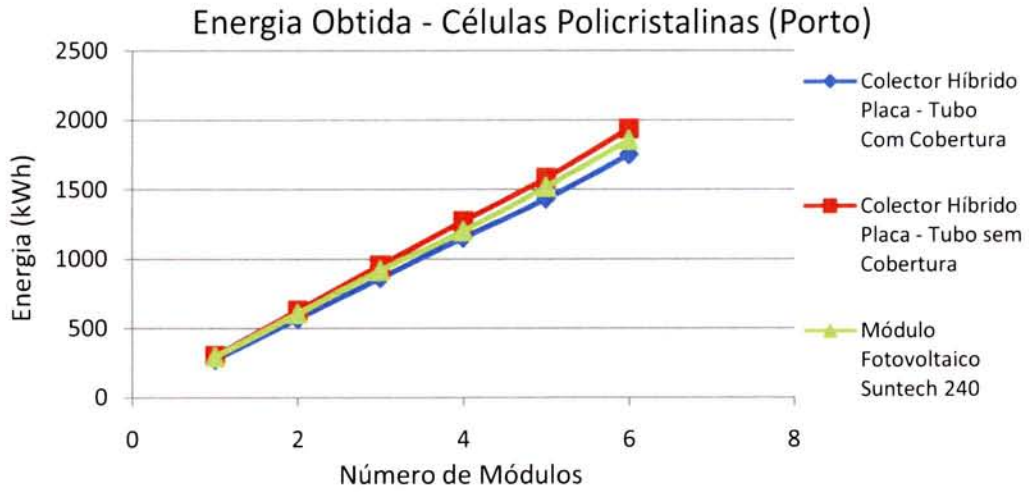


Figura 4.20 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura no Porto (células policristalinas).

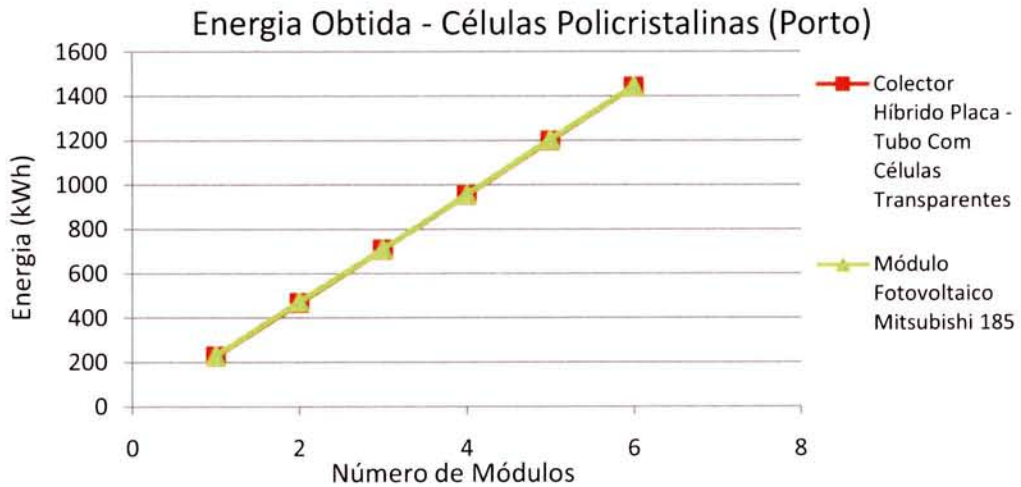


Figura 4.21 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com Células Transparentes no Porto (células policristalinas).

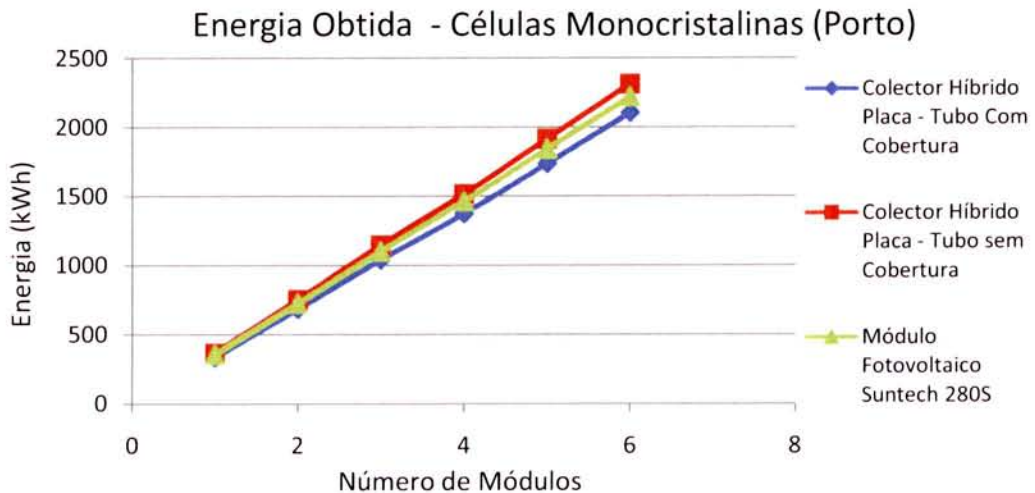


Figura 4.22 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura no Porto (células monocristalinas).

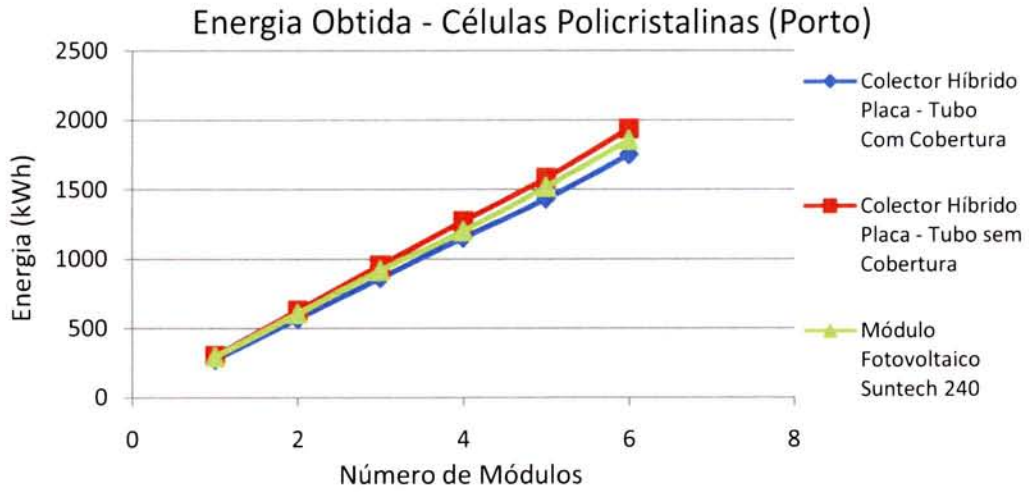


Figura 4.20 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura no Porto (células policristalinas).

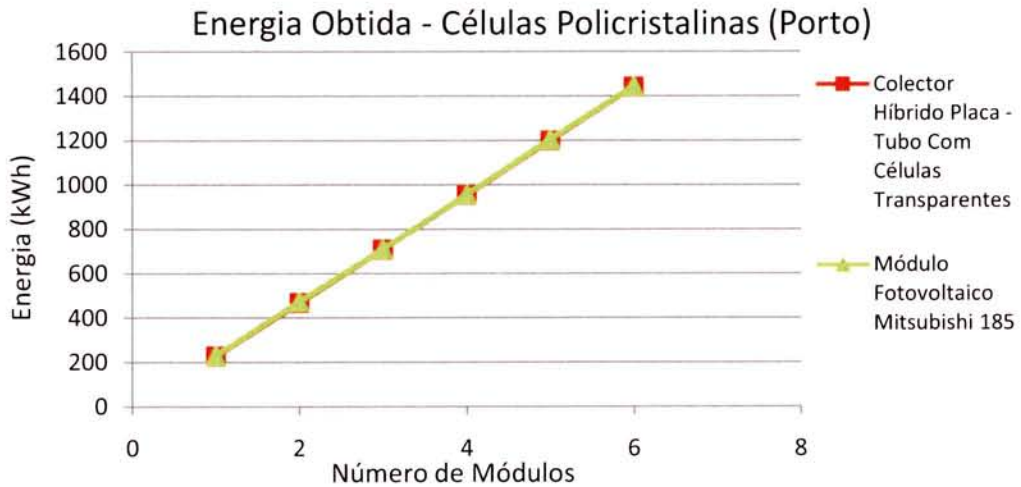


Figura 4.21 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com Células Transparentes no Porto (células policristalinas).

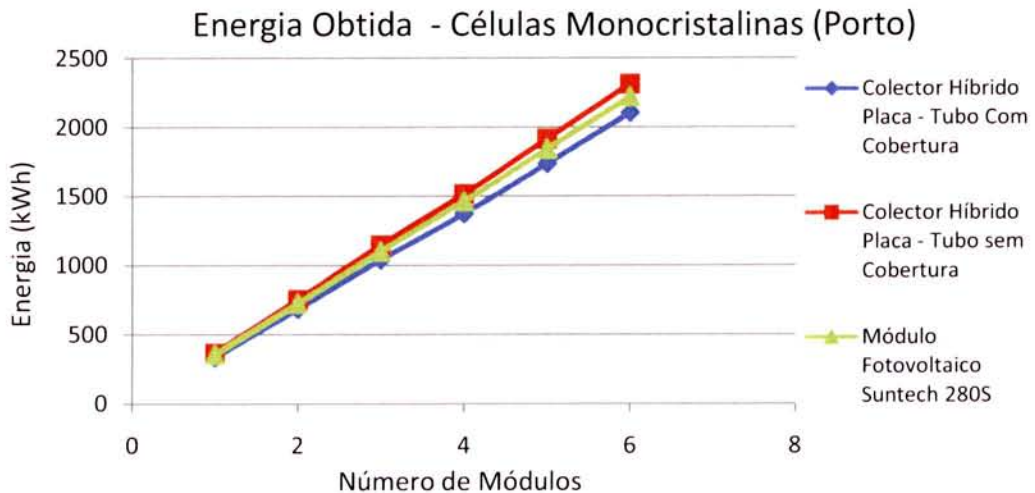


Figura 4.22 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com e Sem Cobertura no Porto (células monocristalinas).

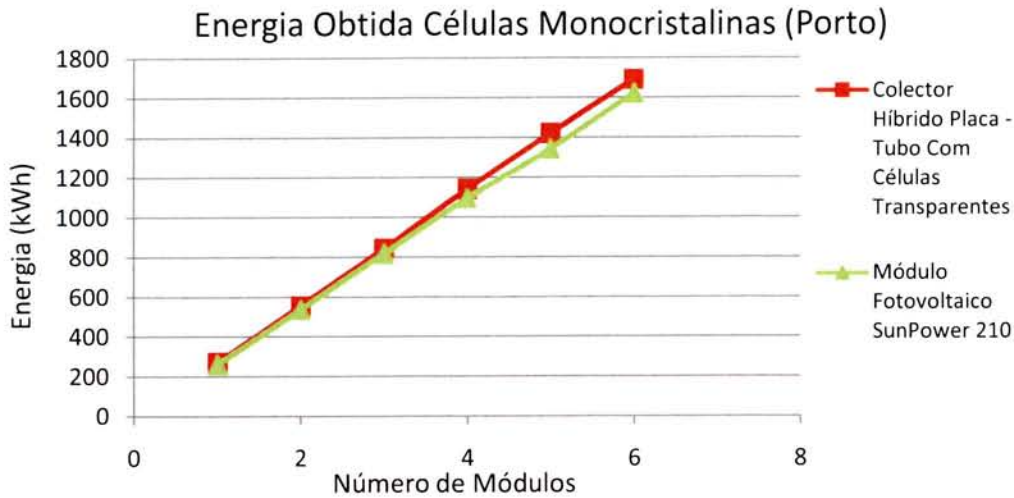


Figura 4.23 - Energia eléctrica gerada nos Colectores Híbridos Com Células Transparentes no Porto (células monocristalinas).

Fonte: (CD – ROM de anexo).

Da análise dos gráficos, conclui-se que os Colectores Híbridos Sem Cobertura E Com Células Transparentes geram uma maior quantidade de energia eléctrica. Na comparação com os módulos fotovoltaicos, estes colectores conseguem ter um melhor comportamento eléctrico. Isto acontece, porque os colectores híbridos possuem uma temperatura de funcionamento das células menor que num vulgar módulo fotovoltaico. Contudo, o colector com cobertura tem um desempenho eléctrico pior, devido à perda de radiação na cobertura.

A energia eléctrica gerada varia consoante o clima, sendo maior para zonas de elevada insolação (Faro). Porém, para cada tipo de módulo, esta oscilação de energia é praticamente constante e uniforme (tabela 4.14 a 4.16); sendo explicada pelo emprego de uma temperatura de água constante, para o cálculo da temperatura nas células, em condições normalizadas (NOCT)

Tabela 4.14 – Variação da energia eléctrica - Colector Híbrido Placa Tubo Com Cobertura.

Variação de Energia Eléctrica (%)							
Porto – Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	1,8%	1,8%	1,9%	1,5%	1,8%	1,8%
	Monocristalino	1,8%	1,8%	1,9%	1,6%	1,5%	1,7%
Porto - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	22,1%	22,4%	22,6%	21,4%	22,2%	22,2%
	Monocristalino	22,0%	22,0%	22,4%	22,1%	21,8%	21,9%
Bragança - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	Policristalino	19,9%	20,3%	20,3%	19,6%	20,0%	20,1%
	Monocristalino	19,8%	19,9%	20,1%	20,2%	20,0%	19,9%

Tabela 4.15 - Variação da energia eléctrica - Colector Híbrido Placa Tubo Sem Cobertura.

Variação de Energia Eléctrica (%)							
Porto – Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	1,7%	1,8%	1,9%	1,5%	1,7%	1,8%
	Monocristalino	1,6%	1,7%	1,8%	1,5%	1,5%	1,6%
Porto - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	21,9%	22,1%	22,6%	21,4%	22,1%	22,2%
	Monocristalino	21,9%	21,9%	22,3%	22,0%	21,8%	21,5%
Bragança - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	Policristalino	19,9%	20,0%	20,4%	19,6%	20,1%	20,1%
	Monocristalino	19,9%	19,8%	20,1%	20,1%	20,0%	19,5%

Tabela 4.16 - Variação da energia eléctrica - Colector Híbrido Placa Tubo Com Células Transparentes.

Variação de Energia Eléctrica (%)							
Porto – Bragança							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	1,3%	1,5%	1,6%	1,6%	1,4%	1,4%
	Monocristalino	1,5%	1,4%	1,4%	1,6%	1,6%	1,5%
Porto - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	21,6%	21,8%	21,9%	22,2%	21,6%	21,7%
	Monocristalino	21,7%	21,6%	21,6%	22,0%	22,3%	21,7%
Bragança - Faro							
Tipo de Colector		Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
		1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	Policristalino	20,0%	20,0%	20,0%	20,4%	19,9%	20,0%
	Monocristalino	19,9%	19,9%	19,9%	20,2%	20,3%	19,9%

Com o uso de células monocristalinas, gera-se uma maior quantidade de energia eléctrica. Os colectores híbridos apresentam, aproximadamente, a mesma variação de energia obtida, entre células policristalinas e monocristalinas (tabela 4.17). Todavia, o Colector Com Células Transparentes, é, ligeiramente, menos sensível ao tipo de célula, tal deve-se as características eléctricas do módulo e ao inversor seleccionado.



Tabela 4.17 - Variação de energia eléctrica entre células policristalinas e monocristalinas.

Variação de Energia Eléctrica Entre Células Policristalinas e Monocristalinas (%)						
Bragança						
Tipo de Colector	Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	22,0%	20,5%	20,9%	19,3%	20,9%	20,2%
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	21,6%	19,9%	20,3%	19,3%	20,7%	19,2%
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	20,0%	19,0%	19,1%	19,9%	18,8%	17,5%
Faro						
Tipo de Colector	Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	22,0%	20,0%	20,7%	19,9%	21,0%	19,9%
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	21,5%	19,7%	20,0%	19,8%	20,6%	18,6%
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	19,9%	18,8%	18,9%	19,7%	19,3%	17,5%
Porto						
Tipo de Colector	Área de Colector (m <sup>2</sup> )					
	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura	22,1%	20,5%	20,8%	19,2%	21,3%	20,2%
Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura	21,6%	19,9%	20,3%	19,3%	21,0%	19,4%
Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes	19,8%	19,1%	19,2%	19,9%	18,6%	17,4%

5.

## Análise Económica

## 5.1 Introdução

Neste capítulo será efectuado, uma análise económica referente aos colectores híbridos, em comparação com um sistema misto (térmico + fotovoltaico). A análise económica e financeira tem como objectivo estudar a rentabilidade de um projecto. Neste contexto, a rentabilidade resulta da contraposição da grandeza monetária de um investimento com os benefícios económicos da sua exploração, durante o período útil do projecto. Assim, um projecto para ser viável deve assegurar não só a completa recuperação do valor investido, como criar um rendimento financeiro adicional para cobrir os juros de capital (Abecassis, F. e Cabral, N., 1991).

### 5.1.1 Critérios da Análise do Investimento

Os critérios de análise do investimento são métodos de tratamento da informação, sobre os parâmetros de avaliação do projecto, que têm por fim permitir ao gestor analisar o seu interesse económico (Rocha, B. e Ribeiro, J., 2003). Neste trabalho foram utilizados os seguintes critérios:

- Valor Actualizado Líquido (VAL);
- Taxa Interna de Rentabilidade (TIR);
- Tempo de Recuperação do Investimento (“Pay – Back”).

#### Valor Actualizado Líquido (VAL)

O valor actualizado líquido corresponde ao cálculo do somatório das receitas anuais obtidas actualizadas à taxa escolhida e deduzidas no montante do investimento, actualizado a mesma taxa. Ou seja,

$$VLA = -Inv0 + \sum_{K=1}^n \frac{R_K - D_K}{(1+TA)^n} \quad (1)$$

Inv0 - Investimento Inicial no ano 0;

R<sub>K</sub> - Receitas Anuais;

D<sub>K</sub> - Despesas Anuais;

TA - Taxa de Actualização;

N - Número de Anos;

Para um projecto ser viável, a VAL tem de ser positiva, pois só neste caso o projecto gerará benefícios, em valor, que permitirão recuperar o investimento feito e proporcionar uma rentabilidade superior à alternativa de referência (Rocha, B. e Ribeiro, J., 2003).

Este critério está estritamente dependente da taxa de actualização. O valor da taxa está relacionado com três parâmetros:

1. Remuneração real desejada para os capitais próprios ( $T_1$ ), baseada na taxa de juro real de uma aplicação sem risco;
2. Riscos económicos e financeiros inerentes ao projecto ( $T_2$ );
3. Taxa anual de inflação esperada ( $T_3$ ). Esta taxa só irá influenciar os cálculos se todas as previsões de proveitos e custos forem efectuadas a preços correntes, pois o método de preços constantes considera a inexistência futura de inflação e desvalorização montaria.

Fonte: (Monteiro, J., 2005).

Assim obtém-se:

$$TA = [(1 + T_1)(1 + T_2)(1 + T_3)] - 1 \quad (2)$$

Neste trabalho optou-se pelo método de preços constantes, logo  $T_3$  é igual a zero. Desprezando o parâmetro  $T_2$  resulta,

$$TA = T_1 \quad (3)$$

Considerando a taxa de juro nominal de 4,52 % (Obrigações do Tesouro – Banco de Portugal Novembro de 2007) e a taxa de inflação de 2,4% (Banco de Portugal Novembro de 2007), obtém-se uma taxa de juro real de 2,1%, ou seja,  $TA = 2,1\%$ .

#### Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

Este critério é particularmente útil quando se desconhece as condições específicas de financiamento, ou seja, em situações em que existe alguma dificuldade em determinar a taxa de actualização. Com este método, determina-se a taxa de juro de actualização que permite igualar o somatório da diferença entre receitas e despesas com o investimento inicial, por outras palavras, obtém-se a taxa que torna o valor actualizado líquido (VAL) nulo (Abecassis, F. e Cabral, N., 1991). A taxa de actualização obtida, (taxa interna de rentabilidade), poderá ser comparada com a taxa de juro de financiamento do próprio projecto, de modo a saber-se se este é suficientemente rentável para cobrir o investimento realizado (Abecassis, F. e Cabral, N., 1991).

Tempo de Recuperação do Investimento (“Pay – Back”)

O tempo de recuperação do capital é o período necessário de funcionamento do projecto para que o somatório de fluxos de receitas e despesas igualem o valor do investimento. O seu valor foi calculado pela seguinte expressão:

$$\textit{Tempo de Recuperação do Investimento} = n_0 + \frac{-VAL_0}{VAL_1 - VAL_0} \quad (4)$$

$n_0$  – Ano antes da VAL ser positiva;

$VAL_0$  – VAL para o ano  $n_0$ ;

$VAL_1$  – VAL para o ano  $(n_0+1)$ ;

Fonte: (Leão, P. e Sousa, J., 2003).

## 5.2 Elementos de Base para a Avaliação dos Projectos

### 5.2.1 Investimento Inicial

Nesta secção será apresentado, em detalhe, os vários custos iniciais inerentes a um sistema com colectores híbridos ou misto (fotovoltaico + térmico). Foram considerados os seguintes pressupostos:

- Preço Colector Térmico com Cobertura: 300 €/m<sup>2</sup> (valor de referência para o mercado Português);
- Preço Colector Térmico sem Cobertura: 250 €/m<sup>2</sup> (valor de referência para o mercado Português);
- Preço dos Depósitos: Valores de referência da marca ESTEC ([www.estec.com.pt](http://www.estec.com.pt));
- Preço Permutador: Preço da marca SunMaxx Solar ([www.sunmaxxsolar.com](http://www.sunmaxxsolar.com));
- Preço Células Policristalinas: 3 €/Wp valor de referência ([www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com));
- Preço Células Monocristalinas: 3,05/Wp valor de referência ([www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com));
- Preço Contador: 100€ valor de referência (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2007);
- Registo da Instalação de Microprodução: 0,1€/Wp (suposição, pois o valor desta taxa só entra em vigor dia 27 de Fevereiro);
- Preço Instalação Colector Híbrido: 140€/m<sup>2</sup>;
- Preço Instalação Colector Térmico: 125€/m<sup>2</sup> valor de referência ([www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com));
- Preço Instalação Módulo Fotovoltaico: 60€/módulo ([www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com)).

Para os cálculos do investimento inicial, entrou-se em consideração com o novo incentivo fiscal, as energias renováveis. Tal incentivo, permite uma dedução de 30% no IRS, do valor dispendido com equipamento para aproveitamento de energias de fonte renovável, com um limite de 777€.

Nas tabelas seguintes, o investimento da parte térmica e fotovoltaica não entra com o preço da instalação, este custo é só somado no investimento final. Os resultados obtidos estão expressos nas tabelas 5.1 a 5.10.

Tabela 5.1 – Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Policristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	241	481	722	963	1203	1444
Investimento Total (€)	1179	2265	3034	4394	5038	6196
Investimento Total – Colector Híbrido						
Investimento Final (€)	2220	4434	6339	8826	10602	13158

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.2 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Monocristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	288	576	864	1152	1440	1728
Investimento Total (€)	1404	2590	3523	5047	5965	7173
Investimento Total – Colector Híbrido						
Investimento Final (€)	2445	4760	6827	9479	11529	14135

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.3 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Policristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	241	481	722	963	1203	1444
Investimento Total (€)	1179	2265	3034	4394	5038	6196
Investimento Total – Colector Híbrido						
Investimento Final (€)	2131	4257	6074	8472	10161	12628

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.4 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Monocristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	288	576	864	1152	1440	1728
Investimento Total (€)	1404	2590	3523	5047	5965	7173
Investimento Total – Colector Híbrido						
Investimento Final (€)	2356	4583	6562	9125	11088	13605

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.5 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Policristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	180	360	540	720	900	1080
Investimento Total (€)	1064	1679	2448	3028	4125	4910
Investimento Total – Colector Híbrido						
Investimento Final (€)	2017	3672	5488	7106	9248	11341

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.6 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Monocristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	216	432	648	864	1080	1296
Investimento Total (€)	1188	1927	2820	3523	4818	5393
Investimento Total – Colector Híbrido						
Investimento Final (€)	2140	3920	5859	7601	9941	11825

Fonte: (Ver anexo D).



Tabela 5.7 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico Suntech STP 240 – 24/V (Policristalino) + colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	240	480	720	960	1200	1440
Investimento Total (€)	1237	2380	3208	4449	5327	6544
Investimento Total – Colector Misto						
Investimento Final (€)	2246	4617	6613	9015	11059	13706

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.8 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico Suntech STP 280S – 24/Vb (Monocristalino) + colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	280	560	840	1120	1400	1680
Investimento Total (€)	1518	2819	3866	5505	6537	7860
Investimento Total – Sistema Misto						
Investimento Final (€)	2443	5056	7271	10071	12269	15023

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.9 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico Mitsubishi PV – MF 185 TD4 (Policristalino)+ colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	185	370	555	740	925	1110
Investimento Total (€)	1315	2259	3200	4031	4846	6414
Investimento Total – Sistema Misto						
Investimento Final (€)	2301	4496	6606	8596	10578	13577

Fonte: (Ver anexo D).

Tabela 5.10 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico SunPower SPR – 210 – BLK (Monocristalino) + colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	210	420	630	840	1050	1260
Investimento Total (€)	1470	2846	4181	5226	6241	7537
Investimento Total – Sistema Misto						
Investimento Final (€)	2409	5083	7586	9792	11973	14700

Fonte: (Ver anexo D).

## 5.2.2 Benefícios Económicos do Aproveitamento da Energia

A principal razão para a instalação de um sistema solar é o aproveitamento da energia que chega gratuitamente ao lugar de consumo. Nos sistemas estudados, a energia solar é convertida em energia térmica, para aquecimento de águas, e energia eléctrica, vendida a rede pública.

O benefício económico do aproveitamento da energia térmica, gerada pelo colector solar, é o preço que se iria gastar, em combustível, para se obter tal energia, com um sistema vulgar de aquecimento de águas. No presente trabalho, optou-se por sistema de apoio a gás natural, com um rendimento da caldeira de 94% e um P.C.I. de 10,5 kWh/m<sup>3</sup>. A remuneração da energia térmica foi obtida pela seguinte expressão:

$$\text{Preço Energia Térmica} = \frac{\text{Energia Gerada} \times \text{Custo Combustível}}{\eta_{\text{Caldeira}} \times \text{P.C.I.}} \quad (5)$$

Os preços do gás variam consoante a região, sendo:

- Para Bragança – 0,8714€/m<sup>3</sup>+5% de IVA (Duriensegás Dezembro de 2007);
- Para Faro – 0,8579€/m<sup>3</sup>+5% de IVA (Medigás Dezembro de 2007);
- Para o Porto - 0,6097 €/m<sup>3</sup>+5% de IVA (Portgás Dezembro de 2007).

A remuneração da energia eléctrica está dependente das taxas de comercialização em vigor. Para o projecto foi considerado os seguintes valores:

- De 1 a 5 anos – 0,65€/kWh;
- De 6 a 15 anos – 0,50€/kWh;
- De 16 a 20 anos – 0,155€/kWh.

### 5.2.3 Custos ao Longo da Vida do Projecto

Ao longo do projecto foram considerados custos de manutenção e de substituição de material (inversores). O custo de manutenção é de 1% do investimento inicial, sendo aplicável a partir do quinto ano de vida do projecto. Os inversores são substituídos a partir do décimo ano de projecto, com uma periodicidade de 10 em 10 anos.

### 5.3 Apresentação dos Resultados

Os resultados apresentados em seguida, tabela 5.11 a 5.20, foram obtidos para uma taxa de actualização de 2,1% e um tempo de vida do projecto de 20 anos.

Tabela 5.11 – Parâmetros económicos para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Policristalino).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Células Policristalinas)						
Bragança						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	838	1084	1628	862	1358	806
TIR (%)	6,5%	5,1%	5,3%	3,4%	3,7%	2,9%
“Pay – Back” (anos)	12,0	13,3	12,8	15,2	14,4	15,9
Faro						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	1346	2098	3069	2651	3583	3505
TIR (%)	9,0%	7,7%	7,9%	5,9%	6,3%	5,5%
“Pay – Back” (anos)	8,6	9,3	9,4	12,2	11,6	12,4
Porto						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	339	337	720	-120	263	-362
TIR (%)	4,0%	3,1%	3,6%	-	2,4%	-
“Pay – Back” (anos)	14,5	16,3	14,7	-	18,4	-

Tabela 5.12 - Parâmetros económicos para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Monocristalino).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Células Monocristalinas)						
Bragança						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	952	1558	2426	1820	2535	2435
TIR (%)	6,7%	6,1%	6,4%	4,6%	4,9%	4,3%
“Pay – Back” (anos)	11,8	12,1	11,6	13,5	13,0	13,6
Faro						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	1554	2744	4154	4016	5237	5651
TIR (%)	9,4%	8,9%	9,3%	7,3%	7,7%	7,1%
“Pay – Back” (anos)	8,3	8,6	8,4	9,5	9,3	9,7
Porto						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	468	822	1507	805	1434	1215
TIR (%)	4,5%	4,3%	4,9%	3,2%	3,7%	3,2%
“Pay – Back” (anos)	13,8	13,8	13,0	15,0	14,2	14,8

Tabela 5.13 - Parâmetros económicos para o Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Policristalino).

Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Células Policristalinas)						
Bragança						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	726	1007	1737	1171	1942	1729
TIR (%)	6,2%	5,1%	5,7%	3,9%	4,6%	3,9%
“Pay – Back” (anos)	12,1	13,1	12,2	14,2	13,3	14,0
Faro						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	1234	2057	3338	3203	4511	4856
TIR (%)	8,9%	8,0%	8,7%	6,9%	7,6%	7,0%
“Pay – Back” (anos)	8,5	9,0	8,6	11,2	9,3	9,7
Porto						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	378	508	1122	508	1185	892
TIR (%)	4,4%	3,7%	4,5%	2,9%	3,7%	3,0%
“Pay – Back” (anos)	13,9	14,5	13,4	16,0	14,3	15,0

Tabela 5.14 - Parâmetros económicos para o Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Monocristalino).

Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Células Monocristalinas)						
Bragança						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	896	1571	2649	2296	3322	3488
TIR (%)	6,8%	6,4%	7,1%	5,4%	5,9%	5,4%
“Pay – Back” (anos)	11,6	11,7	9,8	12,5	11,9	12,3
Faro						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	1499	2796	4524	4751	6374	7074
TIR (%)	9,6%	9,4%	10,3%	8,6%	9,2%	8,6%
“Pay – Back” (anos)	8,0	8,1	7,7	8,6	8,3	8,6
Porto						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	547	1065	2020	1609	2559	2630
TIR (%)	5,1%	5,1%	6,0%	4,4%	5,1%	4,7%
“Pay – Back” (anos)	13,1	12,8	11,7	13,4	12,6	13,1

Tabela 5.15 - Parâmetros económicos para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Policristalino).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Células Policristalinas)						
Bragança						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	155	593	574	881	141	-351
TIR (%)	3,1%	4,1%	3,4%	3,7%	2,3%	-
“Pay – Back” (anos)	16,9	14,2	14,9	14,5	19,0	-
Faro						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	536	1385	1755	2469	2068	1956
TIR (%)	5,4%	6,7%	6,1%	6,4%	5,0%	4,3%
“Pay – Back” (anos)	13,1	11,5	12,0	11,5	13,0	13,6
Porto						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	-171	95	-43	164	-643	-1197
TIR (%)	-	2,4%	-	2,4%	-	-
“Pay – Back” (anos)	-	18,5	-	18,4	-	-

Tabela 5.16 - Parâmetros económicos para o Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Monocristalino).

Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Células Monocristalinas)						
Bragança						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	356	988	1197	1787	1031	1239
TIR (%)	4,2%	5,2%	4,7%	5,1%	3,5%	3,5%
“Pay – Back” (anos)	14,4	12,8	13,3	12,8	14,7	14,6
Faro						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	801	1906	2566	3653	3372	3949
TIR (%)	6,7%	7,9%	7,5%	7,9%	6,4%	6,3%
“Pay – Back” (anos)	11,8	9,2	9,5	9,3	11,6	11,5
Porto						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
VAL (€)	22	476	555	1048	213	351
TIR (%)	2,2%	3,7%	3,3%	3,9%	2,4%	2,5%
“Pay – Back” (anos)	19,4	14,5	14,8	14,0	18,5	17,8

Tabela 5.17 - Parâmetros económicos para o sistema misto – módulo fotovoltaico (Suntech STP 240 – 24/V (Policristalino)) + colector térmico.

Sistema Misto – Módulos Fotovoltaico (Suntech STP 240 – 24/V (Policristalino)) + Colector Térmico						
Bragança						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	1704	2058	2552	1931	2164	1600
TIR (%)	10,3%	7,3%	6,7%	4,8%	4,5%	3,6%
“Pay – BacK” (anos)	8,0	11,3	11,6	13,5	13,6	14,7
Faro						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	2252	2901	3791	3517	4151	4052
TIR (%)	12,7%	9,3%	8,7%	6,8%	6,7%	5,8%
“Pay – BacK” (anos)	6,9	8,5	8,9	11,3	11,3	12,1
Porto						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	953	1035	1414	706	889	270
TIR (%)	7,1%	4,9%	4,8%	3,1%	3,1%	2,3%
“Pay – BacK” (anos)	11,5	13,5	13,4	15,9	15,5	18,7

Tabela 5.18 - Parâmetros económicos para o sistema misto – módulo fotovoltaico (Suntech STP 280S – 24/Vb (Monocristalino)) + colector térmico.

Sistema Misto – Módulos Fotovoltaico (Suntech STP 280S – 24/Vb (Monocristalino)) + Colector Térmico						
Bragança						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	1913	2500	3253	2627	3236	2932
TIR (%)	10,7%	7,8%	7,4%	5,3%	5,4%	4,6%
“Pay – BacK” (anos)	7,7	9,5	9,9	12,8	12,6	13,4
Faro						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	2553	3503	4751	4633	5726	5904
TIR (%)	13,2%	10,0%	9,6%	7,7%	7,8%	7,0%
“Pay – BacK” (anos)	6,5	8,1	8,3	9,3	9,4	11,0
Porto						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	1178	1494	2128	1424	1969	1619
TIR (%)	7,8%	5,7%	5,7%	3,9%	4,2%	3,5%
“Pay – BacK” (anos)	9,3	12,5	12,3	14,2	13,8	14,6

Tabela 5.19 - Parâmetros económicos para o sistema misto – módulo fotovoltaico (Mitsubishi PV – MF 185 TD4 (Policristalino)) + colector térmico.

Sistema Misto – Módulos Fotovoltaico (Mitsubishi PV – MF 185 TD4 (Policristalino)) + Colector Térmico						
Bragança						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	1099	1271	977	825	661	-1345
TIR (%)	7,4%	5,4%	3,9%	3,3%	2,9%	-
“Pay – Back” (anos)	11,6	13,2	14,7	15,8	16,9	-
Faro						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	1556	1915	1895	2060	2205	489
TIR (%)	9,5%	7,0%	5,5%	5,0%	4,7%	2,5%
“Pay – Back” (anos)	8,4	11,5	12,7	13,0	13,3	17,9
Porto						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	348	263	-130	-354	-576	-2614
TIR (%)	3,9%	2,8%	-	-	-	-
“Pay – Back” (anos)	15,1	17,5	-	-	-	-

Tabela 5.20 - Parâmetros económicos para o sistema misto – módulo fotovoltaico (SunPower SPR – 210 – BLK (Monocristalino)) + colector térmico.

Sistema Misto – Módulos Fotovoltaico (SunPower SPR – 210 – BLK (Monocristalino)) + Colector Térmico						
Bragança						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	1262	1004	470	341	-36	-1033
TIR (%)	7,9%	4,5%	2,9%	2,5%	-	-
“Pay – Back” (anos)	9,6	14,2	17,3	18,3	-	-
Faro						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	1780	1779	1571	1813	1752	1160
TIR (%)	10,1%	6,2%	4,7%	4,4%	3,9%	3,1%
“Pay – Back” (anos)	8,2	12,2	13,6	13,7	14,2	15,5
Porto						
Número de Módulos Fotovoltaicos + Colectores Térmicos	1 + 1	2 + 2	3 + 3	4 + 4	5 + 5	6 + 6
VAL (€)	535	29	-609	-808	-1226	-2270
TIR (%)	4,8%	2,1%	-	-	-	-
“Pay – Back” (anos)	13,8	19,7	-	-	-	-



Numa primeira análise, conclui-se que os colectores híbridos, excepto em alguns casos particulares, são economicamente viáveis. Como seria de esperar, na região de Faro obtém-se os resultados mais favoráveis, sendo o Porto a região menos favorecida. Comparando os vários colectores híbridos, o mais rentável é o Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Monocristalino) figura 5.1.

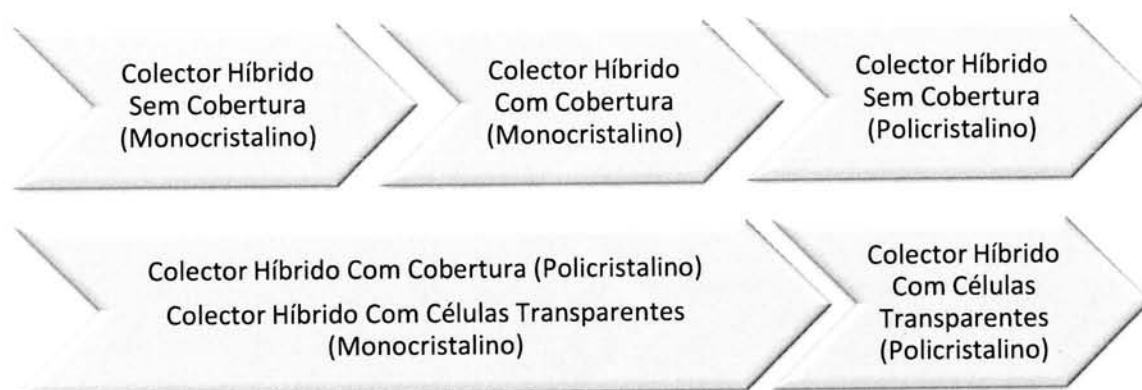


Figura 5.1 – Viabilidade dos colectores híbridos por ordem decrescente para os diferentes climas (Bragança, Faro e Porto).

\* A figura 5.1 mostra uma relação generalista, pois em determinadas áreas de módulo tal relação não se verifica.

Com a entrada em vigor do novo Decreto-Lei nº 363, a energia eléctrica, vendida a rede, passou a ser melhor remunerada, favorecendo-se os módulos que geram uma maior quantidade de energia eléctrica, como é o caso do colector híbrido sem cobertura (monocristalino).

Os sistemas mistos (fotovoltaicos + térmicos) também, na sua generalidade, são economicamente viáveis. Nas figuras 5.2, 5.3 e 5.4 mostra-se a sua comparação com os colectores híbridos.

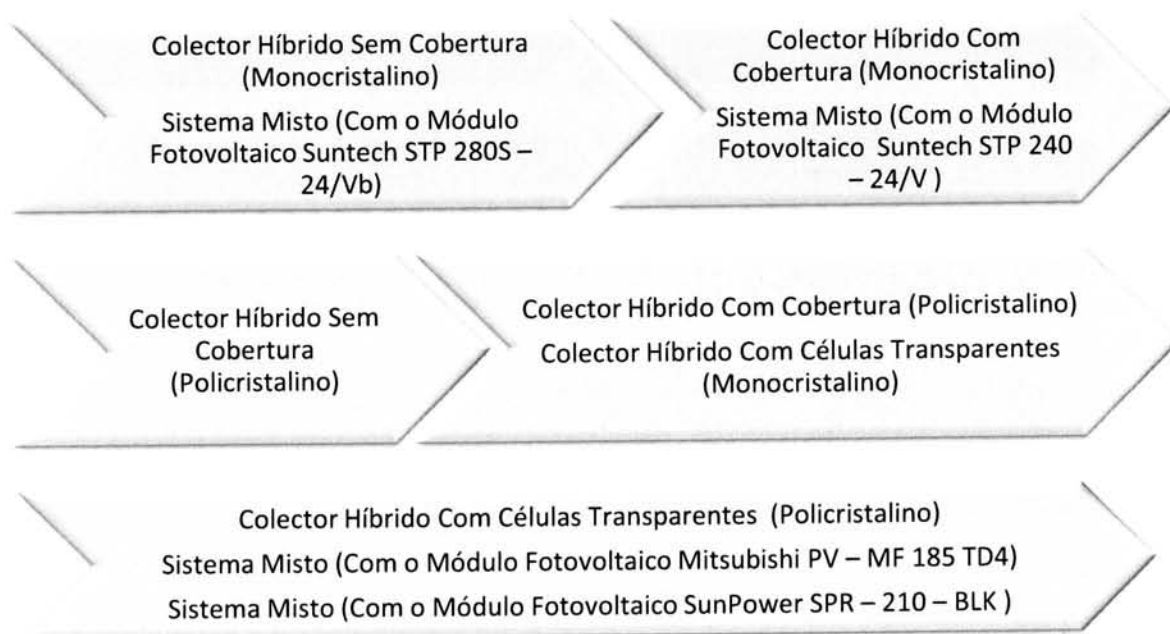


Figura 5.2 – Comparação da viabilidade (por ordem decrescente) dos sistemas mistos com os colectores híbridos para o Porto.

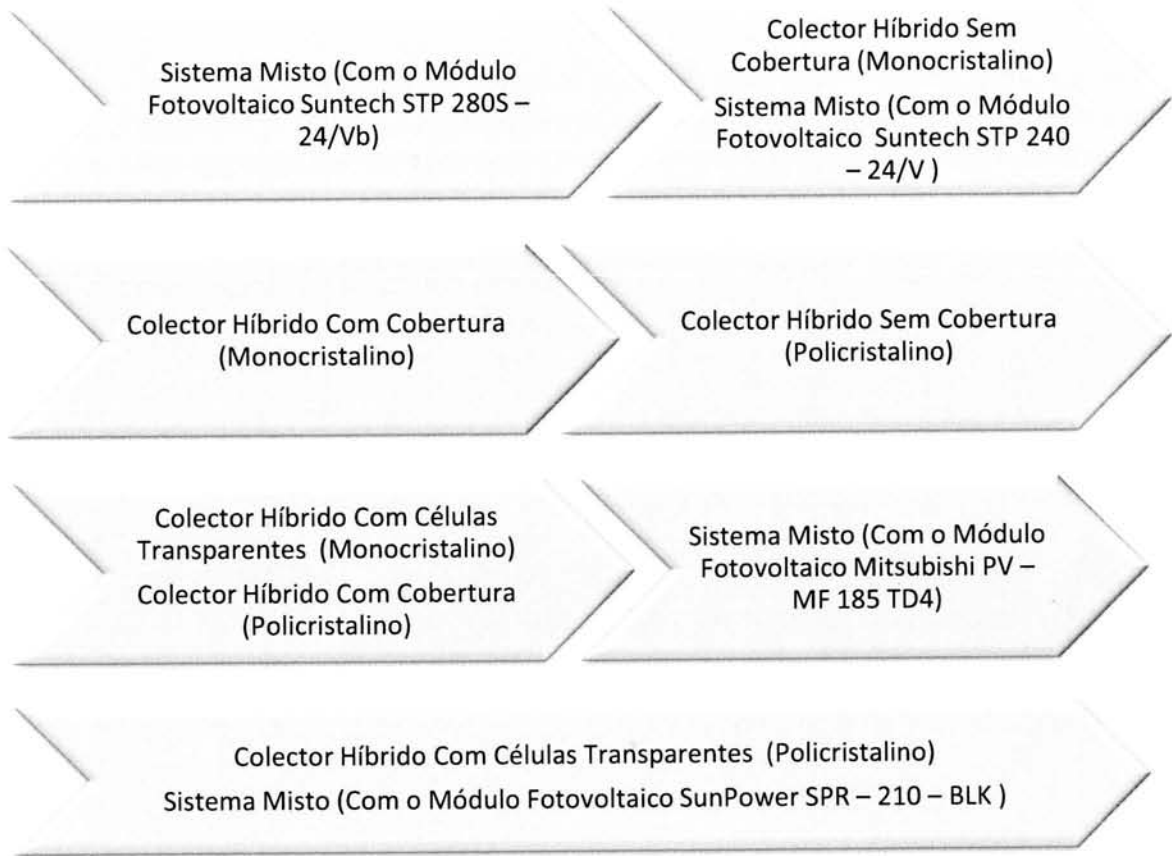


Figura 5. 3– Comparação da viabilidade (por ordem decrescente) dos sistemas misto com os colectores híbridos em Bragança.



Figura 5. 4– Comparação da viabilidade (por ordem decrescente) dos sistemas misto com os colectores híbridos em Faro.

\* As figuras 5.2, 5.3 e 5.4 mostram uma relação generalista, pois em determinadas áreas de módulo tal relação não se verifica.

Em colectores híbridos, com o mesmo grau de viabilidade económica que um sistema misto, por exemplo o Colector Híbrido Sem Cobertura (Monocristalino) e o sistema misto com o módulo fotovoltaico (Suntech STP 280S – 24/Vb) para o Porto, verifica-se uma maior rentabilidade dos colectores híbridos para áreas de módulos elevadas. Isto acontece, porque os colectores híbridos têm um preço de instalação inferior a um sistema misto, e para áreas de módulos elevadas, este facto tem um grande peso.

## 6. Conclusão

Face ao principal objectivo do trabalho, conclui-se que os colectores híbridos são uma solução exequível para aplicação ao aquecimento de águas e microgeração de electricidade.

Dentro das configurações estudadas, o Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura Monocristalino é o que apresenta uma maior rentabilidade. Contudo, analisando os resultados do Capítulo Quatro, conclui-se que os Colectores Com Cobertura geram, no total, uma maior quantidade de energia (térmica + eléctrica). A razão para a maior rentabilidade dos Colectores Sem Cobertura, está no facto destes módulos obterem maiores quantidades de energia eléctrica, sendo esta forma de energia melhor remunerada que a térmica. Se fosse considerado um sistema de apoio, ao aquecimento de águas, mais dispendioso, por exemplo constituído por uma caldeira a gasóleo ou um termoacumulador a electricidade, certamente os Colectores Com Cobertura seriam a solução economicamente mais viável. Também, neste caso, a energia obtida foi calculada para uma habitação familiar, em vez, de um grande consumidor de água quente (hotéis, edifícios multifamiliares, edifícios desportivos), desfavorecendo os colectores que geram mais energia térmica. Desta maneira, pode-se concluir que a rentabilidade dos colectores híbridos está estritamente dependente da remuneração associada a venda da energia eléctrica, estipulada no Decreto-Lei nº 363/2007.

O Colector Híbrido Com Células Transparentes tem uma viabilidade mais reduzida, porém esta solução é bastante interessante do ponto de vista técnico, pois permite controlar mais facilmente a fracção de energia eléctrica e térmica pelo número de células no topo.

Para o cálculo da energia obtida utilizou-se células policristalinas e monocristalinas. Devido ao facto, da energia eléctrica ser melhor retribuída, como referido anteriormente, a aplicação de células monocristalinas é mais rentável. Outra alternativa ao estudo feito, seria o uso de células amorfas. Embora, este tipo de células tenha um rendimento eléctrico mais baixo, a sua eficiência não varia tanto com a temperatura e é uma solução mais barata.

Em comparação com um sistema fotovoltaico mais térmico, em separado (misto), os colectores híbridos são mais rentáveis para áreas elevadas de colector.

Os sistemas solares, na sua generalidade, são não só uma solução lucrativa, em termos económicos, como também contribuem para a redução das emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis. Também, esta fonte de energia endógena contribui para a criação e desenvolvimento de nova actividade económica, com impacto na indústria, comércio e criação de emprego.

Num trabalho futuro, teria interesse realizar-se uma análise ambiental aos colectores híbridos, comparando com sistemas mistos (fotovoltaico + térmico em separado).

## 7. Bibliografia

- Abecassis, F. e Cabral, N., 1991, “Análise Económica e Financeira de Projectos”, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1ª Edição, pp 11 – 21, pp 49 – 77.
- Affolter, P. et al, 2006, “ PVT ROADMAP – A European guide for the development and market introduction of PV – thermal technology”, Energy Research Centre of the Netherlands, pp 4 – 38.
- Castro, R., 2004, “Introdução à Energia Fotovoltaica”, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico – Secção de Energia.
- Charalambous, P. G. et al, 2006, “Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review”, London South Bank University, Higher Technical Institute Cyprus.
- Chow, T.T. et al, 2005, “ Hybrid photovoltaic – thermosyphon water heating system for residential application”, University of Hong Kong, University of Science and Technology of China.
- Chow, T.T., 2003, “Performance analysis of photovoltaic – thermal collector by explicit dynamic model”, University of Hong Kong.
- Direcção – Geral de Energia, 2003, “Linhas de Apoio Fiscais e Financeiras à Energia Solar Térmica”, Programa Água Quente Solar para Portugal.
- Direcção – Geral de Energia, 2003, “Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico”, Programa Água Quente Solar para Portugal.
- Direcção – Geral de Geologia e Energia, 2005, “Balanço Energético 2005”.
- Direcção – Geral de Geologia e Energia, 2007, “Renováveis – Estatísticas Rápidas”, pp 6.
- Decreto – Lei nº 80/2006, 2006, “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) ”.
- Decreto – Lei nº 363/2007, 2007, Ministério da Economia e da Inovação.
- Duffie, J. e Beckman, W., 1991, “Solar Engineering of Thermal Processes”, John Wiley & Sons Second Edition, Second Edition, pp 147 – 184 e pp 250 – 330.
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2007, “Consulta Pública Sobre o Plano de Substituição e Funcionalidades Mínimas dos Contadores para o Segmento dos Clientes Domésticos e Pequenas Empresas”, pp 37 – 43.
- Fernandes, E., 2002, “Energia Portugal 2001”, Direcção Geral de Energia e Ministério da Economia, pp 6 – 13, pp 20 – 23, pp 59 – 63, pp 66 – 69.
- Henze, N. et al, 2007, “Performance of a Novel Three-Phase Photovoltaic Inverter for Module Integration”, Institut für Solare Energieversorgungstechnik, Germany.
- Incropera, F. e DeWitt, D., 2002, “Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa”, LTC Editora, pp 325 – 396.
- International Energy Agency, 2002, “Photovoltaic/Thermal Solar Energy Systems”, Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS), pp 5-10.

- Kalogirou, S. A. e Tripanagnostopoulos, Y., 2006, “Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production”, Higher Technical Institute Cyprus, Physics Department University of Patras.
- Leão, P. e Sousa, J., 2003, “ Projectos de Investimento”, Disciplina de Economia e Gestão, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- Luque, A. e Hegedus, S., 2003, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, Instituto de Energia Solar Universidad Politécnica de Madrid, Institute of Energy Conversion University of Delaware, pp 291 – 295.
- Mantzou, L. e Capros, P., 2005, “Trends to 2030 – update 2005”, European Energy and Transport, pp 76 e pp 124.
- Martins, A. e Santos, V., 2005, “Formulação de Políticas Públicas no Horizonte 2013 Relativas ao Tema Energia”, Direcção – Geral do Desenvolvimento Regional, pp 7 – 10, pp 15 – 19, pp 63 – 64, pp 78 – 81.
- Mendes, J., 2006, “Energia Solar nos Edifícios”, Departamento de Energias Renováveis – INETI.
- Mondol, J. et al, 2006, “Optimal sizing of array and inverter for grid – connected photovoltaic systems”, University of Ulster – Northern Ireland, Dublin Institute of Technology – Ireland.
- Monteiro, J., 2005, “Aplicação de Energia Solar em Meio Urbano”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp 5, pp 39 – 41, pp 51 – 53.
- Oliveira, A., 2006, “Métodos de Modelação Distribuída”, Disciplina de Métodos Computacionais em Fluidos e Calor (ano 2006/2007) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto
- Rocha, B. e Ribeiro, J., 2003, “Análise Económica de Projectos de Investimento com Fontes Renováveis”, Disciplina de Projecto de Fim de Curso (ano 2002/2003), Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, pp 80 – 99.
- Santbergen, R. e Zolingen, R. J. Ch., 2006; “ Modeling the thermal absorption factor of photovoltaic/thermal combi – panels”, Department of Mechanical Engineering Eindhoven University of Technology
- Solar Energy International, 2004, “Photovoltaics Design and Installation Manual”, New Society Publishers, pp 80 - 90.
- Tiwari, A. e Sodha, M., 2005, “Performance evaluation of solar PV/T system: An experimental validation”, Indian Institute of Technology Delhi.
- Vries, D. W., 1998, “Design of a photovoltaic/thermal combi – panel”, Eindhoven Technical University.
- Zondag, H. A. et al, 2003, “ The yield of different combined PV – thermal collector designs”, Eindhoven University of Technology, Energy Research Centre of the Netherlands, Shell Solar Energy.
- Zondag, H. A. et al, 2001, “The thermal and electrical yield of a PV – thermal collector”, Eindhoven University of Technology, Energy Research Centre of the Netherlands, Shell Solar Energy



Zondag, H. A., 2007, “Flat – plate PV – Thermal collectors and systems A review”, Energy Research Centre of the Netherlands.

### Sites Consultados (Portugueses)

[www.bportugal.pt](http://www.bportugal.pt)

[www.dgge.pt](http://www.dgge.pt)

[www.estec.com.pt](http://www.estec.com.pt)

[www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com)

### Sites Consultados (Internacionais)

[www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk)

[www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com)

[www.diresasolar.com](http://www.diresasolar.com)

[www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)

[www.fotovoltaiishop.de](http://www.fotovoltaiishop.de)

[www.justlanded.com/english/spain/tools/classifieds/buy\\_and\\_sell/solarmodule\\_photovoltaiik\\_grosshandel](http://www.justlanded.com/english/spain/tools/classifieds/buy_and_sell/solarmodule_photovoltaiik_grosshandel)

[www.neue-energie-technik.net](http://www.neue-energie-technik.net)

[www.pro-umwelt.de](http://www.pro-umwelt.de)

[www.renewablestore.com.au](http://www.renewablestore.com.au)

[www.shop-muenchner-solarmarkt.de](http://www.shop-muenchner-solarmarkt.de)

[www.skylinesolar.co.uk](http://www.skylinesolar.co.uk)

[www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com)

[www.solarserver.de](http://www.solarserver.de)

[www.sunmaxxsolar.com](http://www.sunmaxxsolar.com)

CD – ROM de Anexos

## Anexo A – Tipo de Células de Silício

### A1 – Células Policristalinas

Marca Photovoltech (classe STD156 – 3340)

#### 1. Cell Description

Product	Multicrystalline silicon solar cell
Size	156 mm x 156 mm ± 0.5 mm
Thickness	200 µm ± 40 µm
Front contact	2 silver busbars, distance 75.0 mm, 2 mm wide
Back contact	2 silver busbars, distance 75.0 mm, 4 mm wide

#### 2. Electrical Data

Cell Class	$P_{mpp}^*$ (W)	$\eta_{mpp}^*$ (%)	$V_{mpp}^{**}$ (mV)	$I_{mpp}^{**}$ (A)	$V_{oc}^{**}$ (mV)	$I_{sc}^{**}$ (A)
STD156-3980	3.98	16.3	510	7.79	615	8.35
STD156-3900	3.90	16.0	504	7.71	612	8.28
STD156-3820	3.82	15.7	500	7.64	609	8.20
STD156-3740	3.74	15.4	495	7.55	606	8.13
STD156-3660	3.66	15.0	492	7.44	603	8.05
STD156-3580	3.58	14.7	490	7.32	600	7.98
STD156-3500	3.50	14.4	487	7.21	598	7.92
STD156-3420	3.42	14.1	484	7.09	597	7.86
STD156-3340	3.34	13.7	481	6.95	594	7.70

\* Specified is the mid-value for each class, the class width is always 0.08 W in power or 0.32 % in efficiency.  
 \*\* These values are typical class averages measured on previously produced solar cells.

The cells are measured at intensity 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM1.5G, temperature 25 °C. The error in  $P_{mpp}$  is < 2.5 %

Temperature coefficients:  $(dP_{mpp}/dT)/P_{mpp} = -0.4 \%/^{\circ}C$      $dV_{oc}/dT = -2.0 \text{ mV}/^{\circ}C$      $dI_{sc}/dT = +5.5 \text{ mA}/^{\circ}C$

Figura A.1 – Células policristalinas utilizadas.

## A2 – Células Monocristalinas

Marca Ersol (Classe 3.99)

### 156 mm monocrystalline silicon

<b>Dimensions</b>	<b>156 mm x 156 mm</b> pseudo-square (205 mm ± 1 mm diagonal)
<b>Chamfer</b>	graded straight/round
<b>Thickness</b>	<b>220 µm</b> (± 40 µm) <b>200 µm</b> (± 40 µm) <b>180 µm</b> (± 30 µm)
<b>Front contacts (-)</b>	<b>2 mm busbar</b> (silver), textured, silicon nitride anti-reflection coating
<b>Rear contacts (+)</b>	<b>4.5 mm busbar</b> (silver), closed aluminium BSF
<b>Dark reverse current</b>	$I_{rw} \leq 3A @ -10V$

Power class	Efficiency [%]	Pmpp* [W]	Vmpp* [mV]	Impp* [mA]	Voc* [mV]	Isc* [mA]
4.19	17.27-17.47	4.19	512	8150	617	8880
4.14	17.07-17.27	4.14	509	8135	615	8850
4.09	16.87-17.07	4.09	508	8065	612	8780
4.04	16.67-16.87	4.04	502	8040	611	8725
3.99	16.47-16.67	3.99	500	8005	610	8700
3.94	16.26-16.47	3.94	497	7965	609	8680
3.89	16.06-16.26	3.89	492	7940	607	8660
3.85	15.86-16.06	3.85	489	7880	606	8615
3.80	15.66-15.86	3.80	485	7825	605	8570
3.75	15.45-15.66	3.75	482	7735	604	8505

All electrical data measured under standard test conditions (STC): 1000W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25°C; tolerance P: ±1.5% rel. \*\*

Temperature coefficients:  $\alpha(I_{sc})$ : +0.03%/K     $\beta(V_{oc})$ : -0.37%/K     $\gamma(P_{mpp})$ : -0.51%/K

Figura A.2 - Células monocristalinas utilizadas.

## Anexo B – Distribuição da Temperatura na Placa Absorsora

A distribuição da temperatura na placa absorsora é determinada entre dois tubos. A análise é feita considerando a configuração da figura B.1, onde  $W$  é a distância entre dois tubos,  $D$  é o diâmetro exterior e  $esp_{abs}$  é a espessura da placa.

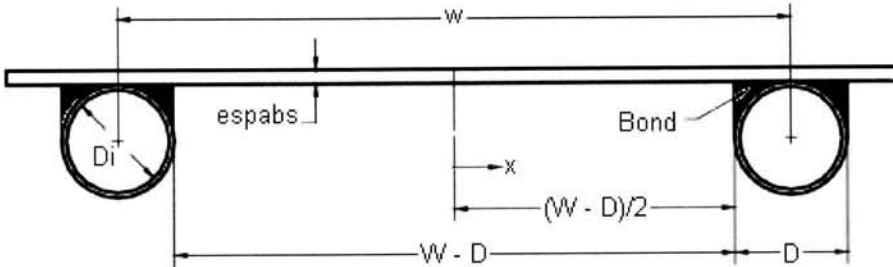


Figura B.1 – Configuração da placa absorsora.

A temperatura média da placa é calculada pelas seguintes expressões:

$$\text{Para } x \in \left[0, \frac{w-D}{2}\right], T_{abs}(x) = T(x) \quad (1)$$

$$\text{Para } x \in \left[\frac{w-D}{2}, \frac{W}{2}\right], T_{abs}(x) = T_{bond} \quad (2)$$

Como o material da placa absorsora é um bom condutor (cobre), o gradiente de temperatura, ao longo da sua espessura, é desprezado (Duffie, J. e Beckman, W., 1991). Da mesma forma, não se entra em consideração com o gradiente de temperatura na direcção do escoamento de água. Assim, a região entre a linha de centro, que separa os tubos, e a base do tubo ( $x \in [0, (W-D)/2]$ ), pode ser interpretada como uma alheta, figura B.2 (Duffie, J. e Beckman, W., 1991). Enquanto que, na região do tubo considera-se a temperatura constante e igual a  $T_{bond}$ .

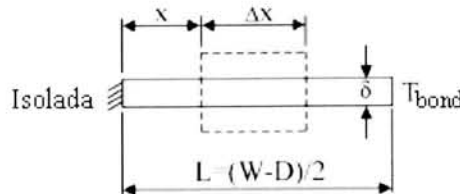


Figura B.2 – Aproximação da Placa Absorsora a Uma Alheta Para  $x \in [0, (W-D)/2]$ .

A figura B3 mostra um elemento da placa, de largura  $\Delta x$  e comprimento unitário na direcção do escoamento de água.

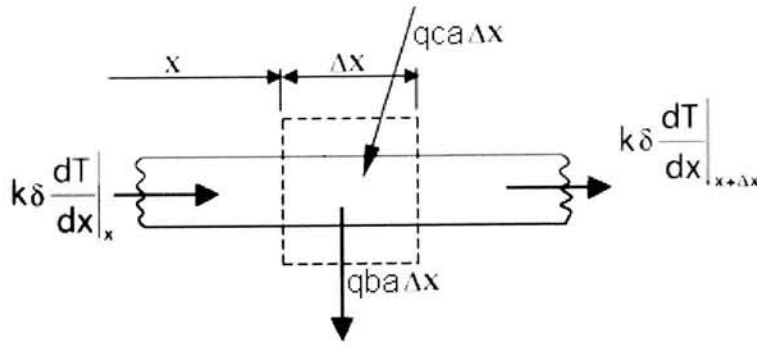


Figura B.3 – Balanço de energia num elemento da placa.

Fazendo um balanço energético ao elemento resulta:

$$q_{ca} \Delta x - q_{ba} \Delta x + \left(-esp_{abs} \lambda_{abs} \frac{dT}{dx}\right)_x - \left(-esp_{abs} \lambda_{abs} \frac{dT}{dx}\right)_{x+\Delta x} = 0 \quad (3)$$

A equação (1) obtida é diferente para um colector térmico usual. Num colector térmico, a radiação solar incide directamente na placa absorvora, enquanto nestas geometrias de Colectores Híbridos (Placa – Tubo Com Ou Sem Cobertura) tal não acontece. Sendo a transferência de calor para a placa feita apenas por condução ( $q_{ca}$ ). Por outro lado, as perdas de calor, na placa, também divergem. Num painel térmico há perdas por radiação, convecção e condução, existindo apenas perdas por condução ( $q_{ba}$ ) nestes módulos híbridos.

A expressão (3) pode ser escrita por,

$$U_{ca}(T_{cétulas} - T) \Delta x - U_{ba}(T - T_{amb})\Delta x + \left(-esp_{abs} \lambda_{abs} \frac{dT}{dx}\right)_x - \left(-esp_{abs} \lambda_{abs} \frac{dT}{dx}\right)_{x+\Delta x} = 0 \quad (4)$$

após algumas manipulações algébricas obtém-se,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{U_{ca}+U_{ba}}{esp_{abs}\lambda_{abs}} \left( T - \left( \frac{U_{ca}T_{cétulas}+U_{ba}T_{amb}}{U_{ca}+U_{ba}} \right) \right) \quad (5)$$

as condições de fronteira para resolver esta equação de segunda ordem são:

$$\frac{dT}{dx}\Big|_{x=0} = 0 \quad (6) \quad \text{e} \quad T\Big|_{x=\left(\frac{w-D}{2}\right)} = T_{bond} \quad (7)$$

Definindo duas novas variáveis:

$$m = \sqrt{\frac{U_{ca}+U_{ba}}{esp_{abs}\lambda_{abs}}} \quad (8)$$

e

$$\psi = T - \left( \frac{U_{ca}T_{cétulas}+U_{ba}T_{amb}}{U_{ca}+U_{ba}} \right) \quad (9)$$

a equação (5) fica:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} - m^2\psi = 0 \quad (10)$$

resultando:

$$\psi = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} \quad (11)$$

As condições fronteira para resolver a expressão (11) são:

$$\left. \frac{d\psi}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (10) \quad \text{e} \quad \psi \Big|_{x=\left(\frac{w-D}{2}\right)} = T_{bond} - \left( \frac{U_{ca}T_{células} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right) \quad (12)$$

Da aplicação da primeira condição fronteira obtém-se:

$$C_1 = C_2 = C \quad (13)$$

Substituindo-se na equação (11),

$$\psi = C(e^{mx} + e^{-mx}) \quad (14)$$

ou seja,

$$\psi = 2C \cosh(mx) \quad (15)$$

Aplicando a segunda condição fronteira a expressão (15) resulta,

$$C = \frac{T_{bond} - \left( \frac{U_{ca}T_{células} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right)}{2 \cosh\left(m\left(\frac{W-D}{2}\right)\right)} \quad (16)$$

substituindo na equação (15):

$$\psi = \frac{\left( T_{bond} - \left( \frac{U_{ca}T_{células} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right) \right)}{\cosh\left(m\left(\frac{W-D}{2}\right)\right)} \cosh(mx) \quad (17)$$

Por fim, substituindo a expressão (17) na equação (9)

$$T(x) = \frac{U_{ca}T_{células} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} + \frac{\left( T_{bond} - \left( \frac{U_{ca}T_{células} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right) \right)}{\cosh\left(m\left(\frac{W-D}{2}\right)\right)} \cosh(mx) \quad (18)$$

Possuindo a distribuição de temperatura T(x), integra-se as duas temperaturas, T(x) e T<sub>bond</sub>, entre as suas fronteiras.

$$T_{abs} = \frac{2}{W} \left( \int_0^{\frac{(W-D)}{2}} T(x) dx + \int_{\frac{(W-D)}{2}}^{\frac{W}{2}} T_{bond} dx \right) \quad (19)$$

definindo duas novas variáveis,

$$aaaa = \frac{U_{ca}T_{cétulas} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \quad (20)$$

e

$$bbbb = \left[ T_{bond} - \left( \frac{U_{ca}T_{cétulas} + U_{ba}T_{amb}}{U_{ca} + U_{ba}} \right) \right] \frac{1}{\cosh\left(m\left(\frac{W-D}{2}\right)\right)} \quad (21)$$

A Igualdade (19) fica,

$$T_{abs} = \frac{2}{W} \left( \int_0^{\frac{(W-D)}{2}} [aaaa + bbbb \cosh(mx)] dx + \int_{\frac{(W-D)}{2}}^{\frac{W}{2}} T_{bond} dx \right) \quad (22)$$

resultando:

$$T_{abs} = \frac{2}{W} \left[ T_{bond} \left( \frac{D}{2} \right) + aaaa \left( \frac{W-D}{2} \right) + \frac{bbbb}{m} \left[ \sinh \left( m \left( \frac{W-D}{2} \right) \right) - \sinh(0) \right] \right] \quad (23)$$

## Anexo C – Características Eléctricas dos Módulos Fotovoltaicos para Comparação

### C1 - Suntech STP 240 – 24/V

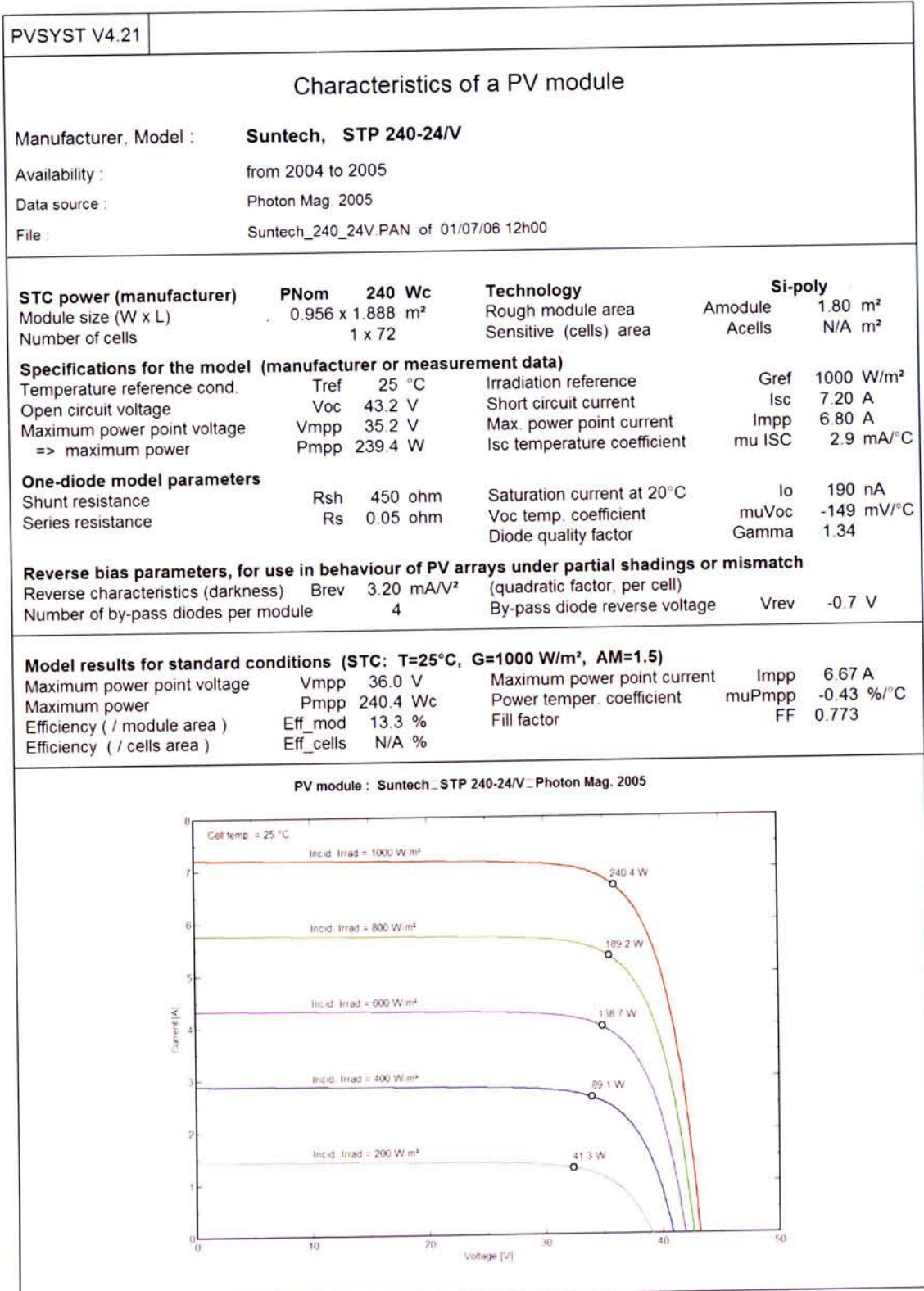


Figura C.1 – Módulo Suntech STP 240 – 24V.



C2 - Suntech STP 280S – 24/Vb

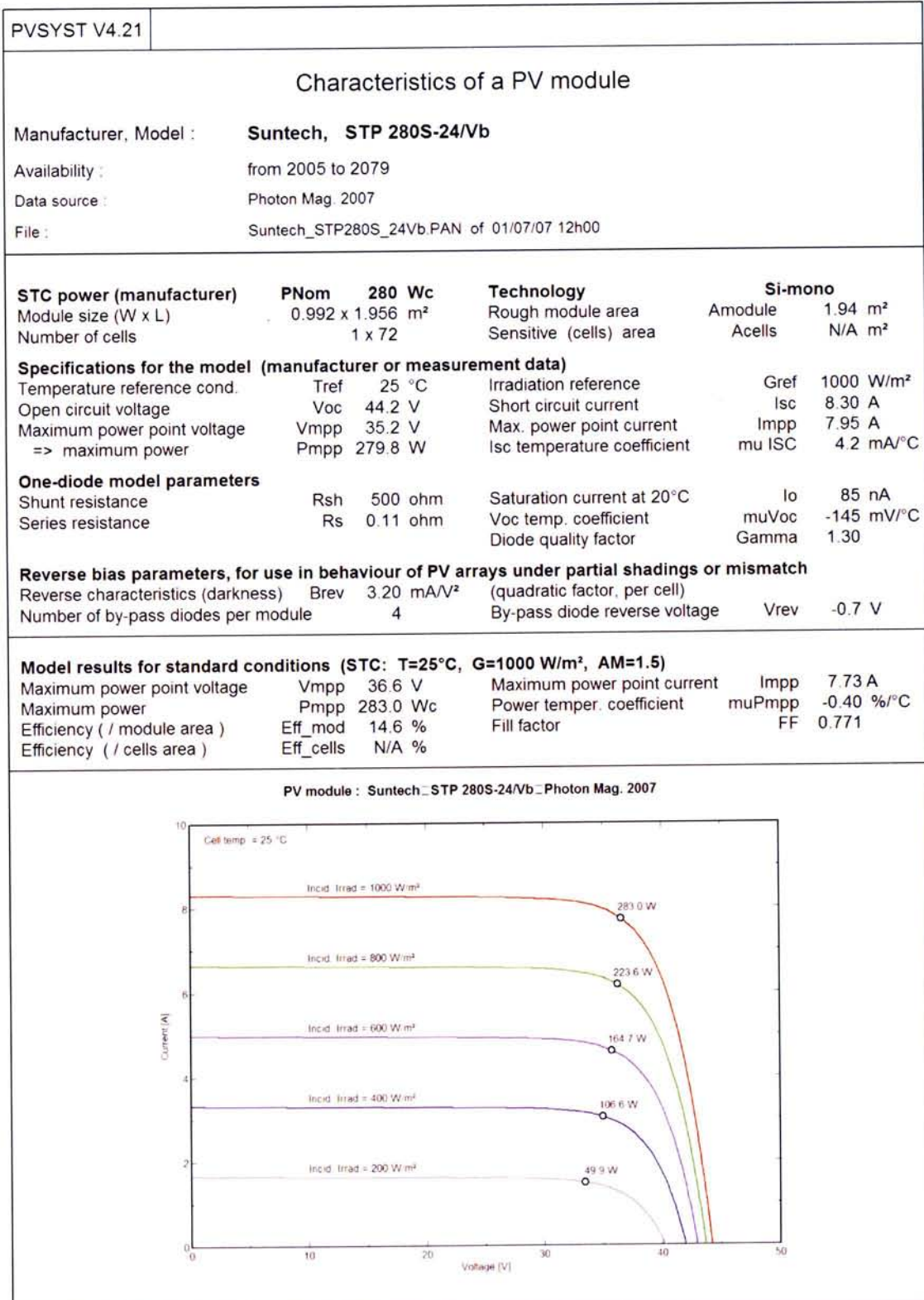


Figura C.2 – Módulo Suntech STP 280S – 24/Vb.

C3 - Mitsubishi PV – MF 185 TD4

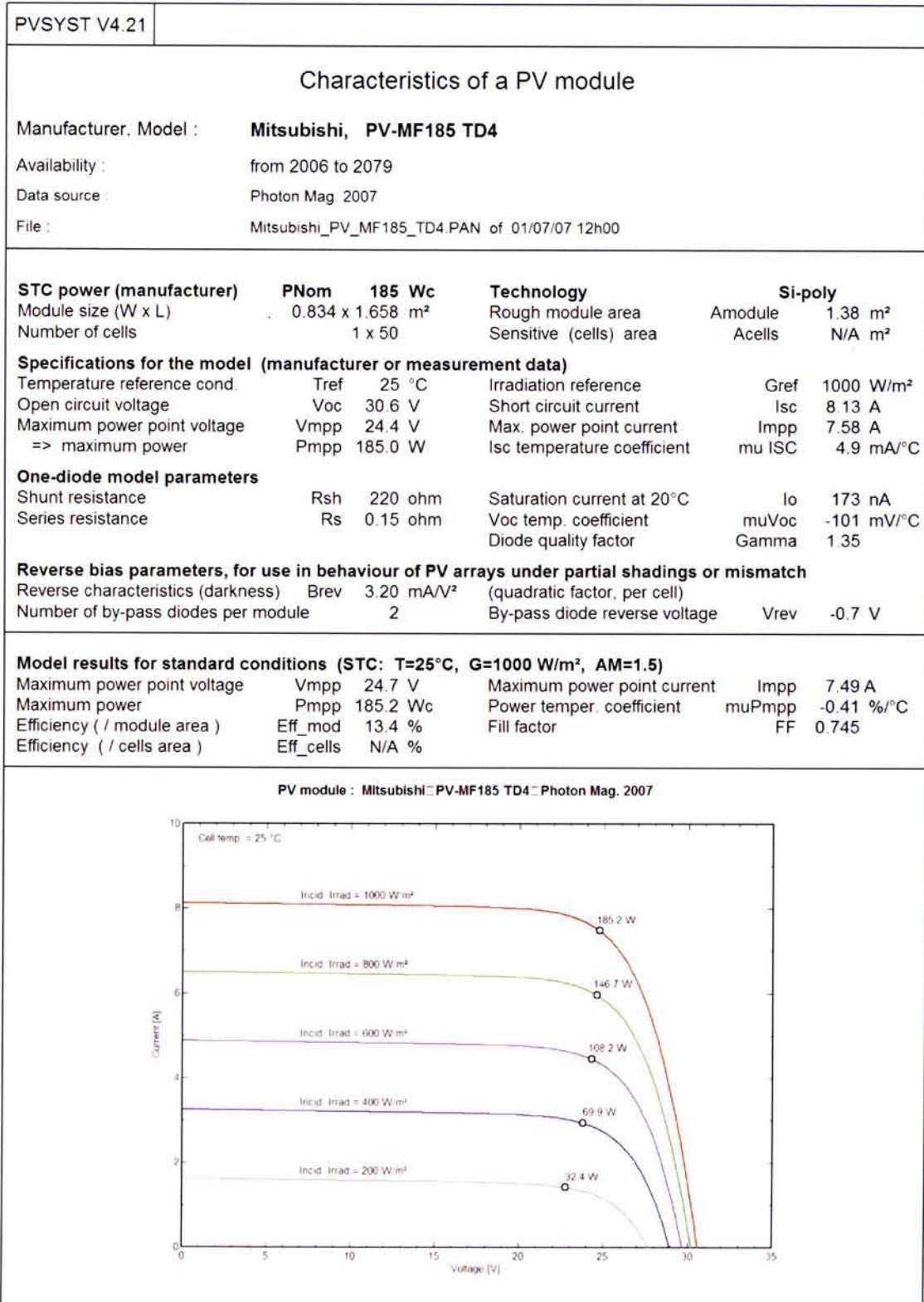


Figura C.3 – Módulo Mitsubishi PV – MF 185 TD4.

C4 - SunPower SPR – 210 - BLK

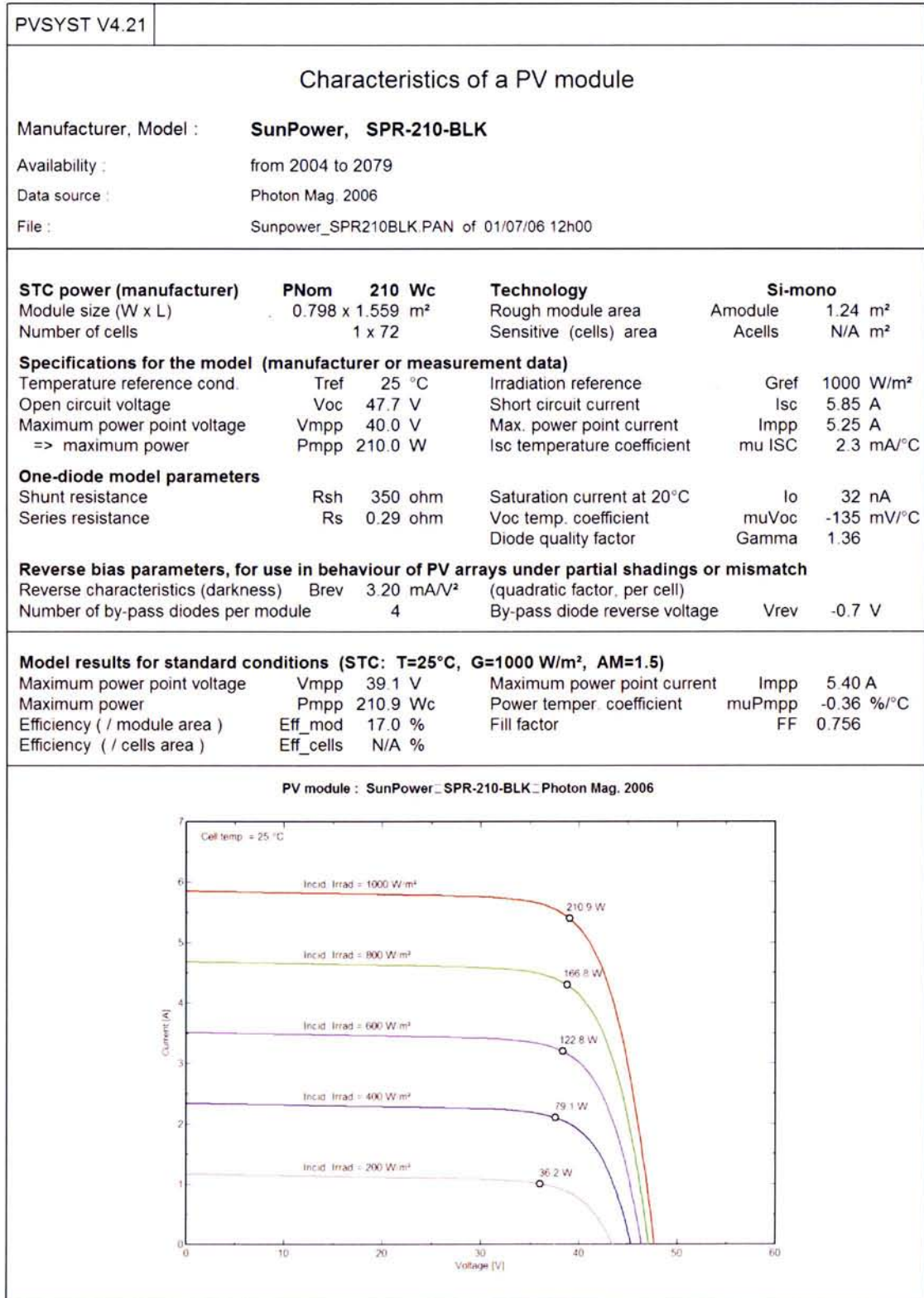


Figura C.4 – Módulo SunPower SPR – 210 – BLK.

## Anexo D - Investimento Inicial - Colectores Híbridos e Sistema Misto (Fotovoltaico + Térmico)

Tabela D.1 – Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Policristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	530	1060	1590	2120	2651	3181
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	241	481	722	963	1203	1444
Preço das Células (€)	722	1444	2166	2888	3610	4332
Preço Inversores (€)	324 <sup>(1)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	670 <sup>(3)</sup>	1275 <sup>(4)</sup>	1164 <sup>(5)</sup>	1568 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	33	65	98	131	164	196
Investimento Total (€)	1179	2265	3034	4394	5038	6196
Investimento Total – Colector Híbrido						
Total - Investimento (€)	2749	4716	6374	8613	10142	12451
Instalação Híbrido (€)	247	495	742	990	1237	1484
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2220	4434	6339	8826	10602	13158

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk))

(3) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) / (4) Fonte: ([www.solarserver.de](http://www.solarserver.de))

(5) Fonte: ([www.pro-umwelt.de](http://www.pro-umwelt.de)) / (6) Fonte: ([www.troquedcenergia.com](http://www.troquedcenergia.com))

Tabela D.2 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Cobertura (Monocristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	530	1060	1590	2120	2651	3181
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	288	576	864	1152	1440	1728
Preço das Células (€)	878	1757	2635	3514	4392	5270
Preço Inversores (€)	386,4 <sup>(1)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	670 <sup>(3)</sup>	1277 <sup>(4)</sup>	1277 <sup>(5)</sup>	1568 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	39	78	117	157	196	235
Investimento Total (€)	1404	2590	3523	5047	5965	7173
Investimento Total – Colector Híbrido						
Total - Investimento (€)	2974	5042	6862	9266	11069	13428
Instalação Híbrido (€)	247	495	742	990	1237	1484
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2445	4760	6827	9479	11529	14135

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk))

(3) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) / (4) Fonte: ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com))

(5) Fonte: ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com)) / (6) Fonte: ([www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com))

Tabela D.3 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Policristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	442	884	1325	1767	2209	2651
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	241	481	722	963	1203	1444
Preço das Células (€)	722	1444	2166	2888	3610	4332
Preço Inversores (€)	324 <sup>(1)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	670 <sup>(3)</sup>	1275 <sup>(4)</sup>	1164 <sup>(5)</sup>	1568 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	33	65	98	131	164	196
Investimento Total (€)	1179	2265	3034	4394	5038	6196
Investimento Total – Colector Híbrido						
Total - Investimento (€)	2661	4540	6109	8260	9701	11921
Instalação Híbrido (€)	247	495	742	990	1237	1484
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2131	4257	6074	8472	10161	12628

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk))

(3) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) / (4) Fonte: ([www.solarserver.de](http://www.solarserver.de))

(5) Fonte: ([www.pro-umwelt.de](http://www.pro-umwelt.de)) / (6) Fonte: ([www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com))

Tabela D.4 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Sem Cobertura (Monocristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	442	884	1325	1767	2209	2651
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (W <sub>p</sub> )	288	576	864	1152	1440	1728
Preço das Células (€)	878	1757	2635	3514	4392	5270
Preço Inversores (€)	386,4 <sup>(1)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	670 <sup>(3)</sup>	1277 <sup>(4)</sup>	1277 <sup>(5)</sup>	1568 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	39	78	117	157	196	235
Investimento Total (€)	1404	2590	3523	5047	5965	7173
Investimento Total – Colector Híbrido						
Total - Investimento (€)	2886	4865	6597	8913	10628	12898
Instalação Híbrido (€)	247	495	742	990	1237	1484
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2356	4583	6562	9125	11088	13605

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk))

(3) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) / (4) Fonte: ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com))

(5) Fonte: ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com)) / (6) Fonte: ([www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com))

Tabela D.5 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Policristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	442	884	1325	1767	2209	2651
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	180	360	540	720	900	1080
Preço das Células (€)	540	1080	1620	2160	2700	3240
Preço Inversores (€)	400 <sup>(1)</sup>	450 <sup>(2)</sup>	655 <sup>(3)</sup>	670 <sup>(4)</sup>	1203 <sup>(5)</sup>	1423 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	24	49	73	98	122	147
Investimento Total (€)	1064	1679	2448	3028	4125	4910
Investimento Total – Colector Híbrido						
Total - Investimento (€)	2546	3954	5523	6894	8788	10634
Instalação Híbrido (€)	247	495	742	990	1237	1484
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2017	3672	5488	7106	9248	11341

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: (Henze, N. et al, 2007)

(3) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk)) / (4) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de))

(5) Fonte: ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com)) / (6) Fonte: ([www.neue-energie-technik.net](http://www.neue-energie-technik.net))



Tabela D.6 - Investimento inicial - Colector Híbrido Placa – Tubo Com Células Transparentes (Monocristalino).

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	442	884	1325	1767	2209	2651
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1482	2275	3074	3866	4663	5724
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	216	432	648	864	1080	1296
Preço das Células (€)	659	1318	1976	2635	3294	3953
Preço Inversores (€)	400 <sup>(1)</sup>	450 <sup>(2)</sup>	655 <sup>(3)</sup>	670 <sup>(4)</sup>	1277 <sup>(5)</sup>	1164 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	29	59	88	117	147	176
Investimento Total (€)	1188	1927	2820	3523	4818	5393
Investimento Total – Colector Híbrido						
Total - Investimento (€)	2670	4202	5894	7388	9481	11117
Instalação Híbrido (€)	247	495	742	990	1237	1484
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2140	3920	5859	7601	9941	11825

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: (Henze, N. et al, 2007)

(3) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk)) / (4) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de))

(5) Fonte: ([www.skylinesolar.co.uk](http://www.skylinesolar.co.uk)) / (6) Fonte: ([www.pro-umwelt.de](http://www.pro-umwelt.de))

Tabela D.7 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico Suntech STP 240 – 24/V (Policristalino) + colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	530	1060	1590	2120	2651	3181
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	240	480	720	960	1200	1440
Preço Módulos * (€)	780	1560	2340	3120	3900	4680
Preço Inversores (€)	324 <sup>(1)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	670 <sup>(3)</sup>	1099 <sup>(4)</sup>	1164 <sup>(5)</sup>	1568 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	29	59	88	117	147	176
Investimento Total (€)	1237	2380	3208	4449	5327	6544
Investimento Total – Sistema Misto						
Total - Investimento (€)	2807	4832	6547	8669	10432	12798
Instalação Colector Térmico (€)	221	442	663	884	1104	1325
Instalação Módulos Fotovoltaicos (€)	60	120	180	240	300	360
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2246	4617	6613	9015	11059	13706

\* Preço do Módulo: 3,25 €/Wp Fonte: ([www.diresasolar.com](http://www.diresasolar.com))

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk))

(3) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) / (4) Fonte: ([www.shop-muenchner-solarmarkt.de](http://www.shop-muenchner-solarmarkt.de))

(5) Fonte: ([www.pro-umwelt.de](http://www.pro-umwelt.de)) / (6) Fonte: ([www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com))

Tabela D.8 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico Suntech STP 280S – 24/Vb (Monocristalino) + colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	530	1060	1590	2120	2651	3181
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (Wp)	280	560	840	1120	1400	1680
Preço Módulos * (€)	994	1988	2982	3976	4970	5964
Preço Inversores (€)	386,4 <sup>(1)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	670 <sup>(3)</sup>	1277 <sup>(4)</sup>	1277 <sup>(5)</sup>	1568 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	29	59	88	117	147	176
Investimento Total (€)	1518	2819	3866	5505	6537	7860
Investimento Total – Sistema Misto						
Total - Investimento (€)	3089	5271	7206	9724	11642	14115
Instalação Colector Térmico (€)	221	442	663	884	1104	1325
Instalação Módulos Fotovoltaicos (€)	60	120	180	240	300	360
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2443	5056	7271	10071	12269	15023

\* Preço do Módulo: 3,55 €/Wp Fonte:

([www.justlanded.com/english/spain/tools/classifieds/buy\\_and\\_sell/solarmodule\\_photovoltaik\\_grosshandel](http://www.justlanded.com/english/spain/tools/classifieds/buy_and_sell/solarmodule_photovoltaik_grosshandel))

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk))

(3) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) / (4) Fonte: ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com))

(5) Fonte: ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com)) / (6) Fonte: ([www.troquedeenergia.com](http://www.troquedeenergia.com))

- Tabela D.9 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico Mitsubishi PV – MF 185 TD4 (Policristalino) + colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	530	1060	1590	2120	2651	3181
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (W <sub>p</sub> )	185	370	555	740	925	1110
Preço Módulos * (€)	790	1580	2370	3160	3950	4740
Preço Inversores (€)	400 <sup>(1)</sup>	529 <sup>(2)</sup>	655 <sup>(3)</sup>	670 <sup>(4)</sup>	670 <sup>(5)</sup>	1423 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	29	59	88	117	147	176
Investimento Total (€)	1315	2259	3200	4031	4846	6414
Investimento Total – Sistema Misto						
Total - Investimento (€)	2885	4711	6540	8250	9950	12668
Instalação Colector Térmico (€)	221	442	663	884	1104	1325
Instalação Módulos Fotovoltaicos (€)	60	120	180	240	300	360
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2301	4496	6606	8596	10578	13577

\* Preço do Módulo: 790€/módulo Fonte: ([www.fotovoltaiishop.de](http://www.fotovoltaiishop.de))

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de))

(3) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk)) / (4) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de))

(5) Fonte: ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) / (6) Fonte: ([www.neue-energie-technik.net](http://www.neue-energie-technik.net))

Tabela D.10 - Investimento inicial - sistema misto - módulo fotovoltaico SunPower SPR – 210 - BLK + colector solar térmico.

Investimento Parte Térmica						
Área de Colector (m <sup>2</sup> )	1,77	3,53	5,30	7,07	8,84	10,60
Preço Colector (€)	530	1060	1590	2120	2651	3181
Preço do Depósito (€)	551	903	1260	1610	1965	2319
Preço (Grupo de Circulação) (€)	354	354	354	354	354	620
Preço Permutador (€)	135	135	135	135	135	135
Investimento Total (€)	1571	2452	3339	4219	5105	6254
Investimento Parte Fotovoltaica						
Potência Instalada (W <sub>p</sub> )	210	420	630	840	1050	1260
Preço Módulos - (€)	1017	2034	3051	4068	5085	6102
Preço Inversores (€)	324 <sup>(1)</sup>	655 <sup>(2)</sup>	944 <sup>(3)</sup>	944 <sup>(4)</sup>	913 <sup>(5)</sup>	1164 <sup>(6)</sup>
Preço Contador (€)	100	100	100	100	100	100
Registo da Instalação de Microprodução (€)	29	59	88	117	147	176
Investimento Total (€)	1470	2846	4181	5226	6241	7537
Investimento Total – Sistema Misto						
Total - Investimento (€)	3040	5298	7520	9445	11345	13792
Instalação Colector Térmico (€)	221	442	663	884	1104	1325
Instalação Módulos Fotovoltaicos (€)	60	120	180	240	300	360
Incentivo (€) – 30% (≤777€)	777	777	777	777	777	777
Investimento Final (€)	2409	5083	7586	9792	11973	14700

\* Preço do Módulo: 1017€/módulo Fonte: ([www.renewablestore.com.au](http://www.renewablestore.com.au))

(1) Fonte: (Henze, N. et al, 2007) / (2) Fonte: ([www.alternativeenergystore.co.uk](http://www.alternativeenergystore.co.uk))

(3) Fonte: ([www.solarserver.de](http://www.solarserver.de)) / (4) Fonte: ([www.solarserver.de](http://www.solarserver.de))

(5) Fonte: ([www.pro-umwelt.de](http://www.pro-umwelt.de)) / (6) Fonte: ([www.pro-umwelt.de](http://www.pro-umwelt.de))



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL  
[www.fe.up.pt](http://www.fe.up.pt)



FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000100508