Estudo da viabilidade técnico-económica de um sistema para orientação automática de colectores solares planos

Mário Rui Ferreira Abreu de Lobo Coelho

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. Armando Santos

Prof. Joaquim Gabriel

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fevereiro 2009

A todos os meus familiares e amigos,

em especial à minha mãe e à Raquel

Resumo

Com a entrada em vigor dos decretos-lei 79/2006 e 80/2006, RSECE e RCCTE, torna-se obrigatório que, em todos os edifícios abrangidos pelo RCCTE, que possuam orientação entre Sudeste e Sudoeste, com pátio ou telhado sem sombreamento significativo, se instale colectores solares para aquecimento de águas sanitárias, de acordo com o número de habitantes.

Com esta obrigatoriedade e sendo Portugal um dos países da Europa com maior taxa de radiação solar, surgiu um aumento significativo no desenvolvimento e comércio dos vários tipos de colectores.

Este trabalho surge na sequência de uma proposta da empresa Tubo Hidráulica, do grupo Rebelo & Oliveira, Lda., com o intuito de desenvolver um sistema mecânico de natureza óleo-hidráulica, que possibilite a orientação de colectores solares de forma automática, ao invés dos convencionais sistemas eléctricos.

Este projecto tem como principal objectivo o estudo da viabilidade técnico-económica de um sistema mecânico fiável que permita uma orientação automática de um conjunto de colectores concentradores planos, de baixo custo e que permita a captação de uma maior quantidade de energia solar.

Foi efectuado o cálculo horário e diário para a obtenção das percentagens de ganho em relação a um colector solar fixo, procurando-se a optimização dos ângulos de orientação dos colectores.

No final deste estudo o sistema em projecto revelou-se credível nas formas técnica e económica, embora o retorno do capital investido seja alcançado num espaço de tempo considerável.

Abstract

From the moment that the law 79/2006 and 80/2006 RSECE and RCCTE took effect every building within certain conditions should have sun collectors to heat sanitary water.
Being Portugal one of the European countries with a higher rate of solar radiation, this law led to an increasing development and trade of solar collectors.
This work is the result of a proposal made by *Tubo Hidráulica* company – *Rebelo e Oliveira, Lda*. The aim of this work is to develop an oil hydraulic system to orient solar collectors automatically.
The prime motive of this project is to study the technical and economic viability of a mechanic system not only to collect a large amount of solar energy but also to orient a group of flat collectors, at low cost.
An hourly and daily calculus was made to know the profit advantages of this system, always checking up the best angle of the collectors' orientation.
The result of this study is a reliable project both technically and economically, although the refund of the investment could not be reached in a short period of time.

Agradecimentos

A todos os elementos da direcção da Tubo Hidráulica e em especial ao Eng.º Constantino Costa pela oportunidade criada e pelo contínuo interesse em ajudar.

Pela disponibilidade sempre demonstrada agradeço ao Eng.º Manuel Collares Pereira a ajuda imprescindível ao longo de todo este trabalho.

Aos Professores Armando Santos e Joaquim Gabriel pelo conhecimento transmitido e por terem aceite ser meus orientadores neste projecto.

A todos os meus familiares e à minha namorada pelo apoio, conselhos, amizade e paciência demonstrados ao longo do curso e na elaboração deste projecto.

Índice de Conteúdos

1.Enquadramento Teórico…….1

1.1. Fontes Renováveis de Energia……...…….....…....…….....2

1.1.1. Situação em Portugal…...……..…….2

1.2. Energia Solar……..4

1.2.1. Geometria Solar…….6

1.3. Colectores Solares……....12

1.3.1. Colectores CPC……17

1.4. Seguidores Solares……...20

1.5. Estado da Arte……..23

2.Cálculo dos Ganhos Solares……..27

3.Resultados……...34

4.Construção de um Seguidor Solar……52

4.1. Apresentação de um seguidor solar…….....52

4.2. Dimensionamento de um Sistema Hidráulico…….....56

5.Estudo Económico……..66

6.Conclusões……...……73

7.Sugestões para trabalhos futuros…….75

8.Bibliografia…….76

9.Anexos…….78

9.1. Anexo A – Apoio ao Enquadramento Teórico……78

9.2. Anexo B – Apoio ao Cálculo dos Ganhos Solares……...83

9.3. Anexo C – Apoio à secção de Construção de um Seguidor Solar……...92

Índice de Figuras

Figura 1.1 Factores que fazem de Portugal um país propício a investimentos para obtenção de energia através de fontes renováveis. 2

Figura 1.2 Distribuição espectral da radiação presente na atmosfera terrestre 5

Figura 1.3 Composição da radiação solar que atinge a superfície terrestre e as suas respectivas propriedades. 5

Figura 1.4 Esquema ilustrativo da posição do Sol aquando dos Solstícios e Equinócios. Alusão à declinação terrestre e à sua contribuição para diferentes durações dos dias/noites ao longo do ano. 6

Figura 1.5 Esquema explicativo do significado de algumas das variáveis que caracterizam o movimento solar. 8

Figura 1.6 Número de horas de insolação em Portugal Continental (valores médios 1961-1990). 10

Figura 1.7 Sistema de aquecimento de águas sanitárias por termosifão - sistema passivo (à esquerda) e sistema de aquecimento de águas sanitárias por circulação forçada - sistema activo (à direita). 12

Figura 1.8 Distribuição da capacidade mundial em utilização no ano de 2006, por tipo de colector. 14

Figura 1.9 Distribuição das diferentes aplicações de colectores com vidro e tubos de vácuo nos 10 países a nível europeu com maior capacidade instalada no ano de 2006. 14

Figura 1.10 Distribuição das diferentes aplicações de colectores com vidro e tubos de vácuo nos 10 países a nível mundial com maior capacidade instalada no ano de 2006. 15

Figura 1.11 Rendimento de um colector plano em função da temperatura de entrada, temperatura ambiente e radiação incidente. 16

Figura 1.12 Vista em corte de um CPC (à esquerda) e esquematização de espelhos parabólicos (à direita). 17

Figura 1.13 Esquema representativo de um espelho em corte e respectivas áreas para cálculo da razão de concentração. 17

Figura 1.14 Esquemas representativos do funcionamento de concentradores parabólicos ($15 < RC < 50$) e esféricos ($100 < RC < 1000$). 18

Figura 1.16 Painel solar movido por dois conjuntos pinhão – cremalheira, accionados por pequenos motores eléctricos. 21

Figura 1.17 Pormenor de um seguidor solar com motores eléctricos segundo os dois eixos de rotação. 21

Figura 1.18 Seguidor solar com dois cilindros hidráulicos e um motor eléctrico / hidráulico. 22

Figura 1.19 Utilização de cilindros hidráulicos para seguimento solar de painéis fotovoltaicos. 24

Figura 1.20 Pormenor de acumuladores hidráulicos (função de amortecimento) para diminuir possíveis esforços provenientes de factores externos, *e.g.* vento. 25

Figura 1.21 Pormenor de cilindros e respectiva unidade hidráulica para orientação automática de colectores solares parabólicos. 25

Figura 2.1 Forma de interligação entre as várias células, bem como da dependência de variáveis exteriores a esta folha (indicadas nas setas para baixo). 29

Figura 3.1 Variação do número teórico de horas de luz solar em cada mês para a cidade de Bragança. 34

Figura 3.2 Variação do número teórico de horas de luz solar em cada mês para a cidade de Faro. 34

Figura 3.3 Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Bragança. 38

Figura 3.4 Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade do Porto. 41

Figura 3.5 Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Lisboa. 44

Figura 3.6 Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Évora. 47

Figura 3.7 Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Faro. 50

Figura 4.1 Colector plano concentrador – CPC 3E+ da empresa *ao sol*. 52

Figura 4.2 Conjunto de 12 CPC e possível estrutura de suporte constituída por perfis rectangulares (tubulares) ligados por um veio principal a uma base mono–poste. 53

Figura 4.3 Perfil rectangular 140x90x7 usado para a estrutura do conjunto de colectores. 53

Figura 4.4 Perfis de alumínio (à esquerda) e perfis de aço para suporte principal e fixação de outros elementos importantes (à direita) 54

Figura 4.6 Valores médios anuais da velocidade do vento na cidade do Porto entre 1961-1990. 56

Figura 4.7 Diagrama de corpo livre relativo às forças que actuam no colector, na situação mais desfavorável de $\beta = 90º$. 59

Figura 4.8 Representação das variáveis necessárias ao dimensionamento de um cilindro hidráulico. 60

Figura 4.9 Cilindro utilizado da marca Bosch Rexroth, ref.ª CDH2MP3/63/45/500A1X/B1CFUMTC, com o pormenor da secção do transdutor interno. 61

Figura B.1 Código em linguagem *Visual Basic* que permite a determinação do ângulo do azimute hora a hora, de forma automática. Parte I. 88

Figura B.2 Código em linguagem *Visual Basic* que permite a determinação do ângulo do azimute hora a hora, de forma automática. Parte II. 89

Figura B.3 Código em linguagem *Visual Basic* que permite a determinação do ângulo β de hora a hora, de forma automática. 90

Figura B.4 Aspecto geral de uma folha de Excel usada para o cálculo da radiação global incidente horária, diária e mensal. 91

Figura C.1 Esquema hidráulico para montagem dos vários componentes necessários à movimentação da estrutura segundo dois graus de liberdade (um pelo cilindro e outro pelo motor hidráulico). 92

Figura C.2 Desenho técnico do cilindro utilizado para a alteração do ângulo β do conjunto de colectores.....93

Figura C.3 Excerto do catálogo do motor hidráulico escolhido. Ref.ª OMSS200-E-4-Z08. 94

Figura C.4 Excerto do catálogo do redutor escolhido. Modelo RR 1700D FS, com uma relação de transmissão de 43,89. 95

Figura C.5 Características técnicas do travão hidráulico utilizado. O travão é representado no desenho pelo componente de cor cinzenta. Modelo RF 5/21 65. 96

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 Diferenças de comportamento térmico para diferentes tipos de colector, atendendo à característica da existência de vidro e de tubo de vácuo 13

Tabela 2.1 Valores da declinação terrestre (células sombreadas) e número teórico de horas de luz solar (restantes células) num ano com 365 dias. Latitude em radianos, 41º - cidade do Porto.....27

Tabela 2.2 Valores de ângulo horário (ah) referentes a cada hora TSV, durante um dia 28

Tabela 2.4 Excerto da folha de cálculo da radiação global incidente numa superfície fixa, no primeiro dia do mês de Janeiro 30

Tabela 2.5 Excerto da folha de cálculo da radiação global incidente numa superfície com ângulo β fixo e ângulo do azimute variável de hora a hora, no primeiro dia do mês de Janeiro 31

Tabela 2.8 Aspecto de um excerto de uma folha de Excel utilizada para o cálculo da radiação global incidente 33

Tabela 3.1 Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Bragança 37

Tabela 3.2 Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Bragança 39

Tabela 3.3 Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade do Porto 40

Tabela 3.4 Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade do Porto.....42

Tabela 3.5 Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Lisboa 43

Tabela 3.6 Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Lisboa...45

Tabela 3.7 Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Évora.....46

Tabela 3.8 Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Évora....48

Tabela 3.9 Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Faro 49

Tabela 3.10 Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Faro 51

Tabela 4.1 Excerto da escala criada por *Sir Francis Beaufort*, caracterizando apenas o vento de acordo com a sua velocidade (km.h-1) 56

Tabela 5.1 Valores da fracção mensal para a cidade de Faro, usando os valores de radiação incidente obtidos pela folha de cálculo em Microsoft Excel apresentada na secção de Cálculo dos Ganhos Solares 68

Tabela 5.2 Energia fornecida pelo sistema solar, de acordo com as considerações realizadas, bem como o investimento adicional necessário para garantir a movimentação do sistema.....69

Tabela A.1 Taxas de utilização de fontes renováveis na energia de consumo, em vários países da Europa, bem como os valores globais do conjunto de vários países [2] 78

Tabela A.2 Distinção da capacidade instalada em vários países, de acordo com o tipo de colector e tipo de fluido usado 79

Tabela A.3 Cálculo da produtividade dos colectores solares térmicos, bem como o equivalente em litros de petróleo e consequente redução das emissões de CO2. Foram usados sistemas para aquecimento de águas, espaços e piscinas.....82

Tabela B.1 Valores da declinação da Terra (células sombreadas) e número de horas de luz solar para cada dia do ano (células a branco). Valor da latitude em radianos, neste caso 42º - cidade de Bragança 83

Tabela B.2 Número de horas de luz solar para a cidade de Lisboa, 38,4º de latitude, nas células a branco. Nas células sombreadas encontra-se o valor da declinação terrestre, igual para qualquer local no planeta 84

Tabela B.3 Número de horas de luz solar num ano com 365 dias para a cidade de Évora, latitude de 38,3º, nas células sem sombreamento 85

Tabela B.4 Valores do número de horas de luz solar para cada dia de um ano de 365 dias na cidade de Faro, latitude de 37º, indicados nas células sem sombreamento 86

Tabela B.5 Excerto dos valores de radiação numa superfície horizontal para a cidade do Porto, durante dois dias, no mês de Janeiro 87

Lista de símbolos

Símbolo	Terminologia	Unidades
A	Área característica (área de exposição ao vento)	[m^2]
A_c	Área de colectores	[m^2]
A_{ab}	Área de abertura do espelho	[m^2]
A_{rec}	Área de recepção dos raios solares	[m^2]
a	Azimute	[º]
ah	Ângulo horário	[º]
$azimute_{superf.}$	Ângulo do azimute da superfície	[º]
$azimute_{solar}$	Ângulo do azimute solar	[º]
$braço_c$	Distância mínima do ponto de cálculo do momento ao vector da força do cilindro	[m]
$braço_v$	Distância mínima do ponto de cálculo do momento ao vector da força de arrasto do vento	[m]
cp	Calor específico da água	[J.kg^{-1}.ºC^{-1}]
C_D	Coeficiente de arrasto	[-]
D	Número de horas de luz solar	[-]
$E_{fornecida}$	Energia fornecida pelo sistema solar	[kWh]
f_{mensal}	Fracção solar do sistema de colectores	[-]
F	Força de arrasto	[N]
F'	Força de arrasto para metade da área	[N]
$F_{cilindro}$	Valor mínimo da força teórica do cilindro	[N]
$F_{cilindro\_avanço}$	Força de trabalho do cilindro no avanço	[N]
$F_{cilindro\_recuo}$	Força de trabalho do cilindro no recuo	[N]
F_R'	Rendimento que depende do tipo de permutador de calor	[-]
h	Altura Solar	[º]
h	Altura da estrutura ao chão	[m]
i	Ângulo formado entre a normal ao plano da superfície e o sol	[º]
$\overline{I_\beta}$	Radiação incidente média mensal	[J.m^{-2}]
$I_{glob,\beta}^{hora}$	Radiação global diária	[J.h^{-1}.m^{-2}]
$I_{directa,\ H}$	Radiação directa em superfície horizontal	[J.h^{-1}.m^{-2}]

$I_{difusa,\ H}$	Radiação difusa em superfície horizontal	[J.h^{-1}.m^{-2}]
$I_{global,\ H}$	Radiação directa e difusa em superfície horizontal	[J.h^{-1}.m^{-2}]
K_c	Factor de perdas	[W.m^{-2}.ºC^{-1}]
M_F	Momento causado pela força de arrasto	[N.m]
$M_{resistente}$	Momento com coeficiente de segurança	[N.m]
M_{motor}	Momento disponível pelo motor hidráulico	[N.m]
$M_{motor/redutor}$	Momento teórico mínimo do conjunto motor/redutor	[N.m]
$M'_{motor/redutor}$	Momento disponível pelo conjunto motor/redutor	[N.m]
$M_{travão/redutor}$	Momento disponível pelo conjunto travão/redutor	[N.m]
$m_{aço}$	Massa do perfil em alumínio	[kg]
$m_{alumínio}$	Massa do perfil em aço	[kg]
N	Número de dias do mês	[-]
N	Coeficiente de segurança	[-]
$n_{motor\ eléctrico}$	Velocidade de rotação do motor eléctrico	[rpm]
$n_{motor\ hidráulico}$	Velocidade de rotação do motor hidráulico	[rpm]
$n_{redutor}$	Velocidade de rotação do redutor planetário	[rpm]
$P_{motor\ eléctrico}$	Potência do motor eléctrico	[W]
p	Variação de pressão	[bar]
$Q_{aquecimento}$	Energia necessária para satisfazer as necessidades de consumo	[J]
$\dot{Q}_{útil}$	Potência útil	[W]
$\dot{Q}_{incidente}$	Potência incidente	[W]
T_{amb}	Temperatura ambiente	[ºC]
$T_{cons.}$	Temperatura de consumo da água	[ºC]
T_e	Temperatura de entrada	[ºC]
$\bar{T}_{ext}$	Temperatura média ambiente	[ºC]
T_{rede}	Temperatura da água de abastecimento da rede	[ºC]
V_g	Cilindrada da bomba	[cm^3.rot^{-1}]
V_{gm}	Cilindrada do motor hidráulico	[cm^3.rot^{-1}]
v	Velocidade do vento	[m.s^{-1}]
$v_{avanço}$	Velocidade de trabalho do cilindro no avanço	[m.s^{-1}]
v_{recuo}	Velocidade de trabalho do cilindro no recuo	[m.s^{-1}]
$\dot{V}$	Caudal de óleo	[l.min^{-1}]

Δa	Variação de azimute	[º]
β	Ângulo formado entre a horizontal e a superfície	[º]
δ	Declinação	[º]
Φ	Latitude	[º]
η_{mh}	Rendimento mecânico - hidráulico	[-]
η_v	Rendimento volumétrico	[-]
η	Rendimento	[-]
λ	Longitude	[º]
ρ	Reflectividade do solo	[-]
$\rho_{aço}$	Massa volúmica do aço	[kg.m^{-1}]
$\rho_{alumínio}$	Massa volúmica do alumínio	[kg.m^{-1}]
ρ_{ar}	Massa volúmica do ar	[kg.m^{-1}]
$Ø_A$	Diâmetro do êmbolo do cilindro	[m]
$Ø_H$	Diâmetro da haste do cilindro	[m]
$\overline{\tau\alpha}$	Transmissibilidade e absorção média do colector	[-]

Lista de Abreviaturas

Sigla	Terminologia
CO_2	Dióxido de Carbono
CPC	Colector Plano Concentrador
ET	Equação do Tempo
GEE	Gases de Efeito de Estufa
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
IEA	*Internacional Energy Agency*
NE	Nordeste
NW	Noroeste
PLC	*Programmable Logic Controller*
PME	Pequenas e Médias Empresas
RC	Razão de Concentração
RCCTE	Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios
RSECE	Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
TSM	Tempo Solar Médio
TSV	Tempo Solar Verdadeiro
TS	Tempo Solar
TL	Tempo Legal
TRNSYS	*TRaNsient SYstem Simulation Program*
WMO	*World Metereological Organization*

1. Enquadramento Teórico

"O recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios abrangidos pelo RCCTE é obrigatório sempre que haja uma exposição solar adequada (...) em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste (...) que não sejam sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso"[1].

Reunindo as obrigatoriedades implementadas pelos novos regulamentos que procuram obter uma melhor eficiência energética dos edifícios, com as questões do uso dos combustíveis fósseis e as consequentes preocupações ao nível ambiental, tem surgido uma maior atenção de vários organismos de forma a alcançarem uma maior produção de energia através de fontes renováveis.

O corrente projecto surge para fazer face ao desenvolvimento e às fortes apostas que se têm vindo a verificar na utilização de novas tecnologias para o aproveitamento da energia solar, utilizando um conjunto de colectores planos que seguem a posição do Sol ao longo do dia segundo dois graus de liberdade, utilizando um sistema óleo-hidráulico.

No final deste documento são apresentados resultados, com base numa situação hipotética, para várias cidades de Portugal, que mostram os ganhos conseguidos com a aplicação de um seguidor solar, bem como o esquema de um conjunto mecânico possível de ser executado.

Este projecto surge no âmbito da disciplina Tese/Projecto da opção de Energia Térmica do curso de Mestrado Integrado de Engenharia Mecânica, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e foi realizado com a colaboração da empresa Tubo Hidráulica.

1.1. Fontes Renováveis de Energia

São variadas as razões para que hoje em dia existam alguns países no Mundo a tentarem diminuir a dependência dos combustíveis fósseis. Como exemplo, a preocupação no cumprimento do protocolo de *Kyoto* tendo em vista as metas ambientais, a redução das emissões de carbono e o consumo crescente do principal produto – o petróleo.

Cada país pode assim, usando os recursos disponíveis, diminuir a dependência dos combustíveis fósseis e investir em parques eólicos, uso de colectores solares para aquecimento de águas domésticas, produção de biomassa e aproveitamento da energia de ondas e/ou marés. Na Tabela A.1 em anexo, é possível observar a percentagem de energia final para consumo (8,5%), que vários países da Europa conseguiram obter durante o ano de 2005 através de fontes renováveis de energia [2].

1.1.1. Situação em Portugal

No que diz respeito às fontes renováveis de energia, Portugal possui grande abundância na oferta, ao contrário das energias fósseis que têm de ser maioritariamente importadas. No diagrama a seguir apresentado pode-se analisar as características que fazem de Portugal um país com elevado potencial na oferta de recursos renováveis de energia.

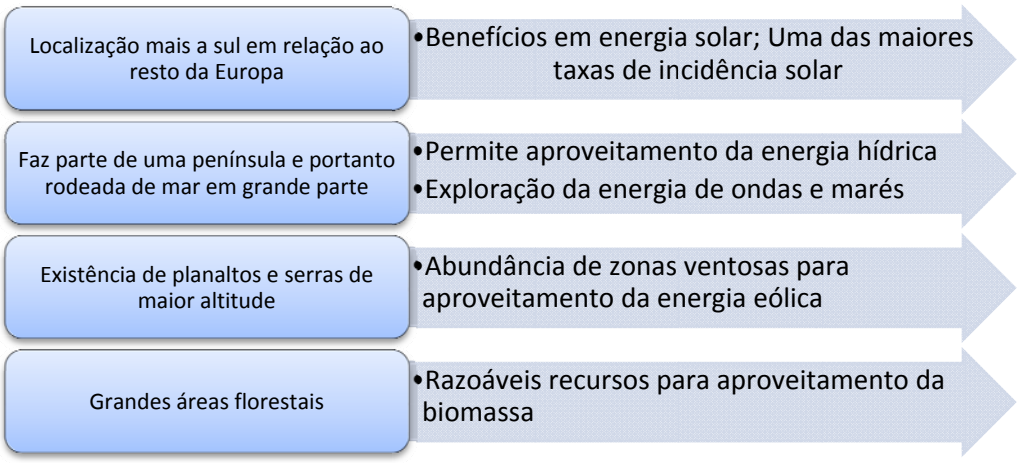


Figura 1.1
Factores que fazem de Portugal um país propício a investimentos para obtenção de energia através de fontes renováveis.

De acordo com o relatório anual da *IEA WIND ENERGY de Julho de 2008*, Portugal em 2007 conseguiu produzir cerca de 36,4 % de electricidade a partir de fontes renováveis de energia, uma das percentagens mais altas na Europa. Estes valores mostram bem o potencial do país e do crescimento do sector.

Neste momento assiste-se a um grande desenvolvimento e aplicação de tecnologias capazes de aproveitar essa oferta, sem ter que recorrer à importação, tendo-se já aplicado instalações para produção de grandes quantidades de energia solar e eólica, começando também agora a investir-se em tecnologias inovadoras para aproveitamento da energia das ondas, como é o caso do *Pelamis*, instalado ao largo da cidade da Póvoa de Varzim – Parque da Aguçadoura, primeiro parque mundial para aproveitamento da energia das ondas [3].

Apesar de se tratarem de fontes renováveis de energia, é importante salientar que é necessário existir bom senso no que respeita a uma possível desflorestação ou ao desaparecimento de uma dada aldeia para instalação de uma central solar ou eólica e de uma central hidroeléctrica, respectivamente. Todos esses impactes têm de ser ponderados e analisados pelas entidades competentes.

De acordo com o protocolo de *Kyoto*, os países mais desenvolvidos devem até ao ano 2012 (comparando com os valores de 1990) reduzir os níveis de emissão de gases de efeito de estufa (GEE) em 5,2%. Neste momento é possível concluir que os países mais ricos não vão cumprir esta meta traçada. Assim sendo, o novo objectivo é de até 2050 reduzir os níveis GEE em 80%. É de extrema importância realçar que este é outro ponto onde as fontes renováveis de energia podem representar um ponto de viragem desta situação mundial.

De salientar que existe desde Setembro de 2006 uma medida que permite às pequenas e médias empresas (PME) recorrer a um mercado de emissões de carbono - uma espécie de bolsa onde se compram e vendem licenças para emissão de carbono, a preço variável [4].

Por outro lado existe também a hipótese do país recorrer a mecanismos de desenvolvimento limpo; uma medida criada aquando do protocolo de *Kyoto* que permite a determinados países beneficiar da redução das emissões de carbono verificada em países em desenvolvimento. Para isso, deve-se investir em projectos de fontes renováveis de energia ou na gestão sustentável de florestas nos países em desenvolvimento [5].

1.2. Energia Solar

O Sol é uma estrela com um diâmetro de $13{,}9\times10^{5}$ km, composta por vários gases e que se encontra distanciada do planeta Terra de $14{,}7\times10^{10}$ m. De acordo com todas as suas características, pode concluir-se que o Sol é como um reactor capaz de transformar hidrogénio em hélio (99,3%) e os restantes 0,7% em energia na forma de raios-gama. Esta energia é absorvida e reemitida a temperaturas cada vez mais baixas até atingir a superfície, maioritariamente na forma de luz visível. Na superfície do Sol a temperatura ronda os 5800 K. Esta temperatura elevadíssima resulta de um processo de transformação do hidrogénio e faz da energia solar a forma de energia mais abundante na Terra. De referir que a energia eólica está dependente do Sol, tal como a luz natural, a chuva e até a nossa própria existência.

A energia resultante da fusão dos núcleos dos átomos de hidrogénio em núcleos de hélio, é libertada para o espaço sob a forma de energia electromagnética com uma velocidade próxima dos 300.000 $km.s^{-1}$. Esta energia ao atingir a atmosfera terrestre pode ser absorvida ou reflectida pelos vários componentes. De acordo com a expressão seguinte é possível obter um valor aproximado da intensidade da radiação solar.

$$\mathrm{I} = \frac{\text{Pot. emitida}}{\text{Superfície}} = 1{,}4 \qquad [\mathrm{kW.m^{-2}}]$$

Contudo, observando os dados da *World Metereological Organization* (WMO) a radiação solar incidente sobre uma superfície perpendicular ao eixo Terra - Sol, situada no topo da atmosfera, é de 1367 $W.m^{-2}$ e designa-se por constante solar. Apesar do nome constante, é um valor que depende da distância do Sol à Terra, variando portanto ao longo do ano à medida que a Terra descreve a órbita em torno do Sol. Esta radiação apresenta uma distribuição espectral como a indicada na Figura 1.2.

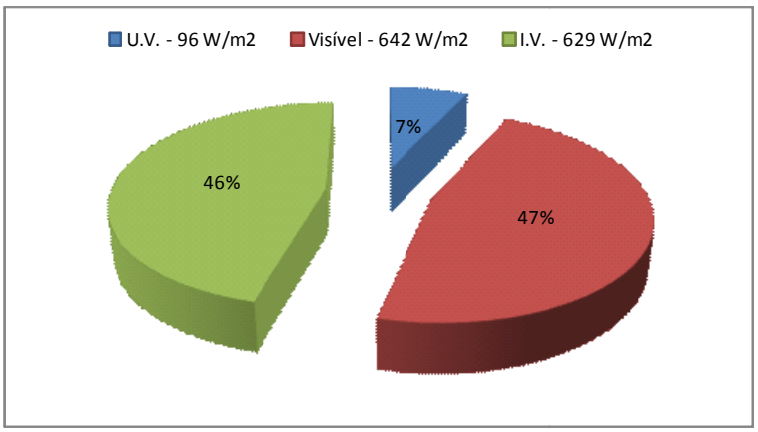


Figura 1.2
Distribuição espectral da radiação presente na atmosfera terrestre

Após atravessar a atmosfera, num dia de céu relativamente limpo, a radiação solar que chega à superfície terrestre ronda os 1000 $W.m^{-2}$, cerca de 30% menos que a incidente no topo da atmosfera. Para além da divisão da radiação solar em diferentes comprimentos de onda, a radiação que atinge o solo pode também ser decomposta em três componentes, como apresentado na Figura 1.3.

Directa	Difusa	Reflectida
• Atinge directamente a superfície, vinda directamente do sol	• Desviada em diferentes direcções pelos componentes atmosféricos, nomeada mente as nuvens; é a única que existe em dias de céu nublado	• Proveniente da reflexão no solo e objectos circundantes. A reflectividade no solo designa-se por albedo (ρ) e depende apenas da composição e cor do solo (existência de neve, vegetação, etc.)

Figura 1.3
Composição da radiação solar que atinge a superfície terrestre e as suas respectivas propriedades.

Para além dos factores já enumerados que fazem do Sol um bem essencial nas nossas vidas, acrescenta-se ainda um facto curioso relativo à energia que este envia para a Terra: em menos de uma hora, o Sol envia para a Terra tanta energia quanto a humanidade consome num só ano, cerca de 10^{14} kWh [6].

1.2.1. Geometria Solar

A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, encontrando-se este num dos focos. O plano que contém esta trajectória (e a de todos os planetas) denomina-se plano da eclíptica - a razão deste nome advém do facto dos eclipses somente serem possíveis quando a Lua se encontra muito próxima desse plano.

Além de rodar em torno do Sol, a Terra roda sobre o seu próprio eixo durante 24h, completando a órbita elíptica em torno do Sol em 365 dias e 6 horas. De quatro em quatro anos acerta-se o calendário com um ano bissexto, de 366 dias.

No solstício de Verão, a duração do dia é maior do que a da noite, visto que o Sol se encontra sobre o Trópico de Câncer, nascendo quase a NE (Nordeste) e pondo-se quase a NW (Noroeste). No solstício de Inverno, a declinação da Terra é igual, mas de sinal contrário, logo a duração do dia é menor do que a da noite, encontrando-se o sol sobre o Trópico de Capricórnio. Já durante os equinócios da Primavera e do Outono, os dias têm a mesma duração da noite porque nestes casos a declinação terrestre é nula, nascendo o Sol a Este e pondo-se a Oeste.

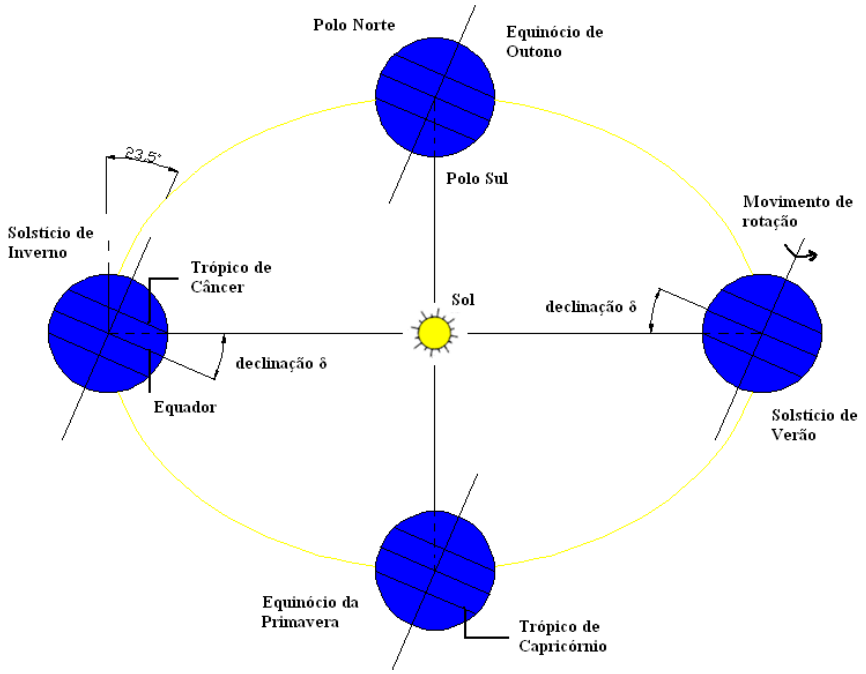


Figura 1.4
Esquema ilustrativo da posição do Sol aquando dos Solstícios e Equinócios. Alusão à declinação terrestre e à sua contribuição para diferentes durações dos dias/noites ao longo do ano.

Para descrever a posição relativa entre o Sol e a Terra existe um sistema equatorial horário, formado por duas coordenadas:

- Declinação (δ): ângulo entre o plano equatorial e o plano da eclíptica que varia desde -23º27' e 23º27' entre o solstício de Dezembro e de Junho.

$$\delta = 23{,}45 \cdot sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \qquad [º] \qquad \text{(eq. 1.1)}$$

sendo *n* o dia respectivo do ano para o cálculo pretendido

- Ângulo horário (*ah*): ângulo entre o plano meridional do lugar e o círculo horário (plano meridiano solar). Uma rotação da Terra (24h) corresponde a 360º de ângulo horário, assim sendo a cada 15º corresponde uma hora. O valor de zero representa o meio-dia em tempo solar. É negativo de manhã e positivo de tarde.

$$ah = 15 \cdot (\mathrm{TSV} - 12) \qquad [º] \qquad \text{(eq. 1.2)}$$

sendo TSV – tempo solar verdadeiro (horas), hora indicada nos relógios de Sol

O tempo solar (TS) não é uniforme porque a velocidade de translação da Terra também não é, como tal o meio-dia solar de dois dias consecutivos não se dão no mesmo tempo terrestre. Assim sendo, existe outra escala de tempo – tempo legal (TL) – que é uniforme e corresponde ao tempo aceite oficialmente em cada país. Para se proceder à conversão entre as duas escalas, considera-se que a Terra translada a velocidade uniforme – tempo solar médio (TSM) [7]. A equação do tempo (ET) é a equação capaz de converter o tempo solar em tempo legal e vice-versa, sendo expressa em minutos.

$$\mathrm{ET} = 229{,}18 \cdot \left(0{,}000075 + 0{,}001868 \cdot \cos(\gamma) - 0{,}032077 \cdot \mathrm{sen}(\gamma) - 0{,}014615 \cdot \cos(2\gamma) - 0{,}0 \cdot \mathrm{sen}(2\gamma)\right) \qquad \text{(eq. 1.3)}$$

$$\text{com} \qquad \gamma = \frac{2\pi}{365}(n - 1)$$

A equação que permite fazer a conversão dos tempos, a partir da longitude (λ) de um dado local, usando como referência o meridiano de Greenwich é:

$$\mathrm{TSV} = \mathrm{TL} + \frac{\lambda}{15} + \frac{\mathrm{ET}}{60} - \theta \qquad \text{(eq. 1.4)}$$

Atendendo a que vários países da Europa, usam uma hora de Verão e uma hora de Inverno, então é necessário entrar com esse factor, para a conversão do tempo solar em tempo legal. Na equação 1.4 a variável θ, serve para corrigir essas mudanças de hora, tomando o valor de 0 ou 1.

Voltando novamente à caracterização da posição solar, existem mais duas coordenadas, designadas como coordenadas horizontais. São elas a altura solar e o azimute solar.

- Altura solar (h)

$$sen(h) = sen(\delta) \cdot sen(\phi) + cos(\delta) \cdot cos(\phi) \cdot cos(ah) \qquad \text{(eq. 1.5)}$$

sendo ϕ a latitude do local pretendido

- Azimute (a): ângulo no plano entre o Sul geográfico e a posição do Sol.

$$sen(a) = \frac{cos\ (\delta) \cdot sen\ (ah)}{cos\ (h)} \qquad \text{(eq. 1.6)}$$

Na Figura 1.5 é possível observar o que representam as várias coordenadas referidas até ao momento, que caracterizam a posição do Sol relativamente à Terra.

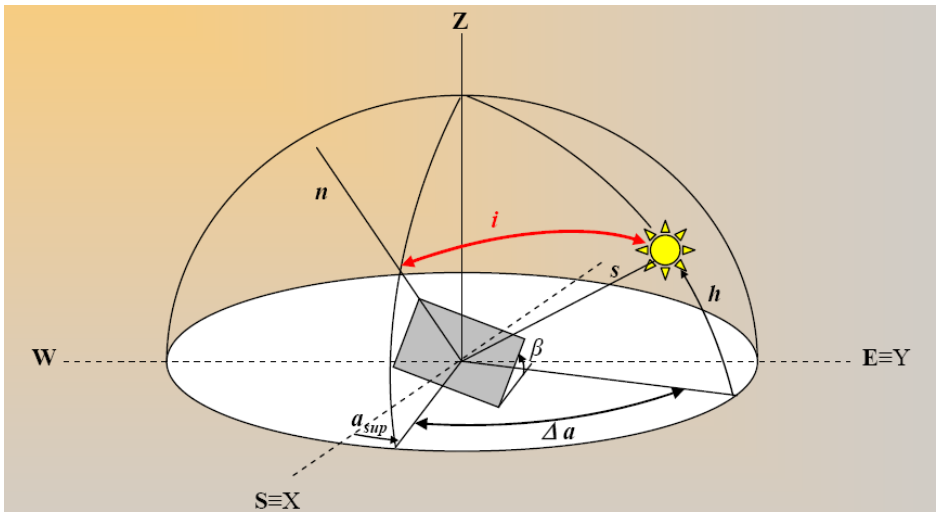


Figura 1.5
Esquema explicativo do significado de algumas das variáveis que caracterizam o movimento solar.

(Fonte: Oliveira, A., Acetatos de apoio às aulas da disciplina de Energias Renováveis, parte solar, 2007/08)

A declinação da Terra varia dia após dia, mas a altura solar e o azimute são duas coordenadas que variam ao longo de um dia inteiro. Com estas duas coordenadas consegue-se determinar em qualquer instante do dia, a posição do Sol e fazer uso disso para o cálculo *e.g.* de sombreamentos. Através de cartas solares, é possível para um dado local saber de uma forma bastante intuitiva, quais os períodos de sombra devido a um dado obstáculo.

Neste projecto, atendendo à não existência de um local específico para aplicação do problema, não serão abordadas questões de sombreamentos.

Observando a Figura 1.5, verifica-se a existência de duas coordenadas ainda não referidas.

$$\Delta a = \left| azimute_{superf.} - azimute_{solar} \right| \qquad \text{(eq. 1.7)}$$

Neste projecto pretende-se que Δa seja sempre que possível, igual a zero. Isto significa que a superfície receptora dos raios solares se encontra com o mesmo azimute do Sol.

O ângulo assinalado como i, é o ângulo formado entre a normal ao plano da superfície e o Sol, podendo ser calculado com base na equação 1.8, sendo β o ângulo formado entre a horizontal e a superfície.

$$\begin{aligned} cos(i) = {} & sen(\delta) \cdot [sen(\phi) \cdot cos(\beta) - cos(\phi) \cdot sen(\beta) \cdot cos(azimute_{superf})] + cos(\delta) \\ & \cdot [cos(\phi) \cdot cos(\beta) + sen(\phi) \cdot sen(\beta) \cdot cos\left(azimute_{superf}\right) \cdot cos(ah) \\ & + cos(\delta) \cdot sen(\beta) \cdot sen\left(azimute_{superf}\right) \cdot sen(ah) \end{aligned}$$

(eq. 1.8)

Recorrendo apenas à latitude e à declinação terrestre, é possível calcular o número de horas diurnas, durante um dia. Durante um ano completo, este número varia de mês para mês, existindo meses em que a duração do dia é inferior à duração da noite. Através da equação 1.9 é possível obter esses valores.

$$D = \frac{2}{15} cos^{-1}[-tan(\phi) \cdot tan(\delta)] \qquad [h] \qquad \text{(eq. 1.9)}$$

Este valor do número de horas diurnas é um valor teórico, pois apenas depende de propriedades geográficas, contudo, as condições climatológicas é que ditam o número de horas de luz solar. Em Portugal, o valor médio anual deste número de horas decresce, em

termos gerais, de sul para norte, com a altitude, e de leste para oeste, tal como se pode observar na Figura 1.6.

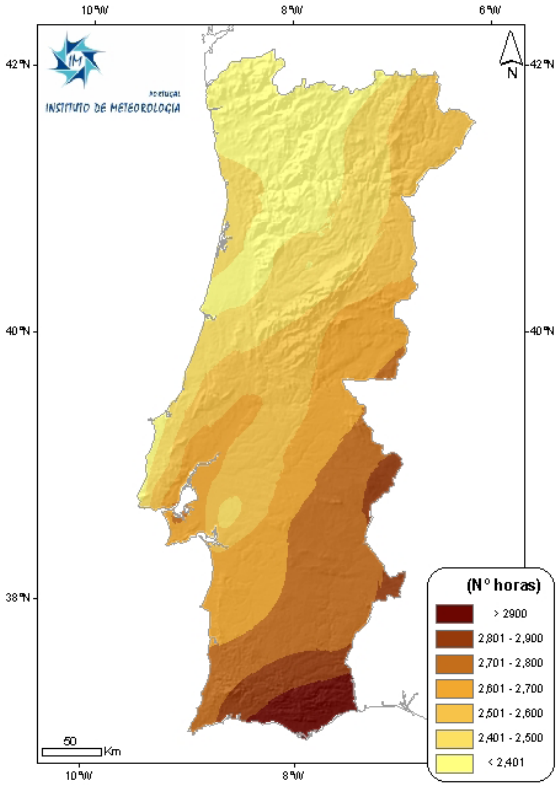


Figura 1.6
Número de horas de insolação em Portugal Continental (valores médios 1961-1990).

(Fonte: Perfil Climático – Portugal Continental (1961-1990), Instituto de Meteorologia)

Por último, é apresentada a equação que permite a obtenção da radiação global diária $\left(I_{glob,\beta}^{hora}\right)$, sob a forma de energia, incidente numa superfície.

$$I_{glob,\beta}^{hora} = I_{directa,\ H} \cdot \frac{\cos \bar{\imath}}{\sin \bar{h}} + I_{difusa,\ H} \cdot \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho \cdot I_{global,\ H} \cdot \frac{1-\cos\beta}{2} \qquad [\mathrm{J.h^{-1}.m^{-2}}]$$

(eq. 1.10)

$I_{directa,\ H}$ – Valor da radiação directa incidente numa superfície horizontal

$I_{difusa,\ H}$ – Valor da radiação difusa incidente numa superfície horizontal

$I_{global,\ H}$ – Valor da radiação difusa e difusa incidente numa superfície horizontal

ρ – Valor do albedo

Na equação 1.10 faz-se um balanço dos vários tipos de radiação multiplicados por combinações de variáveis de posição que influenciam cada tipo de radiação e consequentemente, a energia disponível.

Para este cálculo devem ser conhecidos os valores de radiação instantânea (ou horária) em superfície horizontal para cada local de estudo pretendido. Na simulação consideraram-se os valores médios durante cada hora para a radiação e para a posição do Sol.

1.3. Colectores Solares

O colector solar é sem dúvida o componente central e de maior peso económico numa instalação de captação de energia solar para aquecimento de água. Trata-se de um dispositivo capaz de captar a radiação solar e transferir a energia para um fluido, que é geralmente água, mas também pode ser um óleo, óleo misturado com água, ar ou outro fluido, dependendo da temperatura pretendida para o funcionamento do sistema e das condições climatéricas do local.

No final de 2006, a energia recolhida por colectores solares térmicos instalados em 48 países foi de 76,959 kWh (277,054 TJ). Isto corresponde a um consumo equivalente de 12,5 biliões de litros de petróleo que permitiram uma poupança de 34,1 milhões de toneladas de CO_2. Estes valores consideram apenas os sistemas a água [8].

De acordo com dados da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), a União Europeia pretende até 2010 instalar 100 milhões de m^2.

Actualmente existe um grande leque de opções para a instalação de sistemas solares térmicos. Essencialmente estes sistemas são constituídos por uma dada área de colectores solares, um acumulador (regra geral assistido por resistências eléctricas) e as respectivas tubagens de ligação. Os sistemas podem ser passivos ou activos, dependendo da colocação do acumulador em relação ao colector e recorrendo ou não a sistemas eléctricos para circulação do fluido na instalação. A Figura 1.7 mostra a diferença entre um sistema passivo e activo, destacando a posição do acumulador e a consequente necessidade ou não de um sistema forçado de circulação do fluido.

Figura 1.7
Sistema de aquecimento de águas sanitárias por termosifão - sistema passivo (à esquerda) e sistema de aquecimento de águas sanitárias por circulação forçada - sistema activo (à direita).

(Fonte: RR Energy Solutions)

Os sistemas solares térmicos podem ter várias aplicações:

- Aquecimento de águas domésticas (banhos e cozinhas);
- Aquecimento de piscinas (cobertas ou ao ar livre);
- Aquecimento ambiente (distribuição de calor por água ou ar);
- Arrefecimento ambiente (usando um sistema de absorção);
- Secagem (usando uma baixa temperatura, por exemplo para produtos agrícolas).

Dependendo da finalidade escolhida, devemos seleccionar o colector que melhor se adapta às necessidades. Os colectores planos podem ou não possuir um vidro (simples/duplo). Não existindo vidro as perdas são bastante elevadas, mas o preço do equipamento é mais baixo; estes sistemas adequam-se por exemplo para o aquecimento de piscinas. Um colector com vidro duplo e com boas características de selectividade, tem perdas térmicas reduzidas, conseguindo-se um valor mínimo de perdas para os colectores que possuem tubos de vácuo. A existência do vidro duplo permite obter perdas menores, mas origina um rendimento óptico (característica de absorção/transmissibilidade) ligeiramente inferior quando comparado com o mesmo colector usando vidro simples. A Tabela 1.1 mostra valores de rendimentos ópticos e de coeficiente de perdas para diferentes tipos de colectores.

Tabela 1.1
Diferenças de comportamento térmico para diferentes tipos de colector, atendendo à característica da existência de vidro e de tubo de vácuo

Tipo de colector	**Rendimento Óptico**	**Coeficiente de perdas** ($W.m^{-2}.ºC^{-1}$)
plano sem vidro	0,94	20 – 25
plano com vidro simples, não selectivo	0,8	7 - 8
plano com vidro simples, selectivo	0,8	4 - 5
plano com vidro duplo, selectivo	0,72	3 - 4
plano com tubo de vácuo, selectivo	0,8	1 - 2

Apesar de serem mais caros, os colectores com tubos de vácuo são os mais utilizados, tal como se pode observar pela Figura 1.8. Contudo, no ano de 2006 e de acordo com os dados recolhidos por *IEA Solar Heating & Cooling Programme* [8], Portugal apenas instalou colectores planos com vidro. Esta informação pode ser consultada no Anexo A, Tabela A.2.

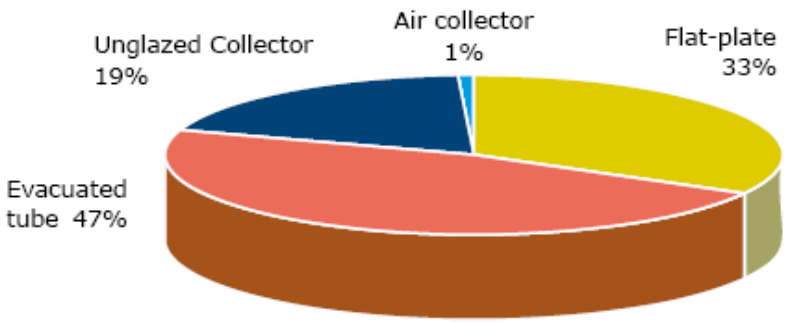


Figura 1.8
Distribuição da capacidade mundial em utilização no ano de 2006, por tipo de colector.

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

De acordo com os dados estatísticos da mesma fonte, em 2006, a principal aplicação dos colectores solares térmicos a nível europeu e mundial foi o aquecimento de águas domésticas em casas particulares. Estes dados podem ser observados na Figura 1.9 e Figura 1.10.

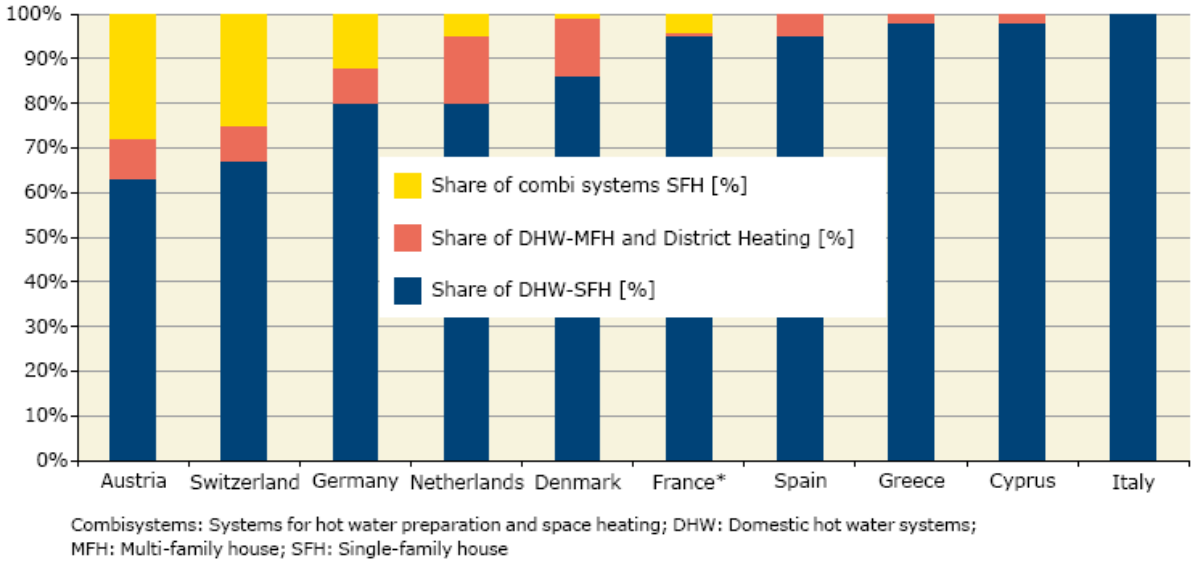


Figura 1.9
Distribuição das diferentes aplicações de colectores com vidro e tubos de vácuo nos 10 países a nível europeu com maior capacidade instalada no ano de 2006.

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

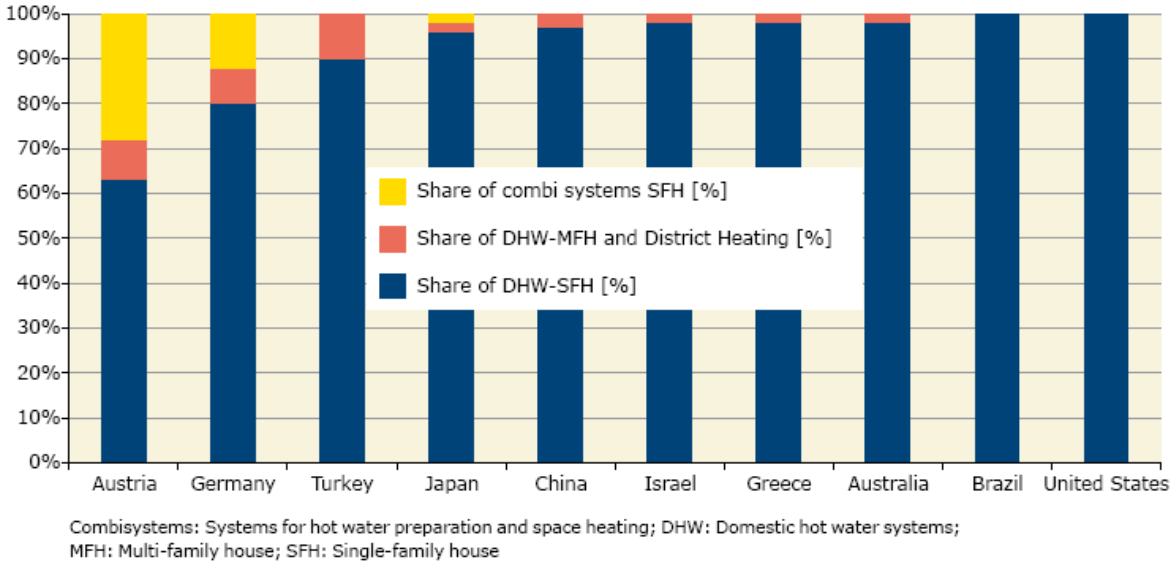


Figura 1.10
Distribuição das diferentes aplicações de colectores com vidro e tubos de vácuo nos 10 países a nível mundial com maior capacidade instalada no ano de 2006.

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

No Anexo A, da Figura A.1 até à Figura A.3 é possível visualizar vários gráficos que mostram os países com maior capacidade instalada, a nível mundial, de colectores solares térmicos com e sem vidro. Na Tabela A.3 é possível observar qual a área de colectores instalados em vários países, bem como a redução na emissão de CO_2 que esses colectores permitiram, em termos de consumo equivalente em litros de petróleo.

Na associação de mais do que um colector existe a possibilidade da ligação em série ou em paralelo, podendo existir uma combinação de ambos os conceitos.

- Série – Apenas se utiliza quando se pretende uma temperatura de saída maior, já que o rendimento diminui com o aumento da temperatura do fluido à entrada;
- Paralelo – Permite obter igual rendimento em todos os colectores.

O rendimento destes colectores pode ser obtido pela expressão abaixo descrita e apresenta a variação indicada na Figura 1.11.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{útil}}{\dot{Q}_{incidente}} \quad \text{sendo} \quad \dot{Q}_{útil} = \dot{Q}_{absorvido} - \dot{Q}_{perdas} \qquad \text{(eq. 1.11)}$$

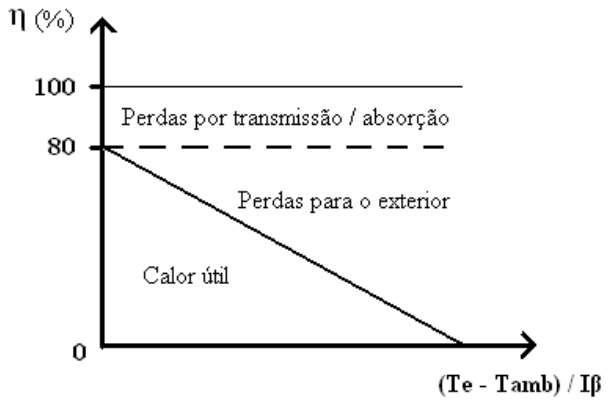


Figura 1.11
Rendimento de um colector plano em função da temperatura de entrada, temperatura ambiente e radiação incidente.

1.3.1. Colectores CPC

Os colectores planos e concentradores – CPC, são casos particulares de colectores planos que permitem que o fluido atinja temperaturas mais elevadas. Tal como o nome indica, possuem dispositivos inerentes à construção do próprio colector que concentram os raios solares numa dada zona. A Figura 1.12 mostra a imagem de um CPC em corte e faz alusão à forma como os espelhos parabólicos fazem o aproveitamento dos vários raios solares, direccionando-os para os tubos do colector. Os CPC mais simples podem ser fixos, ter duas inclinações para um ano ou possuir um ajuste mensal/diário.

Para o estudo deste projecto foi seleccionada esta última opção: colector CPC com ajuste diário/horário. O principal motivo para a escolha deste tipo de colector térmico recai sobretudo no facto de permitir atingir mais elevadas, com alto rendimento. Nestes colectores o fluido pode atingir temperaturas entre os 100 e 150ºC, podendo chegar aos 250ºC com a utilização de tubos de vácuo [7].

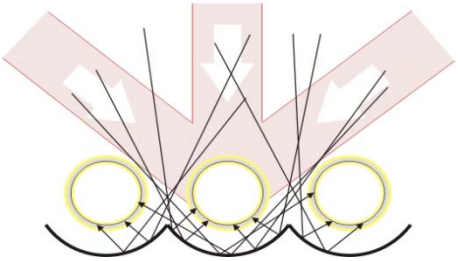
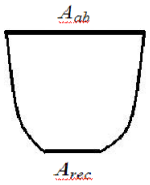


Figura 1.12
Vista em corte de um CPC (à esquerda) e esquematização de espelhos parabólicos (à direita).

Uma importante característica dos colectores concentradores é a sua razão de concentração (RC), dependente das áreas de abertura do espelho e de recolha dos raios solares. Nos casos de colectores concentradores, a razão de concentração é sempre superior a 1.

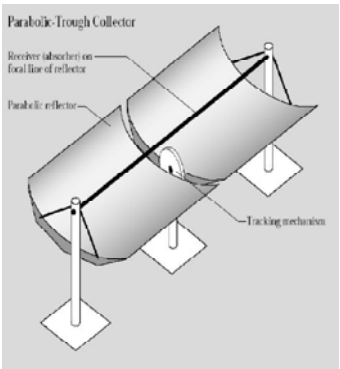


$$RC = \frac{A_{ab}}{A_{rec}} \qquad \text{(eq. 1.12)}$$

Figura 1.13
Esquema representativo de um espelho em corte e respectivas áreas para cálculo da razão de concentração.

Outra característica técnica muito importante neste tipo de colectores é o seu ângulo de aceitação. Este ângulo surge devido ao perfil parabólico dos espelhos e está relacionado com a captação dos raios solares. Sempre que a radiação directa esteja com um ângulo *i* igual ou inferior ao ângulo de aceitação, o colector solar capta esta radiação. Caso *i* seja superior ao ângulo de aceitação, significa que os raios solares não serão captados pelos espelhos.

Para aplicações que exijam grandes capacidades de aquecimento e consequentemente maiores áreas, existem ainda os concentradores parabólicos ou esféricos. Não são mais do que conjuntos de espelhos capazes que rodarem sobre um eixo ao longo de um dia (dois eixos no caso dos esféricos), concentrado os raios solares num tubo situado próximo do eixo de rotação e aquecendo o fluido no seu interior.



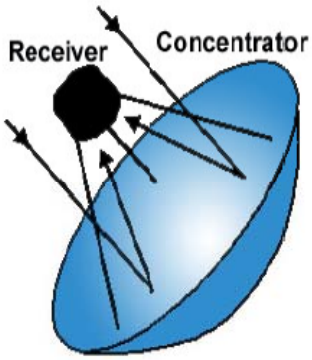


Figura 1.14
Esquemas representativos do funcionamento de concentradores parabólicos ($15 < RC < 50$) e esféricos ($100 < RC < 1000$).

(Fonte: Oliveira, A., Acetatos de apoio às aulas da disciplina de Energias Renováveis, parte solar, 2007/08)

Estes sistemas, juntamente com os sistemas de Torre Solar são bastante utilizados não para produção de águas quentes, mas sim para gerar electricidade. Aproveitam as altas temperaturas do fluido, fazendo-o passar por uma turbina que por sua vez acciona um gerador eléctrico. Nos sistemas de Torre Solar, existem centenas de espelhos planos que seguem a posição do Sol ao longo do dia, direccionando os raios solares para o cimo da torre. Em instalações com grandes áreas de espelhos, podem atingir-se temperaturas na ordem dos 500 ºC. A esta temperatura caso uma pequena nuvem se interponha entre os espelhos e o Sol, pode acontecer a nuvem vaporizar-se.

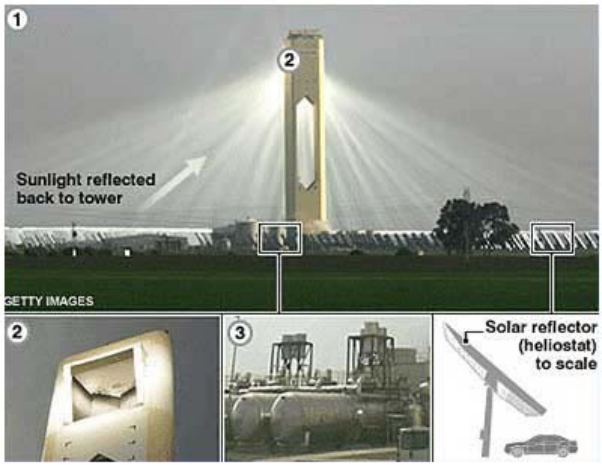


Figura 1.15

Concentração dos raios solares na Torre Solar (1000 <*RC*< 3000).

(Fonte: Torre Solar, Sevilha - www.energiaspain.com)

Os colectores concentradores constituem uma importante tecnologia para a produção de energia eléctrica e a meta mundial prevê a instalação de 100 mil MW até ao ano 2025. Algumas projecções económicas prevêem a viabilidade de construção de centrais deste tipo na Grécia, Itália, Portugal, Áustria, Brasil, Libéria, Tunísia e China [9].

1.4. Seguidores Solares

Actualmente os seguidores existentes estão sobretudo aplicados em parques com painéis fotovoltaicos. No entanto existem também os sistemas concentradores solares (parabólicos e esféricos) e os sistemas da torre solar que usam seguidores solares na movimentação dos espelhos.

A melhor forma dos painéis captarem uma maior quantidade de energia solar é a de serem adaptados para rodarem segundo dois eixos. Um que permita o acompanhamento com a orientação Norte – Sul, para acompanhar as variações da altura do Sol (seguimento polar) e outro, que permita uma orientação segundo Este – Oeste capaz de seguir a trajectória do Sol (seguimento azimutal). Alguns sistemas apenas têm orientação Este – Oeste e estão fixos em relação à altura do Sol num ângulo de compromisso, que ou é permanente ou ajustado manualmente ao longo do tempo para compensar a variação da altura solar com as estações do ano.

Num sistema fixo ao longo do ano, os maiores ganhos são conseguidos aquando da passagem do Sol por posições que originem maior perpendicularidade dos raios solares relativamente aos painéis/colectores. Aquando da fixação do painel/colector, escolhe-se assim uma orientação de compromisso que consiga de uma forma geral aproveitar as horas de maior radiação, bem como também algumas horas de menor valor de radiação incidente.

Ao utilizar-se um sistema seguidor, procura-se que o painel/colector esteja a receber os raios solares com a maior perpendicularidade possível, procurando-se para isso que o ângulo de incidência (i) no painel/colector seja o mais próximo do valor de zero graus. Este ângulo pode ser calculado pela equação 1.8 da secção de Geometria Solar deste documento.

Na secção de Resultados deste documento, pode-se analisar as diferenças de ganhos solares obtidos por sistemas fixos e por diferentes tipos de sistemas seguidores (um ou dois eixos).

Os primeiros sistemas para orientação de painéis surgiram na forma de engrenagens, pinhão-cremalheira, sendo muito limitados no que respeita à variação do ângulo em causa e à capacidade para suportar o peso. A fotografia ilustrada na Figura 1.16 evidencia o conjunto pinhão–cremalheira para cada um dos eixos.

Figura 1.16
Painel solar movido por dois conjuntos pinhão – cremalheira, accionados por pequenos motores eléctricos.

Posteriormente surgiram os sistemas eléctricos, onde os moto-redutores (motores acoplados a redutores) são actualmente os mais utilizados devido ao preço e fiabilidade, desde que a dimensão do painel não comprometa o desgaste do motor e redutor. Para grandes dimensões de painéis, os binários resultantes de esforços exteriores podem danificar o motor e redutor. As engrenagens (*e.g.* dos redutores), vão ganhando folga à medida que são sujeitas a oscilações, pela força do vento, deixando de conseguir garantir a posição do painel.

Figura 1.17
Pormenor de um seguidor solar com motores eléctricos segundo os dois eixos de rotação.

(Fonte: Seguidor Solar - www.waveyear.pt)

Os sistemas óleo-hidráulicos surgem para dar resposta à implementação de painéis com grandes áreas (aproximadamente 100 m^2), sem que isso se torne prejudicial para o sistema hidráulico. É uma forma de energia que suporta facilmente forças elevadas e oscilações, conseguindo "fixar" o painel numa dada posição.

Figura 1.18
Seguidor solar com dois cilindros hidráulicos e um motor eléctrico/hidráulico.

(Fonte: Seguidor Solar - www.martifer.pt)

Nos EUA foi realizado um estudo sobre as várias hipóteses possíveis na aplicação de sistemas mecânicos de seguidores solares. Este estudo baseou-se nos aspectos positivos e negativos de cada um, bem como o custo total do equipamento. Como conclusões deste estudo, os sistemas hidráulicos aparecem com aspectos positivos como: possibilidade de aplicação em diferentes tipos de terreno, trabalham com uma fonte central de potência e não possuem restrições físicas. Em aspectos negativos surgem: os problemas de manutenção, a existência de uma servo–válvula em cada seguidor, obrigatoriedade de pessoal especializado para a montagem e o custo total do equipamento [10].

Na secção de Construção de um Seguidor Solar presente neste documento são analisados vários parâmetros inerentes à construção de um seguidor solar, como por exemplo ter conhecimento de algumas características técnicas e o respectivo preço.

1.5. Estado da Arte

Em Portugal, são poucas as empresas que se encontram a trabalhar na área de seguidores solares. Existe a *Waveyear*, a *Martifer*, a *FF Solar* e a *Solar Blaser*, sendo que as duas últimas não têm origem portuguesa.

As inovações são ainda muito pouco notórias, atendendo a que a maior parte das empresas que têm instalado seguidores solares no nosso país são empresas espanholas com ou sem filial em Portugal.

As empresas *FF Solar* (Aljezur) e a *Solar Blaser* (Pedras Pardas) disponibilizam os mesmos modelos de seguidores solares para o mercado, usando apenas um eixo de rotação, para painéis fotovoltaicos de 4 até 15 m^2. Segundo informação disponibilizada por estas duas empresas, o ganho anual com a colocação destes sistemas situa-se em média entre os 25 e os 35%, dependendo da localização e podem chegar até aos 55% durante os meses de Verão, comparativamente com os sistemas fixos. Este sistema apresenta seguimento azimutal através de um motor eléctrico e ajuste manual no seguimento polar.

O grupo *Martifer Energy Systems*, segundo informação disponibilizada pela empresa, apresenta uma solução com dois graus de liberdade, mono - poste, tendo já experimentado sistemas totalmente eléctricos ou óleo-hidráulicos para o seguimento azimutal e apenas óleo - hidráulico para o seguimento polar. Com variações de azimute de -120º a 120º e seguimento polar de 0º a 50º, verificam um acréscimo de 30% na produção de energia em relação a um sistema fixo.

A empresa *Waveyear* apresenta sistemas eléctricos para rotação dos painéis em ambos os eixos, tal como referido na secção 1.4.

Como facto importante sobre a instalação de seguidores solares em território nacional, em Março de 2008 a inauguração no concelho de Moura da maior central solar do mundo, até à data da construção, em potência instalada e capacidade de produção. Este conjunto de painéis fotovoltaicos possui 2520 seguidores solares com 104 painéis solares cada. Este parque é propriedade da empresa espanhola *Acciona*.

Em Espanha existe ainda a *Mecasolar* (Navarra), uma empresa que desenha, fabrica e distribui seguidores solares de dois eixos e que segundo a mesma, permitem aumentar em 35% a produção de energia solar fotovoltaica em relação aos painéis fixos. Também em Espanha, situada em Valladolid, encontra-se a *Mecapisa* que possui uma patente em

seguidores solares, relativa a um sistema de orientação segundo dois eixos, mas usando apenas um motor e não um motor para cada movimento segundo um dado eixo. Esta empresa abriu recentemente uma filial em Portugal (Alfândega da Fé) onde tenciona divulgar e vender este produto, aplicável em painéis com uma área máxima de 80 m^2, que exige tempos menores de paragens e de manutenção, bem como de menores custos, tudo devido à eliminação de um motor e introdução de uma barra bi-articulada.

Estes sistemas seguidores pesam 1400 kg (sem painéis), realizam variações de azimute entre -120º e 120º e seguimento polar de 8º a 60º e todo o conjunto permite aguentar com ventos até 140 $km.h^{-1}$ na posição mais desfavorável.

Usando sistemas de natureza óleo-hidráulica para seguimento solar, existe em Espanha a *HispanoTracker* (Abaran–Murcia), que tenta com esta tecnologia sobressair ao resto de mercado.

Figura 1.19
Utilização de cilindros hidráulicos para seguimento solar de painéis fotovoltaicos.

(Fonte: Seguidor Solar - www.hispanotracker.es)

Este sistema é único e patenteado. Elimina as rodas de coroa dos seguidores tradicionais, substituindo por dois cilindros, cada um com amortecedores, para que possíveis esforços resultantes de rajadas de vento possam ser reduzidos.

Figura 1.20
Pormenor de acumuladores hidráulicos (função de amortecimento) para diminuir possíveis esforços provenientes de factores externos, *e.g.* vento.

(Fonte: Acumuladores hidráulicos - www.hispanotracker.es)

Caso a pressão aumente significativamente no interior do circuito hidráulico, derivado de condições atmosféricas adversas, o sistema está programado para colocar o painel na posição horizontal, paralela ao chão, protegendo o painel e enviando simultaneamente um SMS ou e-mail de alarme [11].

Figura 1.21
Pormenor de cilindros e respectiva unidade hidráulica para orientação automática de colectores solares parabólicos.

(Fonte: Technology for Solar Thermal Power Stations by BoschRexroth)

De acordo com informação gentilmente disponibilizada pelo Sr. Eng.º Manuel Collares Pereira, a *InSpira* (localizada em Espanha e Estados Unidos) é uma empresa dedicada ao desenvolvimento e comércio de seguidores solares bastante reconhecida mundialmente.

Como curiosidade, em Taipei–Taiwain segundo um artigo científico publicado, os ganhos conseguidos nesta região pela colocação de seguidores solares, apenas segundo um só eixo, andam na ordem dos 37,8 e os 60,8% entre as quatro estações do ano e cerca de 49,3% ao longo de um ano inteiro, comparativamente com a produção de um painel fixo [12].

Na secção seguinte deste documento, encontra-se explicada uma possível forma de cálculo para a obtenção dos valores de radiação incidente numa superfície que acompanhe o movimento do Sol segundo um e dois graus de liberdade.

2. Cálculo dos Ganhos Solares

Para o cálculo dos ganhos solares foi utilizado um modelo, baseado nas expressões matemáticas já referidas na secção de geometria solar, cuja solução foi obtida com o auxílio da folha de cálculo Microsoft Excel®. As cidades escolhidas para este estudo foram: Bragança, Porto, Lisboa, Évora e Faro pelas suas distintas distribuições geográficas no país e consequentes ofertas de radiação solar. Os dados de radiação solar relativos a cada cidade foram retirados do programa de cálculo TRNSYS, correspondendo a valores médios obtidos durante um período de 10 anos.

Os ganhos solares foram calculados procurando a melhor combinação entre os ângulos de azimute da superfície e o ângulo β do conjunto de colectores, de forma a acompanhar o movimento do Sol em azimute e altura, respectivamente.

Inicialmente realizou-se uma folha de cálculo que fornece o valor da declinação da Terra para todos os dias de um ano, bem como o número de horas diurnas. Para realizar este procedimento foram utilizadas as eqs.1.1 e 1.9 referenciadas na secção de geometria solar. Na Tabela 2.1 é possível observar um exemplo desta folha de cálculo, para a cidade do Porto.[1]

Tabela 2.1
Valores da declinação terrestre (células sombreadas) e número teórico de horas dirnas (restantes células) num ano com 365 dias. Latitude em radianos, 41º - cidade do Porto

LATITUDE	0,717

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Declinação Jan.	-23,01	-22,93	-22,84	-22,75	-22,65	-22,54	-22,42	-22,30	-22,17	-22,04	-21,90	-21,75	-21,60	-21,44	-21,27	-21,10	-20,92	-20,73	-20,54	-20,34	-20,14	-19,93	-19,71	-19,49	-19,26	-19,03	-18,79	-18,55	-18,30	-18,04	-17,78
Janeiro	9,10	9,11	9,13	9,14	9,15	9,17	9,19	9,20	9,22	9,24	9,26	9,28	9,31	9,33	9,35	9,38	9,40	9,43	9,46	9,48	9,51	9,54	9,57	9,60	9,63	9,67	9,70	9,73	9,76	9,80	9,83
Declinação Fev.	-17,52	-17,25	-16,97	-16,69	-16,40	-16,11	-15,82	-15,52	-15,21	-14,90	-14,59	-14,27	-13,95	-13,62	-13,29	-12,95	-12,62	-12,27	-11,93	-11,58	-11,23	-10,87	-10,51	-10,15	-9,78	-9,41	-9,04	-8,67			
Fevereiro	9,87	9,91	9,94	9,98	10,02	10,05	10,09	10,13	10,17	10,21	10,25	10,29	10,33	10,37	10,41	10,46	10,50	10,54	10,58	10,63	10,67	10,71	10,76	10,80	10,85	10,89	10,94	10,98			
Declinação Mar.	-8,29	-7,91	-7,53	-7,15	-6,76	-6,38	-5,99	-5,60	-5,20	-4,81	-4,41	-4,02	-3,62	-3,22	-2,82	-2,42	-2,02	-1,61	-1,21	-0,81	-0,40	0,00	0,40	0,81	1,21	1,61	2,02	2,42	2,82	3,22	3,62
Março	11,03	11,07	11,12	11,16	11,21	11,25	11,30	11,35	11,39	11,44	11,49	11,53	11,58	11,63	11,67	11,72	11,77	11,81	11,86	11,91	11,95	12,00	12,05	12,09	12,14	12,19	12,23	12,28	12,33	12,37	12,42
Declinação Abr.	4,02	4,41	4,81	5,20	5,60	5,99	6,38	6,76	7,15	7,53	7,91	8,29	8,67	9,04	9,41	9,78	10,15	10,51	10,87	11,23	11,58	11,93	12,27	12,62	12,95	13,29	13,62	13,95	14,27	14,59	
Abril	12,47	12,51	12,56	12,61	12,65	12,70	12,75	12,79	12,84	12,88	12,93	12,97	13,02	13,06	13,11	13,15	13,20	13,24	13,29	13,33	13,37	13,42	13,46	13,50	13,54	13,59	13,63	13,67	13,71	13,75	
Declinação Mai.	14,90	15,21	15,52	15,82	16,11	16,40	16,69	16,97	17,25	17,52	17,78	18,04	18,30	18,55	18,79	19,03	19,26	19,49	19,71	19,93	20,14	20,34	20,54	20,73	20,92	21,10	21,27	21,44	21,60	21,75	21,90
Maio	13,79	13,83	13,87	13,91	13,95	13,98	14,02	14,06	14,09	14,13	14,17	14,20	14,24	14,27	14,30	14,33	14,37	14,40	14,43	14,46	14,49	14,52	14,54	14,57	14,60	14,62	14,65	14,67	14,69	14,72	14,74
Declinação Jun.	22,04	22,17	22,30	22,42	22,54	22,65	22,75	22,84	22,93	23,01	23,09	23,15	23,21	23,27	23,31	23,35	23,39	23,41	23,43	23,44	23,45	23,45	23,44	23,42	23,40	23,37	23,34	23,29	23,24	23,18	
Junho	14,76	14,78	14,80	14,81	14,83	14,85	14,86	14,87	14,89	14,90	14,91	14,92	14,93	14,94	14,94	14,95	14,96	14,96	14,96	14,96	14,96	14,96	14,96	14,96	14,96	14,95	14,95	14,94	14,93	14,93	
Declinação Jul.	23,12	23,05	22,97	22,89	22,80	22,70	22,59	22,48	22,36	22,24	22,11	21,97	21,83	21,67	21,52	21,35	21,18	21,01	20,82	20,64	20,44	20,24	20,03	19,82	19,60	19,38	19,15	18,91	18,67	18,42	18,17
Julho	14,92	14,91	14,89	14,88	14,87	14,85	14,84	14,82	14,80	14,79	14,77	14,75	14,73	14,70	14,68	14,66	14,63	14,61	14,58	14,56	14,53	14,50	14,47	14,44	14,41	14,38	14,35	14,32	14,29	14,25	14,22
Declinação Ago.	17,91	17,65	17,38	17,11	16,83	16,55	16,26	15,96	15,67	15,36	15,06	14,74	14,43	14,11	13,78	13,45	13,12	12,79	12,45	12,10	11,75	11,40	11,05	10,69	10,33	9,97	9,60	9,23	8,86	8,48	8,10
Agosto	14,18	14,15	14,11	14,08	14,04	14,00	13,97	13,93	13,89	13,85	13,81	13,77	13,73	13,69	13,65	13,61	13,56	13,52	13,48	13,44	13,39	13,35	13,31	13,26	13,22	13,18	13,13	13,09	13,04	13,00	12,95
Declinação Set.	7,72	7,34	6,96	6,57	6,18	5,79	5,40	5,01	4,61	4,22	3,82	3,42	3,02	2,62	2,22	1,81	1,41	1,01	0,61	0,20	-0,20	-0,61	-1,01	-1,41	-1,81	-2,22	-2,62	-3,02	-3,42	-3,82	
Setembro	12,91	12,86	12,81	12,77	12,72	12,68	12,63	12,58	12,54	12,49	12,44	12,40	12,35	12,30	12,26	12,21	12,16	12,12	12,07	12,02	11,98	11,93	11,88	11,84	11,79	11,74	11,70	11,65	11,60	11,56	
Declinação Out.	-4,22	-4,61	-5,01	-5,40	-5,79	-6,18	-6,57	-6,96	-7,34	-7,72	-8,10	-8,48	-8,86	-9,23	-9,60	-9,97	-10,33	-10,69	-11,05	-11,40	-11,75	-12,10	-12,45	-12,79	-13,12	-13,45	-13,78	-14,11	-14,43	-14,74	-15,06
Outubro	11,51	11,46	11,42	11,37	11,32	11,28	11,23	11,19	11,14	11,09	11,05	11,00	10,96	10,91	10,87	10,82	10,78	10,74	10,69	10,65	10,61	10,56	10,52	10,48	10,44	10,39	10,35	10,31	10,27	10,23	10,19
Declinação Nov.	-15,36	-15,67	-15,96	-16,26	-16,55	-16,83	-17,11	-17,38	-17,65	-17,91	-18,17	-18,42	-18,67	-18,91	-19,15	-19,38	-19,60	-19,82	-20,03	-20,24	-20,44	-20,64	-20,82	-21,01	-21,18	-21,35	-21,52	-21,67	-21,83	-21,97	
Novembro	10,15	10,11	10,07	10,03	10,00	9,96	9,92	9,89	9,85	9,82	9,78	9,75	9,71	9,68	9,65	9,62	9,59	9,56	9,53	9,50	9,47	9,44	9,42	9,39	9,37	9,34	9,32	9,30	9,27	9,25	
Declinação Dez.	-22,11	-22,24	-22,36	-22,48	-22,59	-22,70	-22,80	-22,89	-22,97	-23,05	-23,12	-23,18	-23,24	-23,29	-23,34	-23,37	-23,40	-23,42	-23,44	-23,45	-23,45	-23,44	-23,43	-23,41	-23,39	-23,35	-23,31	-23,27	-23,21	-23,15	-23,09
Dezembro	9,23	9,21	9,20	9,18	9,16	9,15	9,13	9,12	9,11	9,09	9,08	9,07	9,07	9,06	9,05	9,05	9,04	9,04	9,04	9,04	9,04	9,04	9,04	9,04	9,04	9,05	9,06	9,06	9,07	9,08	9,09

[1] No Anexo B, é possível observar as folhas de cálculo relativas às restantes cidades, atendendo a que os valores da declinação terrestre são iguais para qualquer cidade.

Realizando-se o somatório anual do número teórico de horas diurnas para cada cidade, chega-se ao número de 4380 horas, sendo igual para todas as cidades em estudo. Surgem pequenas diferenças nos valores mensais que acabam por se compensar anualmente, originando um total constante, como seria de esperar. Devido à relativa proximidade entre o local de maior latitude e o de menor latitude em estudo neste projecto, entre 37º para Faro e 42º para Bragança, as diferenças horárias mensais não são muito significativas, sendo analisadas na secção de resultados deste documento.

Existindo já os valores da declinação terrestre para cada cidade em estudo, é possível então prosseguir os cálculos para a obtenção dos ganhos solares, sendo importante definir uma referência temporal. Estes foram feitos em tempo solar verdadeiro, de modo a poderem ser aplicados a países que não Portugal, sem que exista a questão da diferença entre fusos horários. Usando-se o TSV como base temporal, pode calcular-se o ângulo horário *ah* (º) segundo a equação 1.2 e apresentado como indica a Tabela 2.2, de acordo com cada hora do dia.

Tabela 2.2
Valores de ângulo horário (ah) referentes a cada hora TSV, durante um dia

Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180

De seguida, e tendo como principal objectivo o cálculo da radiação global horária incidente numa superfície, usando a equação 1.10, torna-se necessário obter o valor de variáveis que influenciam a radiação global incidente. Como estas variáveis alteram de hora a hora, é necessário que a sua disposição na folha de cálculo acompanhe as variações do ângulo horário, bem como do β e do azimute da superfície ao longo de cada dia. É o caso do *cos (i)* e do *sen (h)*, que podem ser calculados pelas equações 1.8 e 1.5, respectivamente. Apresenta-se na Tabela 2.3 um exemplo de cálculo para um dia, neste caso dia um do mês.

Tabela 2.3
Aspecto de um excerto da folha de cálculo do Microsoft Excel utilizada para obtenção da radiação global incidente sobre uma superfície

Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180

1	beta																									
	az. sup																									
	sen h																									
	cos i																									Total diário
	I hora glob																									0,00

As células do ângulo β e do azimute da superfície encontram-se com sombreamento amarelo para se destacaram do resto das variáveis, pois neste estudo são as variáveis de entrada para a realização dos cálculos. O conteúdo destas células modificar-se-á várias vezes de forma directa ao longo do trabalho a fim de se obter os resultados pretendidos para o seguimento solar. Nas restantes células o conteúdo também varia, mas de forma indirecta, visto que possuem as fórmulas já aqui referidas anteriormente, não sendo mais alteradas.

Na Figura 2.1 é possível observar um esquema do modo como as variáveis se encontram interligadas entre si, de acordo com as equações 1.5, 1.8 e 1.10 da secção de geometria solar.

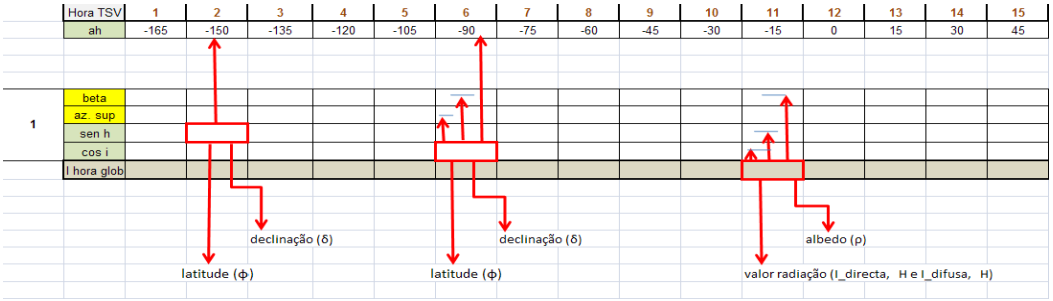


Figura 2.1
Forma de interligação entre as várias células, bem como da dependência de variáveis exteriores a esta folha (indicadas nas setas para baixo).

Para a obtenção da latitude do local em estudo e da declinação terrestre, existe uma ligação desta folha de cálculo com a folha de cálculo representada na Tabela 2.1. Os valores de radiação de cada cidade encontram-se numa outra folha, devido ao seu elevado número de dados, estando organizados por mês e por cidade. No Anexo B, Tabela B.5 encontra-se um excerto deste tipo de dados retirados do TRNSYS. O valor do albedo (ρ) foi considerado como sendo 0,4, possuindo contudo uma célula própria onde pode ser alterado, não sendo incluído directamente na fórmula da radiação global incidente. No cálculo da radiação global horária incidente foram experimentados vários valores para as variáveis que influenciam o seu resultado, tendo em conta quatro considerações:

- colector fixo com β igual/próximo da latitude;
- colector com β igual à latitude e azimute variável;
- colector com β e azimute variáveis;
- colector com β e azimute variáveis usando valores médios mensais.

De forma a possibilitar o melhor entendimento deste raciocínio, a descrição de cada etapa será argumentada evidenciando as diferenças entre as quatro considerações realizadas.

Primeira consideração: colector fixo com β igual/próximo da latitude

No primeiro cálculo efectuado considerou-se os colectores solares fixos durante o ano, sendo o ângulo β igual (ou próximo) da latitude da cidade em estudo e o ângulo de azimute igual a zero, isto é, com a orientação do Sul geográfico. Esta situação funcionará como referência para os restantes cálculos. Na Tabela 2.4 encontra-se um exemplo de como devem ser preenchidas as células relativas aos ângulos β e azimute da superfície para a situação da cidade do Porto.

Tabela 2.4
Excerto da folha de cálculo da radiação global incidente numa superfície fixa, no primeiro dia do mês de Janeiro

Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180

1	beta	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,927	-0,858	-0,747	-0,604	-0,436	-0,257	-0,077	0,090	0,233	0,344	0,413	0,437	0,413	0,344	0,233	0,090	-0,077	-0,257	-0,436	-0,604	-0,747	-0,858	-0,927	-0,951	
	cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,460	0,650	0,796	0,888	0,920	0,888	0,796	0,650	0,460	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,921	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	269,32	1431,58	2277,99	2139,83	2638,44	2120,65	1568,04	456,13	356,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13258,52

Segunda consideração: colector com β igual à latitude e azimute variável

O segundo cálculo consistiu em ter o colector solar com o mesmo ângulo β fixo que no cálculo anterior durante o ano inteiro, mas tendo o ângulo do azimute da superfície a variar de hora a hora, acompanhando o movimento do Sol desde que nasce até ao ocaso (entre Este e Oeste).

Para o cálculo do azimute poderia ser usada a equação 1.6. Contudo, ao usar-se uma fórmula fixa para a célula do azimute, deixaria de ser possível de o considerar como variável de entrada. Desta forma, o ângulo óptimo do azimute para cada hora pode ser encontrado considerando o ângulo que maximiza o valor da radiação global incidente desde que não exista apenas radiação difusa nessa hora. Para evitar esta situação, deve procurar-se o ângulo de azimute que maximize o valor do *cos (i)*. De forma a evitar que este procedimento seja feito à mão e de hora a hora, realizou-se na própria folha de cálculo do Microsoft Excel uma sub-rotina em *Visual Basic* que se encarrega de calcular o ângulo óptimo do azimute para cada hora do dia, no intervalo de -120º a 120º.

Este pequeno programa permite ainda assinalar com uma cor diferente, as células em que a variação do ângulo do azimute não surte efeito no valor da radiação global incidente. Isto acontece devido à existência de apenas radiação difusa nessa hora. O código utilizado na programação desta sub-rotina pode ser analisado na Figura B.1 e Figura B.2 localizadas no Anexo B.

Na Tabela 2.5 observa-se um exemplo do conteúdo da folha do Excel utilizada para a obtenção da radiação global incidente, de acordo com o descrito para o segundo cálculo; com realce para as células do azimute da superfície que apresentam agora valores diferentes de zero, considerando estes como os possíveis óptimos desta variável para a cidade do Porto no primeiro dia do mês de Janeiro.

Tabela 2.5
Excerto da folha de cálculo da radiação global incidente numa superfície com ângulo β fixo e ângulo do azimute variável de hora a hora, no primeiro dia do mês de Janeiro

Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180

1	beta	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,927	-0,858	-0,747	-0,604	-0,436	-0,257	-0,077	0,090	0,233	0,344	0,413	0,437	0,413	0,344	0,233	0,090	-0,077	-0,257	-0,436	-0,604	-0,747	-0,858	-0,927	-0,951	
	cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,721	0,814	0,875	0,909	0,920	0,909	0,875	0,814	0,721	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,921	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	374,20	1742,57	2469,24	2178,81	2638,44	2159,27	1677,33	489,00	482,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14211,25

Terceira consideração: colector com β e azimute variáveis

A obtenção da radiação solar incidente fazendo variar os ângulos β e azimute da superfície de hora a hora, foi objectivo do terceiro cálculo. Desta forma, o colector solar segue o Sol na direcção Este – Oeste e na variação de altura segundo Norte – Sul. Tal como ocorreu no segundo cálculo também neste surge uma operação que exige um elevado número de tentativas até se encontrar o ângulo óptimo de β para cada hora de um dia. Realizou-se então uma nova sub-rotina em *Visual Basic* que permite a obtenção desse mesmo valor óptimo de forma automática, num intervalo de 0º a 70º.

Este código pode ser consultado na Figura B.3 situada no Anexo B.

Na Tabela 2.6 evidencia-se o aspecto de um excerto da folha de cálculo para a obtenção da radiação global incidente no dia 1 de Janeiro na cidade do Porto, procurando a optimização dos ângulos de azimute e β do colector.

Tabela 2.6
Excerto da folha de cálculo da radiação global incidente numa superfície com ângulo β e ângulo do azimute variáveis de hora a hora, no primeiro dia do mês de Janeiro

Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
1 beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	66	64	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
sen h	-0,927	-0,858	-0,747	-0,604	-0,436	-0,257	-0,077	0,090	0,233	0,344	0,413	0,437	0,413	0,344	0,233	0,090	-0,077	-0,257	-0,436	-0,604	-0,747	-0,858	-0,927	-0,951	
cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,921	
I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	464,39	2095,84	2797,70	2353,61	2853,27	2332,36	1829,42	485,60	586,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15798,35

Observando o comportamento do ângulo de β na Tabela 2.6, verifica-se que a sua gama de valores é bastante diminuta (64 - 70º), o que é explicado pela pequena variação da altura solar ao longo de um dia, na época de Inverno para a cidade do Porto.

Quarta consideração: colector com β e azimute variáveis, usando valores médios mensais

Ao longo de cada mês a posição do Sol vai variando em altura e em azimute. Consequentemente verificam-se pequenos ajustes, ao longo do mês, no ângulo óptimo das variáveis do azimute e do ângulo β. Isto sucede porque até meados de Junho, o número de horas de luz solar aumenta e como tal, a trajectória do Sol é mais ampla e mais alta. Posteriormente a Junho, o intervalo dos valores do azimute e de altura solar voltam a diminuir até ao final de cada ano.

A título de exemplo, observa-se na Tabela 2.7 a diferença entre os valores óptimos das variáveis β e do azimute da superfície entre o primeiro e último dia do mês de Janeiro.

Tabela 2.7
Diferenças nos valores óptimos dos ângulos do β e azimute da superfície verificados entre o primeiro e último dia do mês de Janeiro, para a cidade do Porto. Realce das células sombreadas com cor clara, devido apenas à existência de radiação difusa nessa hora

Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
1 beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	66	64	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
sen h	-0,927	-0,858	-0,747	-0,604	-0,436	-0,257	-0,077	0,090	0,233	0,344	0,413	0,437	0,413	0,344	0,233	0,090	-0,077	-0,257	-0,436	-0,604	-0,747	-0,858	-0,927	-0,951	
cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,921	
I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	464,39	2095,84	2797,70	2353,61	2853,27	2332,36	1829,42	485,60	586,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15798,35
31 beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	65	61	59	61	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-57	-45	-32	-16	0	16	32	45	57	67	0	0	0	0	0	0	0	
sen h	-0,89	-0,82	-0,71	-0,56	-0,39	-0,20	-0,02	0,16	0,31	0,42	0,49	0,52	0,49	0,42	0,31	0,16	-0,02	-0,20	-0,39	-0,56	-0,71	-0,82	-0,89	-0,92	
cos i	-0,92	-0,83	-0,67	-0,48	-0,25	0,00	0,25	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,93	0,00	-0,25	-0,48	-0,67	-0,83	-0,92	-0,95	
I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,12	319,78	1684,19	799,18	1420,11	1062,11	1217,30	427,33	242,44	40,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7308,01

Nesta etapa, pretende-se analisar quais os resultados que se obtêm por utilizar para um mês completo uma gama de valores óptimos constantes e iguais à média mensal dos valores óptimos resultantes após o cálculo realizado com a terceira consideração. Contudo, chama-se a atenção para as ocasiões em que surgem durante determinadas alturas de um mês uma hora adicional de luz solar. Nestes casos, a média não é contabilizada pelo número total de dias do mês, mas sim apenas pelo número dias em que a ocorrência se verifica. Na Tabela 2.8 é possível observar a localização dos botões que permitem o cálculo de forma automática das variáveis de entrada bem como o cálculo da média anual dos valores óptimos obtidos[2].

Tabela 2.8

Aspecto de um excerto de uma folha de Excel utilizada para o cálculo da radiação global incidente

	Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	ρ (ró)	0,4
	ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180		
																										Azimute	
1	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	66	64	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	β	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0		
	sen h	-0,927	-0,858	-0,747	-0,604	-0,436	-0,257	-0,077	0,090	0,233	0,344	0,413	0,437	0,413	0,344	0,233	0,090	-0,077	-0,257	-0,436	-0,604	-0,747	-0,858	-0,927	-0,951		
	cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,921		
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	464,39	2095,84	2797,70	2353,61	2853,27	2332,36	1829,42	485,60	586,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15798,35	
2	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	66	64	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41		
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0		
	sen h	-0,926	-0,857	-0,747	-0,603	-0,436	-0,256	-0,076	0,091	0,235	0,345	0,414	0,438	0,414	0,345	0,235	0,091	-0,076	-0,256	-0,436	-0,603	-0,747	-0,857	-0,926	-0,950		
	cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,922		
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,68	371,03	40,45	257,46	386,84	345,19	1706,45	251,38	1944,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5664,38	

. . . . . .

30	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	65	61	59	61	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41		
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-56	-45	-32	-16	0	16	32	45	56	67	0	0	0	0	0	0	0		
	sen h	-0,896	-0,824	-0,710	-0,562	-0,389	-0,204	-0,018	0,155	0,303	0,417	0,488	0,513	0,488	0,417	0,303	0,155	-0,018	-0,204	-0,389	-0,562	-0,710	-0,824	-0,896	-0,920		
	cos i	-0,919	-0,824	-0,673	-0,476	-0,247	-0,001	0,246	0,981	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,981	0,933	-0,001	-0,247	-0,476	-0,673	-0,824	-0,919	-0,951		
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	613,68	1258,28	1054,36	1103,92	1059,42	571,07	238,11	897,46	2276,59	69,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9142,23	
31	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	65	61	59	61	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41		
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-57	-45	-32	-16	0	16	32	45	57	67	0	0	0	0	0	0	0		
	sen h	-0,89	-0,82	-0,71	-0,56	-0,39	-0,20	-0,02	0,16	0,31	0,42	0,49	0,52	0,49	0,42	0,31	0,16	-0,02	-0,20	-0,39	-0,56	-0,71	-0,82	-0,89	-0,92		
	cos i	-0,92	-0,83	-0,67	-0,48	-0,25	0,00	0,25	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,93	0,00	-0,25	-0,48	-0,67	-0,83	-0,92	-0,95		
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,12	319,78	1684,19	739,18	1420,11	1082,11	1217,30	427,33	242,44	40,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7308,01	
																										TOTAL	417595,65

Médias	Beta	2170,00	2170,00	2105,00	1969,00	1921,00	1969,00	2105,00	2170,00	2170,00	
		70	70	68	64	62	64	68	70	70	
											630
											70
	Azimute	-1691,00	-1340,00	-940,00	-483,00	0,00	483,00	940,00	1340,00	1691,00	
		-55	-43	-30	-16	0	16	30	43	55	
											597
											66

Nesta folha de cálculo a sub-rotina determina os valores óptimos das variáveis de entrada tendo como início o momento em que o valor nas células da linha da radiação global incidente é diferente de zero.

Todas as quatro considerações feitas até ao momento foram acompanhadas de cálculos para todos os meses de um ano e para as cinco cidades em estudo, cujos resultados se apresentam na secção homónima deste documento.

De notar que antes da aplicação desta folha de cálculo a qualquer local específico, devem ser realizados estudos que permitam prevenir possíveis sombreamentos existentes em volta dos colectores e optar por favorecer determinadas horas, em que o sombreamento não surta efeito.

[2] No Anexo B, Figura B.4 é possível observar uma folha de cálculo completa para a obtenção da radiação global incidente mensal

3. Resultados

De acordo com o descrito anteriormente, este trabalho foi iniciado com o cálculo do número teórico do número de horas diurnas, tal como apresentado na Tabela 2.1, tendo-se obtido um número de horas diurnas constante para as várias cidades em estudo – 4380 horas por ano. Este valor, apesar de constante para as várias cidades, apresenta pequenas diferenças a nível mensal que acabam por se compensar anualmente. De seguida apresentam-se dois gráficos que mostram o número de horas de luz solar em Bragança e Faro, visto que são os casos mais extremos de latitude neste trabalho. Estes valores foram retirados das tabelas: Tabela B.1 e Tabela B.4, do Anexo B.

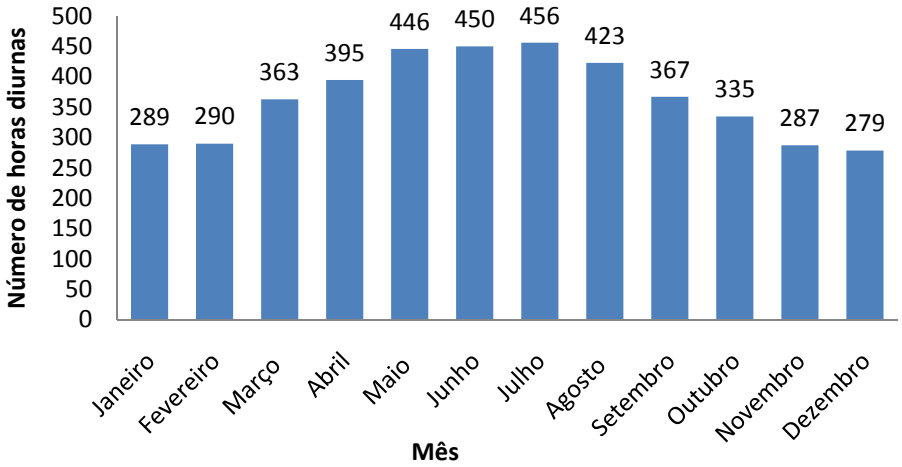


Figura 3.1
Variação do número teórico de horas diurnas em cada mês para a cidade de Bragança.

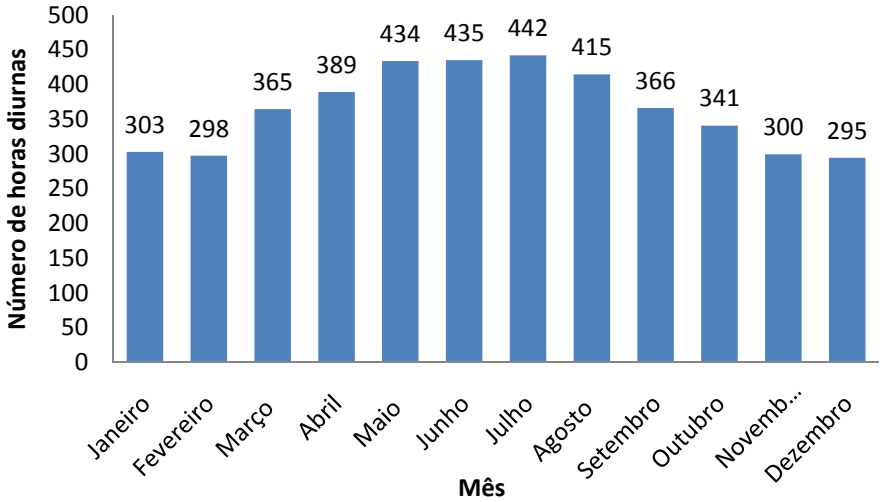


Figura 3.2
Variação do número teórico de horas diurnas em cada mês para a cidade de Faro.

Usando como método de cálculo da radiação global incidente, para cada mês, a folha de Excel apresentada na Figura B.4 do anexo B, foram realizados vários cálculos de acordo com as quatro considerações referidas na secção anterior para todos os meses de um ano e para as cinco cidades em estudo. Este procedimento teve como objectivo a determinação dos ganhos solares para a posterior análise da viabilidade económica do sistema.

Os resultados são apresentados por cidade, tendo sempre como referência principal os valores de radiação global incidente obtidos numa situação de colectores fixos.
Para cada cidade será apresentada uma tabela onde se pode analisar os ganhos gerais e percentuais em termos numéricos; um gráfico que representa esta tabela de forma a proporcionar uma visualização mais intuitiva e uma segunda tabela onde estão colocados os valores médios mensais dos ângulos do azimute da superfície e do β para cada mês de cada cidade, de modo a ser possível, a sua inserção numa possível programação de um autómato PLC.

De todas as cidades em estudo, Bragança é aquela que permite obter o maior ganho anual percentual tendo em conta a segunda consideração, atingindo o valor de 25,3%, situação que pode ser analisada na Tabela 3.1. Do estudo realizado e de acordo com a Tabela 3.2 a cidade de Bragança é a única a atingir o valor de 15 horas diurnas nos meses de Maio, Junho, Julho e Agosto.
De acordo com os valores registados na Tabela 3.3 a cidade do Porto é, de todas as cidades em estudo, aquela que obtém o maior ganho mensal percentual considerando a segunda e terceira ponderação, atingindo o valor de 41 e 47% no mês de Junho, respectivamente.
A cidade de Lisboa é, de acordo com a Tabela 3.5, a cidade que apresenta os ganhos percentuais anuais mais baixos de todo o estudo. Os valores estão situados entre os 20 e 30%, mais concretamente 22 e 29% respeitando as considerações para os casos de colector com β igual à latitude e azimute variável e colector com β e azimute variáveis, respectivamente.
Em termos percentuais a cidade de Évora é a que mais se aproxima dos ganhos obtidos para a cidade de Faro, contudo, numericamente estes são ainda razoavelmente inferiores.
A cidade de Faro é a que obtém o maior valor de ganho percentual anual (33%) considerando o colector com β e azimute variáveis de acordo com a Tabela 3.9. É a cidade que obtém maiores ganhos percentuais mensais nos meses de Janeiro e Dezembro tendo em conta a segunda e terceira considerações, permitindo tirar maior rendimento de um sistema durante os

meses em que a sua contribuição é mais necessária. É na cidade de Faro que se registam os maiores valores de radiação global incidente, em termos numéricos.

Os valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície utilizados para o cálculo da radiação global incidente para as várias cidades em estudo podem ser encontrados na Tabela 3.2, Tabela 3.4, Tabela 3.6, Tabela 3.8 e Tabela 3.10 deste documento. Com estes valores é possível usar uma sequência padrão de ângulos para cada mês, salientando que os valores situados nas células sombreadas não ocorrem na totalidade do mês. Para essas horas "extras" é necessário realizar uma média que esteja de acordo com o número de ocorrências.

Cidade de Bragança

Tabela 3.1
Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Bragança

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAIS (kJ/ano-m2)
1	**Colector fixo (β = 42º / Azimute = 0)**	340991,13	375682,89	582921,07	536137,04	617577,10	682933,04	770306,16	758535,61	626331,23	473360,33	313327,84	234596,89	**6312700,33**
2	**Colector variável em Azimute (β = 42º)**	372690,81	424422,60	690986,74	659625,30	818436,99	933532,15	1087738,87	1007225,35	777540,53	543816,97	344595,59	251178,78	**7911790,69**
	Ganho em relação a (1)	9%	13%	19%	23%	33%	37%	41%	33%	24%	15%	10%	7%	25%
3	**Colector variável em β e Azimute**	406966,92	449244,86	719787,35	678533,38	847005,19	966598,00	1129204,63	1043069,88	809437,43	573478,81	370802,92	270330,79	**8264460,17**
	Ganho em relação a (1)	19%	20%	23%	27%	37%	42%	47%	38%	29%	21%	18%	15%	31%
	Ganho em relação a (2)	9%	6%	4%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	5%	8%	8%	4%

Usando valores médios mensais

Colector variável em Azimute (β = 42º)	372671,23	424369,61	690763,57	659426,98	818301,37	933527,85	1087603,12	1006901,92	777220,38	543734,23	344574,87	251178,83	**7910274,0**
Diferença em relação a (2)	-0,01%	-0,01%	-0,03%	-0,03%	-0,02%	0,00%	-0,01%	-0,03%	-0,04%	-0,02%	-0,01%	0,00%	-0,02%
Colector variável em β e Azimute	406724,59	449081,79	718686,30	677508,94	846460,94	966606,87	1128924,58	1041622,14	809014,86	573200,41	370643,32	270332,60	**8258807,3**
Diferença em relação a (3)	-0,06%	-0,04%	-0,15%	-0,15%	-0,06%	0,00%	-0,02%	-0,14%	-0,05%	-0,05%	-0,04%	0,00%	-0,07%

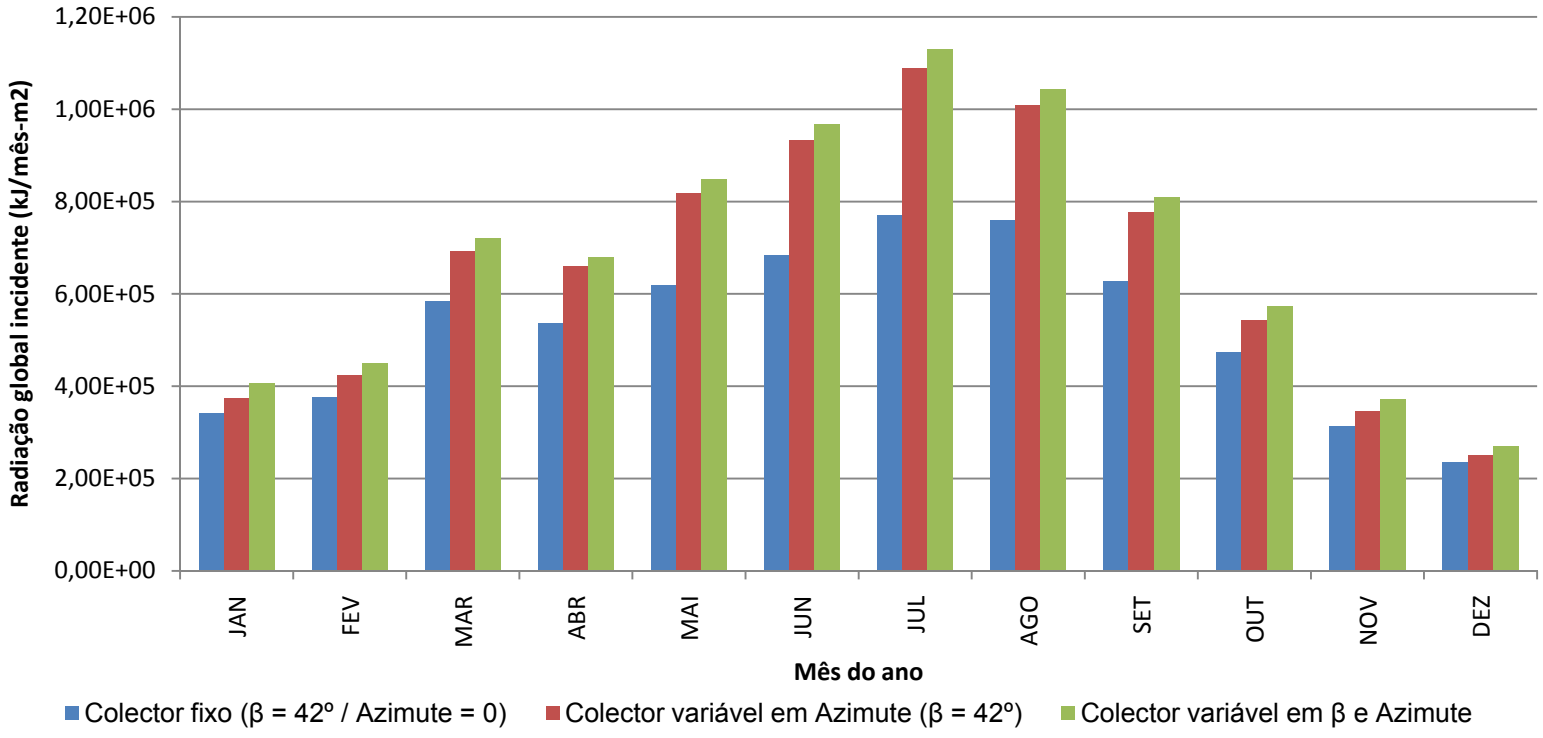


Figura 3.3
Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Bragança.

Tabela 3.2
Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Bragança

		Hora (TSV)																
		4	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Janeiro	β					70	70	68	64	62	64	68	70	69	70			
	Azimute					-55	-43	-30	-16	0	16	30	43	53	67			
Fevereiro	β				70	70	68	61	57	55	57	61	68	70	70			
	Azimute				-72	-60	-48	-34	-18	0	18	34	48	60	70			
Março	β			70	70	69	60	52	46	44	46	52	60	69	70	70		
	Azimute			-92	-78	-67	-55	-40	-21	0	21	40	55	67	78	91		
Abril	β			70	70	61	51	41	35	32	35	41	51	61	70	70		
	Azimute			-97	-87	-77	-64	-48	-27	0	27	48	64	77	87	97		
Maio	β		70	70	67	55	44	34	26	23	26	34	44	55	67	70	70	
	Azimute		-114	-104	-95	-85	-73	-58	-34	0	34	58	73	85	95	104	115	
Junho	β		70	70	64	53	42	31	22	18	22	31	42	53	64	70	70	
	Azimute		-117	-108	-99	-89	-78	-63	-39	0	39	63	78	89	99	108	117	
Julho	β		70	70	65	54	43	32	24	20	24	32	43	54	65	70	70	
	Azimute		-116	-106	-97	-87	-76	-60	-37	0	37	60	76	87	97	106	116	
Agosto	β		70	70	69	59	48	38	31	28	31	38	48	59	69	70	70	
	Azimute		-113	-100	-90	-80	-68	-52	-29	0	29	52	68	80	90	100	113	
Setembro	β			70	70	67	56	48	42	39	42	48	56	67	70	70		
	Azimute			-92	-81	-71	-58	-43	-23	0	23	43	58	71	81	94		
Outubro	β				70	70	66	58	53	51	53	58	66	70	70			
	Azimute				-73	-62	-50	-35	-19	0	19	35	50	62	74			
Novembro	β				70	70	70	67	62	61	62	67	70	70				
	Azimute				-67	-56	-44	-31	-16	0	16	31	44	56				
Dezembro	β					70	70	70	66	65	66	70	70	70				
	Azimute					-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53				

Cidade do Porto

Tabela 3.3
Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade do Porto

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAIS (kJ/ano-m2)
1	**Colector fixo (β = 41º / Azimute = 0)**	347812,46	366187,58	559718,96	566533,88	649545,59	670174,98	676926,96	696281,53	612793,04	508827,73	325917,00	269055,27	**6249775,0**
2	**Colector variável em Azimute (β = 41º)**	380580,27	426606,89	668482,68	700455,22	859453,51	948117,04	924423,95	911364,87	747954,78	584926,52	358488,22	288819,11	**7799673,1**
	Ganho em relação a (1)	9%	16%	19%	24%	32%	41%	37%	31%	22%	15%	10%	7%	25%
3	**Colector variável em β e Azimute**	417595,65	464125,27	700873,43	722871,75	889798,29	987321,45	960863,11	943278,36	777522,17	624228,80	386491,21	313459,98	**8188429,5**
	Ganho em relação a (1)	20%	27%	25%	28%	37%	47%	42%	35%	27%	23%	19%	17%	31%
	Ganho em relação a (2)	10%	9%	5%	3%	4%	4%	4%	4%	4%	7%	8%	9%	5%

Usando valores médios mensais

Colector variável em Azimute (β = 41º)	380567,59	426546,75	668297,56	700222,53	859284,58	948110,76	924339,90	911036,31	747720,40	584778,11	358465,38	288819,01	**7798188,9**
Diferença em relação a (2)	0,00%	-0,01%	-0,03%	-0,03%	-0,02%	0,00%	-0,01%	-0,04%	-0,03%	-0,03%	-0,01%	0,00%	-0,02%
Colector variável em β e Azimute	417465,45	463390,65	699791,30	721638,07	889570,39	987329,10	960941,93	942962,93	777097,02	623077,15	386299,77	313470,25	**8183034,0**
Diferença em relação a (3)	-0,03%	-0,16%	-0,15%	-0,17%	-0,03%	0,00%	0,01%	-0,03%	-0,05%	-0,18%	-0,05%	0,00%	-0,07%

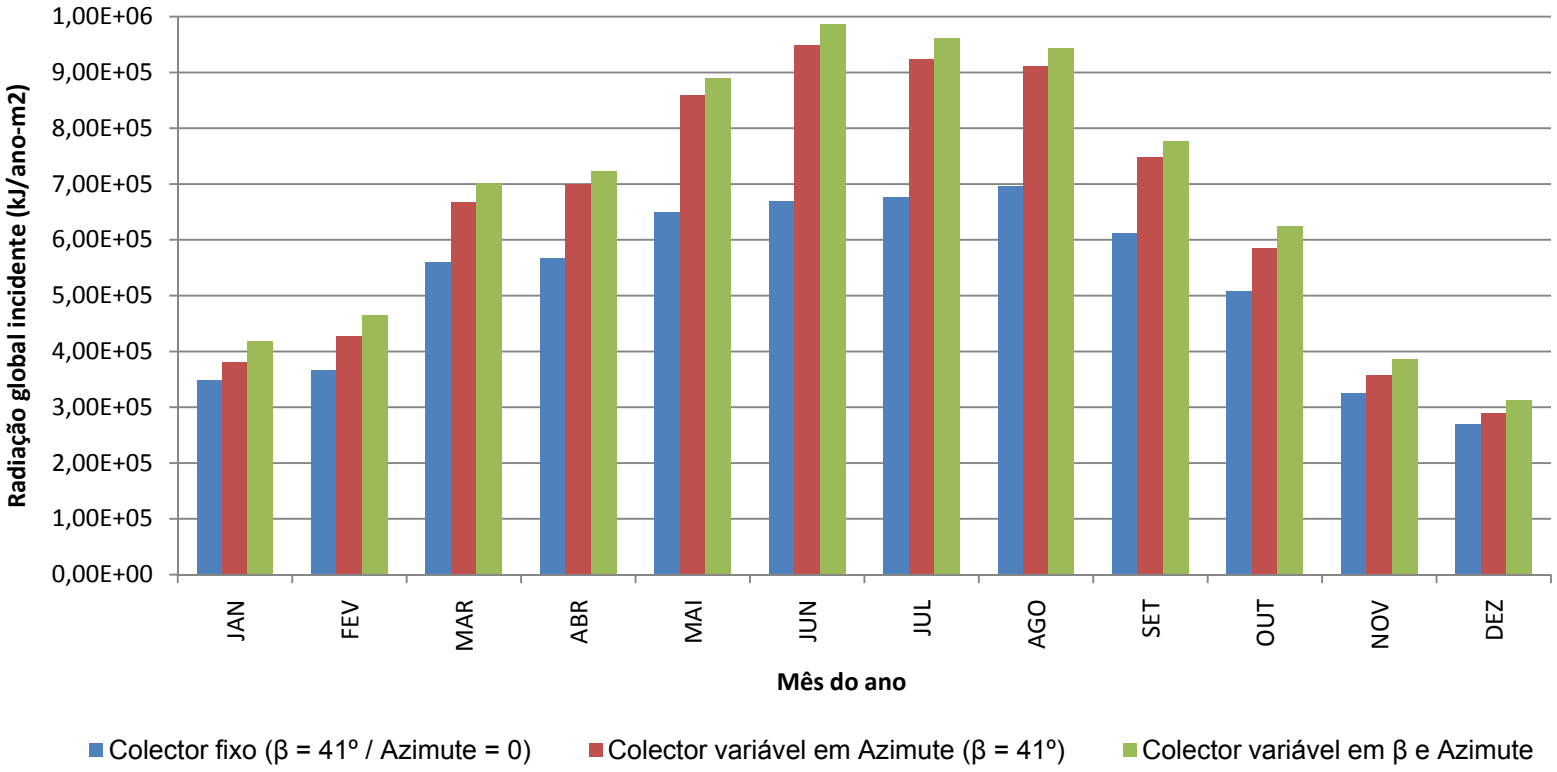


Figura 3.4
Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade do Porto.

Tabela 3.4
Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade do Porto

		Hora (TSV)																
		4	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Janeiro	β					70	70	68	64	62	64	68	70	69	70			
	Azimute					-55	-43	-30	-16	0	16	30	43	55	66			
Fevereiro	β				70	70	68	61	56	54	56	61	68	70	70			
	Azimute				-73	-60	-48	-34	-18	0	18	34	48	60	70			
Março	β			70	70	69	60	51	46	43	46	51	60	69	70	70		
	Azimute			-93	-78	-67	-55	-40	-21	0	21	40	55	67	78	90		
Abril	β			70	70	61	51	41	34	32	34	41	51	61	70	70		
	Azimute			-97	-87	-77	-65	-49	-27	0	27	49	65	77	87	97		
Maio	β		70	70	67	55	44	34	26	22	26	34	44	55	67	70	70	
	Azimute		-115	-104	-95	-85	-74	-58	-35	0	35	58	74	85	95	104	115	
Junho	β		70	70	64	53	41	31	22	18	22	31	41	53	64	70	70	
	Azimute		-117	-108	-99	-90	-79	-64	-40	0	40	64	79	90	99	108	117	
Julho	β		70	70	65	54	43	32	24	20	24	32	43	54	65	70	70	
	Azimute		-116	-106	-97	-88	-76	-61	-37	0	37	61	76	88	97	106	116	
Agosto	β			70	69	59	48	38	31	28	31	38	48	59	69	70	70	
	Azimute			-100	-90	-80	-68	-52	-30	0	30	52	68	80	90	100	112	
Setembro	β			70	70	66	56	48	41	39	41	48	56	66	70	70		
	Azimute			-93	-82	-71	-58	-43	-23	0	23	43	58	71	82	93		
Outubro	β				70	70	66	58	53	51	53	58	66	70	70			
	Azimute				-73	-62	-50	-36	-19	0	19	36	50	62	73			
Novembro	β				70	70	70	66	62	60	62	66	70	70				
	Azimute				-67	-56	-44	-31	-16	0	16	31	44	56				
Dezembro	β					70	70	70	66	64	66	70	70	70				
	Azimute					-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53				

Cidade de Lisboa

Tabela 3.5
Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Lisboa

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAIS (kJ/ano-m2)
1	**Colector fixo (β = 38º / Azimute = 0)**	352351,45	375900,37	624761,21	588763,83	677534,55	700915,64	743865,46	749269,48	637639,31	537150,47	338532,92	320169,27	**6646854,0**
2	**Colector variável em Azimute (β = 38º)**	379329,22	424941,02	732244,31	710144,34	856696,36	936871,82	1009158,19	971326,70	765797,38	613017,43	373356,43	343695,12	**8116578,3**
	Ganho em relação a (1)	8%	13%	17%	21%	26%	34%	36%	30%	20%	14%	10%	7%	22%
3	**Colector variável em β e Azimute**	413222,95	456441,32	770149,90	733381,56	884263,45	975787,88	1054239,32	1012165,07	799729,57	654502,48	409148,63	378962,42	**8541994,6**
	Ganho em relação a (1)	17%	21%	23%	25%	31%	39%	42%	35%	25%	22%	21%	18%	29%
	Ganho em relação a (2)	9%	7%	5%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	7%	10%	10%	5%

Usando valores médios mensais

Colector variável em Azimute (β = 38º)	379322,03	424873,00	732032,21	709888,65	856527,44	936866,61	1009030,27	970929,64	765515,98	612899,69	373340,97	343695,05	**8114921,5**
Diferença em relação a (2)	0,00%	-0,02%	-0,03%	-0,04%	-0,02%	0,00%	-0,01%	-0,04%	-0,04%	-0,02%	0,00%	0,00%	-0,02%
Colector variável em β e Azimute	413177,76	456373,55	769001,45	732242,73	883964,99	975809,80	1053823,61	1011377,01	798883,91	654436,48	408827,09	378931,28	**8536849,7**
Diferença em relação a (3)	-0,01%	-0,01%	-0,15%	-0,16%	-0,03%	0,00%	-0,04%	-0,08%	-0,11%	-0,01%	-0,08%	-0,01%	-0,06%

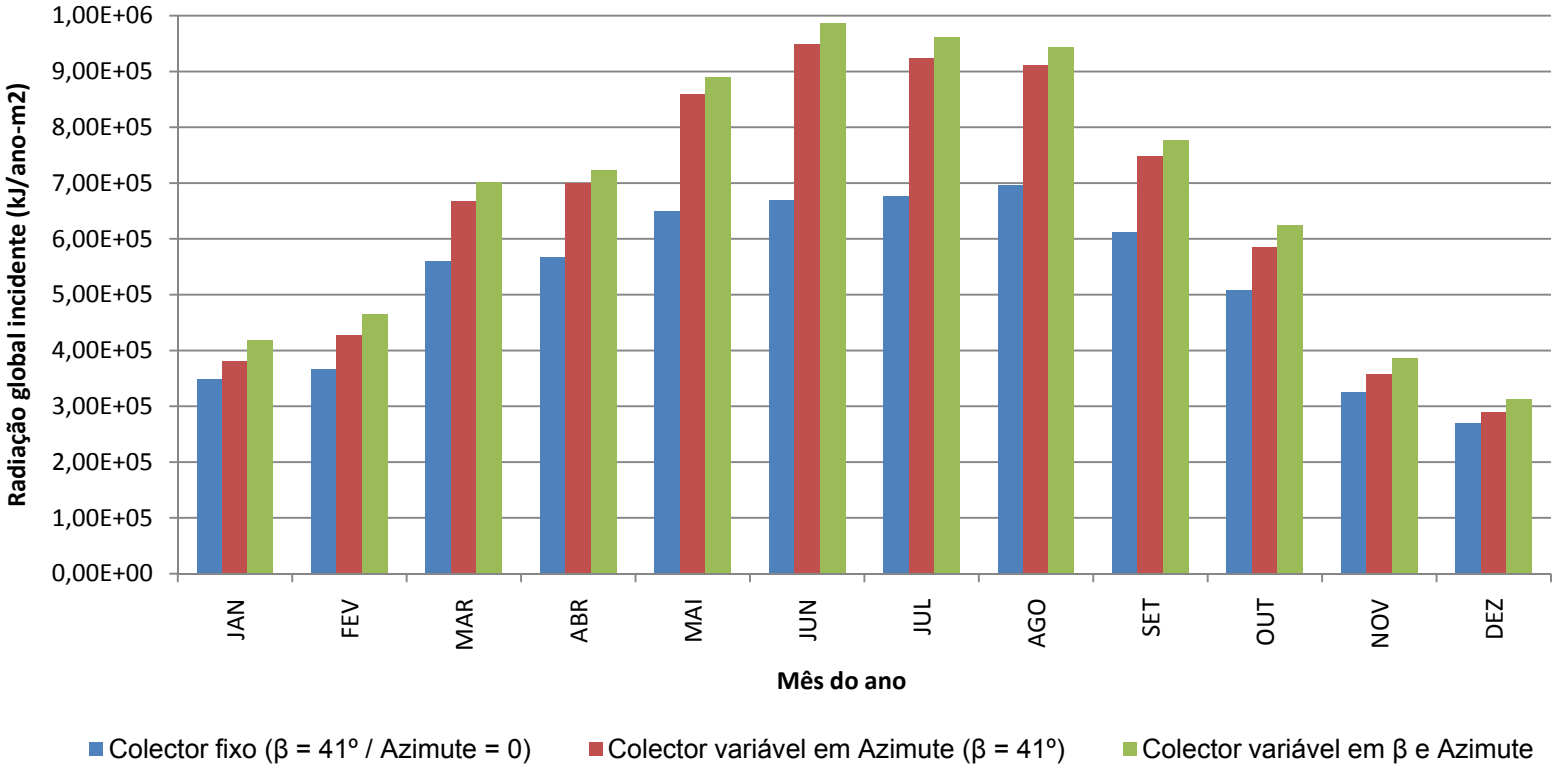


Figura 3.5
Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Lisboa.

Tabela 3.6
Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Lisboa

		Hora (TSV)																
		4	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Janeiro	β					70	70	66	61	59	61	66	70	70	70			
	Azimute					-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	66			
Fevereiro	β				70	70	67	59	54	52	54	59	67	70	70			
	Azimute				-73	-60	-49	-35	-18	0	18	35	49	60	70			
Março	β				70	68	58	49	43	41	43	49	58	68	70	70		
	Azimute				-79	-68	-56	-41	-22	0	22	41	56	68	79	89		
Abril	β			70	70	61	50	40	32	29	32	40	50	61	70	70		
	Azimute			-97	-88	-78	-67	-51	-29	0	29	51	67	78	88	97		
Maio	β		70	70	67	55	44	33	24	20	24	33	44	55	67	70	70	
	Azimute		-115	-105	-96	-87	-76	-62	-38	0	38	62	76	87	96	105	115	
Junho	β		70	70	64	53	41	30	20	15	20	30	41	53	64	70	70	
	Azimute		-117	-109	-100	-92	-82	-68	-44	0	44	68	82	92	100	109	117	
Julho	β		70	70	66	54	42	31	22	17	22	31	42	54	66	70	70	
	Azimute		-117	-107	-98	-89	-79	-65	-41	0	41	65	79	89	98	107	116	
Agosto	β			70	69	58	47	37	28	25	28	37	47	58	69	70	70	
	Azimute			-101	-91	-82	-70	-55	-32	0	32	55	70	82	91	101	112	
Setembro	β			68	70	66	55	46	39	36	39	46	55	66	70	70		
	Azimute			-89	-82	-72	-60	-45	-24	0	24	45	60	72	82	93		
Outubro	β				70	70	64	56	50	48	50	56	64	70	70			
	Azimute				-73	-63	-51	-37	-19	0	19	37	51	63	73			
Novembro	β				70	70	64	60	58	57	58	60	64	70				
	Azimute				-67	-56	-45	-32	-17	0	17	32	45	56				
Dezembro	β					70	70	68	63	62	63	68	70	70				
	Azimute					-53	-42	-30	-15	0	15	30	42	53				

Cidade de Évora

Tabela 3.7
Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Évora

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAIS (kJ/ano-m2)
1	**Colector fixo (β = 38º / Azimute = 0)**	407931,76	415913,22	641982,22	580842,66	692564,80	711412,93	794094,30	796199,14	676081,64	573855,48	388669,66	342491,21	**7022039,0**
2	**Colector variável em Azimute (β = 38º)**	447293,17	472859,24	763974,30	714125,44	900959,46	990373,02	1113183,14	1043568,82	826229,69	664666,08	433770,02	368846,49	**8739848,9**
	Ganho em relação a (1)	10%	14%	19%	23%	30%	39%	40%	31%	22%	16%	12%	8%	24%
3	**Colector variável em β e Azimute**	496156,45	512504,24	806432,24	739408,17	935844,75	1037661,90	1166343,56	1090372,45	871349,68	714734,76	480511,16	408864,11	**9260183,5**
	Ganho em relação a (1)	22%	23%	26%	27%	35%	46%	47%	37%	29%	25%	24%	19%	32%
	Ganho em relação a (2)	11%	8%	6%	4%	4%	5%	5%	4%	5%	8%	11%	11%	6%

Usando valores médios mensais

Colector variável em Azimute (β = 38º)	447273,12	472791,37	763689,74	713910,08	900747,68	990363,95	1113035,41	1043157,90	825949,02	664488,42	433739,19	368845,87	**8737991,7**
Diferença em relação a (2)	0,00%	-0,01%	-0,04%	-0,03%	-0,02%	0,00%	-0,01%	-0,04%	-0,03%	-0,03%	-0,01%	0,00%	-0,02%
Colector variável em β e Azimute	496024,29	512307,48	805939,14	738972,85	934984,32	1037599,79	1166156,26	1088842,45	870081,45	714663,46	480297,63	408866,92	**9254736,0**
Diferença em relação a (3)	-0,03%	-0,04%	-0,06%	-0,06%	-0,09%	-0,01%	-0,02%	-0,14%	-0,15%	-0,01%	-0,04%	0,00%	-0,06%

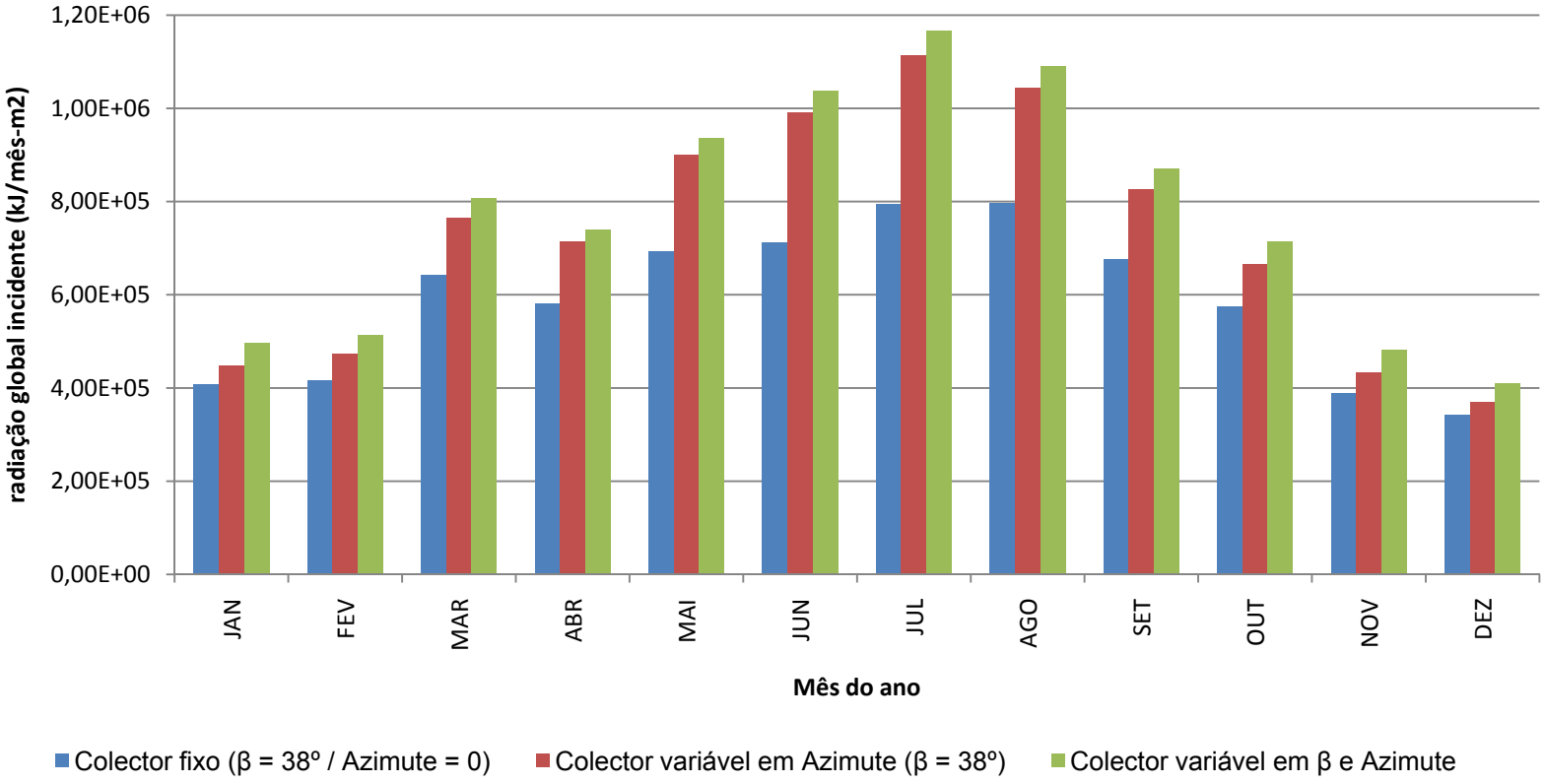


Figura 3.6
Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Évora.

Tabela 3.8
Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Évora

		Hora (TSV)																
		4	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Janeiro	β					70	70	65	61	59	61	65	70	70	70			
	Azimute					-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	66			
Fevereiro	β				70	70	67	59	53	52	53	59	67	70	70			
	Azimute				-72	-60	-49	-35	-18	0	18	35	49	60	70			
Março	β			70	70	68	58	49	43	41	43	49	58	68	70	70		
	Azimute			-93	-79	-68	-56	-41	-22	0	22	41	56	68	79	90		
Abril	β			70	70	61	50	40	32	29	32	40	50	61	70	70		
	Azimute			-98	-88	-78	-67	-51	-29	0	29	51	67	78	88	98		
Maio	β		70	70	67	55	44	33	23	20	23	33	44	55	67	70	70	
	Azimute		-115	-105	-96	-87	-76	-62	-38	0	38	62	76	87	96	105	115	
Junho	β		70	70	64	53	41	30	20	15	20	30	41	53	64	70	70	
	Azimute		-117	-109	-100	-92	-82	-68	-44	0	44	68	82	92	100	109	117	
Julho	β		70	70	66	54	42	31	22	17	22	31	42	54	66	70	70	
	Azimute		-117	-107	-98	-90	-79	-65	-41	0	41	65	79	90	98	107	116	
Agosto	β			70	69	58	47	37	28	25	28	37	47	58	69	70	70	
	Azimute			-101	-92	-82	-70	-55	-32	0	32	55	70	82	92	101	113	
Setembro	β			70	70	66	55	46	39	36	39	46	55	66	70	70		
	Azimute			-92	-82	-72	-60	-45	-25	0	25	45	60	72	82	94		
Outubro	β				70	70	64	56	50	48	50	56	64	70	70			
	Azimute				-73	-63	-51	-37	-19	0	19	37	51	63	73			
Novembro	β				70	70	70	64	59	57	59	64	70	70				
	Azimute				-67	-56	-45	-32	-17	0	17	32	45	56				
Dezembro	β					70	70	67	63	62	63	68	70	70				
	Azimute					-53	-42	-29	-15	0	15	30	42	53				

Cidade de Faro

Tabela 3.9
Valores obtidos para radiação global incidente mensal e anual; ganhos percentuais e numéricos para as diferentes considerações efectuadas para a cidade de Faro

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TOTAIS (kJ/ano-m2)
1	**Colector fixo (β = 37º / Azimute = 0)**	477384,90	471809,99	708271,01	653409,14	764434,86	763264,54	821469,30	804201,63	737636,66	654389,33	447496,93	404968,37	**7708736,7**
2	**Colector variável em Azimute (β = 37º)**	525390,84	535888,72	832222,32	815651,47	1019182,49	1065232,82	1140072,89	1048730,05	905575,93	757596,72	512356,73	439459,24	**9597360,2**
	Ganho em relação a (1)	10%	14%	18%	25%	33%	40%	39%	30%	23%	16%	14%	9%	24%
3	**Colector variável em β e Azimute**	589802,68	584144,81	880618,76	851952,68	1063497,18	1116578,78	1194348,10	1096812,66	957488,07	823637,43	580857,74	494288,42	**10234027,3**
	Ganho em relação a (1)	24%	24%	24%	30%	39%	46%	45%	36%	30%	26%	30%	22%	33%
	Ganho em relação a (2)	12%	9%	6%	4%	4%	5%	5%	5%	6%	9%	13%	12%	7%

Usando valores médios mensais

Colector variável em Azimute (β = 37º)	525368,65	535818,65	831947,99	815264,39	1018948,90	1065224,06	1139896,95	1048286,83	905223,31	757372,18	512326,41	439459,47	**9595137,8**
Diferença em relação a (2)	0,00%	-0,01%	-0,03%	-0,05%	-0,02%	0,00%	-0,02%	-0,04%	-0,04%	-0,03%	-0,01%	0,00%	-0,02%
Colector variável em β e Azimute	589665,02	583912,26	878921,66	850620,69	1063240,13	1116584,59	1194052,68	1095752,32	956535,41	822646,13	580665,79	494319,48	**10226916,2**
Diferença em relação a (3)	-0,02%	-0,04%	-0,19%	-0,16%	-0,02%	0,00%	-0,02%	-0,10%	-0,10%	-0,12%	-0,03%	0,01%	-0,07%

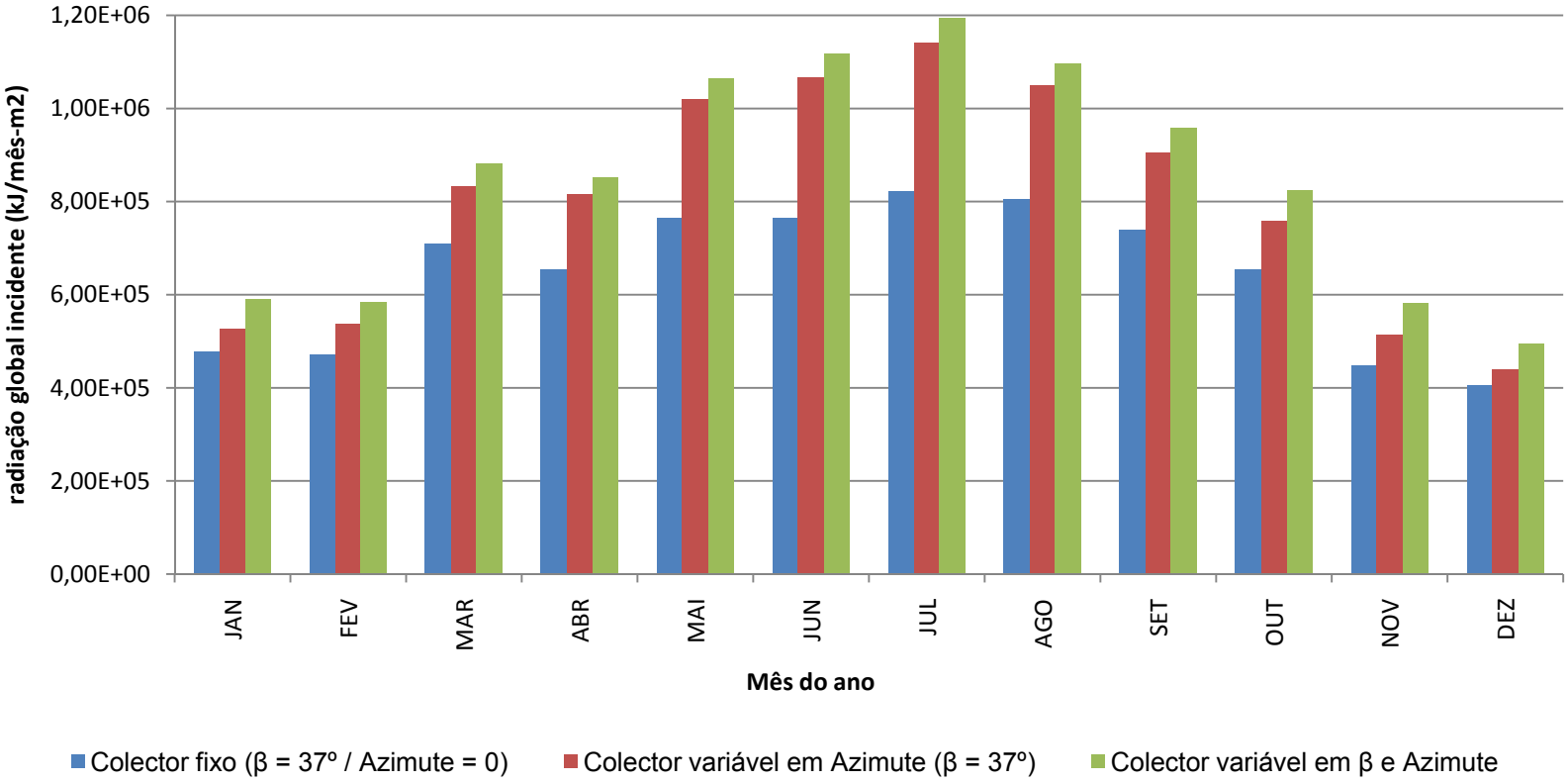


Figura 3.7
Representação gráfica dos ganhos solares obtidos com três dos quatro métodos utilizados para a cidade de Faro.

Tabela 3.10

Valores médios mensais dos ângulos β e azimute da superfície (º) para uma situação de seguidor solar em que os mesmos variam hora a hora ao longo de cada dia para a cidade de Faro

		Hora (TSV)																
		4	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Janeiro	β					70	70	64	60	58	60	64	70	70	70			
	Azimute					-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	66			
Fevereiro	β				70	70	66	58	52	50	52	58	66	70	70			
	Azimute				-72	-61	-49	-35	-19	0	19	35	49	61	70			
Março	β			70	70	68	57	48	42	39	42	48	57	68	70	70		
	Azimute			-93	-79	-69	-57	-42	-23	0	23	42	57	69	79	90		
Abril	β			70	70	61	49	39	31	27	31	39	49	61	70	70		
	Azimute			-98	-89	-79	-68	-52	-30	0	30	52	68	79	89	98		
Maio	β		70	70	67	55	43	32	22	18	22	32	43	55	67	70	70	
	Azimute		-115	-105	-97	-88	-78	-64	-40	0	40	64	78	88	97	105	116	
Junho	β		70	70	65	53	41	29	19	14	19	29	41	53	65	70	70	
	Azimute		-117	-109	-101	-93	-83	-70	-47	0	47	70	83	93	101	109	117	
Julho	β		70	70	66	54	42	30	21	16	21	30	42	54	66	70	70	
	Azimute		-117	-107	-99	-90	-81	-67	-44	0	44	67	81	90	99	107	116	
Agosto	β			70	69	58	47	36	27	24	27	36	47	58	69	70	70	
	Azimute			-101	-92	-83	-72	-57	-34	0	34	57	72	83	92	101	113	
Setembro	β			70	70	65	54	45	38	35	38	45	54	65	70	70		
	Azimute			-92	-83	-73	-61	-46	-25	0	25	46	61	73	83	94		
Outubro	β				70	70	63	55	49	47	49	55	63	70	70			
	Azimute				-73	-63	-51	-37	-20	0	20	37	51	63	73			
Novembro	β				70	70	69	63	58	56	58	63	69	70				
	Azimute				-66	-56	-45	-32	-17	0	17	32	45	56				
Dezembro	β					70	70	67	62	60	62	67	70	70				
	Azimute					-53	-43	-30	-16	0	16	30	43	53				

4. Construção de um Seguidor Solar

Nesta secção do corrente documento tratar-se-á da descrição de um possível conjunto de colectores solares com um sistema de accionamento de um seguidor solar do tipo óleo-hidráulico, referenciando vários pormenores inerentes à construção mecânica desse conjunto. Contudo, esta secção não deve ser entendida como um projecto de um seguidor solar, mas apenas como uma descrição de um possível seguidor solar que necessitaria de maiores detalhes para ser executado, quer por razões técnicas, quer de segurança.

Numa primeira parte será feita a apresentação gráfica do conjunto de colectores solares e numa segunda fase, os cálculos e listagem dos componentes hidráulicos necessários para colocar o conjunto de colectores a seguir o Sol.

4.1. Apresentação de um seguidor solar

Para a criação do conjunto de colectores solares foram pensadas várias formas que dependem essencialmente da utilização da energia captada. Partindo do pressuposto que o investimento de um seguidor solar é um investimento elevado, não se justifica o estudo para pequenas áreas de colectores.

Foi criado um conjunto de 12 colectores planos concentradores – CPC, com 1,98 m^2 de área útil cada, perfazendo um total de 23,8 m^2. Como referência para o desenho e obtenção das propriedades dos colectores, foram usados os colectores produzidos pela empresa portuguesa – *ao sol*. Na Figura 4.1 é possível observar uma fotografia deste tipo de colectores.

Figura 4.1
Colector plano concentrador – CPC 3E+ da empresa *ao sol*.

(Fonte: Colector plano concentrador – www.aosol.pt)

A modelação gráfica deste conjunto de colectores foi realizada em *SolidWorks 2006*, ferramenta que permite de forma bastante intuitiva desenhar em 3D.

Na Figura 4.2 é possível observar o aspecto final de um conjunto de 12 colectores solares térmicos, bem como uma possível estrutura mecânica de suporte (8242 mm de comprimento por 3431 mm de largura).

Os espaços deixados entre os colectores foram propositados, permitindo assim um melhor escoamento do vento e consequente diminuição da força que este possa exercer.

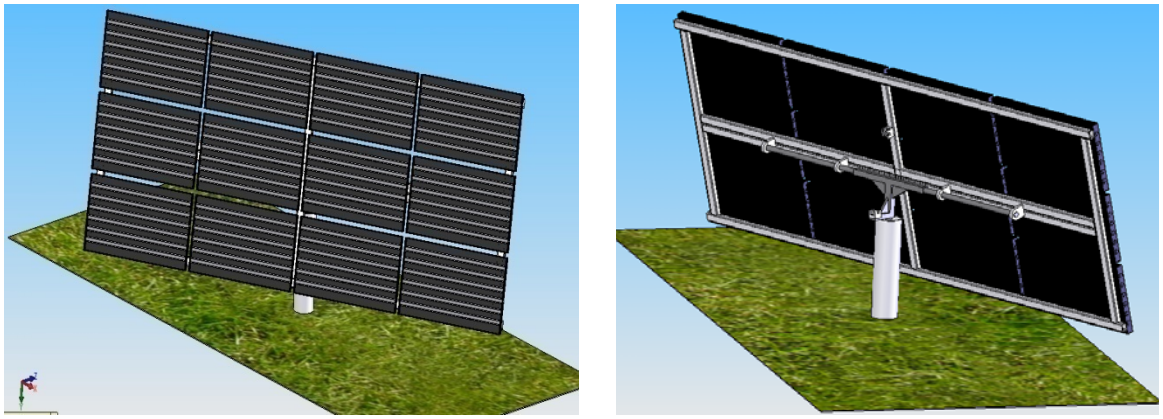


Figura 4.2
Conjunto de 12 CPC e possível estrutura de suporte constituída por perfis rectangulares (tubulares) ligados por um veio principal a uma base mono–poste.

Os perfis escolhidos para a estrutura deste conjunto foram perfis rectangulares tubulares com a dimensão 140×90×7 mm, tendo por base estruturas para o mesmo efeito já existentes no mercado. O material preferencial deverá ser alumínio, usando-se aço nos perfis situados no meio da estrutura (ao baixo e ao alto). Na Figura 4.3 mostra-se uma imagem do tipo de perfil utilizado.

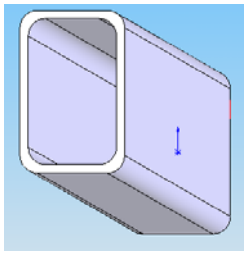


Figura 4.3
Perfil rectangular 140×90×7 mm usado para a estrutura do conjunto de colectores.

Deve ser colocado um perfil em cada extremidade do conjunto, salvo no eixo longitudinal em que se colocam dois perfis de forma a evitar possíveis flechas causadas pelas forças exteriores. Nas diagonais devem também ser aplicados estes perfis (situação não representada). Na Figura 4.4 observa-se um esquema de montagem dos perfis, bem como do tipo de material a utilizar em cada um.

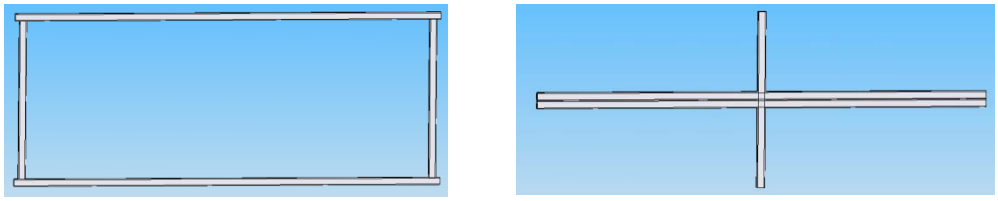


Figura 4.4
Perfis de alumínio (à esquerda) e perfis de aço para suporte principal e fixação de outros elementos importantes (à direita)

O veio principal deverá ser feito de aço. As suas extremidades apresentam uma forma cilíndrica com 80 mm de diâmetro e a parte central apresenta um perfil quadrangular com 80 mm de lado. Possibilitando a montagem do veio nas quatro chumaceiras, as partes cilíndricas devem ser de montagem roscada na parte central quadrangular do veio e com freios junto às chumaceiras.

Para a movimentação deste conjunto de colectores os actuadores linear e angular escolhidos foram respectivamente, um cilindro hidráulico para a alteração do β e um motor hidráulico para o seguimento azimutal. Na Figura 4.5 mostra-se a inclusão de um cilindro hidráulico capaz de fazer o conjunto de colectores acompanhar a posição do Sol em altura, sendo um elemento fulcral para a posição do conjunto em posição de segurança em caso de intempéries.

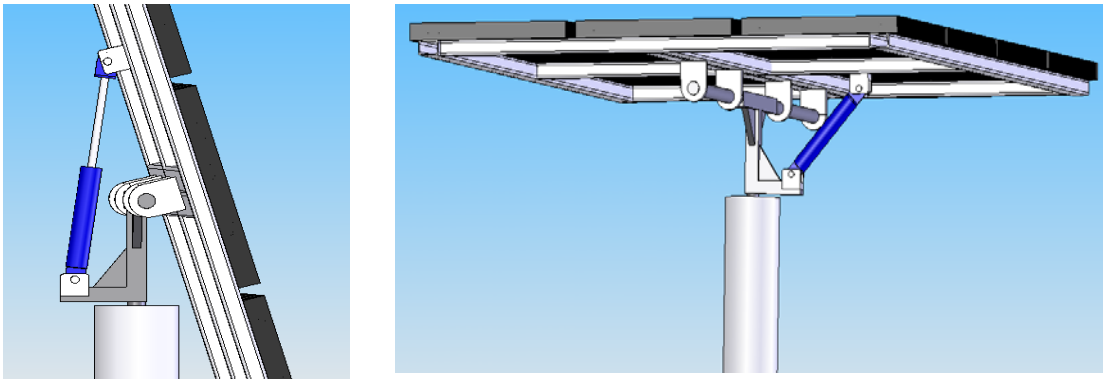


Figura 4.5
Pormenor da montagem de um cilindro hidráulico que permite a inclinação do conjunto para um β de 70º (à esquerda) como também a colocação dos colectores em posição de segurança, β = 0º (à direita).

A base central constitui todo o apoio vertical deste conjunto. Possui 350 mm de diâmetro interior e 30 mm de espessura, ficando alojado no seu interior o motor hidráulico (não representado), servindo também para a passagem de todas as cablagens. Esta base se possível deve ser construída sobre uma fundação de betão e aparafusada ao chão.
As ligações ao cilindro, bem como secções de tubagens flexíveis para entrada e retorno do fluido dos colectores, devem ser ligadas entre si por junções rotativas colocadas no interior na base, evitando assim que estas possam ficar sob torção aquando dos movimentos do conjunto de colectores.

De acordo com informação disponível no catálogo técnico dos colectores *CPC 3E+*, a massa de cada colector cheio é de 42,6 kg, originando uma massa total de 511 kg para os 12 colectores do conjunto definido.
Considerando a densidade do alumínio e do aço como indicado em baixo, é possível determinar a massa de cada perfil da estrutura e consequente massa total do conjunto.

$\rho_{aço}$ = 7800 kg.m^{-3}
$\rho_{alumínio}$ = 2700 kg.m^{-3}

- <u>Perfil ao baixo</u> (2×)

l = 8242 mm $\Longrightarrow$ $m_{alumínio} = 2 \times 68\ kg$

- <u>Perfil ao alto</u> (2× alumínio + 1× aço)

l = 3031 mm $\Longrightarrow$ $\begin{cases} m_{\ aço} = 73\ kg \\ m_{alumínio} = 2 \times 25\ kg \end{cases}$

- <u>Perfil do meio (horizontal)</u> (2×)

l = 8242 mm $\Longrightarrow$ $m_{\ aço} = 2 \times 186\ kg$

Adicionando ainda a massa de quatro perfis de alumínio para as diagonais, cerca de 25 kg cada, semelhantes aos perfis colocados ao alto, obtém-se o valor total da massa do conjunto.

Massa total de perfis = 731 kg

Massa total do conjunto (perfis + 12 colectores) = 1242 kg

4.2. Dimensionamento de um Sistema Hidráulico

Nesta secção serão apresentados os cálculos necessários ao dimensionamento do seguidor solar hidráulico, para o conjunto de colectores descrito na secção anterior, atendendo a pesos e forças resultantes da forma estabelecida para a estrutura do conjunto de colectores.

Um dos factores mais importantes no cálculo deste tipo de estruturas é o vento. O vento é um factor externo que pode causar sérios problemas à estrutura caso esta não se encontre devidamente preparada para suportar e responder eminentemente a condições adversas. Segundo os dados recolhidos pelo Instituto de Meteorologia de Portugal, para as cidades em estudo neste trabalho a velocidade média mensal máxima que poderá ocorrer em qualquer uma destas cidades rondará os 25 km.h^{-1}, situando-se as médias anuais entre os 10 e os 20 km.h^{-1}, consoante a direcção do vento. A cidade do Porto é aquela que regista maiores velocidades do vento, merecendo por isso destaque dos seus valores na Figura 4.6.

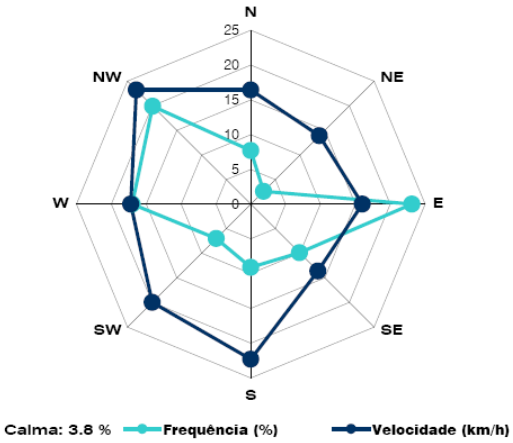


Figura 4.6
Valores médios anuais da velocidade do vento na cidade do Porto entre 1961-1990.

(Fonte: Normais Climatológicas, Porto/Serra do Pilar - Instituto de Meteorologia de Portugal, 1961-1990)

Na Tabela 4.1 encontra-se uma parte da escala de *Beaufort*, escala que caracteriza os ventos segundo a sua velocidade e faz corresponder o estado do mar para cada condição do vento.

Tabela 4.1
Excerto da escala criada por *Sir Francis Beaufort*, caracterizando apenas o vento de acordo com a sua velocidade (km.h^{-1})

Calma	Aragem	Fraco	Bonançoso	Moderado	V. Fresco	Muito Fresco
0 – 2	2 – 6	7 – 11	13 – 19	20 – 30	32 – 39	41 - 50
Forte	**Muito Forte**	**Tempestuoso**	**Temporal**	**Temporal Desfeito**	**Furacão**	
52 – 61	63 – 74	76 – 87	89 – 102	104 – 117	> 119	

Para o cálculo da força do vento sobre a estrutura – força de arrasto (F) – é necessário recorrer a alguns conceitos de Mecânica dos Fluidos, apresentando-se a seguinte equação:

$$F = C_D \cdot \frac{1}{2}\rho_{ar} \cdot \mathrm{v}^2 \cdot A \qquad [\mathrm{N}] \qquad \text{(eq. 4.1)}$$

onde,

C_D – coeficiente de arrasto
ρ_{ar} – massa volúmica do ar ($1{,}2\ \mathrm{kg.m^{-3}}$)
v – velocidade do vento ($\mathrm{m.s^{-1}}$)
A – área característica ($\mathrm{m^2}$)

O coeficiente de arrasto é uma característica adimensional que pode ser obtida através de testes realizados em túneis de vento, existindo alguns valores tabelados para algumas geometrias. Considerando a estrutura dos colectores semelhante a um corpo com a geometria de uma placa rectangular de dimensões (b×h) considerou-se um coeficiente de arrasto de 1,19.

De modo a saber qual a velocidade mínima do vento que a estrutura deve suportar, deve considerar-se que o vento actua de forma geral na horizontal, podendo contudo tomar qualquer rumo. Assim, no cálculo da velocidade mínima do vento considera-se um coeficiente adicional para rajadas de vento [13]. Aplicando este estudo a zonas rurais e periferia de zonas urbanas, existe a seguinte equação para a determinação da velocidade mínima do vento:

$$\mathrm{v} = 25 \cdot \left(\frac{\mathrm{h}}{10}\right)^{0{,}20} + 14 \qquad [m.s^{-1}] \qquad \text{(eq. 4.2)}$$

Para uma altura h da estrutura de 4 metros, obtém-se $\mathrm{v} = 34{,}8\ \mathrm{m.s^{-1}} \approx 125\ \mathrm{km.h^{-1}}$

Assim, a força de arrasto para um vento de $125\ \mathrm{km.h^{-1}}$ ($34{,}8\ \mathrm{m.s^{-1}}$) sobre uma área de 28,27 $\mathrm{m^2}$ do conjunto de colectores quantifica-se da seguinte forma:

$$F = 1{,}19 \times \frac{1}{2} \times 1{,}2 \times 34{,}8^2 \times 28{,}27 = 24 \quad [\mathrm{kN}] \qquad \text{(eq. 4.3)}$$

Supondo a colocação do veio principal a uma altura de 2 m do chão, o dimensionamento da estrutura de apoio vertical (base) deverá ser efectuado tendo em conta que deverá suportar valores superiores ao momento causado pela força de arrasto do vento.

$$M_F = 24 \times 2 = 42 \qquad [\mathrm{kN.m}] \qquad \text{(eq. 4.4)}$$

Este momento deve ser ainda multiplicado por um coeficiente de segurança, não inferior a 1,5, de modo a que o dimensionamento da estrutura de apoio se encontre dentro de padrões de segurança.

$$M_{resistente} = 42 \times 1{,}5 = 63 \qquad [\mathrm{kN.m}] \qquad \text{(eq. 4.5)}$$

Na rotação do conjunto de colectores será usado o motor hidráulico como atrás referido, acoplado a um travão hidráulico e este por sua vez acoplado a um redutor planetário. A utilização do redutor deve-se ao facto de existir a necessidade de transmitir baixas rotações com um elevado binário. A existência do travão tem como objectivo o bloqueio do conjunto quando em serviço normal ou em posição defensiva. Tal como o binário transmitido pelo motor hidráulico que é amplificado pela relação de transmissão do redutor para o veio de saída, o binário de travagem também o é, devido à sua posição com o redutor, como referido anteriormente.

Para o cálculo das forças e binários necessários aos elementos hidráulicos, considera-se a situação mais desfavorável como sendo um desequilíbrio de forças do vento na ordem dos 20%, entre cada parte vertical da estrutura (metade da área total). Um dos lados estará sujeito a ventos de 125 $km.h^{-1}$ (já inclui possibilidade de rajadas) e o outro a 100 $km.h^{-1}$, estando a estrutura apenas sujeito à força que resulta da diferença entre ambas. Nesta situação, considera-se que a força de arrasto (F') é calculada como mostra a equação a seguir apresentada.

$$F' = \frac{F(125)}{2} - \frac{F(100)}{2} = 4{,}4 \qquad [\mathrm{kN}] \qquad \text{(eq. 4.6)}$$

A força resultante incidirá a uma distância de cerca de 2 metros do eixo do conjunto. Neste caso o binário mínimo do motor e redutor para conseguir rodar o conjunto de colectores na situação descrita deverá ser superior a:

$$M_{motor/redutor} \geq 4{,}4 \times 2 = 8{,}8 \qquad [\mathrm{kN.m}] \qquad \text{(eq. 4.7)}$$

Os cálculos a realizar para a obtenção das forças necessárias ao cilindro hidráulico são ligeiramente diferentes dos realizados para o motor. Na pior situação considera-se que a força resultante do vento (equação 4.6) actua sensivelmente a meio de cada metade horizontal da estrutura e não vertical como acontecia para o motor.

Para a determinação da força mínima que o cilindro deve ter (no avanço/recuo) é necessário fazer um balanço de momentos de acordo com a Figura 4.7 e como a seguir se mostra pela expressão.

$$F_{cilindro} \cdot braço_c = F' \cdot braço_v \qquad [kN] \qquad \text{(eq. 4.8)}$$

Sendo,

$F_{cilindro} -$ força mínima do cilindro (kN)
$braço_c -$ distância mínima do ponto de cálculo do momento ao vector da $F_{cilindro}$ (m)
$braço_v -$ distância mínima do ponto de cálculo do momento ao vector da F' (m)

$$F_{cilindro} \times 0{,}35 = 4{,}4 \times 0{,}85 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow F_{cilindro} = 10{,}7 \qquad [kN]$$

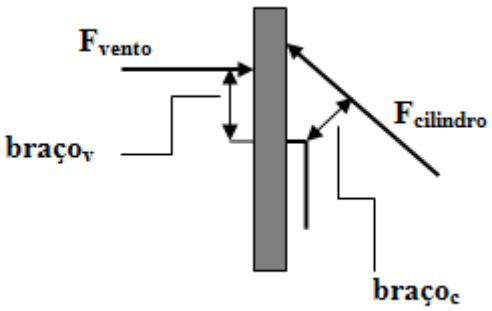


Figura 4.7
Diagrama de forças que actuam no colector na situação mais desfavorável quando β assume o valor de 90º.

Tendo em conta as forças necessárias já calculadas é possível indicar as características de funcionamento dos componentes hidráulicos capazes de garantir as mesmas para a movimentação do conjunto de colectores.[3]

Mini-Central Hidráulica

Capacidade = 5 litros (1,5× Volume do cilindro)

Cilindrada da bomba hidráulica (V_g) = 1,15 [$cm^3.r^{-1}$]

$n_{motor\ eléctrico} = 1370$ [rpm]

$P_{motor\ eléctrico} = 0{,}55$ [kW] (funciona durante aproximadamente 60 segundos, de hora a hora)

$$\text{Caudal}\ (\dot{V}) = \frac{V_g \cdot n \cdot \eta_v}{1000} = 1{,}42 \qquad [\mathrm{l.min^{-1}}], \qquad \text{sendo}\ \eta_v = 0{,}9$$

Pressão de funcionamento do sistema (p) = 90 bar (pressão máxima = 120 bar)

Em relação ao motor eléctrico importa referir que caso se opte por um monofásico, deve utilizar-se uma electroválvula 2/2 de descarga, para que o motor arranque sempre em vazio. Isto deve-se ao facto dos motores eléctricos monofásicos terem um consumo de corrente no arranque, superior aos trifásicos.

Cilindro Hidráulico Ø63 / 45 – BoschRexRoth Ref.ª ***CDH2MP3/63/45/500A1X/B1CFUMTC***

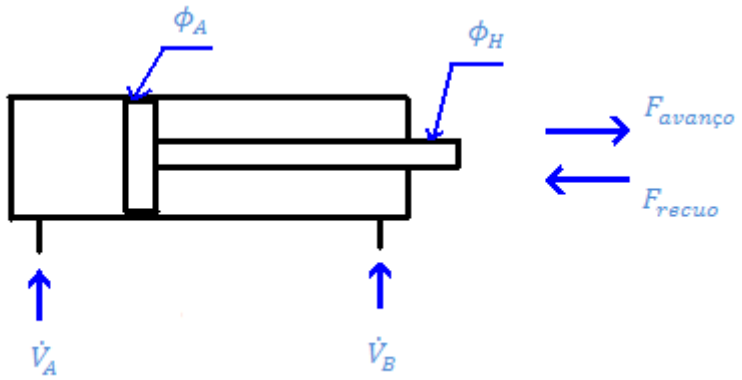


Figura 4.8
Representação das variáveis necessárias ao dimensionamento de um cilindro hidráulico.

[3] Na Figura C.1 do Anexo C, encontra-se o esquema hidráulico final com os vários componentes

$$F_{cilindro\_avanço} = \pi \cdot \frac{\phi_A^2}{4} \cdot p = 2805 \text{ kgf} \simeq 28 \text{ [kN]} \qquad \text{(eq. 4.9)}$$

$$F_{cilindro\_recuo} = \pi \cdot \frac{(\phi_A^2 - \phi_H^2)}{4} \cdot p = 1374 \text{ kgf} \simeq 14 \text{ [kN]} \qquad \text{(eq. 4.10)}$$

$$\mathrm{v_{avanço}} = \frac{\dot{V}_A(=\dot{V})}{1{,}5 \cdot \pi \cdot \phi_A^2} = 7{,}59 \times 10^{-3} \quad [\mathrm{m.s^{-1}}] \qquad \text{(eq. 4.11)}$$

$$\mathrm{v_{recuo}} = \frac{\dot{V}_B(=\dot{V})}{1{,}5 \cdot \pi \cdot (\phi_A^2 - \phi_H^2)} = 1{,}55 \times 10^{-2} \quad [\mathrm{m.s^{-1}}] \qquad \text{(eq. 4.12)}$$

Uma vez que os deslocamentos do cilindro são muito reduzidos, é recomendável que a velocidade do cilindro não seja muito elevada. Caso se pretenda, estas velocidades poderão ser diminuídas, utilizando válvulas de estrangulamento de caudal unidireccionais aplicadas a jusante das válvulas de sustentação de carga (entre o cilindro e as válvulas de sustentação) para garantir que a despressurização das linhas de pilotagem das válvulas de sustentação de carga se processa rapidamente, imobilizando o cilindro de imediato.

Devido à necessidade de se conhecer a posição exacta do êmbolo do cilindro, este deverá ter um transdutor de posição magnético no seu interior (usado neste sistema) que fornece um sinal eléctrico analógico (4-20 mA) da posição exacta do mesmo. Só assim será possível ter um controlo absoluto sobre a actuação do cilindro. Em vez de um transdutor interno poderia ser usado uma régua externa de posição, cujo custo é mais elevado.

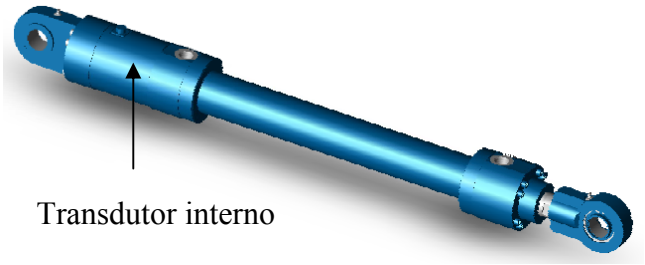


Figura 4.9
Cilindro utilizado da marca Bosch Rexroth, ref.ª CDH2MP3/63/45/500A1X/B1CFUMTC, com o pormenor da secção do transdutor interno.

Desde que a pressão do sistema não ultrapasse os 120 bar, pressão ajustada da válvula limitadora de pressão, este cilindro está dimensionado para ter um coeficiente de segurança à

encurvadura (pior situação ocorre quando totalmente aberto) de 3,5. No Anexo C, Figura C.2 é possível observar o desenho técnico fornecido pelo fabricante deste cilindro.
A massa deste cilindro é de 35,1 kg.

Motor Trocoidal Hidráulico – SAUER DANFOSS Ref.ª ***OMSS200-E-4-Z08 151F0539***

Cilindrada (V_{gm}) = 200,0 [$cm^3.r^{-1}$]

$$n_{motor\ hidráulico} = \frac{\dot{V} \cdot 1000 \cdot \eta_v}{V_{gm}} = 6{,}38 \qquad [\mathrm{rpm}] \qquad \text{(eq. 4.13)}$$

$$M_{motor} = \frac{V_{gm} \cdot p \cdot \eta_{mh}}{20 \cdot \pi} = 257{,}8 \qquad [\mathrm{N.m}] \qquad \text{(eq. 4.14)}$$

com,

$\eta_{mh} -$ rendimento mecânico $-$ hidráulico $= 0{,}9$

Este motor, tal como o cilindro, deverá possuir um dispositivo capaz de detectar e fornecer em sinal eléctrico a posição exacta do mesmo. Neste caso foi seleccionado um *encoder* angular. As características técnicas deste motor, podem ser analisadas na Figura C.3, Anexo C.

Travão – REGGIANA RIDUTTORI Ref.ª ***RF 5/21 65***

De acordo com o catálogo técnico deste produto (Figura C.5, Anexo C), o binário apresentado por este tipo de travão é 700 N.m, sendo necessária uma pressão mínima de 15 bar para o destravar.

Redutor – REGGIANA RIDUTTORI Ref.ª ***FEMALE LINEAR VERSION RR 1700D FS***

Este redutor planetário, cujas características podem ser analisadas na Figura C.4 do Anexo C, apresenta uma relação de transmissão de 43,89, rodando a uma velocidade proporcionalmente inferior (nesta relação) à do motor hidráulico, com um valor de:

$$n_{\mathrm{redutor}} = \frac{n_{\mathrm{motor\ hidráulico}}}{43{,}89} = 0{,}15 \qquad [\mathrm{rpm}] \qquad \text{(eq. 4.15)}$$

Este valor de rotação permite que o conjunto rode 10º em azimute (valor médio de variação horária) em 11 segundos. Pelo facto de se tratar de uma velocidade baixa, serão evitadas paragens bruscas e oscilações mecânicas.

Com este redutor os binários máximos (para esta pressão) do motor hidráulico e do travão passam a ter os seguintes valores:

$$M'_{motor/redutor} = 257{,}8 \times 43{,}89 = 11{,}3 \qquad [\mathrm{kN.m}] \qquad \text{(eq. 4.16)}$$

$$M_{travão/redutor} = 700 \times 43{,}89 = 30{,}7 \qquad [\mathrm{kN.m}] \qquad \text{(eq. 4.17)}$$

Massa do conjunto: redutor + travão + motor hidráulico ≃ 120 kg

De seguida será feita uma análise da segurança, dos principais elementos hidráulicos, através do cálculo do coeficiente de segurança (N) para as condições estabelecidas anteriormente.

Cilindro hidráulico (no recuo) ⇒ $\mathrm{N} = \frac{\text{Força real}}{\text{Força teórica}} = 1{,}31$

Motor hidráulico/redutor ⇒ $\mathrm{N} = \frac{\text{Momento real}}{\text{Momento teórico}} = 1{,}28$

Travão hidráulico/redutor ⇒ $\mathrm{N} = \frac{\text{Momento real}}{\text{Momento teórico}} = 3{,}49$

Apenas se considerou o cilindro hidráulico no caso de recuo, porque em caso de intempérie, o importante é conseguir colocar o conjunto na posição de segurança, precisando para isso de recuar o cilindro. Caso não se consiga colocar o conjunto em posição de segurança, o binário do travão/redutor é o responsável pela imobilização da estrutura. Contudo, como a pressão máxima do sistema é 30 bar superior à pressão de funcionamento, as forças e momentos reais destes elementos aumentariam no caso do também aumento da pressão.

Uma forma de garantir que o sistema não entrará em sobrecarga, passa pela colocação de pressostatos nas linhas de accionamento do cilindro e do motor hidráulico para que no caso de existir um excesso de pressão nas linhas (originada por aumento de esforço do sistema) se execute automaticamente uma acção de comando para colocação da estrutura na posição de segurança, $\beta = 0º$. No caso de corte de energia e/ou possibilidade de ocorrência de ventos com velocidades superiores às consideradas, poderá também existir no sistema hidráulico uma bomba hidráulica manual, através da qual será possível colocar a estrutura dos colectores na posição de segurança.

Apesar de anteriormente se ter referido que a existência de engrenagens (dos redutores) em painéis com áreas elevadas acabaria por ser prejudicial para o sistema, nesta solução foi incorporado um redutor, mas com características ligeiramente diferentes do normal. A montagem deste redutor é feita directamente no travão hidráulico (e não ao motor). Trata-se de um redutor planetário com elevado número de dentes nas engrenagens, permitindo assim distribuir uma mesma força por um maior número de dentes.

A ligação entre o redutor, travão e motor, deverá ser feita por um veio estriado, garantindo assim um tempo de vida do veio superior ao obtido aquando da utilização *e.g.* de acoplamentos.

Não será demais recordar que este conjunto actuador poderia ser realizado apenas com um só motor hidráulico de elevado binário e baixa rotação, com travão, no entanto, o custo seria muito superior. No caso de utilizar um motor eléctrico em vez de um motor hidráulico, o grande problema estaria na velocidade de rotação. Mesmo que se tratasse de um motor com 750 rpm, seria necessário um redutor com uma razão de transmissão de 5000:1 (para obtenção das 0,15 rpm), o que se tornaria manifestamente mais caro.

Através dos sinais eléctricos analógicos provenientes do transdutor interno do cilindro e do *encoder* angular do motor hidráulico, é possível utilizar um PLC que consiga controlar através de programação própria a posição exacta do conjunto de colectores. Desta forma, é possível programar o PLC com os ângulos do β e do azimute da superfície da estrutura relativos a qualquer hora, dia e cidade, fazendo então com que esta se oriente de forma automática. O quadro eléctrico de apoio a todos estes componentes deverá possuir na sua configuração:

Modo Manual:
- Botão movimento horizontal - sentido positivo
- Botão movimento horizontal - sentido negativo
- Botão movimento vertical - sentido positivo
- Botão movimento vertical - sentido negativo

Modo Automático

Modo Posição segurança

Avaliação dos custos do sistema

<u>Preço do sistema hidráulico</u> (para seguidor solar com dois graus de liberdade)
(todos os componentes incluídos no esquema hidráulico)……8 000 €

Preço do sistema eléctrico

(quadro eléctrico + cabos eléctricos + PLC Siemens S7-300 com software autómato já ensaiado)……...3 700 €

(1) Preço total (sem IVA)……11 500 €

Preço do sistema hidráulico (para seguidor apenas com variação de azimute)

(não inclui cilindro hidráulico e respectivos acessórios)……..4 700 €

(2) Preço total (sem IVA)…….. 8 400 €

5. Estudo Económico

O estudo económico deste projecto centrou-se na cidade de Faro pelo facto de ser a cidade com maior potencial de radiação incidente, de todas as cidades estudadas, tal como já foi referido anteriormente.

Para a obtenção da energia absorvida e fornecida pelo conjunto de 12 colectores CPC utilizados neste projecto, foram utilizadas as expressões de cálculo referentes ao método *f-chart*. Trata-se de um cálculo aproximado que tem por base correlações de variáveis adimensionais, obtidas a partir de simulações detalhadas.

$$X = \frac{\text{perdas mensais nos colectores}}{\text{carga aquecimento mensal}} = \frac{A_c \cdot F_R' K_c \cdot (100 - \bar{T}_{ext})}{Q_{aquecimento}} \qquad 0 < X < 18 \qquad \text{(eq. 5.1)}$$

$$Y = \frac{\text{energia mensal absorvida pelos colectores}}{\text{carga aquecimento mensal}} = \frac{A_c \cdot F_R' \cdot \overline{\tau\alpha} \cdot \overline{I_\beta}}{Q_{aquecimento}} \qquad 0 < Y < 3 \qquad \text{(eq. 5.2)}$$

onde:

A_c - Área de colectores (m^2)

F_R' - Rendimento que depende do tipo de permutador de calor

K_c - Factor de perdas ($W.m^{-2}.ºC^{-1}$)

$\bar{T}_{ext}$ - Temperatura média ambiente (ºC)

$\overline{\tau\alpha}$ – Reflectividade e absorção média do colector

$\overline{I_\beta}$ - Radiação incidente média mensal ($J.m^{-2}$)

$Q_{aquecimento}$- Energia necessária para satisfazer as necessidades de consumo (J)

Para o caso de aquecimento apenas de águas domésticas, seguem-se as seguintes correcções.

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{volume de água armazenada} \left(\frac{\text{litros}}{\text{m}^2}\right)}{75} \right)^{-0,25} \qquad \text{(eq. 5.3)}$$

$$\frac{X_c}{X} = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{cons} + 3,86 \cdot T_{rede} - 2,32 \cdot \bar{T}_{ext}}{100 - \bar{T}_{ext}} \qquad \text{(eq. 5.4)}$$

sendo,

T_{cons} - Temperatura para a água de consumo (ºC)
T_{rede} – Temperatura da água proveniente da rede de abastecimento (ºC)

O valor da fracção solar mensal é obtido, após a obtenção do valor corrigido da variável *X*, pela seguinte equação.

$$f_{mensal} = 1{,}029 \cdot Y - 0{,}065 \cdot X - 0{,}245 \cdot Y^2 + 0{,}0018 \cdot X^2 + 0{,}0215 \cdot Y^3 \qquad \text{(eq. 5.5)}$$

Caso o valor da fracção solar seja superior a 1, significa que há desperdício de energia captada pelos colectores.

<u>Características dos colectores CPC utilizados</u>:

Área = 23,8 m^2

$F_R(\tau\alpha)_n = 0{,}76$

$F_R K = 4{,}6$ [$W.m^{-2}.ºC^{-1}$]

$$\text{PC interno} = \text{serpentina no depósito} \Rightarrow \varepsilon = 0{,}5 \Rightarrow \frac{F_R'}{F_R} = 0{,}93$$

$$\frac{\overline{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} = 0{,}94 \quad \text{(arbitrado)}$$

<u>Características de consumo</u>:

$T_{cons} = 60$ [ºC]

Consumo diário (26 pessoas × 60 l/dia/pessoa de águas quentes) = 1560 litros

Capacidade do reservatório = 1,5 × 60 × 26 (o factor 1,5 representa 50% a mais do consumo dário para compensar eventuais consumos em simultâneo)

A carga de aquecimento representa as necessidades térmicas e pode ser calculada da seguinte forma:

$$Q_{aquecimento} = \dot{m}_{água} \cdot cp \cdot (\mathrm{T_{cons}} - \mathrm{T_{rede}}) \cdot N \qquad \text{(eq. 5.6)}$$

Sendo *N*, o número de dias do mês e *cp* o calor específico da água. ($cp_{água} = 4186$ [$\mathrm{J.ºC^{-1}.kg^{-1}}$]

Na Tabela 5.1 apresentam-se os resultados da fracção solar mensal obtidos através do método *f-chart*, usando como valores de radiação incidente mensal os valores da Tabela 3.9 para a situação de colector fixo com β próximo da latitude do local.

Tabela 5.1
Valores da fracção mensal para a cidade de Faro, usando os valores de radiação incidente obtidos pela folha de cálculo em Microsoft Excel apresentada na secção de cálculo dos ganhos solares

	T média ambiente (ºC)	T água rede (ºC)	Radiação incidente mensal (MJ)	$Q_{aquecimento}$ mensal (GJ)	X	Y	X_c / X	X_c	f solar mensal
Janeiro	11,9	14,7	477,4	9,7	2,47	0,78	1,27	2,90	0,51
Fevereiro	12,6	15,0	471,8	8,8	2,75	0,86	1,27	3,25	0,55
Março	13,7	15,5	708,3	9,3	2,51	1,19	1,28	2,98	0,76
Abril	15,1	16,6	653,4	8,8	2,63	1,17	1,31	3,21	0,75
Maio	17,5	17,9	764,4	8,6	2,62	1,40	1,34	3,26	0,86
Junho	20,6	19,3	763,3	7,7	2,81	1,56	1,37	3,58	0,92
Julho	23,3	20,7	821,5	7,4	2,82	1,75	1,41	3,69	1,00
Agosto	23,4	20,7	804,2	7,4	2,82	1,72	1,41	3,69	0,98
Setembro	21,8	19,7	737,6	7,5	2,85	1,56	1,38	3,65	0,92
Outubro	18,7	18,1	654,4	8,4	2,65	1,24	1,34	3,30	0,78
Novembro	15,1	16,2	447,5	8,8	2,63	0,80	1,29	3,16	0,52
Dezembro	12,7	15,0	405,0	9,6	2,49	0,67	1,27	2,93	0,43

Esta seria uma situação bastante favorável, na medida em que não existe nenhum mês com fracção solar superior a 1, ou seja, não há desperdício de energia. Em Julho, com uma fracção solar igual à unidade, significa que não seria necessário recorrer a sistemas de apoio.

Para o cálculo da energia mensal fornecida pelo sistema solar, realiza-se a seguinte operação:

$$E_{fornecida} = \frac{Y \cdot Q_{aquecimento}}{3{,}6 \times 10^6} \cdot f_{solar} \qquad [\text{kWh}] \qquad \text{(eq. 5.7)}$$

Repetindo a equação 5.7 para todos os meses e fazendo o somatório para um ano, chega-se ao valor anual de energia fornecida pelo sistema solar nas condições atrás referidas. Esse valor é de 26 827 kWh.

Para o cálculo da viabilidade económica deste projecto, é agora necessário saber qual o valor de energia adicional que o sistema consegue captar e fornecer usando um sistema de seguidor solar. Contudo, o método *f-chart* não contabiliza de forma coerente as perdas térmicas associadas a uma maior taxa de radiação incidente nos colectores. Ainda assim, experimentando colocar os valores da radiação incidente, correspondentes à cidade de Faro e resultantes da aplicação de um seguidor solar, verifica-se segundo este método, que a energia

anual fornecida pelo sistema solar é 48 e 63% superior aos 26 827 kWh, para colectores orientados segundo azimute e segundo o azimute e *β,* respectivamente.

Observando a Figura 3.9 sabe-se que para a cidade de Faro, o ganho no valor da radiação incidente é de 24,5 e 32,8% para um seguidor com um ou dois graus de liberdade, respectivamente. Comparando os valores percentuais desta figura, com os ganhos percentuais de energia anual fornecida, obtidos pelo método *f-chart*, depreende-se que os valores desta última hipótese são bastante grosseiros.

Alternativamente pode considerar-se uma outra hipótese, em que se supõe que o valor da energia anual fornecida pelos colectores varia na mesma proporção que os valores de radiação incidente apresentados na Figura 3.9, bastando assim multiplicar os ganhos percentuais presentes nesta figura pelos 26 827 kWh, obtidos pelo método *f-chart*. Este também não é o método mais correcto de análise, mas apresenta-se possivelmente como sendo uma hipótese mais realista que a anterior. Um dos erros que se comete ao considerar esta suposição é a de que a fracção solar mensal se mantém constante. Na realidade, isso não acontece porque quando se aumenta o valor da radiação incidente, o valor da fracção solar tem tendência para aumentar, desde que a carga (necessidades térmicas) se mantenha constante. Isto pode sugerir que a instalação de um seguidor solar permite aumentar a carga de aquecimento, sem ter de alterar a área de colectores.

Na Tabela 5.2 apresentam-se os valores de energia que o sistema solar fornece, atendendo a esta última ponderação.

Tabela 5.2
Energia fornecida pelo sistema solar, de acordo com as considerações realizadas e investimento adicional necessário para garantir a movimentação do sistema

	Colector fixo (*β* próximo da latitude)	Colector com *β* fixo (próximo da latitude) e azimute variável	Colector com *β* e azimute variável
Energia fornecida pelo sistema solar (kWh)	26 827 (f-chart)	33 399	35 626
Investimento adicional (€, com IVA)	----------	10 080	13 800

Com os valores da Tabela 5.2 é possível calcular a viabilidade económica do seguidor solar projectado. Salienta-se que cada investimento apenas se traduz na energia adicional fornecida em relação ao sistema com colector fixo. Esse valor anual de energia adicional é que vai

permitir amortizar o investimento feito, pois trata-se de uma fracção de energia que anteriormente era fornecida pelo sistema de apoio (*e.g.* gás, electricidade e gasóleo) e que passa agora a ser gratuita. A amortização de um investimento pode então ser explicada como sendo a diferença anual entre o investimento realizado e a poupança energética que esse investimento proporciona. No primeiro ano, a amortização representa a diferença entre o investimento efectuado e o ganho desse ano. Como se trata de um investimento geralmente superior ao ganho, multiplica-se esta diferença por -1. Nos anos seguintes a amortização realiza-se pela soma entre o ganho conseguido nesse ano com o valor da amortização do ano anterior. Quando o valor da amortização passa de negativo para positivo, significa que já se verificou o *payback* do investimento, ou seja, que o valor total dos ganhos conseguidos já igualou ou ultrapassou o valor do investimento.

No que diz respeito ao estudo económico, optou-se por apresentar o sistema de colectores com as duas situações possíveis, isto é sem cilindro hidráulico (sem variação de β) e com cilindro (com dois graus de liberdade). A retoma do investimento para cada um dos casos é analisada tendo em conta três tipos de sistemas de apoio – caldeira a gás, a gasóleo e eléctrico, escolhidos tendo por base a maioria de utilizações convencionais. Para qualquer um dos casos anteriormente referidos supôs-se uma inflação anual de 5% no preço da fonte energética.

Tabela 5.3
Dados relativos ao investimento e características dos possíveis sistemas de apoio, para o sistema sem cilindro hidráulico

Investimento no Sistema Seguidor Solar	**10.080,00**	**€**	
Ganho energético anual obtido com seguidor solar	**6.572,00**	**kWh**	
Eficiência do sistema de apoio	70%		Caldeira a gasóleo
Necessidade energética anual da caldeira	9.388,57	kWh	
Eficiência do sistema de apoio	70%		Gás Butano / Propano garrafa
Necessidade energética anual da caldeira	9.388,57	kWh	
Eficiência do sistema de apoio	95%		Sistema eléctrico
Necessidade energética anual do sistema eléctrico	6.917,89	kWh	

Tabela 5.4
Preço unitário, ganho energético e respectiva amortização para os três tipos de energia utilizados pelos convencionais sistemas de apoio para um período de 17 anos, para o sistema sem cilindro hidráulico

	Preço (€/kWh)			Ganhos Energéticos (€/ano)			Amortização (€)		
Ano	**Gasóleo**	**Gás**	**Electricidade**	**Gasóleo**	**Gás**	**Electricidade**	**Caldeira a gasóleo**	**Caldeira a gás**	**Sistema eléctrico**
0	0,065	0,09	0,11						
1	0,068	0,095	0,116	641	887	799	**-9.439**	**-9.193**	**-9.281**
2	0,072	0,099	0,121	673	932	839	**-8.766**	**-8.261**	**-8.442**
3	0,075	0,104	0,127	706	978	881	**-8.060**	**-7.283**	**-7.561**
4	0,079	0,109	0,134	742	1.027	925	**-7.318**	**-6.256**	**-6.636**
5	0,083	0,115	0,140	779	1.078	971	**-6.539**	**-5.178**	**-5.665**
6	0,087	0,121	0,147	818	1.132	1.020	**-5.722**	**-4.045**	**-4.645**
7	0,091	0,127	0,155	859	1.189	1.071	**-4.863**	**-2.856**	**-3.574**
8	0,096	0,133	0,163	902	1.248	1.124	**-3.961**	**-1.608**	**-2.450**
9	0,101	0,140	0,171	947	1.311	1.181	**-3.015**	**-297**	**-1.270**
10	0,106	0,147	0,179	994	1.376	1.240	**-2.020**	**1.079**	**-30**
11	0,111	0,154	0,188	1.044	1.445	1.302	**-977**	**2.525**	**1.271**
12	0,117	0,162	0,198	1.096	1.517	1.367	**119**	**4.042**	**2.638**
13	0,123	0,170	0,207	1.151	1.593	1.435	**1.270**	**5.635**	**4.073**
14	0,129	0,178	0,218	1.208	1.673	1.507	**2.478**	**7.308**	**5.580**
15	0,135	0,187	0,229	1.269	1.757	1.582	**3.747**	**9.065**	**7.162**
16	0,142	0,196	0,240	1.332	1.844	1.661	**5.079**	**10.909**	**8.823**
17	0,149	0,206	0,252	1.399	1.937	1.744	**6.478**	**12.846**	**10.567**

Tabela 5.5
Dados relativos ao investimento e características dos possíveis sistemas de apoio, para o sistema com dois graus de liberdade

Investimento no Sistema Seguidor Solar	**13.800,00**	**€**	
Ganho energético anual obtido com seguidor solar	**8.799,00**	**kWh**	
Eficiência do sistema de apoio	70%		Caldeira a gasóleo
Necessidade energética anual da caldeira	12.570,00	kWh	
Eficiência do sistema de apoio	70%		Gás Butano / Propano garrafa
Necessidade energética anual da caldeira	12.570,00	kWh	
Eficiência do sistema de apoio	95%		Sistema eléctrico
Necessidade energética anual do sistema eléctrico	9.262,11	kWh	

Tabela 5.6
Preço unitário, ganho energético e respectiva amortização para os três tipos de energia utilizados pelos convencionais sistemas de apoio para um período de 17 anos, para o sistema com dois graus de liberdade

	Preço (€/kWh)			Ganhos Energéticos (€/ano)			Amortização (€)		
Ano	**Gasóleo**	**Gás**	**Electricidade**	**Gasóleo**	**Gás**	**Electricidade**	**Caldeira a gasóleo**	**Caldeira a gás**	**Sistema eléctrico**
0	0,065	0,09	0,11						
1	0,068	0,095	0,116	858	1.188	1.070	**-12.942**	**-12.612**	**-12.730**
2	0,072	0,099	0,121	901	1.247	1.123	**-12.041**	**-11.365**	**-11.607**
3	0,075	0,104	0,127	946	1.310	1.179	**-11.095**	**-10.055**	**-10.428**
4	0,079	0,109	0,134	993	1.375	1.238	**-10.102**	**-8.680**	**-9.189**
5	0,083	0,115	0,140	1.043	1.444	1.300	**-9.060**	**-7.236**	**-7.889**
6	0,087	0,121	0,147	1.095	1.516	1.365	**-7.965**	**-5.720**	**-6.523**
7	0,091	0,127	0,155	1.150	1.592	1.434	**-6.815**	**-4.128**	**-5.090**
8	0,096	0,133	0,163	1.207	1.671	1.505	**-5.608**	**-2.457**	**-3.585**
9	0,101	0,140	0,171	1.268	1.755	1.581	**-4.340**	**-702**	**-2.004**
10	0,106	0,147	0,179	1.331	1.843	1.660	**-3.009**	**1.141**	**-345**
11	0,111	0,154	0,188	1.397	1.935	1.743	**-1.612**	**3.076**	**1.398**
12	0,117	0,162	0,198	1.467	2.032	1.830	**-145**	**5.107**	**3.228**
13	0,123	0,170	0,207	1.541	2.133	1.921	**1.396**	**7.241**	**5.149**
14	0,129	0,178	0,218	1.618	2.240	2.017	**3.014**	**9.481**	**7.166**
15	0,135	0,187	0,229	1.699	2.352	2.118	**4.712**	**11.832**	**9.284**
16	0,142	0,196	0,240	1.784	2.469	2.224	**6.496**	**14.302**	**11.508**
17	0,149	0,206	0,252	1.873	2.593	2.335	**8.369**	**16.895**	**13.843**

6. Conclusões

De acordo com a Figura 1.6, o número teórico de horas diurnas calculado, apresenta-se com cerca de 1000 horas a mais por ano. Isto é explicado pelo facto do número teórico de horas diurnas depender apenas de variáveis geométricas. Na realidade, devido às condições atmosféricas, o seu valor real por mês é cerca de 100 horas inferior.

Em relação aos resultados obtidos para o cálculo da radiação incidente anual, a presença de um seguidor solar permite ter ganhos percentuais na ordem dos 22 a 25% apenas com variação horária do azimute da superfície e em relação a sistemas fixos. Existindo um seguidor solar com dois graus de liberdade (variação do azimute da superfície e do ângulo β) a percentagem de ganho nas cinco cidades em estudo pode variar entre os 29 e os 32%.

Sendo Faro a cidade que maior quantidade de radiação solar recebe, esta será à partida, tendo em conta todo o estudo realizado, a cidade mais favorável para a instalação de colectares solares térmicos com seguidor solar. Contudo, e atendendo a que se tratam de valores percentuais qualquer uma das cidades apresenta ganhos significativos para instalação de colectores solares capazes de acompanhar o movimento do Sol.

Uma das principais vantagens na instalação de seguidores solares reside no maior aproveitamento da radiação incidente nos meses de Janeiro e Dezembro. Durante estes meses poderá ser feita uma maior utilização de água quente a partir da energia solar (por exemplo para aquecimento habitacional, bastante usual nestes meses), conseguindo-se economizar no aquecimento dessa mesma água que teria de ser aquecida através de outras formas de energia. Como se tratam de meses em que a altura do Sol é baixa, o maior aproveitamento surge com a variação do ângulo β do conjunto de colectores. A adição do cilindro hidráulico para variação do β representa um investimento elevado para o ganho adicional anual de energia que proporciona, mas tem a vantagem de poder favorecer a situação dos meses mais frios, em que Sol se encontra mais baixo. Nestes meses o ganho percentual é sempre superior ao ganho médio anual que a variação do ângulo β proporciona.

Para as cidades de Faro e Évora onde geralmente se atingem as temperaturas mais altas no país, há ainda a hipótese de utilizar um sistema de absorção e aproveitar as alturas em que há disponibilidade de energia do lado da oferta, para climatização habitacional (geração de frio a partir de calor). Estes sistemas podem até utilizar a energia desperdiçada nos meses mais quentes, caso as necessidades térmicas se mantenham constantes e a fracção solar aumente. Quando se utiliza valores de energia provenientes de seguimento solar, fica-se com a ideia de

que pode ser possível aumentar as necessidades térmicas, sem que para isso se tenha de alterar a área de colectores solares. Isto pode ser uma boa vantagem destes sistemas, na medida em que uma determinada instituição pode adquirir uma menor área de colectores solares juntamente com um seguidor, em vez duma maior área de colectores fixos. Este sistema seguidor de natureza óleo-hidráulica necessita de muito pouca manutenção (essencialmente vedantes) e tem um consumo de cerca de 130 € por ano, devido ao funcionamento do motor eléctrico durante 60 segundos por hora, considerando a electricidade ao preço de 0,110 €/kWh.

Relativamente à análise económica do sistema pode concluir-se que o *payback* do investimento é elevado, podendo existir um retorno mais rápido, quando os sistemas de apoio funcionam por queima de gás butano/propano ou através de electricidade. Contudo, para grandes necessidades térmicas (que impliquem um elevado número de colectores), estes são provavelmente os sistemas menos utilizados. É ainda de salientar que o estudo económico encontra-se afectado por considerações realizadas acerca dos valores de energia fornecida pelos colectores aquando da sua movimentação, sendo esta a situação de maior valorização orçamental para o sistema de orientação automática projectado.

7. Sugestões para trabalhos futuros

Este projecto, ou outro semelhante, a ser continuado deverá contar com alguns aspectos importantes, os quais se apresentam de seguida:

a) Procurar novos intervalos de valores dos ângulos óptimos do azimute da superfície e β, podendo adaptar-se a folha de cálculo para inserção de possíveis sombreamentos. Procurar saber se apenas se deve accionar um sistema seguidor solar em determinadas alturas do ano.
b) Estudar a viabilidade técnico-económica para conjuntos de colectores de menor dimensão ao considerado.
c) Verificar até que ponto a área de colectores compensaria o investimento em seguidores solares accionados electricamente, atendendo a possíveis esforços de fadiga causados nas engrenagens dos redutores.
d) Analisar diferentes tipologias de edifícios (habitações domésticas, habitações para turismo rural, hotéis, hospitais, piscinas públicas, etc.) para aplicação de seguidores solares, bem como a variação da fracção solar para cada caso.
e) Estudar a possibilidade de instalação de um seguidor em colectores solares térmicos num país com clima muito quente, tendo apenas como finalidade a utilização da água quente para gerar frio, por máquinas de absorção. Comparação económica com os sistemas convencionais.
f) Executar um modelo real de colectores solares térmicos que seguem a posição do Sol, para verificação da exequibilidade do mesmo.

8. Bibliografia

[1] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Capítulo III, Artigo 7º

[2] Roubanis, N., Dahlström, C., Renewable energy statistics of 2005, EuroStat, 2007

[3] Pelamis, Projecto inovador; http://jn.sapo.pt/PaginaInicial/Economia/Interior.aspx?content_id=1017163; acedido em Setembro de 2008

[4] Licenças para compra e venda de emissões de CO_2; http://dn.sapo.pt/2006/06/21/economia/sendeco2_lanca_bolsa_licencas_carbon.html; acedido em Outubro de 2008

[5] Protocolo de Kyoto; http://ambienteacreano.blogspot.com/2005/11/protocolo-de-kyoto-obriga-portugal.html; acedido em Setembro de 2008

[6] Energia Solar; http://lge.deec.uc.pt/projectos/licenciatura/1998-99/mafo/mafo5.html; acedido em Setembro de 2008

[7] Oliveira, A., Acetatos de apoio às aulas da disciplina de Energias Renováveis, parte solar, 2007/08

[8] Weiss, W., Bergmann, I., Faninger, Gerhard, Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008

[9] Energia Solar; http://www.dgge.pt/; acedido em Janeiro de 2009

[10] J. Shingleton, One-Axis Trackers – Improved Reliability, Durability, Performance, and Cost Reduction, Fevereiro de 2008, Auburn, New York

[11] Luís Campos, A., National Geographic Portugal, Junho de 2008

[12] Pau Chang, T., The gain of single-axis tracked panel according to extraterrestrial radiation, Janeiro de 2008

[13] Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Colecção Construção Civil 17, Rei dos Livros, 2.ª edição, Abril 1998

Outras obras consultadas:

- Kreith, F., Kreider, Jan F., Principles of Solar Engineering, Hemisphere publishing corporation, Mcgraw-hill book company

- White M., F., Mecânica dos Fluidos, quarta edição, McGraw-Hill Interamericana do Brasil, 2002

- Duffie A., J., Beckman, W., Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, A Wiley Interscience Publication

- IEA WIND, IEA WIND ENERGY Annual Report 2007, Julho 2008

- Photon, La Revista de Fotovoltaica, Outubro 2008

- Água Quente Solar, Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial

- Água Quente Solar, Colectores Solares para Aquecimento de Água - Pavilhões Desportivos e Piscinas

9. Anexos

9.1. Anexo A – Apoio ao Enquadramento Teórico

Tabela A.1
Taxas de utilização de fontes renováveis na energia de consumo, em vários países da Europa, bem como os valores globais do conjunto de vários países [2]

In 2005, 8.5 % of final energy consumption is covered by renewable energy

eurostat	Share of Renewables to final* energy consumption						Share of Renewables to final* energy consumption with normalised hydro					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Belgium	1.2%	1.3%	1.4%	1.6%	1.8%	2.2%	1.2%	1.3%	1.4%	1.6%	1.8%	2.2%
Bulgaria	8.0%	7.1%	8.4%	9.0%	9.6%	10.6%	8.2%	8.1%	9.0%	8.8%	9.4%	9.4%
Czech Republic	2.1%	2.4%	3.2%	4.2%	6.0%	6.3%	2.4%	2.7%	2.9%	4.3%	5.9%	6.1%
Denmark	11.7%	12.3%	13.4%	14.9%	16.1%	17.0%	11.7%	12.3%	13.4%	14.9%	16.1%	17.0%
Germany	3.7%	3.9%	4.4%	4.4%	4.9%	5.8%	4.0%	4.2%	4.8%	4.6%	4.7%	5.8%
Estonia	16.0%	15.3%	14.9%	14.9%	19.0%	18.0%	16.0%	15.3%	14.9%	14.9%	19.0%	18.0%
Ireland	2.2%	2.2%	2.4%	2.2%	2.6%	3.0%	2.2%	2.3%	2.3%	2.4%	2.7%	3.1%
Greece	7.3%	6.5%	6.7%	7.2%	7.3%	7.5%	7.4%	7.3%	7.2%	6.8%	6.8%	6.9%
Spain	8.0%	9.1%	7.5%	9.4%	8.4%	7.6%	8.3%	8.2%	8.3%	8.6%	8.5%	8.7%
France	10.7%	10.9%	10.0%	9.9%	9.8%	9.5%	10.6%	10.4%	10.3%	10.3%	10.1%	10.3%
Italy	5.0%	5.2%	4.7%	4.4%	5.0%	4.8%	4.8%	4.9%	5.5%	4.7%	5.0%	5.2%
Cyprus	2.6%	2.5%	2.5%	2.5%	2.6%	2.9%	2.6%	2.5%	2.5%	2.4%	2.6%	2.9%
Latvia	35.1%	34.4%	33.1%	31.9%	35.0%	35.5%	35.5%	34.8%	34.4%	33.6%	34.8%	34.9%
Lithuania	15.1%	15.3%	15.4%	15.4%	15.4%	15.0%	16.7%	16.8%	16.8%	16.9%	15.4%	15.0%
Luxembourg	0.9%	0.7%	0.9%	0.8%	0.9%	0.9%	0.9%	0.8%	0.7%	0.8%	0.9%	0.9%
Hungary	2.8%	2.6%	4.8%	4.7%	4.4%	4.3%	2.8%	2.6%	4.8%	4.7%	4.4%	4.3%
Malta	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Netherlands	1.6%	1.6%	1.6%	1.8%	2.0%	2.4%	1.6%	1.6%	1.6%	1.8%	2.0%	2.4%
Austria	26.6%	25.8%	24.9%	21.8%	23.3%	23.0%	25.6%	25.4%	24.7%	23.8%	22.8%	23.3%
Poland	6.5%	6.9%	7.3%	7.0%	7.1%	7.2%	6.5%	6.9%	7.2%	7.1%	7.1%	7.2%
Portugal	19.7%	20.5%	17.8%	21.5%	17.4%	17.0%	19.6%	19.2%	19.4%	19.5%	18.3%	20.5%
Romania	16.6%	13.7%	14.8%	15.4%	16.4%	19.2%	16.9%	14.0%	14.8%	16.3%	16.3%	17.8%
Slovenia	16.9%	16.1%	15.4%	14.3%	16.1%	14.9%	16.4%	16.2%	16.7%	16.4%	16.2%	16.0%
Slovakia	3.7%	6.2%	5.9%	5.2%	6.1%	6.9%	3.2%	5.7%	5.1%	5.8%	6.3%	6.7%
Finland	29.5%	27.9%	27.6%	26.7%	29.7%	28.5%	29.0%	28.0%	28.5%	28.0%	29.2%	28.5%
Sweden	40.0%	40.0%	36.5%	33.9%	36.3%	40.8%	37.4%	37.2%	36.5%	37.3%	38.2%	39.8%
United Kingdom	0.9%	0.9%	1.0%	1.0%	1.2%	1.3%	0.9%	0.9%	1.0%	1.1%	1.2%	1.3%
EU 15	7.7%	7.8%	7.5%	7.5%	7.8%	8.0%	7.5%	7.5%	7.8%	7.7%	7.9%	8.3%
EU 25	7.5%	7.7%	7.5%	7.5%	7.8%	8.1%	7.4%	7.4%	7.7%	7.7%	7.9%	8.3%
EU 27	7.7%	7.8%	7.6%	7.7%	8.1%	8.3%	7.6%	7.6%	7.9%	7.9%	8.1%	8.5%

*Including consumption of the energy branch and distribution losses for electricity and heat

Tabela A.2
Distinção da capacidade instalada em vários países, de acordo com o tipo de colector e tipo de fluido usado

Country	Water Collectors			Air Collectors		TOTAL [MW_{th}]
	unglazed***	glazed	evacuated tube	unglazed***	glazed***	
Albania		5.57	0.05			5.63
Australia	385.00	109.20	10.50			504.70
Austria	4.85	202.82	2.05			209.72
Barbados		1.91				1.91
Belgium	6.18	21.89	3.06			31.12
Brazil		304.03				304.03
Bulgaria		1.54				1.54
Canada	25.40	0.92	0.50	16.41	0.03	43.26
China		1,260.00	11,340.00			12,600.00
Cyprus		42.00				42.00
Czech Republic	4.20	12.94	2.48			19.62
Denmark	1.12	19.95	0.70		4.90	26.67
Estonia		0.21				0.21
Finland		2.38				2.38
France *	4.20	198.80	7.70			210.70
Germany	21.00	945.00	105.00			1,071.00
Greece		174.30				174.30
Hungary		0.70				0.70
India		350.00				350.00
Ireland		2.87	0.63			3.50
Israel	2.66	155.40				158.06
Italy	2.56	109.06	18.59			130.20
Japan		183.87	0.97	12.21		197.04
Jordan		5.37	2.52			7.89
Lativa		0.84				0.84
Lithuania		0.42				0.42
Luxembourg		1.75				1.75
Macedonia		1.48	0.03			1.51
Malta		3.15				3.15
Mexico	20.32	47.41				67.73
Namibia		1.20				1.20
Netherlands	17.09	10.46				27.55
New Zealand	0.42	6.72	2.35			9.49
Norway		0.49	0.07			0.56
Poland	0.11	24.61	4.38			29.09
Portugal		19.81				19.81
Romania		0.28				0.28
Slovak Republic		5.39	0.56			5.95
Slovenia		4.41	0.42			4.83
South Africa	45.57	9.66				55.23
Spain		113.31	9.19			122.50
Sweden	9.39	13.88	6.10			29.37
Switzerland **	6.27	35.25	1.06	0.70		43.27
Taiwan		79.55	5.99			85.54
Tunisia		24.17	0.33			24.50
Turkey		490.00				490.00
United Kingdom		18.90	18.90			37.80
United States	1,010.99	83.57	3.58		0.39	1,098.52
TOTAL	**1,567.33**	**5,107.43**	**11,547.67**	**29.31**	**5.32**	**18,257.07**

* France: includes Overseas Departments
** Unglazed air collectors in Switzerland: this is a very simple site-built system for hay drying purposes.
*** If no data is given: no reliable data base for this collector type available

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

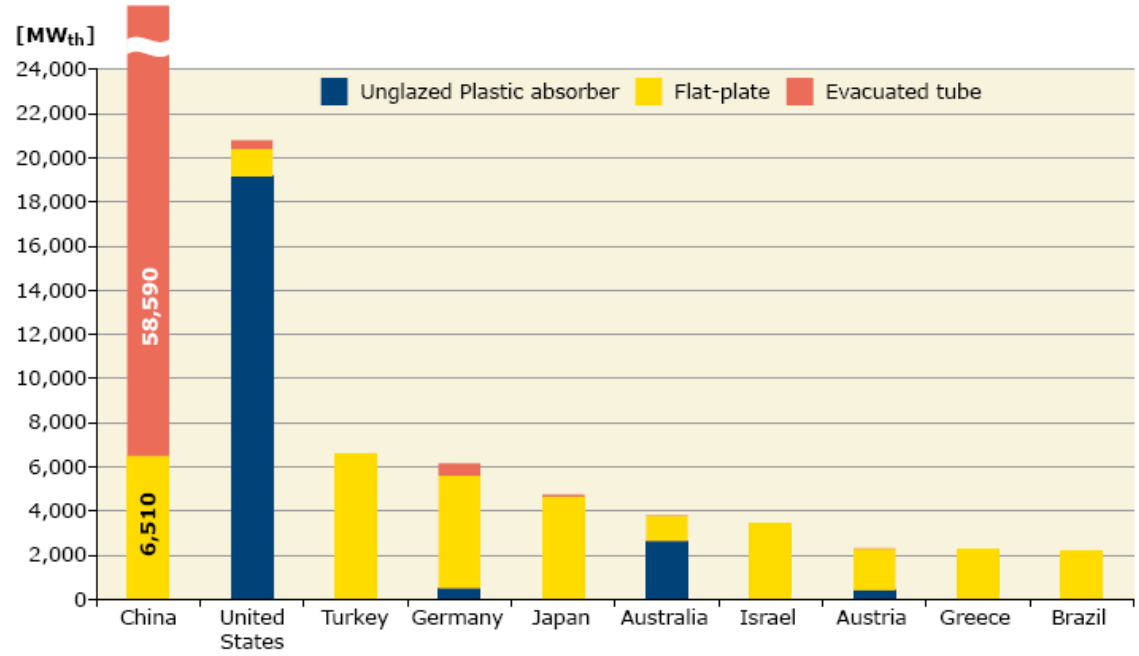


Figura A.1
Gráfico sobre a capacidade total de colectores a água em utilização no final de 2006, nos 10 países com maior capacidade instalada.

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

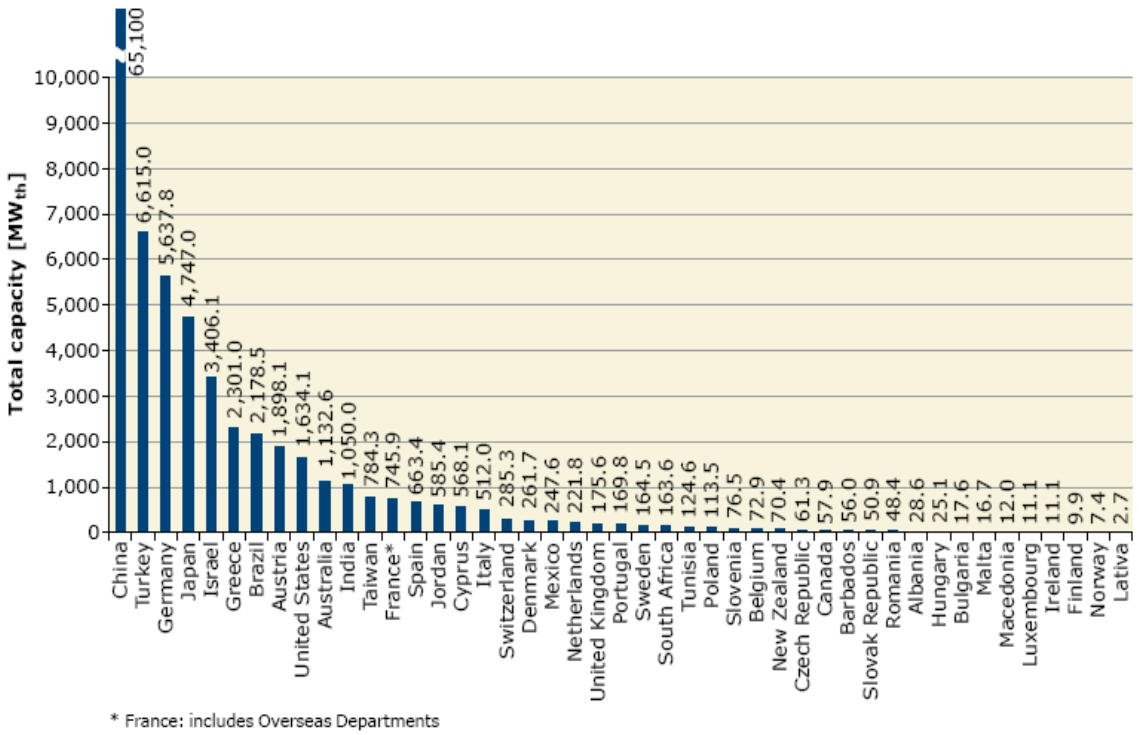


Figura A.2
Capacidade total de colectores planos com vidro e tubos de vácuo em utilização no final do ano de 2006.

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

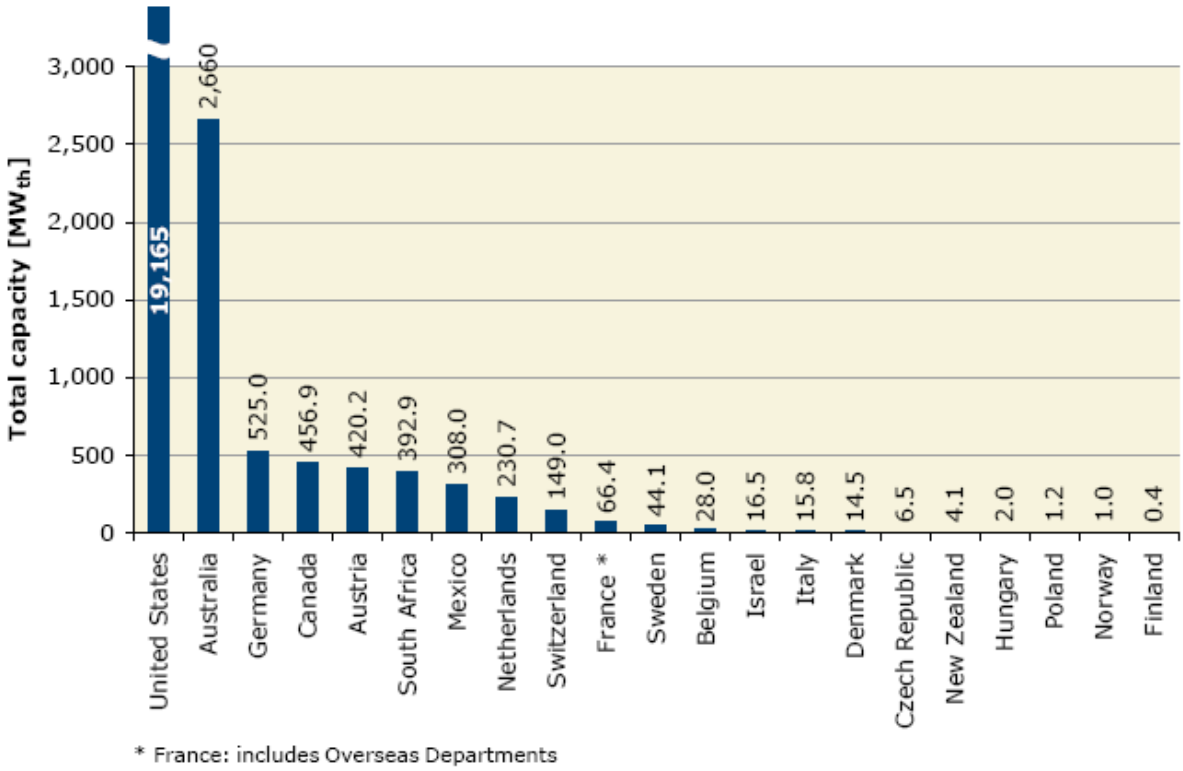


Figura A.3
Capacidade total de colectores planos sem vidro em utilização no final do ano de 2006.

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

Tabela A.3

Cálculo da produtividade dos colectores solares térmicos, bem como o equivalente em litros de petróleo e consequente redução das emissões de CO_2. Foram usados sistemas para aquecimento de águas, espaços e piscinas

Country	Total collector area** [m²]	Total capacity [MW_{th}]	Calculated number of systems	Collector yield [GWh/a]	Collector yield [TJ/a]	Energy savings / oil equivalent [l/a]	CO_2 reduction [t/a]
Albania	40,798	28.6	16,319	18.7	67.4	3,720,778	10,151
Australia	5,418,000	3,792.6	416,057	2,066.1	7,437.9	363,366,687	991,548
Austria	3,311,750	2,318.2	330,553	1,101.7	3,966.0	165,780,327	452,362
Barbados	80,063	56.0	20,016	65.3	234.9	11,649,109	31,765
Belgium	144,118	100.9	26,230	47.0	169.2	6,784,724	18,511
Brazil	3,112,105	2,178.5	778,026	1,367.0	4,921.2	243,522,216	664,434
Bulgaria	25,100	17.6	6,275	10.9	39.3	2,246,450	6,124
Canada	735,333	514.7	16,433	178.5	642.7	29,251,465	79,812
China	93,000,000	65,100.0	22,608,300	40,009.8	144,035.1	6,368,175,000	17,402,393
Cyprus	811,538	568.1	199,152	509.1	1,832.6	87,311,475	238,070
Czech Republic	96,810	67.8	14,514	30.4	109.5	4,351,608	11,820
Denmark	394,630	276.2	81,705	132.4	476.7	18,705,151	51,034
Estonia	1,120	0.8	280	0.4	1.3	47,600	130
Finland	14,663	10.3	3,380	4.6	16.5	602,971	1,645
France*	1,160,400	812.3	256,588	388.4	1,398.2	70,567,879	192,303
Germany	8,804,000	6,162.8	1,171,043	3,158.8	11,371.8	457,112,401	1,247,230
Greece	3,287,200	2,301.0	1,289,897	1,727.5	6,218.9	363,085,704	990,621
Hungary	38,700	27.1	5,945	13.2	47.4	2,470,099	6,743
India	1,500,000	1,050.0	375,000	1,345.5	4,843.8	225,375,000	615,000
Ireland	15,896	11.1	3,974	5.3	18.9	691,476	1,884
Israel	4,889,400	3,422.6	1,194,209	3,577.4	12,878.7	573,524,136	1,563,577
Italy	754,000	527.8	182,958	318.3	1,146.0	50,344,290	137,345
Japan	6,781,363	4,747.0	1,641,542	3,235.2	11,646.8	485,922,652	1,325,716
Jordan	836,266	585.4	205,220	586.8	2,112.4	121,279,477	330,873
Lativa	3,850	2.7	963	1.3	4.7	178,063	487
Lithuania	2,750	1.9	688	0.9	3.3	128,563	350
Luxembourg	15,900	11.1	3,975	5.5	19.7	763,200	2,087
Macedonia	17,118	12.0	4,280	7.4	26.7	1,536,341	4,190
Malta	23,860	16.7	5,965	7.4	26.8	2,726,005	7,438
Mexico	793,662	555.6	32,048	366.8	1,320.4	69,294,194	189,066
Namibia	3,168	2.2	792	1.6	5.7	365,939	992
Netherlands	646,410	452.5	91,054	156.5	563.4	21,512,894	58,674
New Zealand	106,394	74.5	24,005	31.6	113.7	5,016,855	13,692
Norway	12,000	8.4	1,746	3.8	13.7	499,075	1,362
Poland	163,830	114.7	26,792	52.5	189.0	7,670,038	20,909
Portugal	242,596	169.8	57,859	152.4	548.5	24,882,202	67,888
Jordan	69,100	48.4	17,275	32.0	115.1	6,011,700	16,411
Slovak Rep.	72,750	50.9	12,125	29.1	104.9	4,365,000	11,907
Slovenia	109,300	76.5	17,896	39.4	141.9	5,790,408	15,791
South Africa	794,990	556.5	61,227	207.7	747.8	35,332,007	96,359
Spain	947,764	663.4	226,042	578.6	2,082.9	87,186,611	237,896
Sweden	298,000	208.6	20,682	114.6	412.7	13,055,728	35,609
Switzerland	620,480	434.3	54,028	178.2	641.6	25,714,455	70,151
Taiwan	1,120,440	784.3	280,110	561.9	2,022.8	99,439,050	271,707
Tunisia	178,000	124.6	44,500	118.7	427.4	26,255,000	71,690
Turkey	9,450,000	6,615.0	2,145,150	5,633.2	20,279.7	895,226,850	2,445,117
UK	250,920	175.6	62,730	83.6	300.9	11,962,611	32,645
United States	29,713,560	20,799.5	525,956	8,696.5	31,307.5	1,492,822,565	4,073,144
TOTAL	**180,910,095**	**126,637**	**34,561,502**	**76,959**	**277,054**	**12,493,624,027**	**34,116,651**

* France: includes Overseas Departments

** Unglazed, Glazed Flat-Plate and Evacuated Tube Water Collectors

(Fonte: Solar Heat WorldWide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2008)

9.2. Anexo B – Apoio ao Cálculo dos Ganhos Solares

Tabela B.1

Valores da declinação da Terra (células sombreadas) e número de horas de luz solar para cada dia do ano (células a branco). Valor da latitude em radianos, neste caso 42º - cidade de Bragança

LATITUDE	0,733

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Declinação Jan.	-23,01	-22,93	-22,84	-22,75	-22,65	-22,54	-22,42	-22,30	-22,17	-22,04	-21,90	-21,75	-21,60	-21,44	-21,27	-21,10	-20,92	-20,73	-20,54	-20,34	-20,14	-19,93	-19,71	-19,49	-19,26	-19,03	-18,79	-18,55	-18,30	-18,04	-17,78
Janeiro	9,00	9,01	9,03	9,04	9,06	9,07	9,09	9,11	9,13	9,15	9,17	9,19	9,22	9,24	9,26	9,29	9,32	9,34	9,37	9,40	9,43	9,46	9,49	9,52	9,55	9,59	9,62	9,66	9,69	9,73	9,76
Declinação Fev.	-17,52	-17,25	-16,97	-16,69	-16,40	-16,11	-15,82	-15,52	-15,21	-14,90	-14,59	-14,27	-13,95	-13,62	-13,29	-12,95	-12,62	-12,27	-11,93	-11,58	-11,23	-10,87	-10,51	-10,15	-9,78	-9,41	-9,04	-8,67			
Fevereiro	9,80	9,84	9,87	9,91	9,95	9,99	10,03	10,07	10,11	10,15	10,19	10,24	10,28	10,32	10,36	10,41	10,45	10,49	10,54	10,58	10,63	10,67	10,72	10,76	10,81	10,86	10,90	10,95			
Declinação Mar.	-8,29	-7,91	-7,53	-7,15	-6,76	-6,38	-5,99	-5,60	-5,20	-4,81	-4,41	-4,02	-3,62	-3,22	-2,82	-2,42	-2,02	-1,61	-1,21	-0,81	-0,40	0,00	0,40	0,81	1,21	1,61	2,02	2,42	2,82	3,22	3,62
Março	10,99	11,04	11,09	11,14	11,18	11,23	11,28	11,33	11,37	11,42	11,47	11,52	11,56	11,61	11,66	11,71	11,76	11,81	11,85	11,90	11,95	12,00	12,05	12,10	12,15	12,19	12,24	12,29	12,34	12,39	12,44
Declinação Abr.	4,02	4,41	4,81	5,20	5,60	5,99	6,38	6,76	7,15	7,53	7,91	8,29	8,67	9,04	9,41	9,78	10,15	10,51	10,87	11,23	11,58	11,93	12,27	12,62	12,95	13,29	13,62	13,95	14,27	14,59	
Abril	12,48	12,53	12,58	12,63	12,67	12,72	12,77	12,82	12,86	12,91	12,96	13,01	13,05	13,10	13,14	13,19	13,24	13,28	13,33	13,37	13,42	13,46	13,51	13,55	13,59	13,64	13,68	13,72	13,76	13,81	
Declinação Mai.	14,90	15,21	15,52	15,82	16,11	16,40	16,69	16,97	17,25	17,52	17,78	18,04	18,30	18,55	18,79	19,03	19,26	19,49	19,71	19,93	20,14	20,34	20,54	20,73	20,92	21,10	21,27	21,44	21,60	21,75	21,90
Maio	13,85	13,89	13,93	13,97	14,01	14,05	14,09	14,13	14,16	14,20	14,24	14,27	14,31	14,34	14,38	14,41	14,45	14,48	14,51	14,54	14,57	14,60	14,63	14,66	14,68	14,71	14,74	14,76	14,78	14,81	14,83
Declinação Jun.	22,04	22,17	22,30	22,42	22,54	22,65	22,75	22,84	22,93	23,01	23,09	23,15	23,21	23,27	23,31	23,35	23,39	23,41	23,43	23,44	23,45	23,45	23,44	23,42	23,40	23,37	23,34	23,29	23,24	23,18	
Junho	14,85	14,87	14,89	14,91	14,93	14,94	14,96	14,97	14,99	15,00	15,01	15,02	15,03	15,04	15,04	15,05	15,06	15,06	15,06	15,06	15,07	15,07	15,06	15,06	15,06	15,05	15,05	15,04	15,03	15,02	
Declinação Jul.	23,12	23,05	22,97	22,89	22,80	22,70	22,59	22,48	22,36	22,24	22,11	21,97	21,83	21,67	21,52	21,35	21,18	21,01	20,82	20,64	20,44	20,24	20,03	19,82	19,60	19,38	19,15	18,91	18,67	18,42	18,17
Julho	15,01	15,00	14,99	14,98	14,96	14,95	14,93	14,92	14,90	14,88	14,86	14,84	14,82	14,80	14,77	14,75	14,72	14,70	14,67	14,64	14,61	14,59	14,56	14,53	14,49	14,46	14,43	14,40	14,36	14,33	14,29
Declinação Ago.	17,91	17,65	17,38	17,11	16,83	16,55	16,26	15,96	15,67	15,36	15,06	14,74	14,43	14,11	13,78	13,45	13,12	12,79	12,45	12,10	11,75	11,40	11,05	10,69	10,33	9,97	9,60	9,23	8,86	8,48	8,10
Agosto	14,26	14,22	14,18	14,15	14,11	14,07	14,03	13,99	13,95	13,91	13,87	13,83	13,79	13,74	13,70	13,66	13,62	13,57	13,53	13,48	13,44	13,40	13,35	13,30	13,26	13,21	13,17	13,12	13,08	13,03	12,98
Declinação Set.	7,72	7,34	6,96	6,57	6,18	5,79	5,40	5,01	4,61	4,22	3,82	3,42	3,02	2,62	2,22	1,81	1,41	1,01	0,61	0,20	-0,20	-0,61	-1,01	-1,41	-1,81	-2,22	-2,62	-3,02	-3,42	-3,82	
Setembro	12,94	12,89	12,84	12,79	12,75	12,70	12,65	12,60	12,56	12,51	12,46	12,41	12,36	12,31	12,27	12,22	12,17	12,12	12,07	12,02	11,98	11,93	11,88	11,83	11,78	11,73	11,69	11,64	11,59	11,54	
Declinação Out.	-4,22	-4,61	-5,01	-5,40	-5,79	-6,18	-6,57	-6,96	-7,34	-7,72	-8,10	-8,48	-8,86	-9,23	-9,60	-9,97	-10,33	-10,69	-11,05	-11,40	-11,75	-12,10	-12,45	-12,79	-13,12	-13,45	-13,78	-14,11	-14,43	-14,74	-15,06
Outubro	11,49	11,44	11,40	11,35	11,30	11,25	11,21	11,16	11,11	11,06	11,02	10,97	10,92	10,88	10,83	10,79	10,74	10,70	10,65	10,60	10,56	10,52	10,47	10,43	10,38	10,34	10,30	10,26	10,21	10,17	10,13
Declinação Nov.	-15,36	-15,67	-15,96	-16,26	-16,55	-16,83	-17,11	-17,38	-17,65	-17,91	-18,17	-18,42	-18,67	-18,91	-19,15	-19,38	-19,60	-19,82	-20,03	-20,24	-20,44	-20,64	-20,82	-21,01	-21,18	-21,35	-21,52	-21,67	-21,83	-21,97	
Novembro	10,09	10,05	10,01	9,97	9,93	9,89	9,85	9,82	9,78	9,74	9,71	9,67	9,64	9,60	9,57	9,54	9,51	9,47	9,44	9,41	9,39	9,36	9,33	9,30	9,28	9,25	9,23	9,20	9,18	9,16	
Declinação Dez.	-22,11	-22,24	-22,36	-22,48	-22,59	-22,70	-22,80	-22,89	-22,97	-23,05	-23,12	-23,18	-23,24	-23,29	-23,34	-23,37	-23,40	-23,42	-23,44	-23,45	-23,45	-23,44	-23,43	-23,41	-23,39	-23,35	-23,31	-23,27	-23,21	-23,15	-23,09
Dezembro	9,14	9,12	9,10	9,08	9,07	9,05	9,04	9,02	9,01	9,00	8,99	8,98	8,97	8,96	8,95	8,95	8,94	8,94	8,94	8,93	8,93	8,94	8,94	8,94	8,94	8,95	8,96	8,96	8,97	8,98	8,99

Tabela B.2

Número de horas de luz solar para a cidade de Lisboa, 38,4º de latitude, nas células a branco. Nas células sombreadas encontra-se o valor da declinação terrestre, igual para qualquer local no planeta

LATITUDE	0,670

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Declinação Jan.	-23,01	-22,93	-22,84	-22,75	-22,65	-22,54	-22,42	-22,30	-22,17	-22,04	-21,90	-21,75	-21,60	-21,44	-21,27	-21,10	-20,92	-20,73	-20,54	-20,34	-20,14	-19,93	-19,71	-19,49	-19,26	-19,03	-18,79	-18,55	-18,30	-18,04	-17,78
Janeiro	9,38	9,39	9,40	9,41	9,43	9,44	9,45	9,47	9,49	9,50	9,52	9,54	9,56	9,58	9,60	9,63	9,65	9,67	9,70	9,72	9,75	9,77	9,80	9,83	9,86	9,88	9,91	9,94	9,97	10,01	10,04
Declinação Fev.	-17,52	-17,25	-16,97	-16,69	-16,40	-16,11	-15,82	-15,52	-15,21	-14,90	-14,59	-14,27	-13,95	-13,62	-13,29	-12,95	-12,62	-12,27	-11,93	-11,58	-11,23	-10,87	-10,51	-10,15	-9,78	-9,41	-9,04	-8,67			
Fevereiro	10,07	10,10	10,13	10,17	10,20	10,24	10,27	10,31	10,34	10,38	10,41	10,45	10,49	10,52	10,56	10,60	10,64	10,68	10,71	10,75	10,79	10,83	10,87	10,91	10,95	10,99	11,03	11,07			
Declinação Mar.	-8,29	-7,91	-7,53	-7,15	-6,76	-6,38	-5,99	-5,60	-5,20	-4,81	-4,41	-4,02	-3,62	-3,22	-2,82	-2,42	-2,02	-1,61	-1,21	-0,81	-0,40	0,00	0,40	0,81	1,21	1,61	2,02	2,42	2,82	3,22	3,62
Março	11,12	11,16	11,20	11,24	11,28	11,32	11,36	11,41	11,45	11,49	11,53	11,57	11,62	11,66	11,70	11,74	11,79	11,83	11,87	11,91	11,96	12,00	12,04	12,09	12,13	12,17	12,21	12,26	12,30	12,34	12,38
Declinação Abr.	4,02	4,41	4,81	5,20	5,60	5,99	6,38	6,76	7,15	7,53	7,91	8,29	8,67	9,04	9,41	9,78	10,15	10,51	10,87	11,23	11,58	11,93	12,27	12,62	12,95	13,29	13,62	13,95	14,27	14,59	
Abril	12,43	12,47	12,51	12,55	12,59	12,64	12,68	12,72	12,76	12,80	12,84	12,88	12,93	12,97	13,01	13,05	13,09	13,13	13,17	13,21	13,25	13,29	13,32	13,36	13,40	13,44	13,48	13,51	13,55	13,59	
Declinação Mai.	14,90	15,21	15,52	15,82	16,11	16,40	16,69	16,97	17,25	17,52	17,78	18,04	18,30	18,55	18,79	19,03	19,26	19,49	19,71	19,93	20,14	20,34	20,54	20,73	20,92	21,10	21,27	21,44	21,60	21,75	21,90
Maio	13,62	13,66	13,69	13,73	13,76	13,80	13,83	13,87	13,90	13,93	13,96	13,99	14,03	14,06	14,09	14,12	14,14	14,17	14,20	14,23	14,25	14,28	14,30	14,33	14,35	14,37	14,40	14,42	14,44	14,46	14,48
Declinação Jun.	22,04	22,17	22,30	22,42	22,54	22,65	22,75	22,84	22,93	23,01	23,09	23,15	23,21	23,27	23,31	23,35	23,39	23,41	23,43	23,44	23,45	23,45	23,44	23,42	23,40	23,37	23,34	23,29	23,24	23,18	
Junho	14,50	14,51	14,53	14,55	14,56	14,57	14,59	14,60	14,61	14,62	14,63	14,64	14,65	14,66	14,66	14,67	14,67	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68	14,68	14,67	14,67	14,67	14,66	14,65	14,65	
Declinação Jul.	23,12	23,05	22,97	22,89	22,80	22,70	22,59	22,48	22,36	22,24	22,11	21,97	21,83	21,67	21,52	21,35	21,18	21,01	20,82	20,64	20,44	20,24	20,03	19,82	19,60	19,38	19,15	18,91	18,67	18,42	18,17
Julho	14,64	14,63	14,62	14,61	14,59	14,58	14,57	14,55	14,54	14,52	14,50	14,49	14,47	14,45	14,43	14,41	14,39	14,36	14,34	14,32	14,29	14,27	14,24	14,21	14,19	14,16	14,13	14,10	14,07	14,04	14,01
Declinação Ago.	17,91	17,65	17,38	17,11	16,83	16,55	16,26	15,96	15,67	15,36	15,06	14,74	14,43	14,11	13,78	13,45	13,12	12,79	12,45	12,10	11,75	11,40	11,05	10,69	10,33	9,97	9,60	9,23	8,86	8,48	8,10
Agosto	13,98	13,95	13,92	13,88	13,85	13,82	13,78	13,75	13,71	13,68	13,64	13,61	13,57	13,53	13,49	13,46	13,42	13,38	13,34	13,30	13,27	13,23	13,19	13,15	13,11	13,07	13,03	12,99	12,95	12,91	12,86
Declinação Set.	7,72	7,34	6,96	6,57	6,18	5,79	5,40	5,01	4,61	4,22	3,82	3,42	3,02	2,62	2,22	1,81	1,41	1,01	0,61	0,20	-0,20	-0,61	-1,01	-1,41	-1,81	-2,22	-2,62	-3,02	-3,42	-3,82	
Setembro	12,82	12,78	12,74	12,70	12,66	12,61	12,57	12,53	12,49	12,45	12,40	12,36	12,32	12,28	12,23	12,19	12,15	12,11	12,06	12,02	11,98	11,94	11,89	11,85	11,81	11,77	11,72	11,68	11,64	11,60	
Declinação Out.	-4,22	-4,61	-5,01	-5,40	-5,79	-6,18	-6,57	-6,96	-7,34	-7,72	-8,10	-8,48	-8,86	-9,23	-9,60	-9,97	-10,33	-10,69	-11,05	-11,40	-11,75	-12,10	-12,45	-12,79	-13,12	-13,45	-13,78	-14,11	-14,43	-14,74	-15,06
Outubro	11,55	11,51	11,47	11,43	11,39	11,34	11,30	11,26	11,22	11,18	11,14	11,09	11,05	11,01	10,97	10,93	10,89	10,85	10,81	10,77	10,73	10,70	10,66	10,62	10,58	10,54	10,51	10,47	10,43	10,39	10,36
Declinação Nov.	-15,36	-15,67	-15,96	-16,26	-16,55	-16,83	-17,11	-17,38	-17,65	-17,91	-18,17	-18,42	-18,67	-18,91	-19,15	-19,38	-19,60	-19,82	-20,03	-20,24	-20,44	-20,64	-20,82	-21,01	-21,18	-21,35	-21,52	-21,67	-21,83	-21,97	
Novembro	10,32	10,29	10,25	10,22	10,18	10,15	10,12	10,08	10,05	10,02	9,99	9,96	9,93	9,90	9,87	9,84	9,81	9,79	9,76	9,73	9,71	9,68	9,66	9,64	9,61	9,59	9,57	9,55	9,53	9,51	
Declinação Dez.	-22,11	-22,24	-22,36	-22,48	-22,59	-22,70	-22,80	-22,89	-22,97	-23,05	-23,12	-23,18	-23,24	-23,29	-23,34	-23,37	-23,40	-23,42	-23,44	-23,45	-23,45	-23,44	-23,43	-23,41	-23,39	-23,35	-23,31	-23,27	-23,21	-23,15	-23,09
Dezembro	9,50	9,48	9,46	9,45	9,43	9,42	9,41	9,39	9,38	9,37	9,36	9,35	9,35	9,34	9,33	9,33	9,33	9,32	9,32	9,32	9,32	9,32	9,32	9,32	9,33	9,33	9,34	9,34	9,35	9,36	9,37

Tabela B.3

Número de horas de luz solar num ano com 365 dias para a cidade de Évora, latitude de 38,3º, nas células sem sombreamento

LATITUDE	0,668

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Declinação Jan.	-23,01	-22,93	-22,84	-22,75	-22,65	-22,54	-22,42	-22,30	-22,17	-22,04	-21,90	-21,75	-21,60	-21,44	-21,27	-21,10	-20,92	-20,73	-20,54	-20,34	-20,14	-19,93	-19,71	-19,49	-19,26	-19,03	-18,79	-18,55	-18,30	-18,04	-17,78
Janeiro	9,39	9,40	9,41	9,42	9,43	9,45	9,46	9,48	9,50	9,51	9,53	9,55	9,57	9,59	9,61	9,63	9,66	9,68	9,71	9,73	9,76	9,78	9,81	9,84	9,86	9,89	9,92	9,95	9,98	10,01	10,04
Declinação Fev.	-17,52	-17,25	-16,97	-16,69	-16,40	-16,11	-15,82	-15,52	-15,21	-14,90	-14,59	-14,27	-13,95	-13,62	-13,29	-12,95	-12,62	-12,27	-11,93	-11,58	-11,23	-10,87	-10,51	-10,15	-9,78	-9,41	-9,04	-8,67			
Fevereiro	10,08	10,11	10,14	10,17	10,21	10,24	10,28	10,31	10,35	10,38	10,42	10,46	10,49	10,53	10,57	10,60	10,64	10,68	10,72	10,76	10,80	10,84	10,88	10,92	10,96	11,00	11,04	11,08			
Declinação Mar.	-8,29	-7,91	-7,53	-7,15	-6,76	-6,38	-5,99	-5,60	-5,20	-4,81	-4,41	-4,02	-3,62	-3,22	-2,82	-2,42	-2,02	-1,61	-1,21	-0,81	-0,40	0,00	0,40	0,81	1,21	1,61	2,02	2,42	2,82	3,22	3,62
Março	11,12	11,16	11,20	11,24	11,28	11,32	11,37	11,41	11,45	11,49	11,53	11,58	11,62	11,66	11,70	11,75	11,79	11,83	11,87	11,91	11,96	12,00	12,04	12,09	12,13	12,17	12,21	12,25	12,30	12,34	12,38
Declinação Abr.	4,02	4,41	4,81	5,20	5,60	5,99	6,38	6,76	7,15	7,53	7,91	8,29	8,67	9,04	9,41	9,78	10,15	10,51	10,87	11,23	11,58	11,93	12,27	12,62	12,95	13,29	13,62	13,95	14,27	14,59	
Abril	12,42	12,47	12,51	12,55	12,59	12,63	12,68	12,72	12,76	12,80	12,84	12,88	12,92	12,96	13,00	13,04	13,08	13,12	13,16	13,20	13,24	13,28	13,32	13,36	13,40	13,43	13,47	13,51	13,54	13,58	
Declinação Mai.	14,90	15,21	15,52	15,82	16,11	16,40	16,69	16,97	17,25	17,52	17,78	18,04	18,30	18,55	18,79	19,03	19,26	19,49	19,71	19,93	20,14	20,34	20,54	20,73	20,92	21,10	21,27	21,44	21,60	21,75	21,90
Maio	13,62	13,65	13,69	13,72	13,76	13,79	13,83	13,86	13,89	13,92	13,96	13,99	14,02	14,05	14,08	14,11	14,14	14,16	14,19	14,22	14,24	14,27	14,29	14,32	14,34	14,37	14,39	14,41	14,43	14,45	14,47
Declinação Jun.	22,04	22,17	22,30	22,42	22,54	22,65	22,75	22,84	22,93	23,01	23,09	23,15	23,21	23,27	23,31	23,35	23,39	23,41	23,43	23,44	23,45	23,45	23,44	23,42	23,40	23,37	23,34	23,29	23,24	23,18	
Junho	14,49	14,50	14,52	14,54	14,55	14,57	14,58	14,59	14,60	14,61	14,62	14,63	14,64	14,65	14,65	14,66	14,66	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,66	14,66	14,66	14,65	14,64	14,64	
Declinação Jul.	23,12	23,05	22,97	22,89	22,80	22,70	22,59	22,48	22,36	22,24	22,11	21,97	21,83	21,67	21,52	21,35	21,18	21,01	20,82	20,64	20,44	20,24	20,03	19,82	19,60	19,38	19,15	18,91	18,67	18,42	18,17
Julho	14,63	14,62	14,61	14,60	14,58	14,57	14,56	14,54	14,53	14,51	14,49	14,48	14,46	14,44	14,42	14,40	14,38	14,35	14,33	14,31	14,28	14,26	14,23	14,21	14,18	14,15	14,12	14,09	14,06	14,03	14,00
Declinação Ago.	17,91	17,65	17,38	17,11	16,83	16,55	16,26	15,96	15,67	15,36	15,06	14,74	14,43	14,11	13,78	13,45	13,12	12,79	12,45	12,10	11,75	11,40	11,05	10,69	10,33	9,97	9,60	9,23	8,86	8,48	8,10
Agosto	13,97	13,94	13,91	13,88	13,84	13,81	13,78	13,74	13,71	13,67	13,64	13,60	13,56	13,53	13,49	13,45	13,41	13,38	13,34	13,30	13,26	13,22	13,18	13,14	13,10	13,06	13,02	12,98	12,94	12,90	12,86
Declinação Set.	7,72	7,34	6,96	6,57	6,18	5,79	5,40	5,01	4,61	4,22	3,82	3,42	3,02	2,62	2,22	1,81	1,41	1,01	0,61	0,20	-0,20	-0,61	-1,01	-1,41	-1,81	-2,22	-2,62	-3,02	-3,42	-3,82	
Setembro	12,82	12,78	12,74	12,70	12,65	12,61	12,57	12,53	12,49	12,44	12,40	12,36	12,32	12,28	12,23	12,19	12,15	12,11	12,06	12,02	11,98	11,94	11,89	11,85	11,81	11,77	11,72	11,68	11,64	11,60	
Declinação Out.	-4,22	-4,61	-5,01	-5,40	-5,79	-6,18	-6,57	-6,96	-7,34	-7,72	-8,10	-8,48	-8,86	-9,23	-9,60	-9,97	-10,33	-10,69	-11,05	-11,40	-11,75	-12,10	-12,45	-12,79	-13,12	-13,45	-13,78	-14,11	-14,43	-14,74	-15,06
Outubro	11,56	11,51	11,47	11,43	11,39	11,35	11,30	11,26	11,22	11,18	11,14	11,10	11,06	11,02	10,98	10,94	10,90	10,86	10,82	10,78	10,74	10,70	10,66	10,62	10,59	10,55	10,51	10,47	10,44	10,40	10,36
Declinação Nov.	-15,36	-15,67	-15,96	-16,26	-16,55	-16,83	-17,11	-17,38	-17,65	-17,91	-18,17	-18,42	-18,67	-18,91	-19,15	-19,38	-19,60	-19,82	-20,03	-20,24	-20,44	-20,64	-20,82	-21,01	-21,18	-21,35	-21,52	-21,67	-21,83	-21,97	
Novembro	10,33	10,29	10,26	10,22	10,19	10,16	10,12	10,09	10,06	10,03	10,00	9,97	9,94	9,91	9,88	9,85	9,82	9,79	9,77	9,74	9,72	9,69	9,67	9,65	9,62	9,60	9,58	9,56	9,54	9,52	
Declinação Dez.	-22,11	-22,24	-22,36	-22,48	-22,59	-22,70	-22,80	-22,89	-22,97	-23,05	-23,12	-23,18	-23,24	-23,29	-23,34	-23,37	-23,40	-23,42	-23,44	-23,45	-23,45	-23,44	-23,43	-23,41	-23,39	-23,35	-23,31	-23,27	-23,21	-23,15	-23,09
Dezembro	9,51	9,49	9,47	9,46	9,44	9,43	9,42	9,40	9,39	9,38	9,37	9,36	9,36	9,35	9,34	9,34	9,34	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,33	9,34	9,34	9,35	9,35	9,36	9,37	9,38

Tabela B.4

Valores do número de horas de luz solar para cada dia de um ano de 365 dias na cidade de Faro, latitude de 37º, indicados nas células sem sombreamento

LATITUDE	0,646

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Declinação Jan.	-23,01	-22,93	-22,84	-22,75	-22,65	-22,54	-22,42	-22,30	-22,17	-22,04	-21,90	-21,75	-21,60	-21,44	-21,27	-21,10	-20,92	-20,73	-20,54	-20,34	-20,14	-19,93	-19,71	-19,49	-19,26	-19,03	-18,79	-18,55	-18,30	-18,04	-17,78
Janeiro	9,51	9,52	9,53	9,54	9,56	9,57	9,58	9,60	9,62	9,63	9,65	9,67	9,69	9,71	9,73	9,75	9,77	9,79	9,81	9,84	9,86	9,89	9,91	9,94	9,96	9,99	10,02	10,05	10,08	10,11	10,14
Declinação Fev.	-17,52	-17,25	-16,97	-16,69	-16,40	-16,11	-15,82	-15,52	-15,21	-14,90	-14,59	-14,27	-13,95	-13,62	-13,29	-12,95	-12,62	-12,27	-11,93	-11,58	-11,23	-10,87	-10,51	-10,15	-9,78	-9,41	-9,04	-8,67			
Fevereiro	10,17	10,20	10,23	10,26	10,29	10,32	10,36	10,39	10,42	10,46	10,49	10,53	10,56	10,60	10,63	10,67	10,71	10,74	10,78	10,82	10,85	10,89	10,93	10,97	11,00	11,04	11,08	11,12			
Declinação Mar.	-8,29	-7,91	-7,53	-7,15	-6,76	-6,38	-5,99	-5,60	-5,20	-4,81	-4,41	-4,02	-3,62	-3,22	-2,82	-2,42	-2,02	-1,61	-1,21	-0,81	-0,40	0,00	0,40	0,81	1,21	1,61	2,02	2,42	2,82	3,22	3,62
Março	11,16	11,20	11,24	11,28	11,32	11,36	11,40	11,44	11,48	11,52	11,56	11,60	11,64	11,68	11,72	11,76	11,80	11,84	11,88	11,92	11,96	12,00	12,04	12,08	12,12	12,16	12,20	12,24	12,28	12,32	12,36
Declinação Abr.	4,02	4,41	4,81	5,20	5,60	5,99	6,38	6,76	7,15	7,53	7,91	8,29	8,67	9,04	9,41	9,78	10,15	10,51	10,87	11,23	11,58	11,93	12,27	12,62	12,95	13,29	13,62	13,95	14,27	14,59	
Abril	12,40	12,44	12,48	12,52	12,56	12,60	12,64	12,68	12,72	12,76	12,80	12,84	12,88	12,92	12,96	13,00	13,03	13,07	13,11	13,15	13,18	13,22	13,26	13,29	13,33	13,37	13,40	13,44	13,47	13,51	
Declinação Mai.	14,90	15,21	15,52	15,82	16,11	16,40	16,69	16,97	17,25	17,52	17,78	18,04	18,30	18,55	18,79	19,03	19,26	19,49	19,71	19,93	20,14	20,34	20,54	20,73	20,92	21,10	21,27	21,44	21,60	21,75	21,90
Maio	13,54	13,58	13,61	13,64	13,68	13,71	13,74	13,77	13,80	13,83	13,86	13,89	13,92	13,95	13,98	14,01	14,04	14,06	14,09	14,11	14,14	14,16	14,19	14,21	14,23	14,25	14,27	14,29	14,31	14,33	14,35
Declinação Jun.	22,04	22,17	22,30	22,42	22,54	22,65	22,75	22,84	22,93	23,01	23,09	23,15	23,21	23,27	23,31	23,35	23,39	23,41	23,43	23,44	23,45	23,45	23,44	23,42	23,40	23,37	23,34	23,29	23,24	23,18	
Junho	14,37	14,38	14,40	14,42	14,43	14,44	14,46	14,47	14,48	14,49	14,50	14,51	14,51	14,52	14,53	14,53	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,53	14,53	14,52	14,52	14,51	
Declinação Jul.	23,12	23,05	22,97	22,89	22,80	22,70	22,59	22,48	22,36	22,24	22,11	21,97	21,83	21,67	21,52	21,35	21,18	21,01	20,82	20,64	20,44	20,24	20,03	19,82	19,60	19,38	19,15	18,91	18,67	18,42	18,17
Julho	14,50	14,49	14,48	14,47	14,46	14,45	14,44	14,42	14,41	14,39	14,38	14,36	14,34	14,32	14,30	14,28	14,26	14,24	14,22	14,20	14,17	14,15	14,13	14,10	14,08	14,05	14,02	13,99	13,97	13,94	13,91
Declinação Ago.	17,91	17,65	17,38	17,11	16,83	16,55	16,26	15,96	15,67	15,36	15,06	14,74	14,43	14,11	13,78	13,45	13,12	12,79	12,45	12,10	11,75	11,40	11,05	10,69	10,33	9,97	9,60	9,23	8,86	8,48	8,10
Agosto	13,88	13,85	13,82	13,79	13,76	13,72	13,69	13,66	13,63	13,59	13,56	13,53	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17	13,13	13,09	13,05	13,01	12,98	12,94	12,90	12,86	12,82
Declinação Set.	7,72	7,34	6,96	6,57	6,18	5,79	5,40	5,01	4,61	4,22	3,82	3,42	3,02	2,62	2,22	1,81	1,41	1,01	0,61	0,20	-0,20	-0,61	-1,01	-1,41	-1,81	-2,22	-2,62	-3,02	-3,42	-3,82	
Setembro	12,78	12,74	12,70	12,66	12,62	12,58	12,54	12,50	12,46	12,42	12,38	12,34	12,30	12,26	12,22	12,18	12,14	12,10	12,06	12,02	11,98	11,94	11,90	11,86	11,82	11,78	11,74	11,70	11,66	11,62	
Declinação Out.	-4,22	-4,61	-5,01	-5,40	-5,79	-6,18	-6,57	-6,96	-7,34	-7,72	-8,10	-8,48	-8,86	-9,23	-9,60	-9,97	-10,33	-10,69	-11,05	-11,40	-11,75	-12,10	-12,45	-12,79	-13,12	-13,45	-13,78	-14,11	-14,43	-14,74	-15,06
Outubro	11,58	11,54	11,50	11,46	11,42	11,38	11,34	11,30	11,26	11,22	11,18	11,14	11,10	11,06	11,02	10,99	10,95	10,91	10,87	10,83	10,80	10,76	10,72	10,69	10,65	10,62	10,58	10,54	10,51	10,47	10,44
Declinação Nov.	-15,36	-15,67	-15,96	-16,26	-16,55	-16,83	-17,11	-17,38	-17,65	-17,91	-18,17	-18,42	-18,67	-18,91	-19,15	-19,38	-19,60	-19,82	-20,03	-20,24	-20,44	-20,64	-20,82	-21,01	-21,18	-21,35	-21,52	-21,67	-21,83	-21,97	
Novembro	10,41	10,37	10,34	10,31	10,28	10,24	10,21	10,18	10,15	10,12	10,09	10,06	10,03	10,01	9,98	9,95	9,92	9,90	9,87	9,85	9,83	9,80	9,78	9,76	9,74	9,72	9,70	9,68	9,66	9,64	
Declinação Dez.	-22,11	-22,24	-22,36	-22,48	-22,59	-22,70	-22,80	-22,89	-22,97	-23,05	-23,12	-23,18	-23,24	-23,29	-23,34	-23,37	-23,40	-23,42	-23,44	-23,45	-23,45	-23,44	-23,43	-23,41	-23,39	-23,35	-23,31	-23,27	-23,21	-23,15	-23,09
Dezembro	9,62	9,61	9,59	9,58	9,56	9,55	9,54	9,53	9,52	9,51	9,50	9,49	9,48	9,48	9,47	9,47	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46	9,46	9,47	9,47	9,48	9,49	9,49	9,50

Tabela B.5
Excerto dos valores de radiação numa superfície horizontal para a cidade do Porto, durante dois dias, no mês de Janeiro

HORIZONTAL SURFACE - VALORES DOS FICHEIROS NORMALIZADOS TRNSYS

		PORTO	(kJ/hr-m2)	
Tempo (h)		total	directa	difusa
0	0	0,00	0,00	0,00
1	1	0,00	0,00	0,00
2	2	0,00	0,00	0,00
3	3	0,00	0,00	0,00
4	4	0,00	0,00	0,00
5	5	0,00	0,00	0,00
6	6	0,00	0,00	0,00
7	7	0,00	0,00	0,00
8	8	126,00	36,00	90,00
9	9	633,60	442,80	190,80
10	10	1166,40	831,60	334,80
11	11	1245,60	774,00	471,60
12	12	1472,40	1036,80	435,60
13	13	1234,80	766,80	468,00
14	14	954,00	475,20	478,80
15	15	396,00	46,80	349,20
16	16	187,20	43,20	144,00
17	17	0,00	0,00	0,00
18	18	0,00	0,00	0,00
19	19	0,00	0,00	0,00
20	20	0,00	0,00	0,00
21	21	0,00	0,00	0,00
22	22	0,00	0,00	0,00
23	23	0,00	0,00	0,00
24	24	0,00	0,00	0,00
1	25	0,00	0,00	0,00
2	26	0,00	0,00	0,00
3	27	0,00	0,00	0,00
4	28	0,00	0,00	0,00
5	29	0,00	0,00	0,00
6	30	0,00	0,00	0,00
7	31	0,00	0,00	0,00
8	32	75,60	0,00	75,60
9	33	302,40	36,00	266,40
10	34	50,40	0,00	50,40
11	35	313,20	0,00	313,20
12	36	882,00	162,00	720,00
13	37	835,20	151,20	684,00
14	38	946,80	424,80	522,00
15	39	313,20	0,00	313,20
16	40	273,60	82,80	190,80
17	41	0,00	0,00	0,00
18	42	0,00	0,00	0,00
19	43	0,00	0,00	0,00
20	44	0,00	0,00	0,00
21	45	0,00	0,00	0,00
22	46	0,00	0,00	0,00
23	47	0,00	0,00	0,00
24	48	0,00	0,00	0,00

```
Sub angulos()

UserForm1.Caption = "Determinação do Azimute"
UserForm2.Caption = "Determinação do Azimute"
mensal = False
diario = False
UserForm2.Show

pag = InputBox("Defina o mês", "Determinação do azimute de superfície", "JAN")
pag = UCase(pag)

If mensal = True Then
    dia = 1
Else
    dia = InputBox("Defina o dia do mês", "Determinação do azimute de superfície", 1)
End If

Sheets(pag).Select

dia_seg = True

Do
l = 0
i = 0
ihg = 0
cosi = 0

If mensal = True Then dia_seg = True
If dia_seg = True Then

    Do
    l = l + 1
    If Cells(l, 1) = dia Then Exit Do
    Loop

Do

i = i + 1
cosi = 0
If Cells(l + 1 + 3, 2 + i) = "" Then Exit Do

If Cells(l + 1 + 3, 2 + i) <> 0 Then
    k = 0
    Do
    k = k + 1
    az_sup_temp = -120 + k
    Cells(l + 1, 2 + i) = az_sup_temp
    If az_sup_temp > 120 Then
        Exit Do
    Else
        If Cells(l + 3, 2 + i) >= cosi Then
            cosi = Cells(l + 3, 2 + i)
            az_sup = az_sup_temp
        Else
        End If

        If Cells(l + 3 + 1, 2 + i) = ihg Then
            m = m + 1
        Else
            m = 0
            ihg = Cells(l + 3 + 1, 2 + i)
        End If

    End If
    Loop
Cells(l + 1, 2 + i) = az_sup
```

Figura B.1
Código em linguagem *Visual Basic* que permite a determinação do ângulo do azimute hora a hora, de forma automática. Parte I.

```
    If m > 5 Then
        Cells(l + 1 + 3, 2 + i).Select
         With Selection.Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .ThemeColor = xlThemeColorAccent6
            .TintAndShade = 0.399975585192419
            .PatternTintAndShade = 0
         End With
    Else
        Cells(l + 1 + 3, 2 + i).Select
         With Selection.Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .ThemeColor = xlThemeColorDark2
            .TintAndShade = -9.99481185338908E-02
            .PatternTintAndShade = 0
         End With
    End If
    Else
    End If

    Loop
Else
End If

If dia_seg = False Then Exit Do
dia_seg = False

If Cells(l + 6, 1) = "" Then
    Exit Do
Else
    dia = Cells(l + 6, 1)
    UserForm1.Label1.Caption = "Deseja determinar o azimute de superfície para o dia " & dia & "?"
    If mensal = False Then UserForm1.Show
End If

Loop

If mensal = True Then MsgBox "Determinação mensal do Azimute concluída", vbInformation, "Determinação do Azimute"

End Sub
```

Figura B.2
Código em linguagem *Visual Basic* que permite a determinação do ângulo do azimute hora a hora, de forma automática. Parte II.

```
Sub beta()


UserForm1.Caption = "Determinação do Beta"
UserForm2.Caption = "Determinação do Beta"
mensal = False
diario = False
UserForm2.Show

pag = InputBox("Defina o mês", "Determinação do Beta", "JAN")
pag = UCase(pag)

If mensal = True Then
    dia = 1
Else
    dia = InputBox("Defina o dia do mês", "Determinação do Beta", 1)
End If

Sheets(pag).Select

dia_seg = True

Do
l = 0
i = 0
cosi = 0

If mensal = True Then dia_seg = True
If dia_seg = True Then

    Do
    l = l + 1
    If Cells(l, 1) = dia Then Exit Do
    Loop

    Do
    i = i + 1
    cosi = 0
    If Cells(l + 1 + 3, 2 + i) = "" Then Exit Do
    If Cells(l + 1 + 3, 2 + i) <> 0 Then
        k = 0
        Do
        k = k + 1
        betaa_temp = 10 + k
        Cells(l, 2 + i) = betaa_temp
        If betaa_temp > 70 Then
            Exit Do
        Else
            If Cells(l + 3, 2 + i) >= cosi Then
                cosi = Cells(l + 3, 2 + i)
                betaa = betaa_temp
            Else
            End If
        End If
        Loop
    Cells(l, 2 + i) = betaa
    Else
    End If

    Loop
Else
End If

If dia_seg = False Then Exit Do
dia_seg = False

If Cells(l + 6, 1) = "" Then
    Exit Do
Else
    dia = Cells(l + 6, 1)
    UserForm1.Label1.Caption = "Deseja determinar o beta para o dia " & dia & "?"
    If mensal = False Then UserForm1.Show
End If


Loop

If mensal = True Then MsgBox "Determinação mensal do Beta concluída", vbInformation, "Determinação do Beta"

End Sub
```

Figura B.3
Código em linguagem *Visual Basic* que permite a determinação do ângulo β de hora a hora, de forma automática.

Dia	Hora TSV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	ρ (ró) 0,4
	ah	-165	-150	-135	-120	-105	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
1	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	66	64	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,927	-0,858	-0,747	-0,604	-0,436	-0,257	-0,077	0,090	0,233	0,344	0,413	0,437	0,413	0,344	0,233	0,090	-0,077	-0,257	-0,436	-0,604	-0,747	-0,858	-0,927	-0,951	
	cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,921	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	464,39	2095,84	2797,70	2353,61	2853,27	2332,36	1829,42	485,60	586,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15798,35
2	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	66	64	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,926	-0,857	-0,747	-0,603	-0,436	-0,256	-0,076	0,091	0,235	0,345	0,414	0,438	0,414	0,345	0,235	0,091	-0,076	-0,256	-0,436	-0,603	-0,747	-0,857	-0,926	-0,950	
	cos i	-0,890	-0,798	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,798	-0,890	-0,922	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,68	371,03	40,45	257,46	986,84	945,19	1706,45	251,38	1044,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5664,38
3	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	65	64	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,926	-0,857	-0,746	-0,602	-0,435	-0,255	-0,075	0,092	0,236	0,346	0,416	0,439	0,416	0,346	0,236	0,092	-0,075	-0,255	-0,435	-0,602	-0,746	-0,857	-0,926	-0,950	
	cos i	-0,891	-0,799	-0,652	-0,461	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,461	-0,652	-0,799	-0,891	-0,922	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	490,69	1298,94	1892,77	2762,99	3393,69	3044,54	1515,43	2270,48	1335,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18005,05
4	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	65	64	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-29	-15	0	15	29	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,925	-0,856	-0,746	-0,602	-0,434	-0,254	-0,074	0,093	0,237	0,348	0,417	0,441	0,417	0,348	0,237	0,093	-0,074	-0,254	-0,434	-0,602	-0,746	-0,856	-0,925	-0,949	
	cos i	-0,891	-0,799	-0,653	-0,462	-0,239	-0,001	0,238	0,967	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,967	0,238	-0,001	-0,239	-0,462	-0,653	-0,799	-0,891	-0,923	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	499,72	2274,96	2895,03	2963,19	3501,80	3760,75	3528,08	3116,27	1779,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24319,11
5	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	70	65	64	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-30	-15	0	15	30	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,925	-0,855	-0,745	-0,601	-0,433	-0,253	-0,073	0,095	0,239	0,349	0,419	0,442	0,419	0,349	0,239	0,095	-0,073	-0,253	-0,433	-0,601	-0,745	-0,855	-0,925	-0,949	
	cos i	-0,892	-0,800	-0,653	-0,462	-0,240	-0,001	0,238	0,968	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,968	0,238	-0,001	-0,240	-0,462	-0,653	-0,800	-0,892	-0,924	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	221,43	1282,98	303,39	452,50	729,82	796,76	769,24	1695,93	1200,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7452,20
6	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	65	64	65	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-53	-42	-30	-15	0	15	30	42	53	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,924	-0,855	-0,744	-0,600	-0,432	-0,252	-0,072	0,096	0,240	0,351	0,420	0,444	0,420	0,351	0,240	0,096	-0,072	-0,252	-0,432	-0,600	-0,744	-0,855	-0,924	-0,948	
	cos i	-0,893	-0,801	-0,654	-0,462	-0,240	-0,001	0,238	0,968	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,968	0,238	-0,001	-0,240	-0,462	-0,654	-0,801	-0,893	-0,924	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	880,78	1755,51	2608,07	2719,22	2779,17	3345,77	3301,55	2896,84	1491,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21778,83
7	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	65	64	65	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-42	-30	-15	0	15	30	42	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,924	-0,854	-0,743	-0,599	-0,431	-0,251	-0,070	0,098	0,242	0,353	0,422	0,446	0,422	0,353	0,242	0,098	-0,070	-0,251	-0,431	-0,599	-0,743	-0,854	-0,924	-0,947	
	cos i	-0,894	-0,801	-0,654	-0,463	-0,240	-0,001	0,239	0,969	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,969	0,239	-0,001	-0,240	-0,463	-0,654	-0,801	-0,894	-0,925	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	574,91	1047,60	1014,42	2053,49	1399,22	1865,60	2124,58	2639,55	832,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13552,07
8	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	65	63	65	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-42	-30	-15	0	15	30	42	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,923	-0,853	-0,742	-0,598	-0,430	-0,249	-0,069	0,099	0,244	0,354	0,424	0,448	0,424	0,354	0,244	0,099	-0,069	-0,249	-0,430	-0,598	-0,742	-0,853	-0,923	-0,947	
	cos i	-0,894	-0,802	-0,655	-0,463	-0,240	-0,001	0,239	0,969	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,969	0,239	-0,001	-0,240	-0,463	-0,655	-0,802	-0,894	-0,926	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,39	98,83	1205,96	1274,71	1883,78	1131,45	607,09	241,26	2,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6500,37
9	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	65	63	65	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-42	-30	-15	0	15	30	42	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,922	-0,852	-0,742	-0,597	-0,429	-0,248	-0,067	0,101	0,245	0,356	0,426	0,450	0,426	0,356	0,245	0,101	-0,067	-0,248	-0,429	-0,597	-0,742	-0,852	-0,922	-0,946	
	cos i	-0,895	-0,803	-0,655	-0,464	-0,240	-0,001	0,239	0,969	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,969	0,239	-0,001	-0,240	-0,464	-0,655	-0,803	-0,895	-0,927	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	283,70	208,72	747,67	1295,29	1213,78	945,43	727,58	692,19	93,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6207,56
10	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	65	63	65	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-43	-30	-15	0	15	30	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,921	-0,852	-0,741	-0,596	-0,427	-0,247	-0,066	0,103	0,247	0,358	0,428	0,452	0,428	0,358	0,247	0,103	-0,066	-0,247	-0,427	-0,596	-0,741	-0,852	-0,921	-0,945	
	cos i	-0,896	-0,803	-0,656	-0,464	-0,241	-0,001	0,239	0,970	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,970	0,239	-0,001	-0,241	-0,464	-0,656	-0,803	-0,896	-0,928	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	244,80	1777,90	1312,73	874,34	1775,93	2073,68	1564,77	2613,14	2160,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14397,75
11	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	65	63	65	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-43	-30	-15	0	15	30	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,921	-0,851	-0,740	-0,595	-0,426	-0,245	-0,064	0,104	0,249	0,360	0,430	0,454	0,430	0,360	0,249	0,104	-0,064	-0,245	-0,426	-0,595	-0,740	-0,851	-0,921	-0,944	
	cos i	-0,897	-0,804	-0,657	-0,465	-0,241	-0,001	0,239	0,970	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,970	0,239	-0,001	-0,241	-0,465	-0,657	-0,804	-0,897	-0,928	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	875,63	2144,32	2245,94	3248,51	3098,60	3441,25	3375,29	2529,62	2225,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23184,61
12	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	64	63	64	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-43	-30	-15	0	15	30	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,920	-0,850	-0,739	-0,594	-0,425	-0,244	-0,062	0,106	0,251	0,363	0,432	0,456	0,432	0,363	0,251	0,106	-0,062	-0,244	-0,425	-0,594	-0,739	-0,850	-0,920	-0,944	
	cos i	-0,898	-0,805	-0,657	-0,465	-0,241	-0,001	0,240	0,971	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,971	0,240	-0,001	-0,241	-0,465	-0,657	-0,805	-0,898	-0,929	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,67	1672,19	2898,19	3619,37	3693,10	3605,16	3592,54	3256,23	2309,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24681,23
13	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	69	64	63	64	69	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-43	-30	-15	0	15	30	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,919	-0,849	-0,737	-0,592	-0,423	-0,242	-0,061	0,108	0,253	0,365	0,435	0,459	0,435	0,365	0,253	0,108	-0,061	-0,242	-0,423	-0,592	-0,737	-0,849	-0,919	-0,943	
	cos i	-0,899	-0,806	-0,658	-0,466	-0,241	-0,001	0,240	0,971	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,971	0,240	-0,001	-0,241	-0,466	-0,658	-0,806	-0,899	-0,930	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1024,51	2411,99	2875,65	2352,45	2106,76	1913,77	3008,63	3030,92	2719,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21443,86
14	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	68	64	63	64	68	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-43	-30	-16	0	16	30	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,918	-0,848	-0,736	-0,591	-0,422	-0,240	-0,059	0,110	0,256	0,367	0,437	0,461	0,437	0,367	0,256	0,110	-0,059	-0,240	-0,422	-0,591	-0,736	-0,848	-0,918	-0,942	
	cos i	-0,900	-0,807	-0,659	-0,466	-0,242	-0,001	0,240	0,972	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,972	0,240	-0,001	-0,242	-0,466	-0,659	-0,807	-0,900	-0,931	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,67	92,46	271,99	463,64	421,44	631,17	286,61	202,26	46,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2424,47
15	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	68	64	62	64	68	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-43	-30	-16	0	16	30	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,917	-0,847	-0,735	-0,590	-0,420	-0,238	-0,057	0,113	0,258	0,370	0,440	0,464	0,440	0,370	0,258	0,113	-0,057	-0,238	-0,420	-0,590	-0,735	-0,847	-0,917	-0,941	
	cos i	-0,901	-0,808	-0,660	-0,467	-0,242	-0,001	0,241	0,972	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,972	0,241	-0,001	-0,242	-0,467	-0,660	-0,808	-0,901	-0,933	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,56	817,52	423,87	519,29	483,39	654,25	263,21	184,92	20,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3404,25
16	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	68	64	62	64	68	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-54	-43	-30	-16	0	16	30	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,916	-0,845	-0,734	-0,588	-0,419	-0,237	-0,055	0,115	0,261	0,372	0,442	0,466	0,442	0,372	0,261	0,115	-0,055	-0,237	-0,419	-0,588	-0,734	-0,845	-0,916	-0,940	
	cos i	-0,902	-0,809	-0,660	-0,467	-0,242	-0,001	0,241	0,973	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,973	0,241	-0,001	-0,242	-0,467	-0,660	-0,809	-0,902	-0,934	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,01	202,26	409,21	454,56	698,60	308,32	330,48	254,27	8,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2718,37
17	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	68	64	62	64	68	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-43	-30	-16	0	16	30	43	55	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,915	-0,844	-0,732	-0,587	-0,417	-0,235	-0,053	0,117	0,263	0,375	0,445	0,469	0,445	0,375	0,263	0,117	-0,053	-0,235	-0,417	-0,587	-0,732	-0,844	-0,915	-0,939	
	cos i	-0,903	-0,810	-0,661	-0,468	-0,242	-0,001	0,241	0,973	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,973	0,241	-0,001	-0,242	-0,468	-0,661	-0,810	-0,903	-0,935	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	953,95	2247,05	2723,55	3163,51	3137,76	3202,81	3555,73	3261,83	2461,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24707,72
18	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	68	63	62	63	68	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-43	-30	-16	0	16	30	43	55	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,913	-0,843	-0,731	-0,585	-0,415	-0,233	-0,050	0,120	0,266	0,378	0,448	0,472	0,448	0,378	0,266	0,120	-0,050	-0,233	-0,415	-0,585	-0,731	-0,843	-0,913	-0,937	
	cos i	-0,904	-0,811	-0,662	-0,468	-0,243	-0,001	0,241	0,974	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,974	0,241	-0,001	-0,243	-0,468	-0,662	-0,811	-0,904	-0,936	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	496,77	1299,09	1392,40	3170,04	3354,62	2693,88	2769,40	2369,35	2106,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19652,02
19	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	68	63	62	63	68	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-43	-30	-16	0	16	30	43	55	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,912	-0,842	-0,730	-0,583	-0,413	-0,231	-0,048	0,122	0,268	0,380	0,451	0,475	0,451	0,380	0,268	0,122	-0,048	-0,231	-0,413	-0,583	-0,730	-0,842	-0,912	-0,936	
	cos i	-0,905	-0,812	-0,663	-0,469	-0,243	-0,001	0,242	0,974	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,974	0,242	-0,001	-0,243	-0,469	-0,663	-0,812	-0,905	-0,937	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,23	265,23	763,50	1510,05	2954,78	2100,41	2594,73	899,01	447,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11607,52
20	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	67	63	61	63	67	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,911	-0,840	-0,728	-0,582	-0,411	-0,229	-0,046	0,125	0,271	0,383	0,454	0,478	0,454	0,383	0,271	0,125	-0,046	-0,229	-0,411	-0,582	-0,728	-0,840	-0,911	-0,935	
	cos i	-0,906	-0,813	-0,664	-0,469	-0,243	-0,001	0,242	0,975	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,975	0,242	-0,001	-0,243	-0,469	-0,664	-0,813	-0,906	-0,938	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,78	138,69	253,01	322,10	130,87	111,38	173,58	101,13	57,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1294,33
21	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	67	63	61	63	67	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,910	-0,839	-0,727	-0,580	-0,409	-0,226	-0,043	0,127	0,274	0,386	0,457	0,481	0,457	0,386	0,274	0,127	-0,043	-0,226	-0,409	-0,580	-0,727	-0,839	-0,910	-0,934	
	cos i	-0,907	-0,814	-0,664	-0,470	-0,244	-0,001	0,242	0,976	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,976	0,242	-0,001	-0,244	-0,470	-0,664	-0,814	-0,907	-0,939	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,61	569,22	1110,86	1135,87	1066,85	974,98	241,24	124,24	1832,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7173,02
22	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	67	63	61	63	67	70	70	41	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,908	-0,838	-0,725	-0,578	-0,407	-0,224	-0,041	0,130	0,277	0,389	0,460	0,484	0,460	0,389	0,277	0,130	-0,041	-0,224	-0,407	-0,578	-0,725	-0,838	-0,908	-0,933	
	cos i	-0,909	-0,815	-0,665	-0,471	-0,244	-0,001	0,243	0,976	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,976	0,243	-0,001	-0,244	-0,471	-0,665	-0,815	-0,909	-0,941	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,64	26,16	189,42	375,53	503,88	402,79	183,50	75,58	40,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1813,20
23	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	67	62	61	62	67	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	66	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,907	-0,836	-0,723	-0,576	-0,405	-0,222	-0,038	0,133	0,280	0,393	0,463	0,488	0,463	0,393	0,280	0,133	-0,038	-0,222	-0,405	-0,576	-0,723	-0,836	-0,907	-0,931	
	cos i	-0,910	-0,816	-0,666	-0,471	-0,244	-0,001	0,243	0,977	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,977	0,926	-0,001	-0,244	-0,471	-0,666	-0,816	-0,910	-0,942	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	849,11	2214,81	2456,51	1358,13	742,18	393,51	686,22	885,37	132,91	20,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9738,97
24	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	67	62	61	62	67	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-55	-44	-31	-16	0	16	31	44	55	66	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,906	-0,835	-0,722	-0,575	-0,403	-0,219	-0,035	0,136	0,283	0,396	0,467	0,491	0,467	0,396	0,283	0,136	-0,035	-0,219	-0,403	-0,575	-0,722	-0,835	-0,906	-0,930	
	cos i	-0,911	-0,817	-0,667	-0,472	-0,245	-0,001	0,243	0,977	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,977	0,927	-0,001	-0,245	-0,472	-0,667	-0,817	-0,911	-0,943	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,90	1904,82	2022,75	3049,28	2990,22	3258,65	3640,91	3700,33	3306,91	43,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23998,11
25	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	66	62	60	62	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-56	-44	-31	-16	0	16	31	44	56	66	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,904	-0,833	-0,720	-0,573	-0,401	-0,217	-0,033	0,139	0,286	0,399	0,470	0,494	0,470	0,399	0,286	0,139	-0,033	-0,217	-0,401	-0,573	-0,720	-0,833	-0,904	-0,928	
	cos i	-0,912	-0,818	-0,668	-0,473	-0,245	-0,001	0,244	0,978	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,978	0,928	-0,001	-0,245	-0,473	-0,668	-0,818	-0,912	-0,945	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1048,69	2247,00	2609,87	3039,18	3051,83	2817,68	2666,22	3072,34	1933,51	46,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22532,55
26	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	66	62	60	62	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-56	-44	-31	-16	0	16	31	44	56	66	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,902	-0,831	-0,718	-0,571	-0,399	-0,214	-0,030	0,142	0,289	0,403	0,474	0,498	0,474	0,403	0,289	0,142	-0,030	-0,214	-0,399	-0,571	-0,718	-0,831	-0,902	-0,927	
	cos i	-0,914	-0,819	-0,669	-0,473	-0,245	-0,001	0,244	0,979	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,979	0,929	-0,001	-0,245	-0,473	-0,669	-0,819	-0,914	-0,946	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	326,07	2125,82	3043,58	3151,58	3638,34	3701,70	3790,66	3652,36	2900,85	37,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26368,53
27	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	66	61	60	61	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-56	-44	-31	-16	0	16	31	44	56	66	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,901	-0,830	-0,716	-0,568	-0,396	-0,212	-0,027	0,145	0,293	0,406	0,477	0,502	0,477	0,406	0,293	0,145	-0,027	-0,212	-0,396	-0,568	-0,716	-0,830	-0,901	-0,925	
	cos i	-0,915	-0,820	-0,670	-0,474	-0,246	-0,001	0,244	0,979	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,979	0,930	-0,001	-0,246	-0,474	-0,670	-0,820	-0,915	-0,947	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,23	371,26	390,62	988,53	643,34	536,28	507,28	340,95	229,95	34,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4115,11
28	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	66	61	60	61	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-56	-45	-31	-16	0	16	31	45	56	66	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,899	-0,828	-0,714	-0,566	-0,394	-0,209	-0,024	0,148	0,296	0,410	0,481	0,505	0,481	0,410	0,296	0,148	-0,024	-0,209	-0,394	-0,566	-0,714	-0,828	-0,899	-0,924	
	cos i	-0,916	-0,822	-0,671	-0,475	-0,246	-0,001	0,245	0,980	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,980	0,931	-0,001	-0,246	-0,475	-0,671	-0,822	-0,916	-0,949	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	800,42	1551,86	3000,11	3721,48	3738,85	3989,85	3967,63	3655,03	3228,14	63,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27716,94
29	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	66	61	59	61	66	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-56	-45	-31	-16	0	16	31	45	56	67	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,897	-0,826	-0,712	-0,564	-0,392	-0,206	-0,021	0,151	0,300	0,413	0,485	0,509	0,485	0,413	0,300	0,151	-0,021	-0,206	-0,392	-0,564	-0,712	-0,826	-0,897	-0,922	
	cos i	-0,918	-0,823	-0,672	-0,475	-0,246	-0,001	0,245	0,981	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,981	0,932	-0,001	-0,246	-0,475	-0,672	-0,823	-0,918	-0,950	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	350,69	507,93	731,29	1287,56	1400,90	1046,57	2569,76	850,01	147,36	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8894,95
30	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	65	61	59	61	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-56	-45	-32	-16	0	16	32	45	56	67	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,896	-0,824	-0,710	-0,562	-0,389	-0,204	-0,018	0,155	0,303	0,417	0,488	0,513	0,488	0,417	0,303	0,155	-0,018	-0,204	-0,389	-0,562	-0,710	-0,824	-0,896	-0,920	
	cos i	-0,919	-0,824	-0,673	-0,476	-0,247	-0,001	0,246	0,981	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,981	0,933	-0,001	-0,247	-0,476	-0,673	-0,824	-0,919	-0,951	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	613,68	1258,28	1054,36	1103,92	1059,42	571,07	238,11	897,46	2276,59	69,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9142,23
31	beta	41	41	41	41	41	41	41	70	70	65	61	59	61	65	70	70	70	41	41	41	41	41	41	41	
	az. sup	0	0	0	0	0	0	0	-57	-45	-32	-16	0	16	32	45	57	67	0	0	0	0	0	0	0	
	sen h	-0,89	-0,82	-0,71	-0,56	-0,39	-0,20	-0,02	0,16	0,31	0,42	0,49	0,52	0,49	0,42	0,31	0,16	-0,02	-0,20	-0,39	-0,56	-0,71	-0,82	-0,89	-0,92	
	cos i	-0,92	-0,83	-0,67	-0,48	-0,25	0,00	0,25	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,93	0,00	-0,25	-0,48	-0,67	-0,83	-0,92	-0,95	
	I hora glob	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,12	319,78	1684,19	799,18	1420,11	1082,11	1217,30	427,33	242,44	40,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7308,01

TOTAL 417595,65 (kJ/mês-m

Beta	2170	2170	2105	1969	1921	1969	2105	2170	2170	630
	70	70	68	64	62	64	68	70	70	70
Azimute	-1691	-1340	-940	-483	0	483	940	1340	1691	597
	-55	-43	-30	-16	0	16	30	43	55	66

Figura B.4

Aspecto geral de uma folha de Excel usada para o cálculo da radiação global incidente horária, diária e mensal.

9.3. Anexo C – Apoio à secção de Construção de um Seguidor Solar

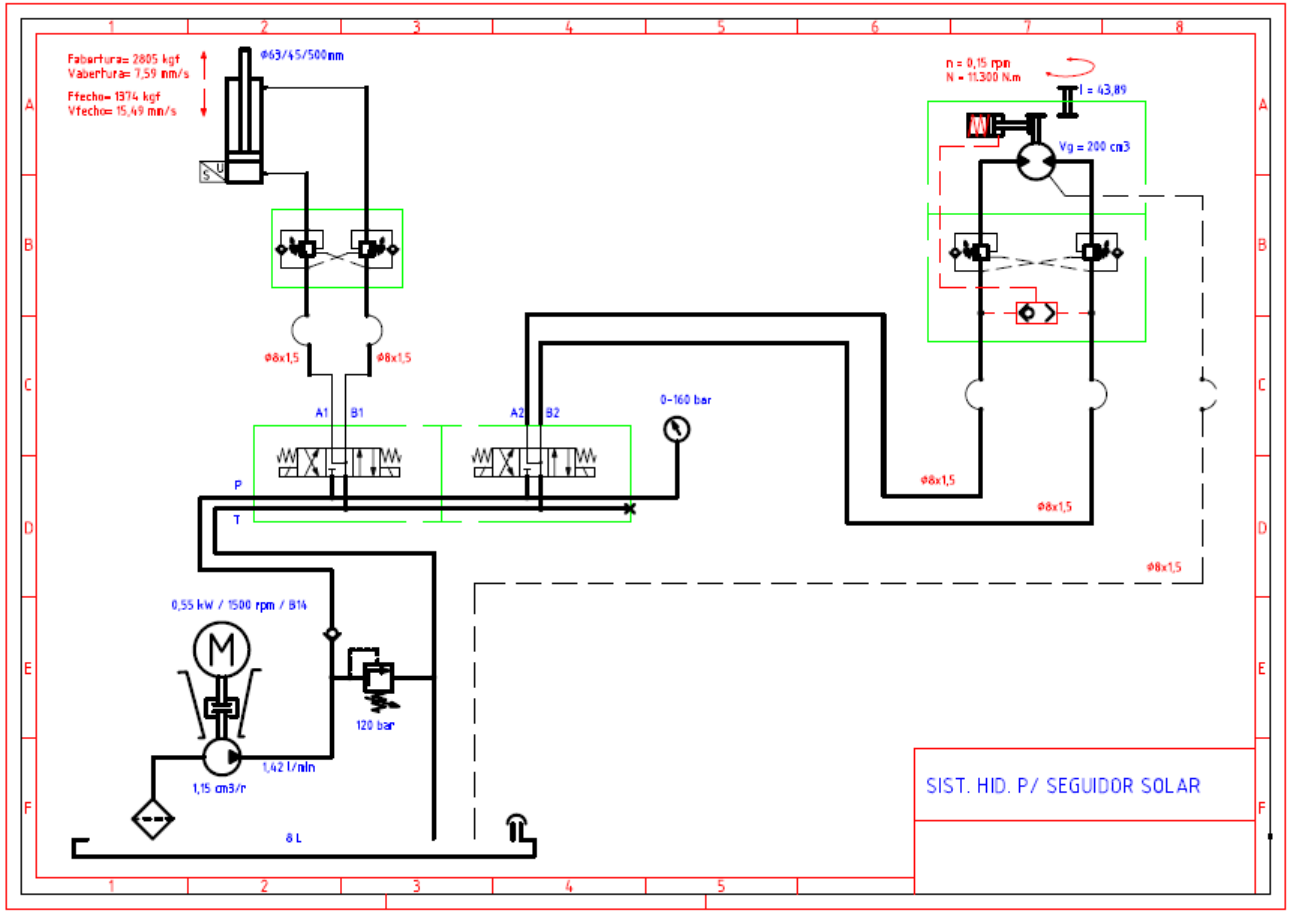


Figura C.1
Esquema hidráulico para montagem dos vários componentes necessários à movimentação da estrutura segundo dois graus de liberdade (um pelo cilindro e outro pelo motor hidráulico).

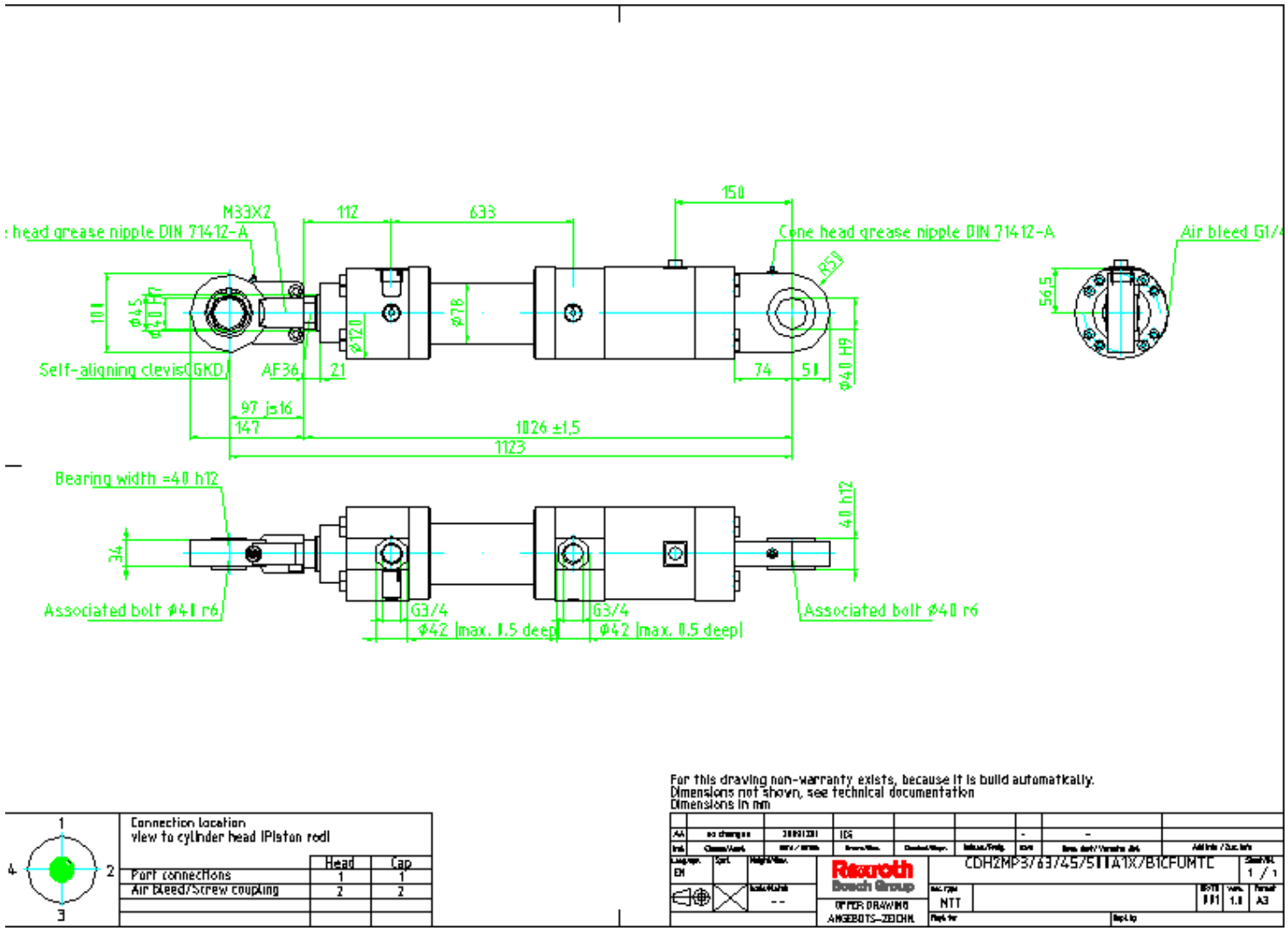
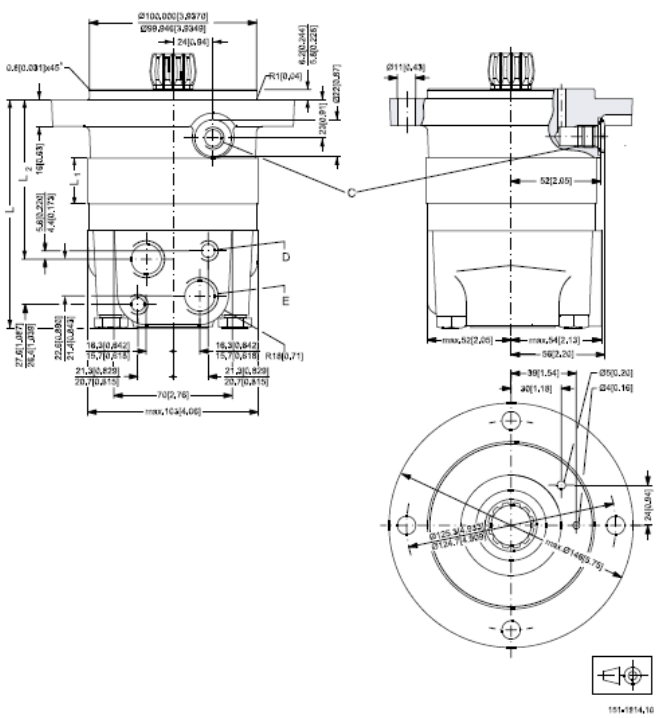


Figura C.2
Desenho técnico do cilindro utilizado para a alteração do ângulo β do conjunto de colectores.

SAUER DANFOSS

OMS
Technical Information
Dimensions – European version

SHORT



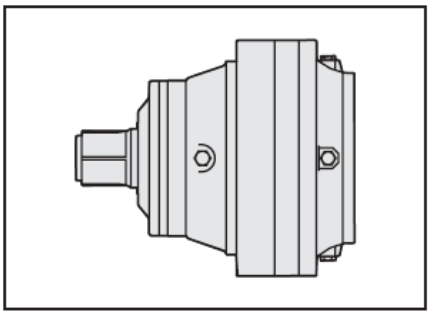
Type	$L_{max.}$ mm [in]	L_1 mm [in]	L_2 mm [in]
OMSS 80	124 [4.88]	14.0 [0.551]	83 [3.27]
OMSS 100	128 [5.04]	17.4 [0.685]	86 [3.39]
OMSS 125	132 [5.20]	21.8 [0.858]	90 [3.54]
OMSS 160	138 [5.43]	27.8 [1.094]	96 [3.78]
OMSS 200	145 [5.71]	34.8 [1.370]	103 [4.06]
OMSS 250	154 [6.06]	43.5 [1.713]	112 [4.41]
OMSS 315	165 [6.50]	54.8 [2.157]	123 [4.84]
OMSS 400	179 [7.05]	68.4 [2.693]	137 [5.39]

C: Drain connection
G 1/4; 12 mm [0.47 in] deep
D: M10; 13 mm [0.51 in] deep
E: G 1/2; 15 mm [0.59 in] deep

Figura C.3
Excerto do catálogo do motor hidráulico escolhido. Ref.ª OMSS200-E-4-Z08.

SIZE 1700 REDUCTION GEARS

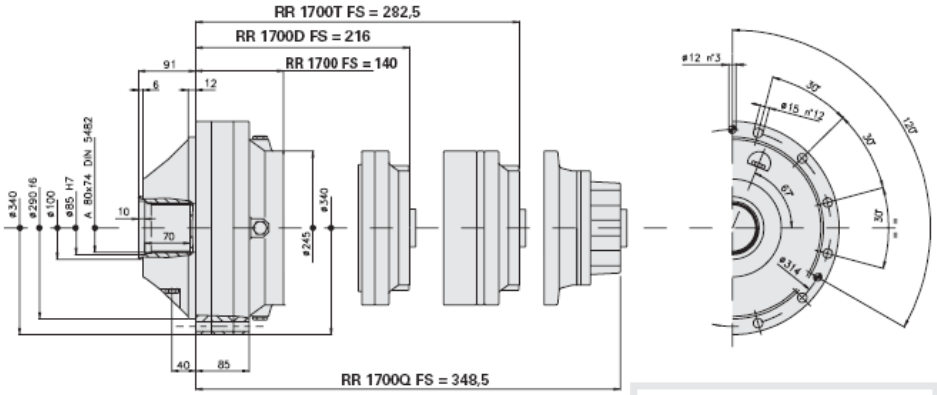
Tab. A



TYPE	RR 1700 M... RR 1700 FS	RR 1700D M... RR 1700D FS	RR 1700T M... RR 1700T FS	RR 1700Q M... RR 1700Q FS
Number of stages	1	2	3	4
Type of input	C	B	B	B
Max. input revs n1 (min^{-1})	2000	3500	3500	3500

TYPE	RA 1700 M... RA 1700 FS	RA 1700D M... RA 1700D FS	RA 1700T M... RA 1700T FS	
Number of stages	1	2	3	-
Type of input	C / B	B	B	-
Max. input revs n1 (min^{-1})	2000	3500	3500	-

FEMALE LINEAR VERSION RR 1700 FS - RR 1700D FS - RR 1700T FS - RR 1700Q FS



SEE THE INPUT DIMENSIONS ON PAGES 144-147

SIZE 1700 REDUCTION GEARS

Tab. B

PART No. - RATIOS - TORQUES (ISO Standards)

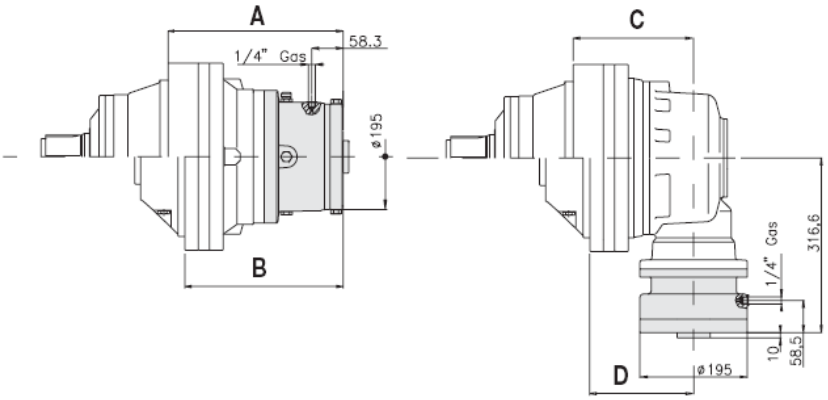
RR 1700 M... RR 1700 FS			RR 1700D M... RR 1700D FS			RR 1700T M... RR 1700T FS			RR 1700Q M... RR 1700Q FS		
PART. No. 1700/...	...../1	T2 daNm	PART. No. 1700/...	...../1	T2 daNm	PART. No. 1700/...	...../1	T2 daNm	PART. No. 1700/...	...../1	T2 daNm
39	3,90	2130	132	13,26	2130	530	53,04	2130	3709	370,97	2130
44	4,41	2100	156	15,60	2130	624	62,40	2130	4492	449,28	2130
51	5,14	1470	176	17,64	2100	780	78,00	2130	5616	561,60	2130
62	6,27	1200	220	22,05	1960	904	90,48	2130	6514	651,46	2130
			250	25,08	1200	1092	109,20	2130	7862	786,24	2130
			313	31,35	1200	1365	136,50	1735	8143	814,32	1735
			438	43,89	1200	1755	175,56	1200	8890	889,06	2100
						2194	219,45	1200	9828	982,80	1735
						2545	254,56	1200	12640	1264,03	1200
						3072	307,23	1200	15800	1580,04	1200
									18328	1832,85	1200
									22120	2212,06	1200

PART No. - RATIOS - TORQUES (ISO Standards)

RA 1700 M... RA 1700 FS			RA 1700D M... RA 1700D FS			RA 1700T M... RA 1700T FS		
PART. No. 1700/...	...../1	T2 daNm	PART. No. 1700/...	...../1	T2 daNm	PART. No. 1700/...	...../1	T2 daNm
156	15,60	820	530	53,04	2130	2009	200,93	2130
176	17,64	925	624	62,40	2130	2511	251,16	2130
205	20,56	1080	705	70,56	2100	2913	291,35	2130
250	25,08	1200	882	88,20	1960	3516	351,62	2130
			1003	100,32	1200	4395	439,53	1735
			1254	125,40	1200	5653	565,30	1200
			1755	175,56	1200	7066	706,63	1200
						8196	819,69	1200
						9892	989,28	1200
						10542	1054,22	1740
✶ 106	10,64	2130				11252	1125,20	1130
✶ 120	12,03	2100				12723	1272,34	1280
✶ 140	14,02	1470				14829	1482,95	1470
✶ 171	17,10	1200				18089	1808,97	1200

Figura C.4
Excerto do catálogo do redutor escolhido. Modelo RR 1700D FS, com uma relação de transmissão de 43,89.

BRAKES SERIES RF 5/21 ÷ 5/130 - RFF 5/21 ÷ 5/130



TYPE	A	B	C	D
RA 1700 M...	-	-	232	-
RR 1700D M...	336,5	-	-	-
RA 1700D M...	-	-	314,5	-
RR 1700T M...	403	-	-	-
RA 1700 FS	-	-	-	202
RR 1700D FS	-	306,5	-	-
RA 1700D FS	-	-	-	264,5
RR 1700T FS	-	373	-	-

Ambient temperature	-20°C ÷ +5°C	+5°C ÷ +40°C	+30°C ÷ +65°C	+40°C ÷ +65°C	OIL QUANTITY lt. Horiz.	Vert.	Mass Kg
VISCOSITY	VG 32 2,8.. 3,2°E/50°C				0,30	0,60	21

CODE		21	29	43	65	85	110	130
Static torque	da Nm	18 ÷ 23	28 ÷ 33	42 ÷ 46	61 ÷ 70	83 ÷ 92	108 ÷ 118	126 ÷ 136
Min. opening pressure	bar	4 ÷ 5	6 ÷ 7	9 ÷ 10	13 ÷ 15	18 ÷ 20	23 ÷ 25	27 ÷ 29
Max. opening pressure	bar	300						
Minimum oil capacity for brake opening	cm³	8 ÷ 9						

Figura C.5
Características técnicas do travão hidráulico utilizado. O travão é representado no desenho pelo componente de cor cinzenta. Modelo RF 5/21 65.