



Instituto Politécnico de Coimbra
Instituto Superior de Engenharia

Integração de Energias Renováveis em Edifícios

Estudo de Caso – Integração num Edifício de Serviços

Nuno Miguel Augusto Tomás

Projecto para obtenção do Grau de Mestre em
Instalações e Equipamentos em Edifícios

COIMBRA

2009



Instituto Politécnico de Coimbra
Instituto Superior de Engenharia

Integração de Energias Renováveis em Edifícios

Estudo de Caso – Integração num Edifício de Serviços

Orientador(es):

Dulce Helena de Carvalho Coelho

Professora Adjunta, ISEC

Anabela de Carvalho Duarte

Professora Adjunta Eq., ISEC

Nuno Miguel Augusto Tomás

Projecto para obtenção do Grau de Mestre em
Instalações e Equipamentos em Edifícios

COIMBRA

2009

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração e ao contributo, de forma directa ou indirecta, de várias pessoas e instituições, às quais gostaria de exprimir algumas palavras de agradecimento e profundo reconhecimento.

Em primeiro lugar à minha família e namorada, pelo apoio e compreensão inestimáveis, pelos diversos sacrifícios suportados e pelo constante encorajamento e incentivo a prosseguir na elaboração deste trabalho.

Às minhas orientadoras, pela disponibilidade manifestada para orientar este trabalho, preciosa ajuda na definição do objecto de estudo, revisão crítica do texto, esclarecimentos, opiniões e sugestões.

Por último, mas não menos importante, aos meus colegas de trabalho pelo apoio e compreensão ao longo do decorrer deste percurso.

A todos, enfim, reitero o meu apreço e a minha eterna gratidão.

Resumo

Em Portugal, o sector dos edifícios regista a segunda maior taxa de crescimento do consumo de energia, logo a seguir ao sector dos transportes. De acordo com os dados dos últimos balanços energéticos da Direcção Geral de Energia e Geologia, os edifícios residenciais e de serviços são responsáveis por cerca de 30% da energia final e por mais de 60 % de toda a energia eléctrica consumida a nível nacional, o que faz com que o sector dos edifícios seja um dos sectores com maior peso no consumo de energia primária e nas emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

A aposta na exploração das energias renováveis, por constituírem recursos endógenos significativos, poderá contribuir para a redução da dependência dos combustíveis fósseis e da emissão de gases com efeito de estufa.

A integração de energias renováveis em edifícios tem como principal objectivo e desafio a incorporação de sistemas técnica e economicamente viáveis de captação e transformação dessas energias em fontes de energia que sejam úteis para o edifício, contribuindo para a obtenção de edifícios energeticamente eficientes.

A selecção da melhor solução para cada edifício, tem que ter em consideração os aspectos construtivos do edifício (localização geográfica, orientação, características dos materiais de construção), as necessidades energéticas do edifício (iluminação, climatização, água quente) e a disponibilidade local de recursos renováveis.

O presente projecto tem como objectivo principal a selecção da solução tecnológica mais adequada para a integração de energias renováveis num edifício de serviços.

A selecção da melhor solução terá em consideração os aspectos construtivos do edifício (localização geográfica, orientação, características dos materiais de construção, envolvente), as necessidades energéticas do edifício (iluminação, climatização, água quente) e a disponibilidade local de recursos renováveis e as tecnologias existentes no mercado.

Tem ainda como objectivo a análise da viabilidade económica da solução tecnológica seleccionada.

Palavras-chave: Eficiência energética em edifícios, Energia solar térmica, Energia solar fotovoltaica, Integração de renováveis em edifícios, Energias renováveis; Climatização solar

Abstract

In Portugal, the building sector has the second highest growth rate of energy consumption, immediately after the transport sector. According to recent data from energy balances of the General Directorate for Energy and Geology, residential and services buildings account for about 30% of final energy and more than 60% of all electricity consumed at the national level, that reflects in a greater weight in distribution of primary energy by sector and also a greater share of emissions of greenhouse gases (GHG).

The focus on the profiteering of renewable energy, for the significant endogenous resources could contribute to reducing dependence on fossil fuels and the emission of greenhouse gases.

The integration of renewable energy in buildings has the main objective and challenge the incorporation of systems technically and economically viable of collection and processing of renewable energy sources that are useful for building, contributing to the achievement of energy efficient buildings.

The selection of the best solution for every building has to take into account the constructive aspects of the building (location, orientation, characteristics of construction materials), the building's energy needs (lighting, air conditioning, hot water) and local renewable availability.

The project's main goal is selecting the most appropriate technological solution for the integration of renewable energy in a services building.

The selection of the best solution will take into account the constructive aspects of the building (location, orientation, characteristics of construction materials, environment), the building's energy needs (lighting, air conditioning, hot water) and the local availability of renewable resources and market technologies.

It also aims to review the economic viability of the selected technology solution.

Keywords: Energy efficiency in buildings, solar thermal, solar photovoltaic, integration of renewable in buildings, renewable energies, Solar Air Conditioning.

Índice

Estudo de Caso – Integração num Edifício de Serviços	i
Estudo de Caso – Integração num Edifício de Serviços	i
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xv
Nomenclatura	xvii
1 Introdução	19
1.1 Enquadramento	19
1.2 Objectivos	21
1.3 Estrutura do documento	21
2 Energias renováveis em edifícios	23
2.1 Energia solar térmica	23
2.1.1 Painéis solares térmicos	23
2.1.1.1 Painéis de líquido sem protecção	24
2.1.1.2 Painéis de líquido com protecção	24
2.1.1.3 Painéis de tubos de vácuo	25
2.1.2 Tipos de sistemas	26
2.2 Energia solar fotovoltaica	26
2.2.1 Tipos de tecnologias	27
2.2.1.1 Células de silício monocristalino	27
2.2.1.2 Células de silício policristalino	27
2.2.1.3 Células de silício amorfo	28
2.2.2 Potencialidades da tecnologia	29
2.3 Energia eólica	29
2.4 Biomassa	30
2.5 Energia geotérmica	31

3	Integração de energias renováveis em edifícios	33
3.1	Energia solar térmica	33
3.1.1	Formas de instalação dos colectores	33
3.1.1.1	Instalação sobre um telhado inclinado	33
3.1.1.2	Instalação integrada no telhado	34
3.1.1.3	Montagem em telhado plano	34
3.1.1.4	Instalação em fachada	34
3.1.2	Montagem do campo de colectores	35
3.1.2.1	Ligações em paralelo	35
3.1.2.2	Ligação em série ou em linha	36
3.1.2.3	Combinação de ligações em série e em paralelo	36
3.1.3	Estado de arte	36
3.2	Energia solar fotovoltaica	37
3.2.1	Tipos de sistemas	38
3.2.1.1	Sistema de fachada	38
3.2.1.2	Sistema de cobertura	39
3.2.1.3	Sistema de “átrios”	39
3.2.2	Tipos de tecnologias associadas ao BIPV	39
3.2.2.1	Painéis opacos	39
3.2.2.2	Painéis transparentes	40
3.2.2.3	Tecnologia de filme-fino	40
3.2.3	Estado da arte	41
3.3	Energia eólica	41
4	Arrefecimento solar em edifícios	43
4.1	Competitividade das soluções de arrefecimento solar	43
4.2	Técnicas de arrefecimento solar	44
4.2.1	<i>Chiller</i> de absorção	44
4.2.1.1	Vantagens e desvantagens	44
4.2.1.2	Fabricantes e produtos	45
4.2.2	<i>Chillers</i> de adsorção	46
4.2.2.1	Vantagens e desvantagens	46
4.2.3	Sistemas de arrefecimento exsiccantes	47
4.3	Comparação das tecnologias de arrefecimento solar	47
4.4	Critérios a considerar na selecção de uma instalação de arrefecimento solar	48
5	Estudo de caso - Integração de Energias Renováveis num Edifício de Serviços	51
5.1	Descrição do edifício	52
5.2	Instalação solar térmica	53

5.2.1	Aquecimento solar da piscina de competição	53
5.2.1.1	Tipo de sistema	53
5.2.1.2	Necessidades térmicas	54
5.2.1.3	Escolha dos colectores solares	54
5.2.1.4	Dimensionamento do campo de colectores	55
5.2.1.5	Cálculo da distância entre painéis	55
5.2.1.6	Cálculo das necessidades da instalação	57
5.2.1.7	Associação dos colectores	57
5.2.1.8	Sistema secundário	58
5.2.2	Aquecimento solar da piscina de aprendizagem	59
5.2.2.1	Tipo de sistema	60
5.2.2.2	Necessidades térmicas	60
5.2.2.3	Escolha dos colectores solares	60
5.2.2.4	Dimensionamento do campo de colectores	60
5.2.3	Aquecimento solar de AQS	61
5.2.3.1	Tipo de sistema	61
5.2.3.2	Cálculo das necessidades da instalação	62
5.2.3.3	Sistema secundário	62
5.3	Sistema de aquecimento/arrefecimento solar	64
5.3.1	Necessidades do sistema	64
5.3.2	Seleção dos equipamentos	64
5.3.2.1	Características do equipamento	65
5.3.3	Princípio de funcionamento do sistema	67
5.4	Instalação solar fotovoltaica	68
5.4.1	Instalação de microgeração fotovoltaica	68
5.4.1.1	Dimensionamento da instalação	69
5.4.2	Análise da instalação BIPV	70
5.4.3	Análise produtiva e princípio de funcionamento do sistema	72
5.5	Análise económica	74
5.5.1	Avaliação dos custos do projecto	74
5.5.2	Análise da viabilidade económica	77
5.5.2.1	Instalações solares térmicas	78
5.5.2.2	Microgeração fotovoltaica	80
5.5.3	Incentivos e financiamentos	82
5.5.4	Emissões poluentes evitadas	84
6	Conclusões	85
	Referências	87

Lista de Figuras

Fig.2.1. Paineis de líquido sem protecção [Doninelli et al, 2006] pp.6.	24
Fig.2.2. Paineis de líquido com protecção [Doninelli et al, 2006] pp.6.	25
Fig.2.3. Paineis de tubos de vácuo [Doninelli et al, 2006] pp.7.	26
Fig.2.4. Célula de silício monocristalina [Malhatlantica, 2009].	27
Fig.2.5. Célula de silício policristalina [Ersol, 2009].	28
Fig.2.6. Célula de silício amorfo [Solar Power, 2008].	28
Fig.2.7. Representação dos tipos de configurações de turbinas eólicas [Darling, 2009].	30
Fig.2.8. Captação de energia geotérmica [Soliclima, 2009].	32
Fig.3.1. Possíveis formas de integração em fachadas [Altener, 2005] pp 5.20.	35
Fig.3.2. Esquema de ligação em paralelo de vários colectores solares térmicos.	35
Fig.3.3. Esquema de ligação em série de vários colectores solares térmicos.	36
Fig.3.4. Esquema de ligação de combinação de ligações em série e em paralelo.	36
Fig.3.5. Integração BIPV [MNES, 2006].	38
Fig.3.6. Integração BIPV como elemento sombreador [MNES, 2006].	39
Fig.3.7. Paineis destinados a BIPV opaco [Sapa, 2008].	40
Fig.3.8. Paineis destinados a BIPV transparente [Sapa, 2008].	40
Fig.3.9. Paineis destinados a BIPV de filme fino [Sapa, 2008].	40
Fig.3.10. Turbina de eixo vertical – integração numa habitação [Gual, 2008].	42
Fig.3.11. Turbina de eixo vertical – integração em edifícios [Gual, 2008].	42
Fig.5.1. Representação da arquitectura exterior do edifício.	52
Fig.5.2. Esquema do funcionamento da instalação solar para aquecimento de piscina.	54
Fig.5.3. Influência do ângulo de inclinação na instalação de um colector. [Altener, 2005] pp.109.	55
Fig.5.4. Método de cálculo das distâncias mínimas entre colectores. [Eicker, 2001] pp. 44.	56
Fig.5.5. Valores anuais da altura solar para a zona de Coimbra.[JRC, 2008].	57
Fig.5.6. Associação dos colectores do sistema solar térmico da piscina de competição.	58
Fig.5.7. Esquema da instalação solar para AQP (piscina de competição).	59
Fig.5.8. Esquema da instalação solar para AQP (piscina de aprendizagem).	61
Fig.5.9. Princípio de funcionamento sistema de produção de AQS [Sonnenkraft, 2008].	62

Fig.5.10. Características funcionamento módulo [Sonnenkraft, 2008].	63
Fig.5.11. Esquema de funcionamento da instalação solar para aquecimento.	64
Fig.5.12. Potência de carga do chiller de absorção em função da temperatura da fonte térmica e da fonte de dissipação de calor [CW10, 2008] pp.5.	66
Fig.5.13. Potência de arrefecimento do chiller de absorção em função da temperatura da água refrigerada e da fonte de dissipação de calor [CW10, 2008] pp.6.	66
Fig.5.14. Potência de aquecimento do chiller de absorção em função da temperatura da água aquecida e da fonte de dissipação de calor [CW10, 2008] pp.7.	67
Fig.5.15. Esquemático da instalação de produção de AQS e climatização com chiller de absorção.	68
Fig.5.16. Esquema da instalação de microgeração fotovoltaica.	69
Fig.5.17. Distribuição dos vários tipos de módulos fotovoltaicos nos edifícios.	71
Fig.5.18. Sistema de ganho isolado [Gonçalves e tal, 2004] pp.38.	72
Fig.5.19. Esquema de ligação das várias instalações BIPV.	73
Fig.5.20. Localização das instalações solares no edifício.	74

Lista de Tabelas

Tabela 3.1. Contribuição da energia solar térmica no mix energético Português [DGGE, 2006]	37
Tabela 4.1. Características de alguns <i>chillers</i> de absorção existentes no Mercado [CEEETA, 2008].	46
Tabela 4.2. Comparação das tecnologias de arrefecimento disponíveis no mercado [ADENE, 2008].	48
Tabela 5. 1. Número de utilizadores da piscina de competição por período horário.	53
Tabela 5.2. Valores de inclinação dos colectores em função da utilização [INETI, 2006] pp.36.	55
Tabela 5.3. Número de utilizadores da piscina de competição por período horário.	59
Tabela 5.4. AQS necessária por período horário e total diária.	61
Tabela 5.5. Características técnicas do <i>chiller</i> de absorção <i>Climatewell</i> [CW10, 2008].	65
Tabela 5.6. Custos da instalação solar térmica do sistema de aquecimento solar das piscinas.	75
Tabela 5.7. Custos da instalação solar térmica do sistema de aquecimento de AQS da instalação.	75
Tabela 5.8. Custos do sistema de climatização solar por <i>chiller</i> de absorção.	76
Tabela 5.9. Custos da instalação do sistema <i>Light Thru</i> .	76
Tabela 5.10. Custos de instalação do sistema <i>See Thru</i> .	76
Tabela 5.11. Custos da instalação do sistema amorfo.	77
Tabela 5.12- Custos da instalação de microgeração.	77
Tabela 5.13. Parâmetros considerados na análise económica dos sistemas solares térmicos.	78
Tabela 5.14. Resultados da análise económica das instalações solares térmicas.	79
Tabela 5.15. Nova análise económica da instalação solar térmica da piscina de aprendizagem.	80
Tabela 5.16. Pressupostos para análise económica da instalação de microgeração fotovoltaica.	80
Tabela 5.17. Resultados da análise económica da instalação solar fotovoltaica de microgeração.	81
Tabela 5.18. Resultados da análise económica da instalação solar fotovoltaica BIPV.	82
Tabela 5.19. Análise comparativa entre materiais convencionais e os módulos fotovoltaicos utilizados na fachada.	Erro! Marcador não definido.
Tabela 5.20. Resultados da nova análise económica da instalação solar fotovoltaica BIPV.	Erro! Marcador não definido.
Tabela 5.21. Análise da viabilidade económica considerando a atribuição de subsídios.	83
Tabela 5.22. Emissões de CO ₂ evitadas com as instalações solares térmicas.	84

Nomenclatura

Abreviaturas

BT - Baixa Tensão
DC - Corrente contínua
AC - Corrente alternada
RESP - Rede eléctrica de serviço público
GN - Gás natural
WBCSD - World Business Council for Sustainable Development
DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia
GEE - Gases com efeito de estufa
RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios
RSECE - Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios
SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
AQS - Água quente sanitária
AQP - Aquecimento de água de piscinas
PV - painéis fotovoltaicos (PV)
BIPV- Building integrated photovoltaics
COP - Coefficient of Performance
TIR – Taxa interna de retorno
VAL – Valor actual líquido
PRI – Prazo de retorno do investimento

Letras e símbolos

η_0 – Rendimento óptico
 η_L – Coeficiente de perdas primário [W/m².K]
 β - Ângulo de orientação horizontal [°]
 α - Valor de inclinação do Sol face à Terra [°]
S - Área de uma superfície [m²]
V – Volume de uma superfície [m³]
tep - Tonelada equivalente de petróleo

W - Unidade SI para potência [$\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$]

Wh - - Unidade de energia

H₂O -Água

LiBr - Brometo de lítio

SiO₂ – Sílica

CO₂ - Dióxido de carbono

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Os edifícios foram identificados pelo World Business Council for Sustainable Development [WBCSD, 2009] como um dos cinco maiores utilizadores de energia contribuindo, na maioria dos países europeus, com 40% para o consumo da energia primária.

Em Portugal, o sector dos edifícios regista a segunda maior taxa de crescimento do consumo de energia, logo a seguir ao sector dos transportes. De acordo com os dados dos últimos balanços energéticos da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), os edifícios residenciais e de serviços são responsáveis por cerca de 30% da energia final e por mais de 60 % de toda a energia eléctrica consumida a nível nacional, o que se traduz num maior peso na repartição da energia primária por sectores e também numa maior participação das emissões de gases com efeito de estufa (GEE).

Para obter uma redução do consumo de energia através de medidas de eficiência energética (redução essa que contribuirá para o cumprimento das metas impostas pelo Protocolo de Quioto), os Estados-Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas tendo em vista contribuir para o aumento da eficiência energética no sector dos edifícios. Foi neste contexto que surgiu a Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios [Directiva 2002/91/CE].

No âmbito da transposição para a ordem jurídica portuguesa da Directiva nº 2002/91/CE foram revistos o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) [DL n.º 80/2006], e o Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE) [DL n.º 79/2006], e introduzido um sistema de certificação energética de edifícios, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) [DL n.º 78/2006].

Estes novos regulamentos introduziram uma obrigatoriedade ao nível da construção de novos edifícios - a introdução de energias renováveis na construção. O RCCTE impõe a utilização de sistemas solares térmicos para produção de água quente sanitária (AQS), enquanto o RSECE, considera prioritário o aproveitamento da biomassa e da energia geotérmica, sempre que esteja disponível e que seja economicamente viável.

A aposta na exploração das energias renováveis, por constituírem recursos endógenos significativos, poderá contribuir para a redução da dependência energética, para a redução das emissões poluentes e de emissões com gases de efeito de estufa e para a promoção de uma economia mais eficiente.

Neste sentido, têm sido criadas medidas e programas de promoção do uso racional de energia e aplicação de fontes de energia renovável nos edifícios, quer a nível nacional quer europeu.

A nível europeu foram criados, entre outros, o Projecto *EnerBuilding* [EnerBuilding, 2009] e o Projecto *GreenBuilding* [GreenBuilding, 2009]. O primeiro projecto iniciou-se em Novembro de 2006 e tem uma duração de 3 anos, tendo como objectivo principal o despertar da consciência e conhecimentos dos consumidores para a eficiência energética dos edifícios. O segundo projecto, com início em 2005 e uma duração de 4 anos, tem por objectivo a promoção de investimentos em eficiência energética e energias renováveis em edifícios não-residenciais, e o apoio na divulgação e implementação da directiva 2002/91/CE.

A nível nacional, a Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 aprovou o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) [RCM n.º 80/2008], documento que engloba um conjunto alargado de programas e medidas consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar e suplantat os objectivos fixados no âmbito da Directiva n.º 2006/32/CE. Trata-se de um plano de acção agregador de um conjunto de programas e medidas de eficiência energética, num horizonte temporal que se estende até ao ano de 2015.

Encontrando-se em articulação com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) [RCM n.º 119/2004], aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho, e o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) [RCM n.º 1/2008], aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 1/2008, de 4 de Janeiro, o PNAEE estabelece como objectivo obter uma economia anual de energia de 1 % até ao ano de 2016, tomando como base a média de consumos de energia final, registados no quinquénio 2001 -2005.

Ao nível dos edifícios residenciais e de serviços o PNAEE integra alguns programas de eficiência energética, tais como: Programa Renováveis na Hora, que é orientado para o aumento da penetração de energias endógenas nos sectores residencial e serviços, que veio promover a microgeração a partir de energias renováveis, com uma tarifa de venda mais atractiva [DL n.º 363/2007]); Programa solar térmico de pequenas instalações, que se destina exclusivamente a consumidores particulares, para instalação nas suas residências, principalmente em casas usadas e Programa solar térmico de grandes instalações, destinado a

apoiar a instalação de sistemas solares térmicos para a produção de AQS ou para aquecimento de água de piscinas (AQP) em instituições particulares de solidariedade social e em clubes e associações desportivas com utilidade pública.

A integração de energias renováveis em edifícios tem como principal objectivo e desafio a incorporação de sistemas técnica e economicamente viáveis de captação e transformação dessas energias em fontes de energia que sejam úteis para o edifício, contribuindo para a obtenção de edifícios energeticamente eficientes

1.2 Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo principal a selecção da solução tecnológica mais adequada para a integração de energias renováveis num edifício de serviços.

A selecção da melhor solução terá em consideração os aspectos construtivos do edifício (localização geográfica, orientação, características dos materiais de construção, envolvente), as necessidades energéticas do edifício (iluminação, climatização, água quente) e a disponibilidade local de recursos renováveis.

Para uma escolha informada será necessário identificar, caracterizar e avaliar as diversas soluções tecnológicas de aproveitamento de energias renováveis existentes no mercado com aplicação em edifícios (residenciais e de serviços).

Tem ainda como objectivo a análise da viabilidade económica da solução tecnológica seleccionada.

1.3 Estrutura do documento

O documento apresentado encontra-se dividido em seis capítulos.

No presente capítulo, “Introdução”, são expostas as motivações que conduziram ao trabalho realizado, os objectivos do projecto e, é apresentada, de seguida, uma breve descrição do trabalho desenvolvido em cada capítulo.

No capítulo dois, “Energias renováveis em edifícios”, é apresentada uma descrição sucinta das tecnologias para a produção de energia térmica e de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, que poderão ser utilizadas em edifícios: energia solar térmica; energia solar fotovoltaica; energia eólica; energia da biomassa e energia geotérmica.

O capítulo três, “Integração de energias renováveis em edifícios”, tem como principal objectivo, para cada uma das formas de energia renovável, apresentar as várias soluções

possíveis de aplicação em edifícios, tendo em consideração as características, o espaço disponível e as necessidades energéticas do edifício.

O arrefecimento solar, é abordado no capítulo quatro, onde são referidas as principais tecnologias de arrefecimento solar aplicáveis em edifícios, disponíveis no mercado. São ainda indicados os principais critérios a ter em consideração na selecção deste tipo de sistemas de arrefecimento.

Estudadas e apresentadas as várias soluções possíveis para a integração de energias renováveis em edifícios, o estudo da aplicação das soluções mais adequadas para um edifício de serviços, é apresentado no capítulo cinco. São apresentadas as principais características do edifício, a sua localização e as necessidades energéticas em função da sua utilização. Com base nestas considerações e recorrendo a softwares oficiais existentes para o efeito, foi dimensionado um conjunto de soluções, no sentido das necessidades energéticas do edifício serem, maioritariamente, satisfeitas com base em fontes de energia renováveis. Foi ainda realizada uma análise da viabilidade económica das soluções escolhidas e avaliada a redução das emissões de gases de efeito de estufa.

No último capítulo, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, nomeadamente, os principais resultados obtidos no estudo de caso, referidas algumas contribuições, resultantes do trabalho desenvolvido, e sugeridas pistas de desenvolvimento futuro.

2 Energias renováveis em edifícios

As fontes de energias renováveis são mais do que uma necessidade em termos da redução dos impactos ambientais. Podem e devem ser um ponto estratégico para a segurança do abastecimento, para o crescimento económico e criação de novos postos de trabalho, bem como para a redução da dependência das energias fósseis.

Nos edifícios, as tecnologias para a produção de energia térmica e de energia eléctrica a partir de fontes renováveis podem facilmente ser integradas de forma eficiente, principalmente se forem consideradas na fase do projecto do edifício. As formas de energia renovável que poderão ser utilizadas em edifícios são: energia solar térmica; energia solar fotovoltaica; energia eólica; energia da biomassa e energia geotérmica. Uma descrição sucinta destas formas de energia é apresentada ao longo deste capítulo.

2.1 Energia solar térmica

Numa instalação solar térmica, a energia da radiação solar é captada por intermédio de colectores e transferida por intermédio de um fluído (fluído térmico) para um ponto de consumo, ou para um depósito onde é armazenada para futuras utilizações.

Os colectores solares são denominados painéis solares térmicos.

2.1.1 Painéis solares térmicos

Os painéis solares térmicos podem ser divididos em duas categorias:

- Alta temperatura
- Baixa temperatura.

Os painéis de alta temperatura estão equipados com espelhos para concentrar os raios solares. O seu custo, bastante elevado, torna-os adequados apenas para exigências específicas e bastante limitadas.

Os painéis de baixa temperatura são utilizados, essencialmente, para produção de água quente e aquecimento ambiente. São painéis mais simples, constituídos por placas absorventes e existem dois tipos destes painéis: painéis de líquido, com e sem protecção, e painéis de tubos de vácuo.

2.1.1.1 Painéis de líquido sem protecção

Os painéis de líquido sem protecção são constituídos por uma placa absorvente fabricada em material plástico. Por não possuírem cobertura, não podem superar 40-45°C. Na prática, são utilizados principalmente para aquecer piscinas de pequenas dimensões.

O baixo custo é a sua principal vantagem e apresentam como maior desvantagem os problemas de “envelhecimento” relacionados quer com os materiais quer com a tecnologia utilizada na sua produção. A Fig. 2.1 apresenta um exemplo deste tipo de equipamentos.

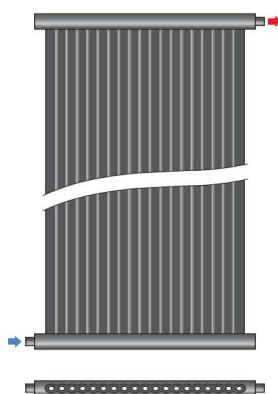


Fig.2.1. Painel de líquido sem protecção [Doninelli et al, 2006] pp.6.

2.1.1.2 Painéis de líquido com protecção

Os painéis de líquido com protecção são constituídos por uma placa absorvente metálica (em cobre, alumínio ou aço) que inclui os tubos de passagem do líquido solar, possuindo como protecção uma placa de vidro ou de plástico com uma boa transparência à radiação solar e elevada opacidade à emitida pela placa absorvente. São ainda constituídos por material isolante, colocado por baixo da placa absorvente e por um invólucro de contenção para proteger os e limitar as dispersões térmicas do painel.

Estes painéis podem produzir água quente até 90-95°C, diminuindo o seu rendimento de uma forma significativa acima dos 65-70°C. Não necessitam de soluções de utilização complexas, possuem um bom rendimento e custos relativamente baixos. Por estes motivos, são os painéis mais utilizados nas instalações domésticas.

A Fig. 2.2 apresenta os elementos constituintes de um painel de líquido com protecção.

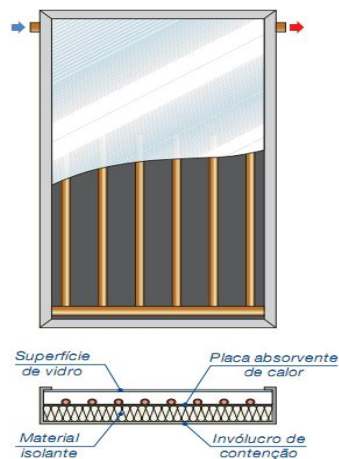


Fig.2.2. Painel de líquido com protecção [Doninelli et al, 2006] pp.6.

A eficiência média anual de um sistema completo com colectores planos é de 35-40%, ou seja, para um montante anual de 1.000 kWh/m² de radiação solar, a produção de energia corresponde a 350 – 400 kWh/m² anuais [Doninelli et al, 2006].

2.1.1.3 Painéis de tubos de vácuo

São constituídos por uma série de tubos de vidro sob vácuo, no interior dos quais estão colocadas placas absorventes em tiras. Esta técnica de construção permite limitar as dispersões térmicas dos painéis e assegurar rendimentos mais elevados - característica que pode ser muito útil nas zonas com baixas temperaturas externas.

Os painéis com tubos de vácuo podem produzir água quente até uma temperatura de 115-120°C, isto é, uma temperatura que permite que sejam utilizados no sector industrial, alimentar e agrícola, ou para produzir água refrigerada com o auxílio de grupos frigoríficos apropriados. O custo bastante elevado é a principal desvantagem destes painéis.

Na Fig. 2.3 encontra-se representado um painel de tubos de vácuo.



Fig.2.3. Painel de tubos de vácuo [Doninelli et al, 2006] pp.7.

2.1.2 Tipos de sistemas

Existem dois tipos distintos de funcionamento de um sistema solar térmico: o de termossifão e o de circulação forçada.

No sistema de circulação por termossifão os principais componentes são o colector solar, o depósito de acumulação de AQS, e os elementos de segurança. O seu princípio de funcionamento consiste na circulação natural do fluido térmico através da alteração de densidade do fluído, causada pela variação da sua temperatura.

No sistema de circulação forçada, os elementos base são praticamente os mesmos que no caso do termossifão e, como o próprio nome indica, ocorre uma circulação de fluido térmico no sistema por intermédio do grupo circulador. E que é controlada através de sondas de temperatura e um controlador solar.

2.2 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão directa da luz solar em electricidade (Efeito Fotovoltaico). Trata-se de uma fonte de energia limpa, inesgotável, de produção silenciosa, fiável, e cuja manutenção dos componentes de produção é mínima. O desempenho energético dos painéis fotovoltaicos (PV) varia consoante a luz solar disponível e a inclinação dos módulos, sendo a eficiência de conversão da ordem dos 15%.

2.2.1 Tipos de tecnologias

Ao nível de painéis fotovoltaicos existem basicamente 3 grandes tipos distintos de módulos, que se distinguem pelas células de silício que o compõem. Os tipos de células utilizados são: células de silício monocristalino; células de silício policristalino e células de silício amorfo.

2.2.1.1 Células de silício monocristalino

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais usada e comercializada como conversor directo de energia solar em electricidade. Este tipo de células é obtido a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas (0,4 – 0,5 mm de espessura). A Fig. 2.4 mostra o aspecto de uma célula monocristalina.

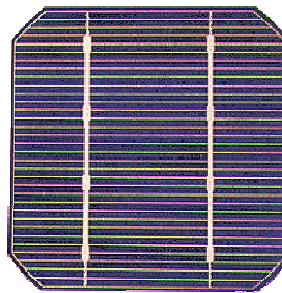


Fig.2.4. Célula de silício monocristalina [Malhatlantica, 2009].

Entre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam a maior eficiência. As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15%, podendo atingir-se 23% em células feitas em laboratórios.

2.2.1.2 Células de silício policristalino

Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício arrefece lentamente e solidifica. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal, formando-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais, como se pode observar na Fig. 2.5.

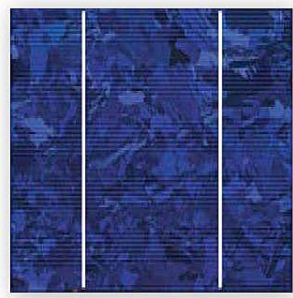


Fig.2.5. Célula de silício policristalina [Ersol, 2009].

As células de silício policristalino são mais baratas do que as células de silício monocristalino. O custo de produção é inferior, uma vez que necessitam de menos energia e o seu processo de preparação é menos rigoroso (cristais mais imperfeitos). No entanto, a eficiência é mais baixa comparativamente com a das células de silício monocristalino.

2.2.1.3 Células de silício amorfo

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas pois apresenta um alto grau de desordem na estrutura dos átomos e um rendimento eléctrico mais reduzido (aproximadamente 8% a 10%, ou 13% em laboratório). Na Fig. 2.6 encontra-se representada uma célula de silício amorfo.



Fig.2.6. Célula de silício amorfo [Solar Power, 2008].

Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e poder ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo mostra-se uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo.

Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: baixa eficiência de conversão, quando comparada com a das células mono e policristalinas de silício; degradação das células logo nos primeiros meses de operação, reduzindo a sua eficiência ao longo da vida útil.

Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as desvantagens citadas: processo de fabricação relativamente simples e barato; possibilidade de fabricação de células com grandes áreas e baixo consumo de energia na produção.

2.2.2 Potencialidades da tecnologia

A utilização de sistemas fotovoltaicos permite um aumento da eficiência energética global do edifício e a redução de emissão de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera.

Por outro lado, as iniciativas legislativas em curso e respectivos enquadramentos no âmbito da energia solar fotovoltaica, permitem o aumento da receita gerada através da produção de energia e respectiva venda à rede pública, promovendo a recuperação de investimentos num horizonte temporal de 6 a 7 anos e a garantia da manutenção da mesma receita durante um período de pelo menos 20 anos.

O nosso país, devido às suas características climáticas, possui excelentes condições para a conversão fotovoltaica, com índices de produção entre 1 e 1,7 kWh por ano, por cada Wp instalado.

Em suma, a tecnologia fotovoltaica é uma opção sustentável, ecológica, economicamente viável e financeiramente compensadora. Esta tecnologia oferece múltiplas funcionalidades, aproveitando as sinergias entre os materiais envolvidos na construção e a produção de energia.

2.3 Energia eólica

O vento é resultante da deslocação de massas de ar originadas por diferenças de pressão atmosférica, que resultam dos diferentes níveis de absorção da energia solar na atmosfera.

A conversão da energia em electricidade é feita de um modo muito simples: a energia do vento (energia cinética) faz girar as pás da turbina que por sua vez fazem rodar um eixo (energia mecânica). Este eixo põe em funcionamento o gerador, no qual os campos magnéticos convertem a energia rotacional em electricidade.

Existem dois tipos de turbinas: as de eixo horizontal e as de eixo vertical.

As turbinas de eixo horizontal utilizam-se em sistemas de maior potência e funcionam melhor em zonas abertas, com uma direcção de vento dominante, com maior aproveitamento de ventos mais fortes, diminuindo o seu desempenho funcional em regimes de vento turbulentos.

As turbinas de eixo vertical utilizam-se em sistemas de menor potência e apresentam como principais características a adaptabilidade para zonas urbanas, de maior densidade. Funcionam bem em regimes de vento turbulentos, com níveis de ruído mais reduzidos. Em termos de rendimento apresentam menores performances do que as de eixo horizontal.

Uma representação dos dois tipos de turbinas eólicas pode ser observada na Fig. 2.7.

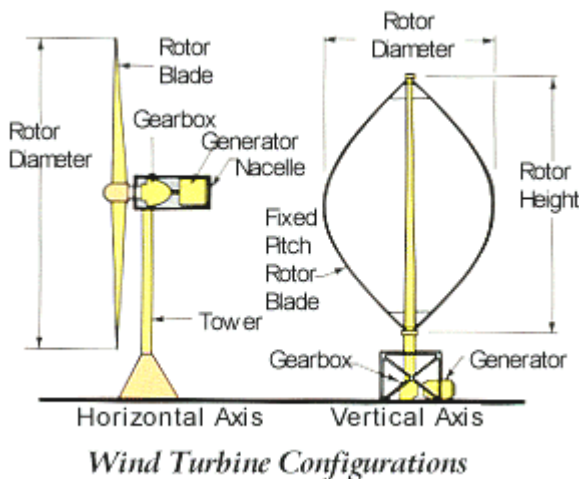


Fig.2.7. Representação dos tipos de configurações de turbinas eólicas [Darling, 2009].

Existem turbinas de vários tamanhos e de várias potências. As pequenas turbinas com potência inferior a 5kW podem servir para alimentar edifícios, desde que existam condições favoráveis à sua aplicação. A instalação destas máquinas é indicada para vivendas isoladas e que se encontrem em zonas ventosas. Para pequenas instalações de uso doméstico os aerogeradores mais adequados são capazes de produzir de 400 W a 3,2 kW. Para conseguir um bom rendimento é necessário que a localização dos aerogeradores se verifique numa região ventosa, ou seja, com vento na maioria dos dias do ano e com uma velocidade média anual superior aos 13 km/h.

2.4 Biomassa

A biomassa é a fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos susceptíveis de aproveitamento energético.

Enquanto o uso de lenha é bastante comum no mundo inteiro, a utilização de briquetes, *pellets* ou estilha de madeira em caldeiras automáticas continua a ser uma solução ainda bastante desconhecida, apesar dos seus padrões de eficiência, emissões e conforto. A

tecnologia em caldeiras a biomassa fez imensos progressos durante a última década. A sua eficiência atingiu o mesmo nível das caldeiras a gás ou a fuelóleo, existindo uma grande variedade de caldeiras disponíveis no mercado.

Os *pellets*, ou grânulos de combustível formados por resíduos de serrações e do processamento de aparas serradura, processados de forma correcta e reduzidos a pequenos grânulos comprimidos, permitem que os equipamentos de aquecimento a biomassa se vulgarizem em todas as tipologias de edifícios. Esta solução é também muito vantajosa do ponto de vista económico, em relação a outras formas de energia.

Os recuperadores de calor a *pellets* apresentam elevados rendimentos na produção de calor, dispondo de funcionalidades como o controle de temperatura, alimentação automática, compactação automática das cinzas, ausência de produção de fumos, colocando-os como uma solução muito atractiva de aquecimento. Para além disso, a biomassa é um combustível mais barato e ecológico que os combustíveis convencionais.

Uma vantagem adicional de uma instalação de aquecimento a biomassa reside na maior segurança de utilização, apresentando como desvantagens a necessidade de remoção periódica das cinzas produzidas e de um local de armazenamento para a biomassa.

A selecção cuidadosa de uma caldeira de elevada qualidade é um factor essencial para a realização de um projecto com sucesso, num edifício público ou residencial.

2.5 Energia geotérmica

A terra possui uma elevada inércia térmica, constituindo um enorme acumulador de energia solar sob a forma térmica. A uma profundidade de cerca de 5 metros a temperatura é de aproximadamente 15 °C, sendo estável todo o ano. Esta quantidade de energia disponível pode ser aproveitada para a satisfação das necessidades térmicas, quer para a produção de água quente sanitária, quer para a climatização de espaços.

Para os edifícios residenciais, os sistemas geotérmicos em desenvolvimento envolvem a tecnologia de bombas de calor com aproveitamento da energia geotérmica - bombas de calor geotérmicas. A captação dessa energia é realizada através de circuitos de tubagens enterradas onde circula um fluido de transferência, geralmente água e um aditivo anti-congelante.

Na estação fria essa energia é libertada para o espaço a aquecer através de uma bomba de calor. Na estação quente inverte-se o processo, sendo o excesso de calor do espaço a arrefecer transferido para o solo. Quanto maior o gradiente entre a temperatura do fluido e a do meio exterior, maior será a eficiência do sistema.

Estes sistemas encontram-se muito pouco difundidos no nosso país, sendo penalizados pelos elevados custos de instalação. Por esta razão, o investimento só é rentável em circunstâncias favoráveis muito específicas. A Fig. 2.8 representa de forma esquemática a captação de energia geotérmica.

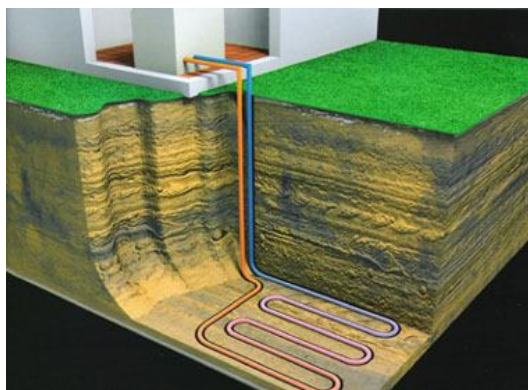


Fig.2.8. Captação de energia geotérmica [Soliclima, 2009].

3 Integração de energias renováveis em edifícios

3.1 Energia solar térmica

A integração de equipamentos para produção de energia térmica solar, mais particularmente os painéis solares, pode ser realizada de várias formas, dependendo das características do edifício, espaço disponível e necessidades térmicas do sistema, ou pedido do cliente.

Os colectores podem ser instalados sobre telhado inclinado, integrados em telhado inclinado, montados em fachada ou colocados em suportes num telhado plano ou numa superfície livre.

Cada uma destas soluções tem vantagens e desvantagens. Enquanto no caso de colectores inclinados e fachadas, a inclinação e o alinhamento são quase sempre pré-definidos, num telhado plano ou cobertura plana existe a possibilidade de uma orientação exacta para Sul e um ângulo de inclinação favorável.

3.1.1 Formas de instalação dos colectores

3.1.1.1 Instalação sobre um telhado inclinado

No caso de uma instalação sobre o telhado, os colectores devem ser colocados cerca de 5-10 cm acima do revestimento do telhado. Os pontos de fixação podem ser ganchos no telhado ou suportes de aparafusamento que serão aparafusados às vigas, ou em telhas onduladas, ou algo semelhante. A estrutura de suporte do telhado deverá ser capaz de suportar a carga adicional do peso dos colectores e do sistema de fixação (aproximadamente 25 kg/m²). Este tipo de instalação torna-se mais rápida e simples, tornando-se mais económica. Apresenta como vantagens adicionais o facto de o revestimento do telhado permanecer intacto e ser uma instalação mais flexível.

Este tipo de integração possui como desvantagens o acréscimo de carga adicional no telhado, e não ser tão atractiva como uma instalação integrada no telhado.

3.1.1.2 Instalação integrada no telhado

No caso de uma instalação integrada no telhado, as telhas são removidas na posição correspondente e os colectores são montados directamente na trama estrutural do telhado. Os colectores são integrados na cobertura do telhado através de sistemas especiais de cobertura com moldura de alumínio ou zinco e chumbo (semelhantes a clarabóias). Em telhados inclinados, a integração é usualmente a solução mais elegante sob o ponto de vista arquitectónico.

A instalação integrada no telhado apresenta vantagens ao nível estético, bem como ao nível da diminuição das cargas aplicadas no telhado, uma vez que nenhuma carga adicional é aplicada no telhado. Apresenta como principal desvantagem o elevado custo de mão-de-obra e de montagem.

3.1.1.3 Montagem em telhado plano

Consoante a localização geográfica (latitude), os colectores em telhados planos devem ser instalados com determinada inclinação (20-45°). Para tal, existem no mercado suportes planos em aço galvanizado ou alumínio com os ângulos de fixação correspondentes.

Devido às superfícies que se encontram expostas ao vento, os colectores devem ser fixados de forma a possuírem resistência a cargas mecânicas através de contrapesos (volumes de cimento, caleiras de gravilha, peças trapezoidais com enchimento de gravilha) ou de ancoragem ao telhado, através de suportes aparafusados ao telhado e vedados.

3.1.1.4 Instalação em fachada

Os diferentes tipos de colectores existentes podem ser instalados em fachadas dos edifícios. Este tipo de instalações tem como objectivo obter uma fracção solar elevada no Inverno e podem ser utilizadas como elementos de design arquitectural. Na Fig. 3.1 estão representadas algumas das possíveis formas de integração de colectores em fachadas.

Comparando um colector que seja instalado na fachada com um instalado no telhado, o primeiro recebe uma irradiação solar global menor. Por outro lado, tem um perfil de produção mais uniforme por ano e está sujeito a baixas cargas térmicas, i.e. existem menos períodos de estagnação.

Na instalação em fachada devem ainda ser tidos em conta factores tais como a resistência de suporte da parede, sombreamentos, instalação da parede e também a estética do edifício.

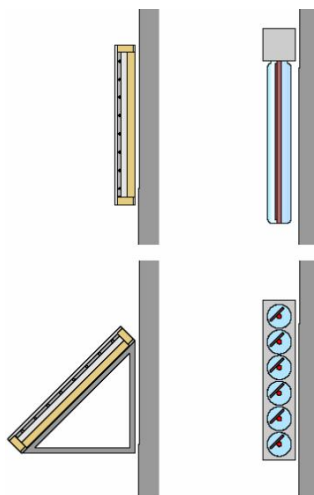


Fig.3.1. Possíveis formas de integração em fachadas [Altener, 2005] pp 5.20.

3.1.2 Montagem do campo de colectores

Quando estamos perante grandes instalações temos pela frente um grande número de colectores que devem ser interligados entre eles. Na escolha da melhor solução de ligação do campo de colectores, deve-se ter como principal objectivo encontrar uma taxa de fluxo uniforme por todo o campo. Uma taxa de fluxo não uniforme causa diferentes temperaturas no campo dos colectores, com efeitos negativos no controlo do comportamento e produção dos colectores. O tipo de ligações pode diferenciar-se entre ligações em série e em paralelo ou uma combinação das duas.

3.1.2.1 Ligações em paralelo

Neste caso, todos os colectores estão instalados entre dois tubos principais, um realiza a distribuição (ida) e o outro a recolha (retorno), com esquematizado na Fig. 3.2.

Para estabelecer uma taxa de fluxo uniforme, os tubos principais devem ter uma baixa resistência ao fluxo (i.e. um tubo de grande secção) em relação ao colector. Todas as ligações de escoamento devem ter o mesmo comprimento.

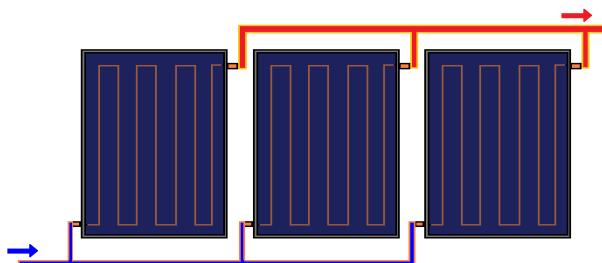


Fig.3.2. Esquema de ligação em paralelo de vários colectores solares térmicos.

3.1.2.2 Ligação em série ou em linha

Como o próprio nome indica, os colectores são ligados sucessivamente, como se pode observar no esquema da Fig. 3.3. A taxa de fluxo, que é necessária, no sentido de retirar o calor aumenta em proporção com o número de colectores, contudo a resistência aumenta. Por causa da necessidade de aumentos significativos da potência da bomba, o número de linhas com este tipo de ligação deve ser limitado. Este arranjo de circuitos assegura um fluxo uniforme através dos colectores.

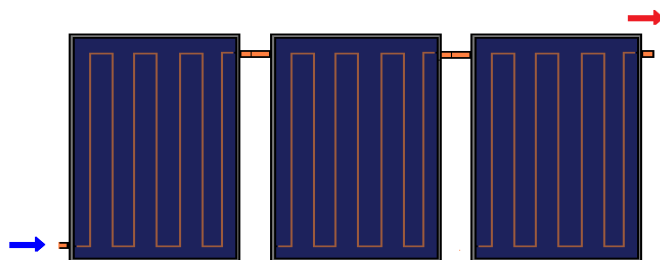


Fig.3.3. Esquema de ligação em série de vários colectores solares térmicos.

3.1.2.3 Combinação de ligações em série e em paralelo

É possível realizar combinações de ligações em série e em paralelo, combinando as vantagens de ambas. Através de sucessivas ligações entre colectores, a resistência do fluxo em linhas individuais é significativamente aumentada acima da linha de tubagem principal. O objectivo da combinação de ligações é manter um fluxo uniforme através do campo de colectores com uma baixa resistência de fluxo (bomba de baixa potência).

Na Fig. 3.4 é apresentado um esquema de ligação da combinação de ligações em série e em paralelo de colectores solares térmicos.

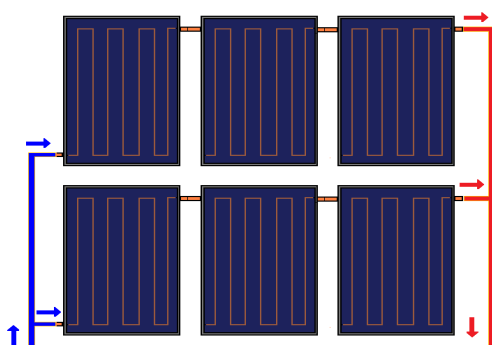


Fig.3.4. Esquema de ligação de combinação de ligações em série e em paralelo.

3.1.3 Estado de arte

Apesar de existir um mercado nacional com alguma maturidade em termos de oferta e tecnologias solares térmicas disponíveis, não existe ainda um sistema definido para a

compilação de dados estatísticos relativamente ao número de edifícios com sistemas solares térmicos instalados, capacidade total instalada a nível local e contribuição energética para os *mixs* energéticos locais.

A nível nacional, é importante mencionar a evolução verificada na capacidade instalada desde 2003 (ano em que foram instalados 9.210 m² de colectores solares térmicos) até 2006, quando a capacidade anual instalada aumentou para 28.000 m², completando uma capacidade total instalada/operacional de 283.000m². A partir do mix energético nacional, disponibilizado pela DGEG, pode-se verificar a evolução da contribuição da energia solar térmica, dada em tonelada equivalente de petróleo (tep), no balanço energético nacional e que é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Contribuição da energia solar térmica no mix energético Português [DGGE, 2006].

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Energia solar térmica (10 ³ tep)	16,8	17,3	17,8	18,3	18,8	19,3	20,2	221,9

3.2 Energia solar fotovoltaica

A nível da tecnologia fotovoltaica também é possível realizar a integração em edifícios de variadas formas. Enquanto as soluções fotovoltaicas padronizadas são frequentemente utilizadas em aplicações residenciais ou em centrais solares, é possível, em grandes edifícios, utilizar a integração de equipamentos fotovoltaico numa perspectiva diferente, ou seja numa perspectiva arquitectónica. Este tipo de integração é designado por *Building integrated photovoltaics* (BIPV).

O BIPV faculta novas possibilidades de incorporar a tecnologia solar nos edifícios. É assim possível combinar os sistemas fotovoltaicos e a arquitectura, numa mistura harmoniosa de design, ecologia e economia, podendo pode ser integrado em sistemas de fachadas, coberturas e átrios.

Os módulos fotovoltaicos podem ser incorporados no edifício verticalmente, horizontalmente ou em ângulo e serem produzidos por medida, de acordo com as dimensões e os desejos do cliente. Uma selecção de células e o seu posicionamento poderão ser adaptados de acordo com as especificidades do design do projecto: transparência, controlo de luz, design do módulo, sombreamento e dimensões.

3.2.1 Tipos de sistemas

Em qualquer sistema de integração de BIPV devem ser tidas em consideração:

- A eficiência do sistema – preocupação com a sombra existente na envolvente, temperatura, latitudes do local, orientação solar e ângulo de inclinação dos módulos;
- Variáveis estruturais – incluem energia requerida, peso e tamanho dos módulos escolhidos, formas de fixação e planeamento da operação e manutenção do sistema;
- Aspectos estéticos e económicos – enquadramento com a envolvente e conjugação com os materiais de construção integrados no edifício.

3.2.1.1 Sistema de fachada

Este sistema poderá ser encontrado na forma de cortina de vidro, de fachadas opacas ou de elementos sombreadores, substituindo os tradicionais toldos e venezianas, como mostrado na Fig. 3.5 e na Fig. 3.6.

Os painéis fotovoltaicos denominados de “cortinas de vidro” podem trazer elevados contributos ao edifício, tais como iluminação natural e contacto visual com o exterior.

As fachadas opacas podem contribuir como elemento de energia solar passiva, devido à sua elevada inércia térmica, bem como através da transferência de calor gerada e acumulada na caixa-de-ar entre os painéis e a alvenaria ou vidro interior. Através do fenómeno de calor por convecção natural, o benefício final é mútuo, tanto para o conforto térmico do ambiente interior, como para uma melhor eficiência dos módulos. Neste tipo de solução pode-se optar por diferentes espaçamentos entre células, cores e tamanhos, sendo assim possível conjugar a produção de energia, a estética e o conforto térmico.

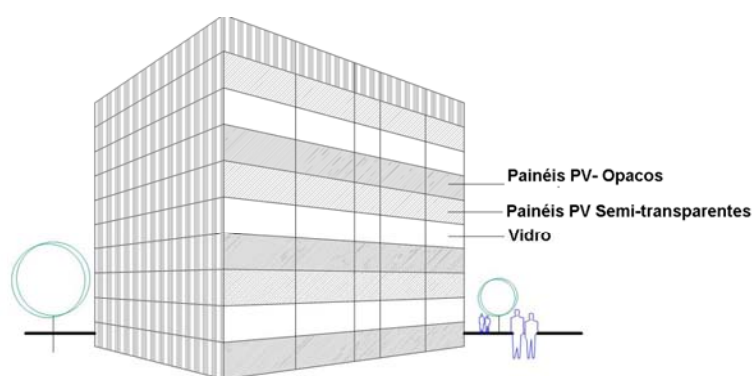


Fig.3.5. Integração BIPV [MNES, 2006].

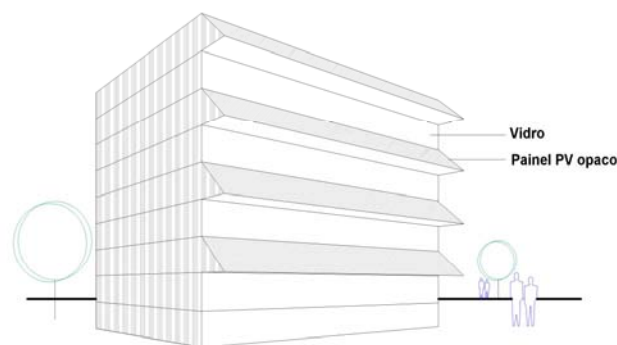


Fig.3.6. Integração BIPV como elemento sombreador [MNES, 2006].

3.2.1.2 Sistema de cobertura

O tipo de sistema de cobertura pode ser aplicado como no caso dos sistemas solares térmicos quer a telhados inclinados, quer a coberturas planas. Este sistema apresenta diversas vantagens. Além da produção de energia e reduzida manutenção, permite um retorno mais rápido do investimentos na instalação, devido ao seu posicionamento privilegiado para captação solar.

3.2.1.3 Sistema de “átrios”

O sistema de “átrios” conjuga vidros e módulos PV, providenciando diferentes níveis de sombreamento. Este tipo de instalação pode ser realizado para aumentar o conforto térmico, bem como para o aproveitamento da luz natural.

3.2.2 Tipos de tecnologias associadas ao BIPV

3.2.2.1 Painéis opacos

A incorporação nas fachadas de painéis solares opacos cristalinos de elevado desempenho permite uma cobertura da estrutura do edifício e das paredes de betão. O isolamento por trás de painéis opacos garante a barreira térmica necessária. Painéis transparentes e opacos podem ser facilmente combinados na mesma fachada.

Na Fig. 3.7 está representado um painel destinado a BIPV opaco.



Fig.3.7. Painel destinado a BIPV opaco [Sapa, 2008].

3.2.2.2 Painéis transparentes

Os painéis fotovoltaicos cristalinos transparentes podem ser facilmente integrados em fachadas e coberturas. Os painéis transparentes encontram-se disponíveis numa vasta gama de aplicações, dimensões, formas, cores e graus de transparência. Um aspecto deste tipo de painéis é apresentado na Fig. 3.8.



Fig.3.8. Painel destinado a BIPV transparente [Sapa, 2008].

As células fotovoltaicas são colocadas entre duas folhas de vidro. Os painéis também podem ter isolamento térmico, ser laminados e temperados, por razões de segurança. Ao ajustar a distância entre células, é possível regular a transmitância da luz e o efeito de sombreamento no interior do edifício.

3.2.2.3 Tecnologia de filme-fino

Os módulos de filmes finos são recomendados para aplicações com luz fraca ou luz solar indirecta. O painel de filme-fino encontra-se disponível nas versões opaca e transparente, como ilustrado na Fig 3.9.

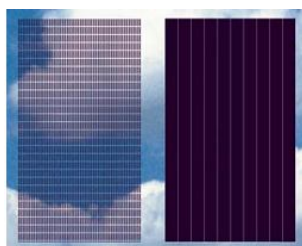


Fig.3.9. Painel destinado a BIPV de filme fino [Sapa, 2008].

3.2.3 Estado da arte

Um dos potenciais problemas da integração BIPV é o seu custo elevado. Mas, em nosso entender, os factores que mais têm influenciado a fraca integração BIPV a nível nacional são questões políticas e legislativas:

- Falta de envolvimento político na utilização de fontes de energia renovável de pequena escala, bem como falta de uma efectiva política estratégica para o desenvolvimento sustentável, factores que em tempos recentes têm sofrido alterações, a maioria delas devidas ao PNAEE;

- O preço da energia eléctrica tem uma carga fiscal muito reduzida em Portugal (5% em todos os segmentos) comparativamente com outros países europeus, onde as taxas aplicadas variam entre os 45 e os 60%, permitindo pouco incentivo ao investimento nos sistemas de energia solar, ao contrário do que se verifica noutros países;

Existem ainda os factores de mercado, associados ao modelo de desenvolvimento económico português, que durante os últimos 20 anos esteve fortemente vocacionado na componente da construção civil e obras públicas, mas não de forma sustentável. Até há pouco tempo, o *focus* da construção era a quantidade e não a qualidade, tendo sido descurados conceitos, como por exemplo, o desempenho energético das construções, e a arquitectura bioclimática.

A nível cultural, mantém-se a relutância à integração de componentes arquitectónicas diferenciadas e ousadas. Existe ainda uma má imagem dos sistemas solares, devida à experiência menos positiva, na década de 80, com a energia solar térmica. Constatase, a errónea associação dessa experiência passada com o risco de investimento na energia solar.

3.3 Energia eólica

Para a integração de energia eólica em edifícios, a solução mais interessante em termos estéticos e construtivos é, sem qualquer margem de dúvidas, a tecnologia de turbinas com eixo vertical. Exemplos de integração deste tipo de turbinas numa habitação unifamiliar e em edifícios são apresentados na Fig. 3.10 e Fig. 3.11, respectivamente.



Fig.3.10. Turbina de eixo vertical – integração numa habitação [Gual, 2008].



Fig.3.11. Turbina de eixo vertical – integração em edifícios [Gual, 2008].

4 Arrefecimento solar em edifícios

Nos últimos anos a procura de equipamentos de ar condicionado no sector terciário aumentou, resultado da procura de um melhor conforto e de cada vez mais elevadas temperaturas na estação de Verão. O desenvolvimento da climatização em edifícios tornou-se, assim, responsável pelo aumento dos consumos de energia eléctrica durante o Verão, que por diversas vezes tem atingido os limites da produção e distribuição de electricidade.

Apesar da utilização eficiente das técnicas solares passivas, é ainda necessário um sistema de climatização. A utilização de um sistema de arrefecimento solar, onde a integração de energias renováveis se aplica a 100% constitui, sem qualquer margem de dúvidas, uma solução muito interessante.

A utilização de energia solar para o arrefecimento é de facto um conceito atractivo, pois as necessidades de arrefecimento coincidem, na maior parte do tempo, com a disponibilidade de radiação solar.

Os sistemas de arrefecimento solar para além de suprirem a maioria das exigências de um sistema clássico, possuem consumos de energia eléctrica muito inferiores aos sistemas clássicos de compressão e os fluidos refrigerantes utilizados são inofensivos, utilizando-se normalmente água e soluções salinas.

Estes sistemas podem ser utilizados autonomamente ou em complemento com um sistema clássico de ar condicionado. O objectivo principal é o de utilizar tecnologias de “emissão zero” para reduzir o consumo energético e as emissões de CO₂.

4.1 Competitividade das soluções de arrefecimento solar

Apesar de existir um grande potencial de mercado para as tecnologias de arrefecimento solar, os sistemas já existentes não são ainda economicamente competitivos face aos sistemas convencionais eléctricos ou a gás. Reduzir os custos de diferentes componentes (colectores solares, *chiller*) e melhorar o seu rendimento, poderá alterar significativamente esta situação.

As vantagens inerentes a este tipo de tecnologia mostram que estas devem ser apoiadas, quer através de um incentivo financeiro, quer através de uma taxa energética que reflecta os

custos ambientais face às energias convencionais. Em muitos países, o apoio financeiro a sistemas com energia solar permitem tornar esta solução economicamente mais atractiva.

A decisão de instalar um sistema de arrefecimento solar, exige uma cuidadosa análise das características do edifício e adopção de todas as medidas possíveis para reduzir as necessidades de arrefecimento, de forma a tornar o sistema economicamente viável.

4.2 Técnicas de arrefecimento solar

Os sistemas mais comuns de arrefecimento que utilizam o solar térmico para produção de frio podem ser classificados em duas grandes famílias: sistemas fechados e sistemas abertos.

Nos sistemas fechados, *chillers* térmicos produzem água refrigerada (absorção e adsorção) para alimentação de unidades de tratamento de ar (arrefecimento, desumidificação) ou para uma rede de água refrigerada de alimentação de sistemas descentralizados (p.ex.: ventilo-convectores). As máquinas disponíveis no mercado e adaptadas à energia solar são os *chillers* de absorção (mais comuns) e de adsorção (poucas centenas de máquinas em todo o mundo, mas com um interesse crescente para os sistemas de ar condicionado assistidos por energia solar).

Nos sistemas abertos o ar é directamente tratado (arrefecido e desumidificado) em função das condições de conforto desejadas. O refrigerante continua a ser a água, dado que está em contacto directo com o ar a arrefecer. Os sistemas mais comuns utilizam uma roda exsicante giratória.

4.2.1 Chiller de absorção

No *chiller* de absorção a compressão térmica do refrigerante realiza-se através da utilização de uma solução refrigerante/absorvente líquida, e uma fonte de calor, substituindo assim o consumo de electricidade de um compressor mecânico.

No arrefecimento de água acima dos 0°C, é utilizada uma solução água/brometo de lítio (H₂O/LiBr), em que a água é o refrigerante. Com este tipo de solução, é de particular importância evitar a cristalização da solução através de um controlo interno da temperatura do ciclo de rejeição de calor.

4.2.1.1 Vantagens e desvantagens

O princípio de base de um *chiller* de absorção é um sistema termoquímico. Como tal, não existem componentes móveis no sistema (para além das bombas hidráulicas necessárias). Este

tipo de *chillers* apresenta, assim, uma vida útil longa, geralmente superior a vinte anos, e exige muito pouca manutenção. Por outro lado, nos *chillers* onde se usa água como fluido refrigerante, não é utilizada nenhuma substância nociva da camada de ozono.

Possui ainda vantagens a nível do consumo eléctrico, que é tipicamente cerca de 10% do consumo dos *chillers* de compressão eléctricos. Nas regiões onde existe uma forte procura de electricidade e/ou em que o preço é bastante elevado, é possível reduzir a factura energética investindo num sistema de arrefecimento que praticamente não necessita electricidade.

A grande desvantagem dos *chillers* de absorção face aos *chillers* de compressão reside no seu relativamente reduzido rendimento energético - Coeficiente de *Performance* (COP). Os *chillers* de absorção apresentam COP de 1,1, enquanto nos *chillers* de compressão o valor pode subir até 6,0. Por outro lado, os *chillers* de absorção representam um investimento inicial muito superior (entre 1,5 e 2,5 vezes mais caro [ADENE, 2008]).

Uma solução alternativa consiste em usar um sistema híbrido, integrando os dois tipos de *chillers*: um *chiller* eléctrico como base, e um *chiller* de absorção funcionando durante os períodos diários em que o preço da electricidade é mais elevado. Esta utilização combinada poderá ser interessante em edifícios de escritórios, onde existem necessidades de calor para aquecimento ambiente no Inverno, e grandes necessidades de frio para arrefecimento ambiente no verão.

A potência de arrefecimento dos *chillers* de absorção é geralmente da ordem de várias centenas de kW. A temperatura do calor necessária é, normalmente, acima dos 80°C para *chillers* de efeito simples, com um COP de 0,6 a 0,8. Os *chillers* de duplo efeito, com dois níveis de gerador, requerem temperaturas acima dos 140°C, e atingem um COP na ordem de 1,2. [ADENE, 2008].

4.2.1.2 Fabricantes e produtos

Normalmente, a capacidade dos *chillers* de absorção varia entre 10 e 17.000 kW, embora a maioria dos *chillers* funcione na gama dos 1.000 a 2.000 kW. A Tabela 4.1 resume as principais características de alguns modelos de *chillers* de absorção existentes no mercado.

Tabela 4.1. Características de alguns *chillers* de absorção existentes no Mercado [CEEETA, 2008].

Fabricante	Tipo de tecnologia	Tipo de fonte de calor	Tipo de fluido refrigerante	Potência eléctrica [kW]	Temperatura de saída da água gelada
CHP – Cooling Heating and Power	Amoníaco	Gás natural	Água/glicol	12	-10°C
	Amoníaco	Gás natural	Água/glicol	18	-10°C
	Brometo de lítio	Gás natural	Água	370-3.700	5°C
	Brometo de lítio	Fuel-óleo	Água	370-3.700	5°C
	Brometo de lítio	Vapor (7bar)	Água	986-3.700	5°C
	Brometo de lítio	Água quente	Água	120-3.700	5°C
Dunham - Bush		Vapor		350-5.000	
		Água quente		350-2.700	

4.2.2 Chillers de adsorção

Um *chiller* de adsorção é um equipamento que converte calor em frio, utilizando como fonte calor inutilizado, ou criado para o efeito.

A adsorção é um fenómeno de adesão reversível, exotérmico do qual resulta a acumulação de uma substância gasosa ou dissolvida na superfície de um corpo, tipicamente uma superfície constituída por um material poroso. Quando as moléculas da substância se fixam libertam energia.

A maior diferença entre adsorção e absorção reside no facto de que, neste último processo, o fluído é misturado com o absorvente para formar uma solução.

Neste tipo de *chillers*, é apenas utilizada água como refrigerante e um gel de sílica (SiO₂) que serve de adsorvente. Os *chillers* de adsorção com gel de sílica podem funcionar com temperaturas inferiores a 80° C, o que os torna mais interessantes do que os *chillers* de absorção em aplicações onde a fonte de calor é de baixa temperatura, como por exemplo na integração com sistemas solares térmicos.

Os *chillers* de adsorção utilizam apenas energia térmica.

4.2.2.1 Vantagens e desvantagens

Os *chillers* de adsorção podem ser utilizados mesmo com fontes de calor de baixa temperatura (55° C) com um COP de 0,5 – 0,6. Podem assim ser utilizados em aplicações de sistemas solares térmicos ou de sistemas de cogeração de baixa temperatura. O consumo de electricidade ronda apenas 6% da capacidade do *chiller*.

A manutenção é muito reduzida pois os *chillers* de adsorção praticamente não têm peças móveis (apenas as bombas). O custo da manutenção de um *chiller* de adsorção representa apenas cerca de um décimo do que é necessário para um *chiller* de compressão convencional.

Os *chillers* de adsorção que usam gel de sílica não apresentam riscos para o ambiente pois este gel é quimicamente neutro.

Os sistemas de adsorção têm a desvantagem de funcionamento intermitente. Isto torna a recuperação de calor mais complexa e leva a maiores requisitos de espaço a nível da constituição do equipamento.

Como todas as novas tecnologias, a grande desvantagem dos *chillers* de adsorção reside no seu elevado custo.

4.2.3 Sistemas de arrefecimento exsiccantes

Os sistemas de arrefecimento exsiccantes são, basicamente, sistemas de ciclo aberto, no qual se utiliza como refrigerante água em contacto directo com o ar. O ciclo de arrefecimento consiste na combinação de arrefecimento evaporativo com uma desumidificação através de um exsiccante, i.e. material higroscópico.

Um material higroscópico possui a característica de absorver ou libertar humidade até alcançar o equilíbrio com o ambiente em que se encontra, de acordo com a temperatura e humidade relativa desse mesmo ambiente. O material higroscópico pode ser líquido ou sólido.

O termo "aberto" significa que o refrigerante é rejeitado do sistema depois de produzir o efeito de arrefecimento e que uma nova quantidade de refrigerante é injectada num circuito aberto. Assim, apenas é possível utilizar água como refrigerante, visto estar em contacto directo com o ar ambiente.

A tecnologia mais actual usa rodas exsiccantes rotativas, equipadas com gel de sílica ou com cloreto de lítio como material adsorvente.

4.3 Comparação das tecnologias de arrefecimento solar

Na Tabela 4.2 encontram-se representado um quadro resumo comparativo das tecnologias de arrefecimento solar disponíveis no mercado.

Tabela 4.2. Comparação das tecnologias de arrefecimento disponíveis no mercado [ADENE, 2008].

Método	Ciclo Fechado		Ciclo aberto	
Ciclo de refrigerante	Ciclo do refrigerante fechado		O refrigerante está em contacto com a atmosfera	
Princípio	Água refrigerada		Desumidificação do ar e arrefecimento evaporativo	
Fase do sorvente	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Mistura utilizada	Água - sílica gel	Água – Brometo de Lítio Amoníaco - água	Água - sílica gel Água – cloreto de lítio	Água – cloreto de cálcio Água – cloreto de lítio
Tecnologia	<i>Chiller</i> adsorção	<i>Chiller</i> absorção	Sistema exsicante	Sistema exsicante
Gama de potência de arrefecimento (kW frio)	50-430kW	15kW-5MW	20kW – 350kW (por módulo)	(em desenvolvimento)
COP nominal	0,5- 0,7	0,6-075 (efeito simples)	0,5->1	>1
Temperatura de funcionamento	60-90°C	80-110°C	45-95°C	45-70°C
Colectores solares adequados	Tubos de vácuo, colectores planos, CPC	Tubos de vácuo, CPC	Colectores planos, colectores a ar	Colectores planos, colectores a ar

Uma vez analisadas as tecnologias actualmente existentes no mercado capazes de realizarem arrefecimento solar, será agora a vez de analisar os critérios e parâmetros a ter em conta no dimensionamento deste tipo de sistemas.

4.4 Critérios a considerar na selecção de uma instalação de arrefecimento solar

Os sistemas de arrefecimento solar, quer por sistemas com integração de *chillers* quer por sistemas exsicantes, têm que ser concebidos tendo em consideração os balanços energéticos

do sistema onde irá ser inserido, de modo a proporcionar poupanças de energia face aos sistemas convencionais com *chillers* de compressão.

Há que ter em conta as diferentes fontes de energia utilizadas para completar todo o sistema, incluindo todas as fontes auxiliares (gás, *chiller* de apoio), bem como outros consumos energéticos associados aos equipamentos do sistema, tais como torres de arrefecimento, bombas e ventiladores.

O COP é ainda um factor a considerar, uma vez que possui um valor reduzido, o que origina que o calor rejeitado para o ambiente seja superior, originando um maior consumo eléctrico com o funcionamento de ventiladores e bombas.

Existem programas europeus dedicados especificamente a esta área, da climatização solar, que além de fornecerem um vasto leque de informação sobre este assunto, também permitiram a melhor compreensão deste tipo de sistemas.

São exemplos destes programas, o projecto SOLAIR [Solair, 2007], que contém informação diversa sobre sistemas, de pequena e média dimensão, de arrefecimento e ar condicionado, e o programa Altener – CLIMASOL [QUALISOL, 2005], que fornece dados orientadores para a análise da viabilidade técnico/económica de sistemas de refrigeração solar, bem como dados relativos a instalações já existentes.

5 Estudo de caso - Integração de Energias Renováveis num Edifício de Serviços

Neste capítulo proceder-se-á a uma análise técnica das soluções tecnológicas mais adequadas para a integração de energias renováveis num edifício de serviços, tendo em consideração as características arquitectónicas e da envolvente, as necessidades energéticas do edifício e a disponibilidade local de recursos renováveis.

Para o dimensionamento das instalações solares térmicas será utilizado o programa *SolTerm* [SolTerm, 2007], que é um programa de análise de desempenho de sistemas solares desenvolvido pelo Laboratório de Estado Português na área da energia, no contexto do SCE, e especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal. O *SolTerm* será ainda usado para a contabilização da contribuição de sistemas de energias renováveis para o balanço energético de edifícios, no contexto do SCE.

Na análise de sistemas fotovoltaicos será ainda utilizado o programa *Sunnydesing* do fabricante SMA [SD, 2008], que permite o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos com ligação à rede.

Inicialmente, estava previsto fazer o estudo de caso com base num edifício já existente, considerando os seus parâmetros de comportamento térmico e analisando a sua potencialidade para a integração de energias renováveis. Porém, não nos foram fornecidos os dados necessários do edifício seleccionado, em tempo útil.

Por outro lado, as medidas impostas pelas novas directivas referentes aos edifícios têm vindo a promover os conceitos de construção sustentável e eficiência energética. Assim, optou-se, para a execução deste projecto, pela consideração de um edifício a construir, onde se respeitasse a nova legislação.

Após esta decisão, procedeu-se à selecção do tipo de edifício onde as potencialidades de utilização de energias renováveis fossem elevadas e, deste modo, contribuir para a redução dos consumos de outras formas de energia e para a minimização dos impactos ambientais.

O tipo de edifício escolhido foi um edifício de utilidade pública com grandes consumos de energia térmica, mais concretamente, um edifício constituído por um pavilhão que inclui duas piscinas e outras áreas de serviços tais como ginásio, musculação, jacuzzi e instalações sanitárias.

A estruturação do edifício para análise foi realizada tendo em conta alguns factores de arquitectura, de forma a promover a minimização de consumos energéticos através de utilização de fontes de energia renovável. Não tendo o autor deste projecto formação científica na área da arquitectura bioclimática, apenas foram considerados factores como a forma e orientação do edifício, o aproveitamento da iluminação natural, sombreamentos e protecção térmica das fachadas.

Será apenas analisada a integração das energias solar térmica e fotovoltaica no edifício. A selecção destas tecnologias prendeu-se com o facto de serem tecnologias maduras e de existirem bases de dados credíveis de radiação solar e ferramentas de apoio ao dimensionamento e cálculo da viabilidade económica deste tipo de instalações, o que permitiria completar o projecto na sua totalidade.

5.1 Descrição do edifício

O edifício possuirá uma altura de 14 metros, com uma área bruta de implantação de, aproximadamente, 2.150 m^2 , e localizar-se-á no concelho de Coimbra. É essencialmente dividido em duas zonas distintas: a zona das piscinas, que inclui uma piscina de competição e outra de aprendizagem, e a zona de ginásio e respectivos serviços associados.

Apresenta como principais características a orientação a Sul da fachada principal, uma cobertura plana com uma área disponível de 1.430 m^2 , onde poderão ser instalados os colectores solares térmicos e uma cobertura inclinada com uma área de 334 m^2 orientada a Sul

O aspecto arquitectónico do edifício está representado na Fig. 5.1.

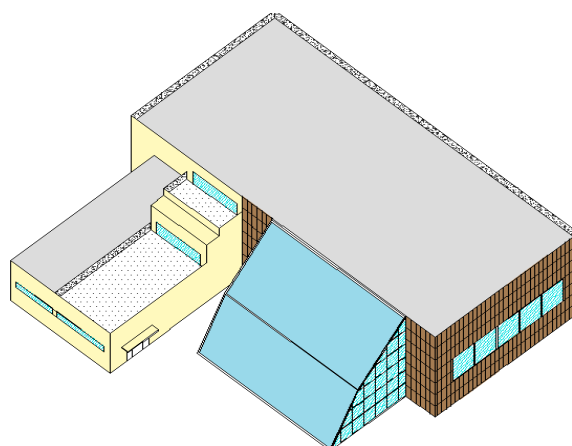


Fig.5.1. Aspecto arquitectónico do edifício.

5.2 Instalação solar térmica

Pretende-se encontrar uma solução técnica de produção de energia solar térmica para o aquecimento das piscinas de competição e aprendizagem, bem como para as necessidades de AQS do edifício. Pretende-se, ainda, aproveitar a energia solar térmica para fazer parte integrante de um sistema de climatização solar através de um *chiller* de absorção.

5.2.1 Aquecimento solar da piscina de competição

A piscina de competição possui uma área de 400 m² e um volume de 880 m³. O funcionamento da piscina será idêntico todos os meses do ano, exceptuando Agosto, altura do encerramento para férias e manutenção dos equipamentos.

O horário de funcionamento da piscina será das 09 às 22h, com um número aproximado de utilizadores indicado na Tabela 5.1.

Tabela 5. 1. Número de utilizadores da piscina de competição por período horário.

Horário de funcionamento	N.º de utilizadores
09-10	10
10-11	10
11-12	10
12-13	10
13-14	10
14-15	10
15-16	20
16-17	20
17-18	25
18-19	30
19-20	20
20-21	10
21-22	10

5.2.1.1 Tipo de sistema

Como estamos perante um sistema de grandes necessidades energéticas, será necessária uma área considerável de captação e de armazenamento e um bom sistema de troca de energia. Tendo em consideração estas características, o sistema terá o princípio de funcionamento esquematizado na Fig. 5.2.

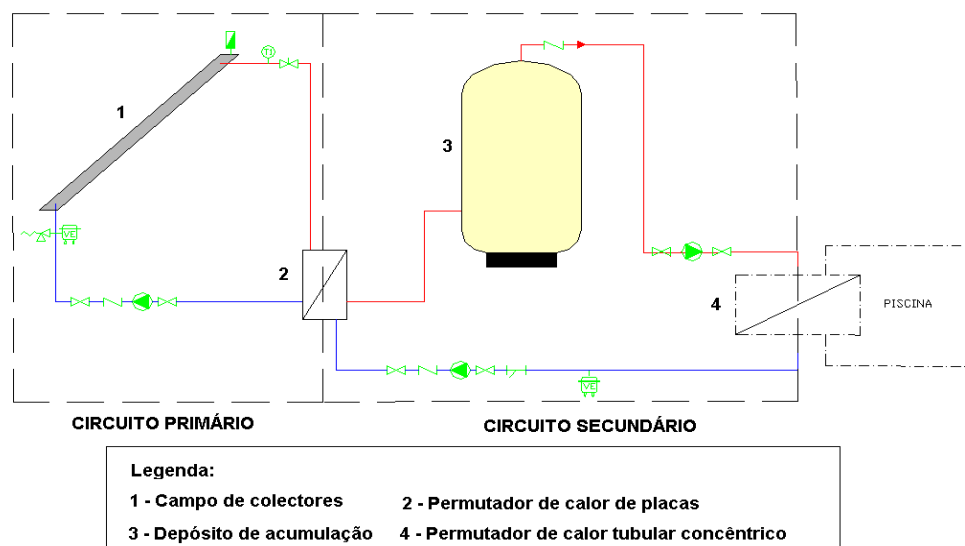


Fig.5.2. Esquema do funcionamento da instalação solar para aquecimento de piscina.

O circuito primário do sistema deverá funcionar com o campo de colectores ligado a um permutador de placas que efectuará a troca de energia para o circuito secundário, constituído por um reservatório de acumulação de água quente. A troca de calor com a piscina é feita através de um permutador tubular concêntrico com funcionamento em contra-corrente. Este sistema será estruturado para funcionar apenas como forma de aquecimento da água da piscina de competição através da energia solar, funcionando em circuito fechado.

5.2.1.2 Necessidades térmicas

Para o dimensionamento do sistema foi utilizado o software *SolTerm*, onde foram introduzidos os dados horários dos utilizadores, como se pode verificar na Fig. A1 em anexo.

Foram seleccionados os seguintes parâmetros de funcionamento:

Água de renovação: 15°C

Temperatura na piscina: 26°C

Renovação de água: 4%

O que originou as seguintes necessidades:

Água de injeção: 37°C

Necessidades térmicas: 1.278kWh/dia

5.2.1.3 Escolha dos colectores solares

Como se trata de uma instalação de dimensões consideráveis, e atendendo a que o projecto envolve quer a avaliação técnica quer a económica, analisaram-se as marcas de painéis solares presentes na 2.^a fase da campanha solar 2009 [Painéis Solares, 2009],

campanha destinada a subsidiar instalações solares térmicas em instituições de utilidade pública, pavilhões desportivos, entre outros. A marca escolhida foi a *Sonnenkraft* [Sonnenkraft, 2008], não só pela presença no programa, mas também por existirem na Europa vários exemplos de utilização destes equipamentos em grandes instalações.

5.2.1.4 Dimensionamento do campo de colectores

Para dimensionar o campo de colectores o primeiro ponto analisado foi o ângulo de inclinação dos colectores. As inclinações que habitualmente se dão aos colectores, segundo a época do ano e uso, são as constantes da Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Valores de inclinação dos colectores em função da utilização [INETI, 2006] pp.36.

UTILIZAÇÃO	ÂNGULO
Todo o ano (A.Q.S.)	Latitude do lugar.- 5°
Inverno (aquecimento)	Latitude do lugar + 15°.
Verão (piscinas descobertas/hotéis temporada)	Latitude do lugar - 15°.

Tendo em conta que a localização da instalação é em Coimbra, cuja latitude é de 40°, para otimizar a instalação para o Inverno, período em que a disponibilidade de radiação é menor, o ângulo seria de cerca de 55°. Para otimizar ainda mais a instalação para a estação de Inverno, o ângulo escolhido para os colectores foi de 65°.

5.2.1.5 Cálculo da distância entre painéis

Como será necessário instalar colectores em diversas filas, umas atrás das outras, a distância entre as filas deverá ser suficientemente grande para que não ocorra sombreamento entre elas. Pode-se verificar na Fig. 5.3 a relação entre a altura, projecção horizontal e distância entre colectores.

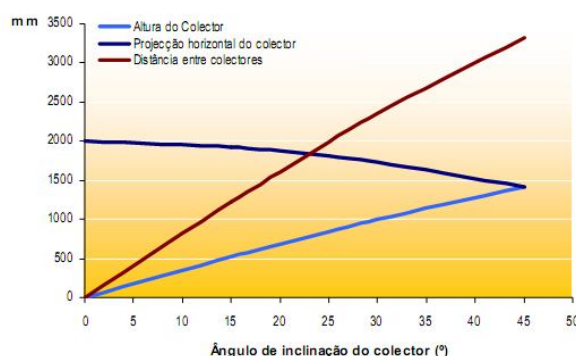


Fig.5.3. Influência do ângulo de inclinação na instalação de um colector. [Altener, 2005] pp.109.

Através da análise da Fig. 5.3 é possível concluir que quanto maior for a inclinação dos colectores maior será a distância entre eles, dada em função da sua altura. Como o ângulo de inclinação escolhido foi de 65°, vamos necessitar de uma grande área disponível para satisfazer a distância entre os colectores. O edifício possui uma cobertura com 55 m de largura, ao nível da fachada frontal e de 26 m de alçado lateral. Para otimizar a arquitectura disponível do edifício a solução passa pela utilização de um modelo de colector de funcionamento na horizontal, que diminuirá consideravelmente as distâncias entre fileiras.

O método para calcular as distâncias entre os colectores encontra-se representado na Fig. 5.4.

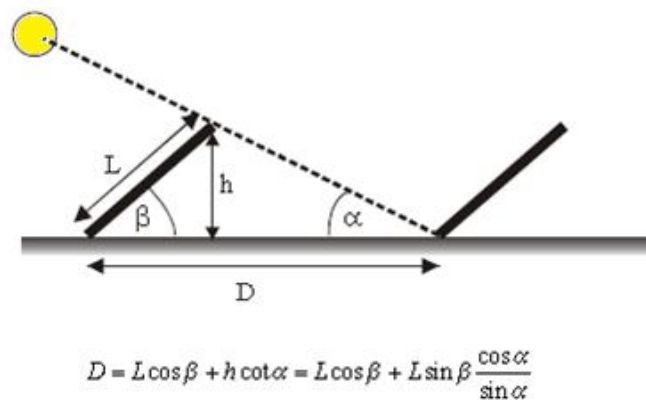


Fig.5.4. Método de cálculo das distâncias mínimas entre colectores. [Eicker, 2001] pp. 44.

O painel escolhido é o modelo SK500L [Sonnenkraft, 2008], com 1,24 m de altura ($L=1,24$ m), o que com o valor da inclinação escolhida, $\beta=65^\circ$, dá um, relativamente ao plano horizontal uma altura, h , de 1,12 m. O valor de ângulo α é dado para o menor valor de inclinação do Sol face à Terra, que ocorre no solstício do inverno (22 de Dezembro). Este valor foi calculado para Coimbra, com o auxílio do PVGIS [PVGIS, 2008], tendo-se obtido o valor de 28°, como ilustrado na Fig. 5.5. Com estes dados concluiu-se que a distância mínima entre colectores, D , deve ser de 2,38 m.

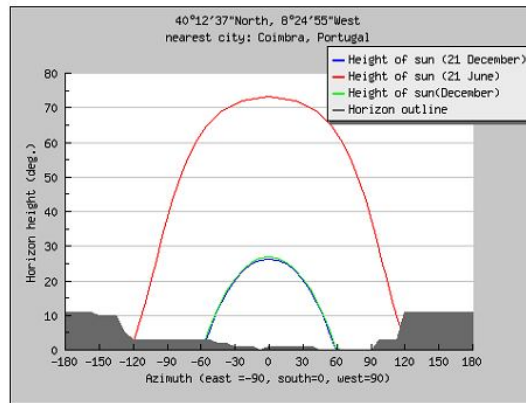


Fig.5.5. Valores anuais da altura solar para a zona de Coimbra.[JRC, 2008].

É necessário, ainda, calcular a distância mínima relativamente ao muro da cobertura. Tendo em conta que a altura do muro é de 1,3 m (h), aplicando a equação que acompanha a Fig. 5.4, obteve-se uma distância mínima de 2,35 m.

5.2.1.6 Cálculo das necessidades da instalação

Com os dados obtidos anteriormente, calculou-se a quantidade de colectores e a capacidade de armazenamento, em função das necessidades, com recurso ao *SolTerm*.

O objectivo do dimensionamento, para esta instalação, foi o de obter uma fracção solar na ordem dos 50%. A quantidade de painéis e a capacidade de armazenamento foram sendo alteradas até se obter aquele valor. Os menus de inserção de dados no *SolTerm* e respectivos resultados encontram-se em anexo nas Fig.s A.2 e A.3.

Para uma fracção solar de aproximadamente 50% a instalação necessita de ser constituída por 80 colectores e ter uma capacidade de armazenamento de água quente de 14.000 l. A quantidade anual de energia fornecida pelo sistema é de 133.921 kWh, com um rendimento global anual do sistema de 48%.

5.2.1.7 Associação dos colectores

A instalação constituída pelos 80 colectores terá uma área útil de captação de 176 m² e deve ser organizada de forma a minimizar as perdas de carga e a permitir um bom equilíbrio hidráulico do sistema. Para se obter uma taxa de fluxo uniforme por todo o campo, nas ligações em paralelo todas as ligações de escoamento devem ter igual comprimento em cada campo de colectores. Assim, os painéis serão dispostos em baterias de quatro colectores em série e quatro sub-ramais de cinco blocos em paralelo, como se mostra no esquema da Fig. 5.6. O sistema encontra-se ainda estruturado com retorno invertido, de modo a optimizar o equilíbrio hidráulico do sistema.

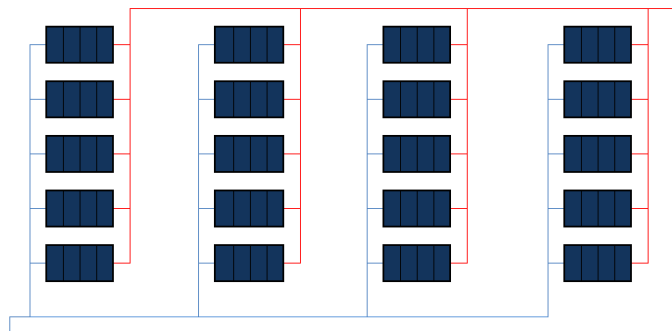


Fig.5.6. Associação dos colectores do sistema solar térmico da piscina de competição.

5.2.1.8 Sistema secundário

Para suprir o restante das necessidades do edifício, o sistema necessitará de um sistema de apoio. Como o edifício se localiza numa zona abrangida por gás natural (GN), a melhor opção, em termos económicos, será a utilização de uma caldeira de condensação a gás natural, que elevará a temperatura da água até ao valor necessário para a correcta transferência de calor para a piscina.

De acordo com os dados obtidos para a caracterização dos consumos, apresentados em anexo na Fig. A.1, verifica-se que o pior caso ocorre no horário das 18 às 19h, sendo as necessidades energéticas na ordem dos 55 kWh.

A caldeira seleccionada para o sistema de apoio será uma caldeira de condensação a gás natural modelo *Logano Plus SB 315* da marca *Buderus* [Buderus, 2008] com rendimento até 109% e uma potência nominal de 70 kW, para uma temperatura do sistema 40/30°C.

Como a capacidade de armazenamento será de 14.000 l, para otimizar o sistema, optou-se pela ligação de 2 depósitos de 7.000 l em série, uma vez que, quanto maior é a dimensão do depósito, maiores serão as perdas térmicas.

Os depósitos a utilizar serão depósitos acumuladores de inércia estratificados, com o objectivo de aumentar a eficiência do sistema de aquecimento. O calor proveniente do colector é colocado nos depósitos de armazenamento, na correspondente camada de temperatura, conduzindo rapidamente a um nível de temperatura utilizável, devido à significativa redução do processo de mistura e diminuindo a frequência de aquecimento auxiliar.

O princípio de funcionamento será em cascata, em que ambos os tanques podem ser aquecidos pela energia solar, sendo o tanque de pré-aquecimento prioritário.

O esquema da instalação para aquecimento da piscina de competição encontra-se representado na Fig. 5.7.

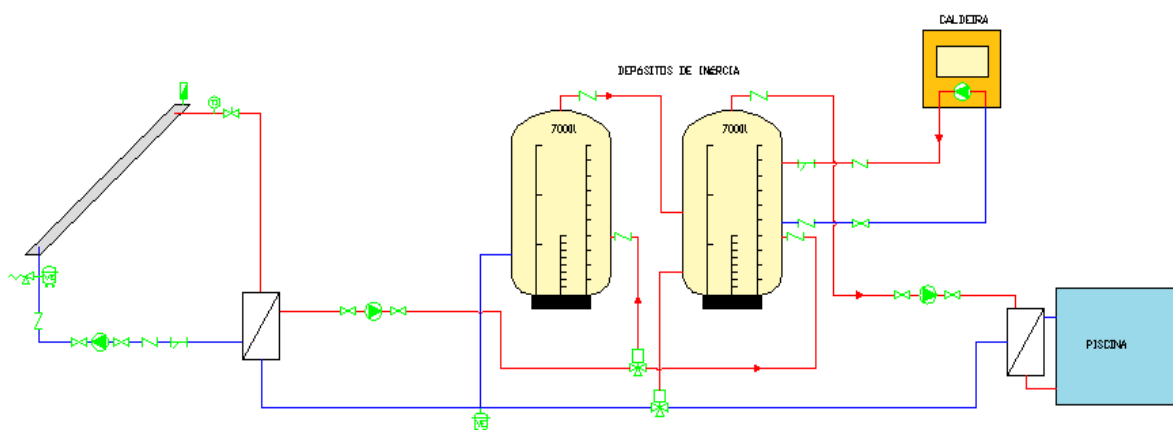


Fig.5.7. Esquema da instalação solar para AQP (piscina de competição).

5.2.2 Aquecimento solar da piscina de aprendizagem

A piscina de aprendizagem possui uma área de 102 m² volume de 125 m³.

A piscina terá um regime de funcionamento idêntico todos os meses do ano, excepto em Agosto, altura em que encerra para férias e manutenção dos equipamentos.

O horário de funcionamento da piscina será das 9 às 22h, com um número aproximado de utilizadores indicado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3. Número de utilizadores da piscina de competição por período horário.

Horário de funcionamento	N.º de utilizadores
09-10	10
10-11	10
11-12	10
12-13	10
13-14	10
14-15	10
15-16	10
16-17	10
17-18	10
18-19	10
19-20	10
20-21	10
21-22	10

5.2.2.1 Tipo de sistema

O princípio de funcionamento será idêntico ao representado na Fig. 5.2, sendo apenas as necessidades energéticas diferentes, uma vez que o volume de água da piscina é menor.

5.2.2.2 Necessidades térmicas

Para o dimensionamento do sistema foi igualmente utilizado o software *SolTerm*, onde foram introduzidos os dados horários dos utilizadores, como se pode verificar na Fig. A4 em anexo.

Foram seleccionados os seguintes parâmetros de funcionamento:

Água de renovação: 15°C

Temperatura na piscina: 25°C

Renovação de água: 3%

O que originou as seguintes necessidades:

Água de injeção: 37°C

Necessidades térmicas: 200kWh/dia

5.2.2.3 Escolha dos colectores solares

Para estandardizar a instalação, foi escolhido o mesmo modelo de colectores solares usados para a piscina de competição.

5.2.2.4 Dimensionamento do campo de colectores

Para dimensionar o campo de colectores utilizaram-se exactamente as mesmas características usadas para a piscina de competição, obtendo-se para as necessidades do sistema uma fracção solar de 95,5%, com uma produtividade anual de 59.796 kWh.

Para este valor de fracção solar optou-se por não utilizar nenhum equipamento de apoio, uma vez que o sistema de estratificação é um sistema muito eficiente, e ao utilizar o software este factor nem sequer é evidenciado, o que leva a concluir que o rendimento do sistema seja próximo de 100%.

O esquema da instalação será o representado na Fig. 5.8.

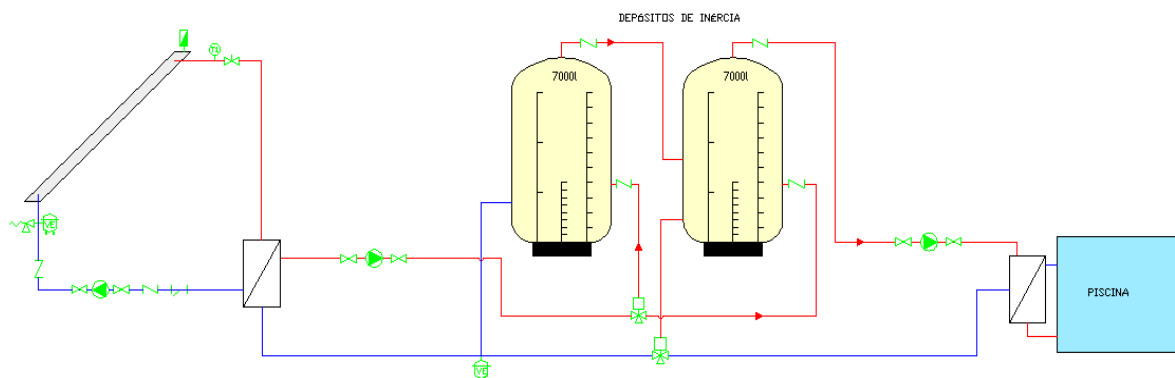


Fig.5.8. Esquema da instalação solar para AQP (piscina de aprendizagem).

5.2.3 Aquecimento solar de AQS

As necessidades diárias de AQS, apresentadas na Tabela 5.4, foram calculadas em função do número de utilizadores da zona das piscinas e das zonas de ginásio, considerando um consumo de 40 l de água quente por cada utilizador.

Tabela 5.4. AQS necessária por período horário e total diária.

Horário	Piscina de competição	Aulas de aprendizagem	Ginásio+Outros serviços	Totais utentes	Total necessidades (l)
	N.º de utilizadores	N.º de utilizadores	N.º de utilizadores		
09-10	10	10	0	20	800
10-11	10	10	0	20	800
11-12	10	10	0	20	800
12-13	10	10	0	20	800
13-14	10	10	0	20	800
14-15	10	10	0	20	800
15-16	20	10	10	40	1.600
16-17	20	10	20	50	2.000
17-18	25	10	20	55	2.200
18-19	30	10	20	60	2.400
19-20	20	10	20	50	2.000
20-21	10	10	4	24	960
21-22	10	10	0	20	800
					16.760

5.2.3.1 Tipo de sistema

O princípio de funcionamento será idêntico ao representado na Fig. 5.9, com acumulação de água quente num depósito de acumulação de inércia estratificado ligado com módulo de produção de AQS.

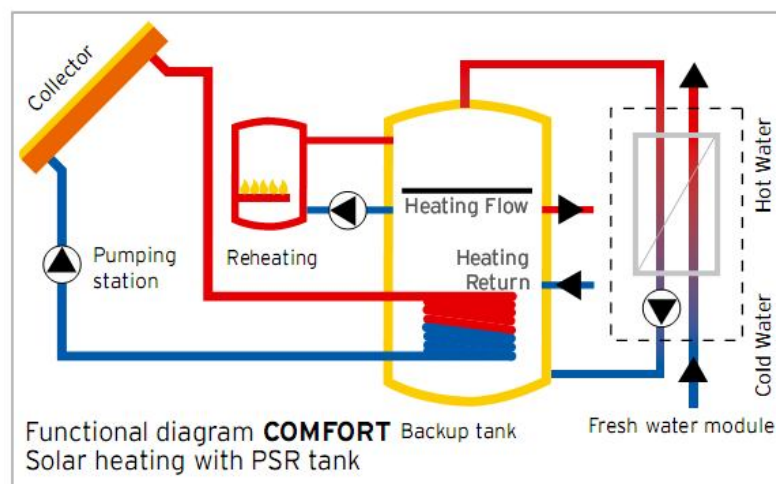


Fig.5.9. Princípio de funcionamento sistema de produção de AQS [Sonnenkraft, 2008].

Os dados das necessidades de AQS foram introduzidos no *SolTerm*, como se pode verificar na Fig. A.7 em anexo. Como o ponto de consumo de água quente é um balneário público, optou-se pela atribuição de uma temperatura de consumo de 45° C.

5.2.3.2 Cálculo das necessidades da instalação

Com os dados obtidos anteriormente passou-se ao cálculo da quantidade de colectores e da capacidade de armazenamento, através do *SolTerm*.

O objectivo do dimensionamento para esta instalação foi o de definir uma capacidade de armazenamento de água quente 8.000 l, valor este que corresponde a cerca de 50% das necessidades diárias totais. Tendo em conta o ocupado pelos colectores solares das outras instalações e o espaço disponível na cobertura para a colocação de painéis, verificou-se que a quantidade máxima a instalar seria de 80 colectores. Inseridos os respectivos dados no *Solterm*, como se pode verificar em anexo nas Fig.s A 8 e A 9, obteve-se uma fracção solar de 66,1% e uma produtividade anual de 131.082 kWh, com um rendimento global anual do sistema de 47%.

5.2.3.3 Sistema secundário

Estando na presença de consumo de AQS, o sistema secundário deverá ser constituído por um módulo de produção de água quente que realizará troca de calor com o depósito de inércia.

A situação de maior necessidade de AQS verifica-se das 18 às 19h, e é de 2.400 l, como se pode verificar na Tabela 5.4, o que corresponde a um caudal médio de 40 l/min. Analisadas as soluções existentes no mercado com este tipo de funcionalidade, seleccionou-se um

módulo de produção de AQS *Sonnenkraft/FWM35* [Sonnenkraft, 2008]. Como este módulo, em função do valor da temperatura desejada, possui apenas um caudal de 1,5 a 35 l/min, como mostrado na Fig 5.10, optou-se pela utilização de dois módulos em paralelo.

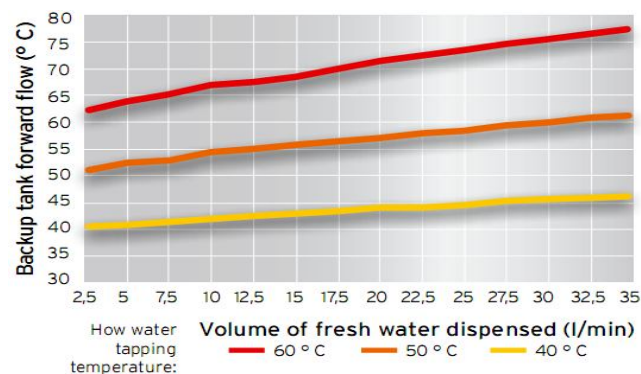


Fig.5.10. Características funcionamento módulo [Sonnenkraft, 2008].

Para suprir o restante das necessidades, o sistema necessitará de um sistema de apoio, que será realizada por uma caldeira de condensação a gás natural. A situação mais desfavorável, em termos de necessidades, verifica-se no período das 18-19h, onde as necessidades são de 92,1 kW. A caldeira seleccionada para o sistema será uma caldeira do modelo *Logano Plus SB 315* da marca *Buderus* [Buderus, 2008], com rendimento até 109% e uma potência nominal de 115 kW, para uma temperatura do sistema de 40/30°C.

A capacidade de armazenamento, como referido anteriormente, será de 8.000 l, acumulada num depósito acumulador de inércia estratificado. Sempre que a temperatura da água armazenada não se encontre à temperatura desejada, será activado o apoio dado pela caldeira de condensação a gás natural. O esquema de funcionamento da instalação encontra-se representado na Fig. 5.11.

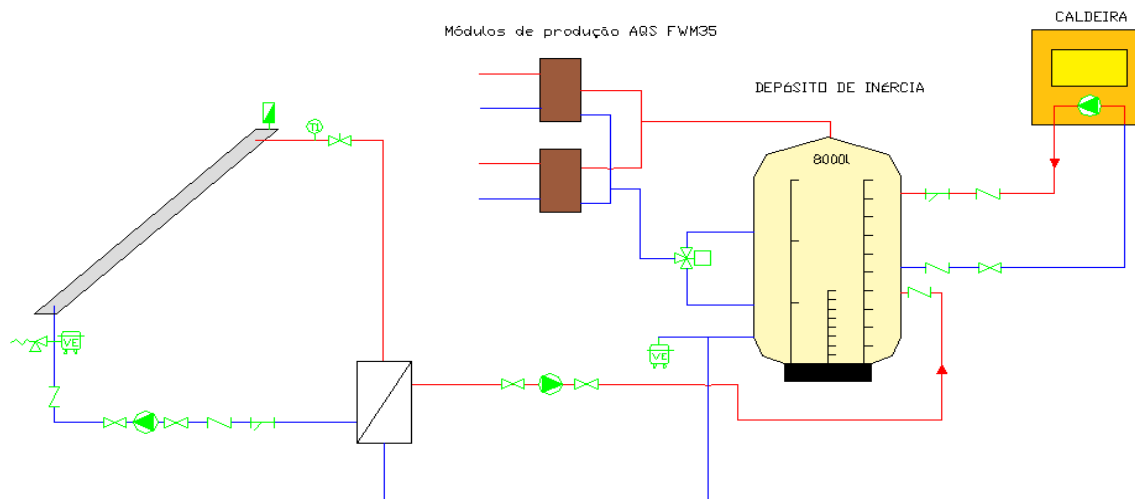


Fig.5.11. Esquema de funcionamento da instalação solar para aquecimento.

5.3 Sistema de aquecimento/arrefecimento solar

O sistema de aquecimento/arrefecimento solar não será alvo de uma análise exaustiva, uma vez que esta tecnologia é uma tecnologia recente e não existe muita informação disponível sobre o dimensionamento deste tipo de instalações.

No entanto, em nossa opinião, esta tecnologia será, num futuro próximo largamente difundida no mercado, uma vez que as necessidades de arrefecimento coincidem, na maior parte do tempo, com a maior disponibilidade de radiação solar.

5.3.1 Necessidades do sistema

O sistema de arrefecimento solar ficará associado à climatização das zonas do ginásio, sauna, banho turco, jacuzzi, fisioterapia, e outras zonas administrativas, num total de cerca de 500 m² de área a climatizar, cujas necessidades térmicas médias são:

Necessidades nominais de aquecimento: 45 kWh

Necessidades nominais de arrefecimento: 60 kWh

5.3.2 Selecção dos equipamentos

Após alguma pesquisa de equipamentos para este fim no mercado, foi seleccionada a marca *ClimateWell* [ClimateWell, 2008], que possui no mercado um *chiller* de absorção de triplo efeito, equipamento este que permite realizar aquecimento, arrefecimento e produção de AQS.

A selecção do equipamento mais adequado às necessidades da instalação foi realizada segundo os principais pressupostos indicados no manual do produto elaborado pelo fabricante.

5.3.2.1 Características do equipamento

O equipamento seleccionado apresenta as características técnicas indicadas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5. Características técnicas do *chiller* de absorção *Climatewell* [CW10, 2008].

Modo	Capacidade de armazenamento	Potência máxima	COP eléctrico	Eficiência térmica
Arrefecimento	60 kWh	10/20 kW	714	68%
Aquecimento	76 kWh	25kW	1768	160%

O equipamento funciona conectado a três circuitos externos: uma fonte de calor, o sistema de distribuição de aquecimento/arrefecimento e uma fonte de dissipação de calor para carga e descarga.

O líquido proveniente da fonte de calor (neste caso os colectores solares), necessita de estar 50°C acima da fonte de dissipação de calor (a piscina de aprendizagem, que estará a uma temperatura média de 25°C), para que o *chiller* realize o processo de absorção. Será então necessária uma temperatura da fonte térmica de 75°C.

Analisando o gráfico do rendimento de carga em função da temperatura da fonte térmica e da fonte de dissipação de calor, fornecido pelo fabricante e representado na Fig. 5.12, verifica-se que, para estes parâmetros, a potência de carga é de 14 kW. Este valor é dado para apenas um barril de armazenamento da máquina, existindo a possibilidade de serem usados dois em paralelo, aumentando a potência para o dobro, ou seja, 28 kW.

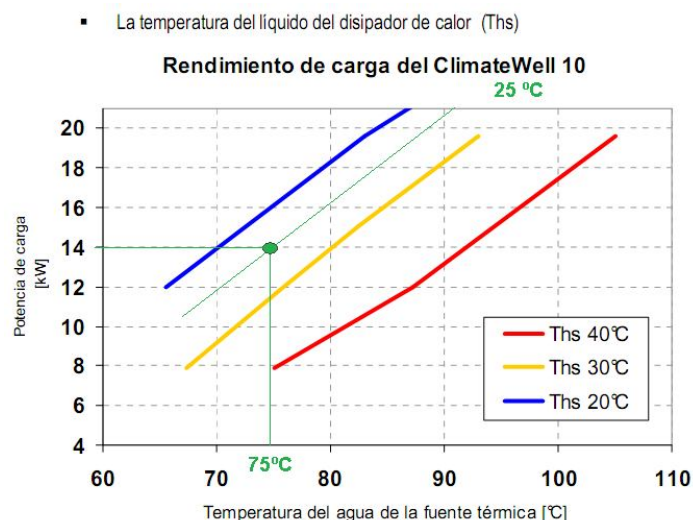


Fig.5.12. Potência de carga do *chiller* de absorção em função da temperatura da fonte térmica e da fonte de dissipação de calor [CW10, 2008] pp.5.

A potência do sistema em função do arrefecimento e aquecimento pode ser calculado de igual forma, com auxílio dos dados do fabricante.

A potência de arrefecimento que se consegue obter para uma fonte de dissipação de calor de 25°C (piscina de aprendizagem) e uma temperatura de saída de água arrefecida de 17°C (tecto radiante) é de 11 kW para um barril, de acordo com os dados do fabricante representados na Fig. 5.13. No caso de serem usados dois barris, este valor duplica, passando a ser de 22 kW.

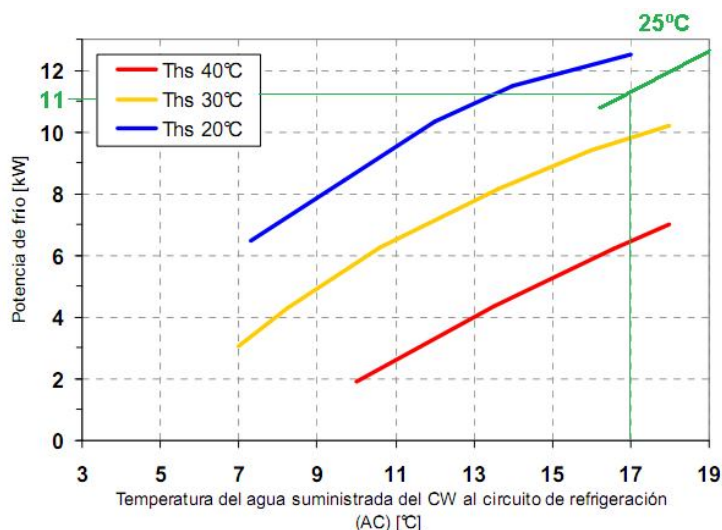


Fig.5.13. Potência de arrefecimento do *chiller* de absorção em função da temperatura da água refrigerada e da fonte de dissipação de calor [CW10, 2008] pp.6.

A potência de aquecimento que se consegue obter para uma fonte de dissipação de calor de 25°C (piscina de aprendizagem) e uma temperatura de saída de água aquecida de 27°C

(pavimento radiante) é de 30 kW para um barril, de acordo com os dados do fabricante representados na Fig. 5.14. Este valor passará a se de 60 kW se forem usados dois barris.

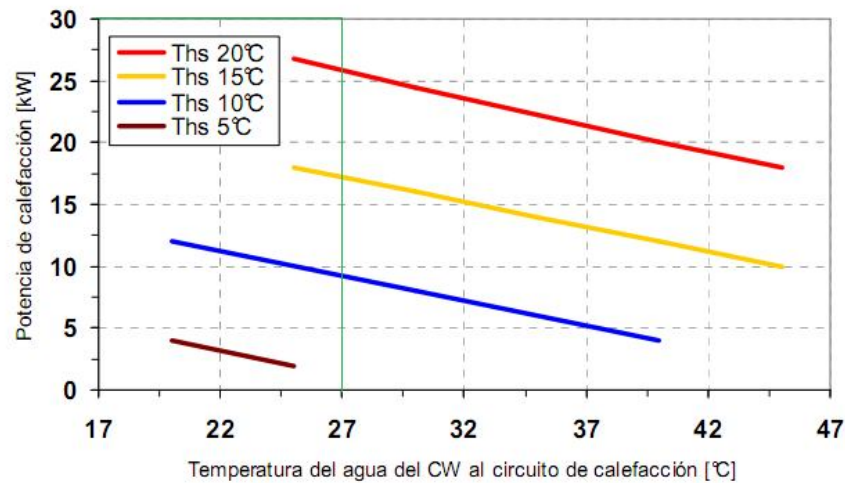


Fig.5.14. Potência de aquecimento do *chiller* de absorção em função da temperatura da água aquecida e da fonte de dissipação de calor [CW10, 2008] pp.7.

Tendo em consideração as necessidades térmicas do sistema, serão necessários três *chillers* ligados em paralelo, funcionando dois deles com dois barris ligados em paralelo e o terceiro apenas com um barril. Assim, a potência total de arrefecimento fornecida pelo sistema será de 70 kWh, e de aquecimento de 150 kWh.

5.3.3 Princípio de funcionamento do sistema

O sistema deverá ser constituído por um sistema de distribuição de quatro tubos, de modo a poder ser realizada a climatização e o fornecimento de AQS durante todo o ano. Quando se tornar necessário compensar eventuais aumentos de necessidades térmicas de arrefecimento, devidas ao aumento da taxa de ocupação, será colocada em série com o *chiller* de absorção um *chiller* convencional. Para compensar o aumento das necessidades de aquecimento irá ser utilizada a caldeira de condensação a gás natural da instalação de produção de AQS.

Da integração deste sistema com o sistema de produção de AQS obtém-se o esquema da instalação apresentado na Fig. 5.15.

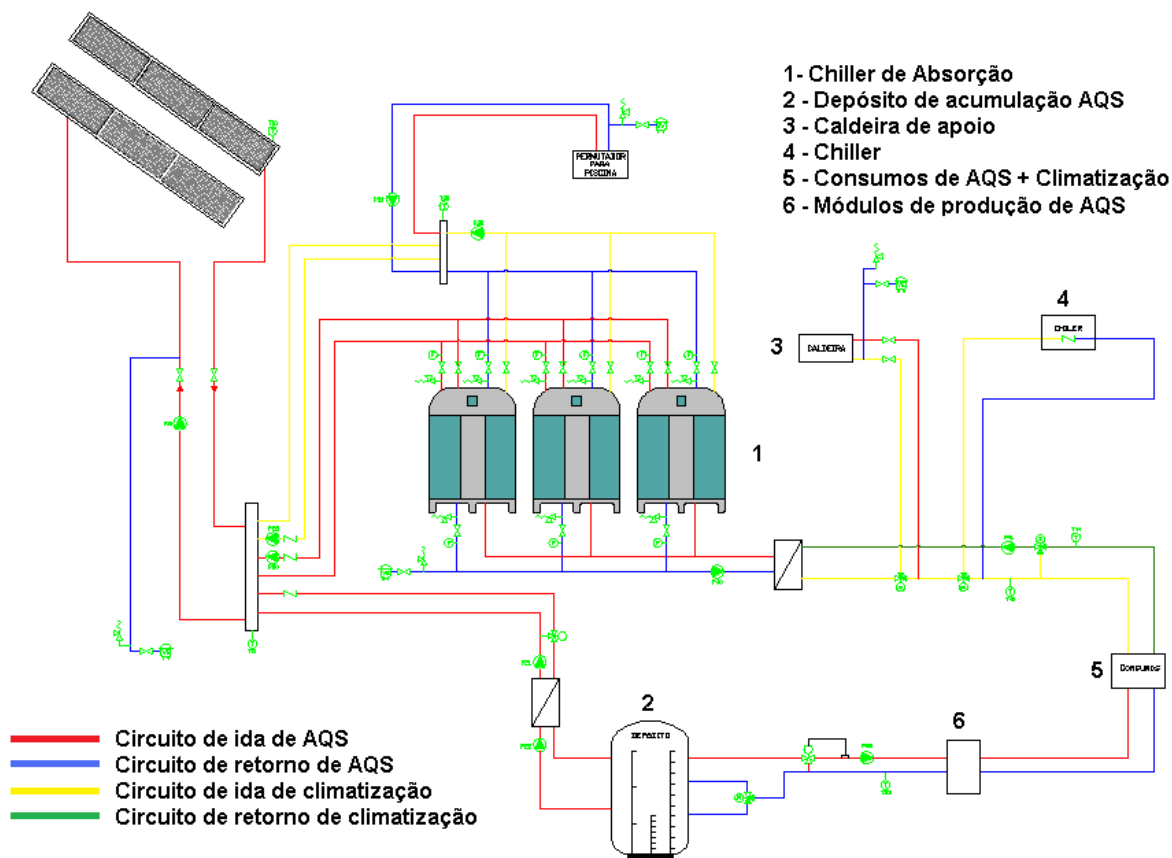


Fig.5.15. Esquemático da instalação de produção de AQS e climatização com *chiller* de absorção.

5.4 Instalação solar fotovoltaica

Pretende-se encontrar uma solução técnica para uma instalação solar fotovoltaica que constitua um sistema de produção de energia eléctrica ligado á rede eléctrica de serviço público (RESP), tirando partido da venda da energia no âmbito do regime bonificado do D.L. 363/2007. Pretende-se, ainda, integrar módulos fotovoltaicos ao nível da fachada, com o intuito de melhorar a eficiência energética do edifício e de produzir energia eléctrica para consumo no edifício.

5.4.1 Instalação de microgeração fotovoltaica

Para que uma unidade de microprodução esteja abrangida pelo regime bonificado, tem que cumprir determinados requisitos, entre eles:

- Potência máxima injectável: 3,68 kW;
- Potência máxima instalada: 5 kW;
- Potência máxima a injectar: até 50% da potência contratada com a operadora de electricidade;

- Obrigatoriedade da instalação possuir um colector solar térmico instalado (2m^2);
- Contrato de compra de energia de Baixa Tensão (BT).

Considerando todos estes aspectos e tendo em conta que o contrato de aquisição de energia eléctrica da instalação é de uma potência contratada de 41,4 kVA, a unidade de microprodução deverá ser dimensionada para uma potência de ligação de 3,68 kW. A unidade será composta por vários elementos, interligados de acordo com o esquema apresentado na Fig. 5.16.

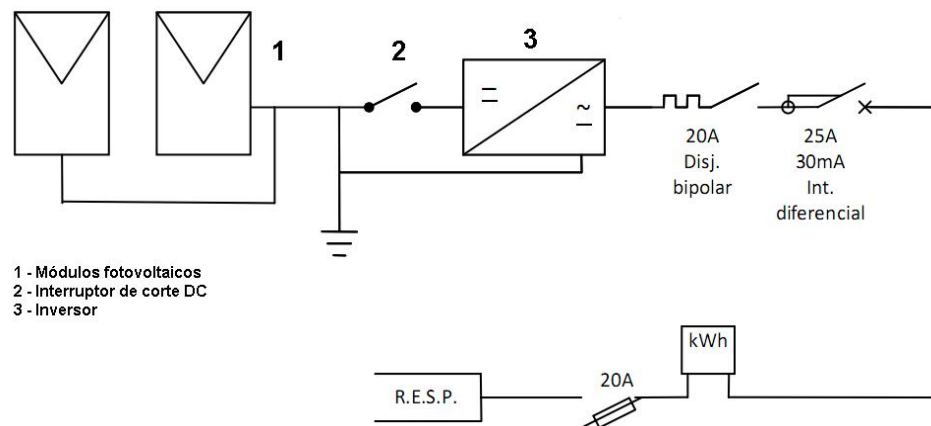


Fig.5.16. Esquema da instalação de microgeração fotovoltaica.

5.4.1.1 Dimensionamento da instalação

O número de módulos foi dimensionado em função da potência máxima injectável na rede pública e das características do inversor indicado para a potência de 3,68 kW.

Optou-se por instalar uma potência superior à de ligação, para compensar períodos de menor produtividade (meses de Inverno).

O inversor seleccionado para a instalação foi um inversor de ligação à rede da marca *SunnyBoy*, modelo 3800PT [Donauer, 2009], com uma potência de injeção de 3680 W e uma potência máxima em corrente contínua (DC) de 3800 W.

O campo de colectores dimensionado, é composto por um total de 18 colectores solares fotovoltaicos híbridos monocristalinos/amorfos da marca *Sanyo. HIT – NKHE – 210* [Donauer, 2009], com potência unitária de 210 Wp, interligados em séries de 9 módulos (*strings*), ligadas em paralelo, com uma potência total de pico de 3780 W. Os 2 conjuntos de módulos devem ser instalados em suportes fixos triangulares integrados na fachada do edifício na posição indicada na figura 5.17 com um ângulo de inclinação de 35°.

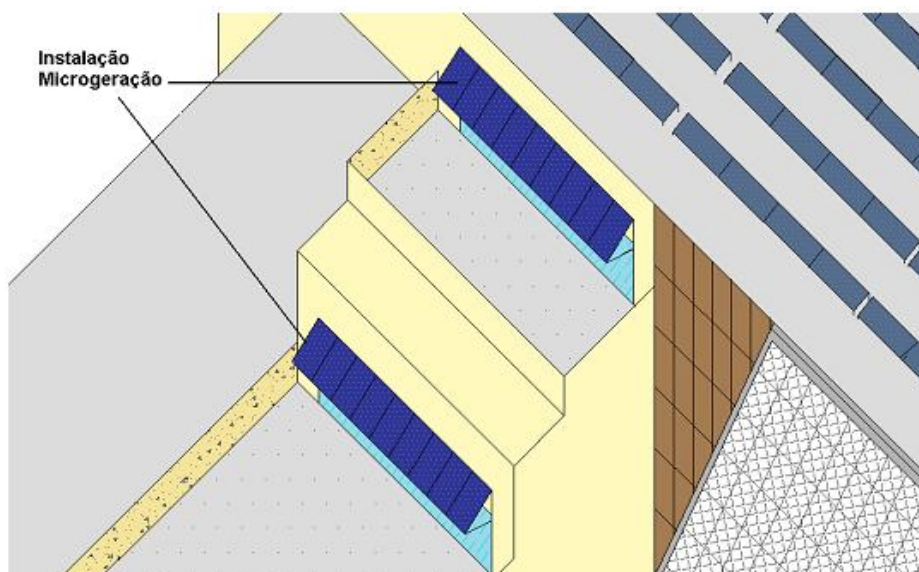


Fig.5.17 - Localização da instalação fotovoltaica

O sistema foi dimensionado com auxílio do software *Sunnydesign*, em termos de ligação dos painéis ao inversor (*strings*) e a sua produtividade foi analisada no *SolTerm*, como se pode verificar nas figuras B 1a B5 em anexo.

A instalação terá ainda um quadro eléctrico equipado com um disjuntor bipolar e um descarregador de sobretensões. Para além da protecção pessoal e de equipamentos, o disjuntor permite desligar a unidade de microprodução da RESP sempre que seja necessária alguma intervenção. Deve ser instalado um cabo monocondutor *Radox* H07rn-f1x6mm², entre os painéis e o inversor, de forma a permitir que a queda de tensão seja inferior a 1%, para não ocorrer perda de rendimento.

O cabo a ser instalado do lado da corrente alternada (AC) deverá ser um cabo do tipo 3G6, para transportar a corrente eléctrica do inversor até á Portinhola P100 do sistema.

5.4.2 Análise da instalação BIPV

Serão integradas diversas tecnologias de BIPV, visando melhorar a eficiência energética do edifício. A distribuição dos vários tipos de módulos encontra-se esquematizada na Fig. 5.18.

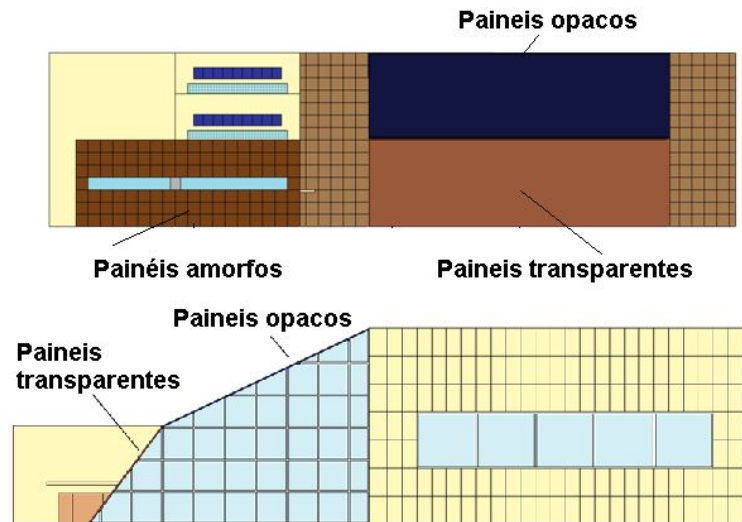


Fig.5.18. Distribuição dos vários tipos de módulos fotovoltaicos nos edifícios.

Na cobertura com inclinação de 27° optou-se pela colocação de painéis opacos (*Light Thru*), que permitem a passagem de luz, proporcionando um melhor aproveitamento da luz natural. Os painéis seleccionados são painéis da marca *Suntech* [Suntech, 2009], cujas características técnicas são apresentadas em anexo nas figuras D.1 e D.2.

Serão instalados 24 painéis de 509 W, totalizando uma potência instalada de 12,216 kW.

Com este tipo de solução é possível aproveitar a iluminação natural, reduzindo os consumos de energia em iluminação artificial, e contribuir ainda para a produção de energia eléctrica que será armazenada em baterias e que irá alimentar o sistema de iluminação da instalação. Este tipo de solução substituiu ainda o uso de painéis de vidro de colocação em fachadas.

Foi definida uma outra cobertura inclinada no edifício, com uma inclinação de 55° , onde serão integrados painéis transparentes, que possibilitam a entrada de luz natural e a visibilidade para o exterior. Com este tipo de solução arquitectónica pretende-se criar um sistema de ganho isolado isto é, a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia captada não se encontrará nas áreas ocupadas do edifício, pelo que operam independentemente do edifício. A energia solar é transmitida ao espaço adjacente por condução, através da parede de armazenamento, ou por convecção, se a mesma parede tiver orifícios que permitam a circulação do ar [Gonçalves *et al*, 2004]. Este princípio de funcionamento encontra-se representado na Fig. 5.19.

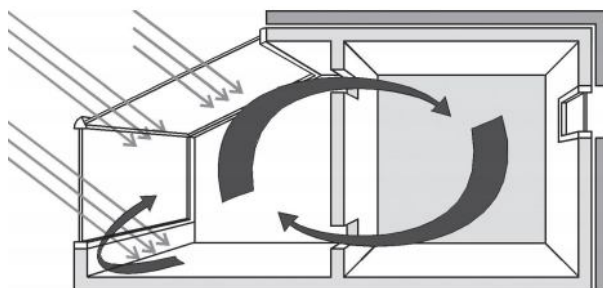


Fig.5.19. Sistema de ganho isolado [Gonçalves *et al*, 2004] pp.38.

Na área disponível, de cerca de 200m^2 , optou-se por colocar painéis See Thru da marca Suntech [Suntech, 2009], de 50 Wp de potência e uma área de $0,93\text{ m}^2$ ($0,98 \times 0,95$), cujas características técnicas se encontram em anexo na figura D.3. Serão distribuídos por 24 filas na vertical de 8 painéis cada, contabilizando um número total de 192 painéis e de 9,6 kW de potência instalada.

Para a fachada da zona de serviços foram seleccionados painéis amorfos a serem colocados com um ângulo de 90° e cuja função é a de produzir energia eléctrica. Na área disponível, de cerca de 100 m^2 , optou-se por colocar painéis da marca Kaneka [Kaneka, 2006] de 60 Wp de potência e com uma área de $0,95\text{m}^2$ ($0,99 \times 0,96$) cujas características técnicas se encontram em anexo nas figuras D.4 e D.5, contabilizando um número total de 110 painéis e de 6,60 kW de potência instalada.

5.4.3 Análise produtiva e princípio de funcionamento do sistema

O sistema fotovoltaico não enquadrado no sistema de microprodução actuará como gerador de corrente alternada de baixa tensão, que alimentará as cargas do edifício em função das suas necessidades. Caso a radiação solar não seja suficiente, o edifício consumirá a energia proveniente da rede. Quando o nível de produção de energia ultrapassar as necessidades do edifício, a energia excedente será injectada na rede.

O princípio de funcionamento do sistema encontra-se esquematizado na Fig. 5.20.

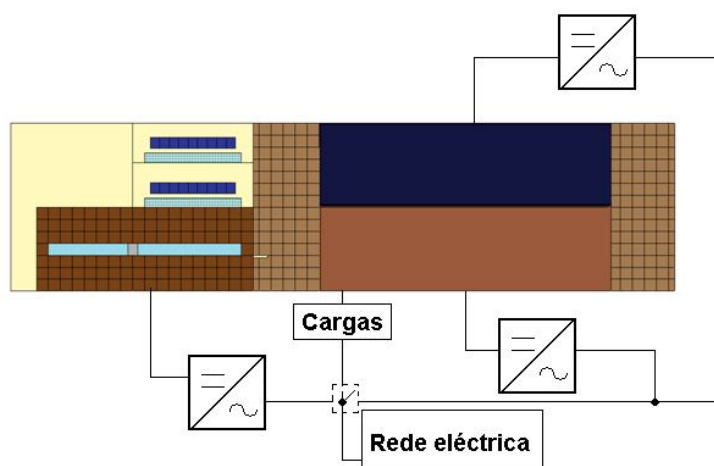


Fig.5.20. Esquema de ligação das várias instalações BIPV.

Ao nível da cobertura inclinada onde serão integrados os painéis opacos (*Light Thru*), o sistema será constituído pelos 24 módulos interligados a 2 inversores da marca SMA, modelo Sunny Mini Central SMC 6000TL [Donauer, 2009], que ligados em paralelo perfazem uma potência DC máxima de 12,40 kW. A distribuição dos painéis será de 3 *strings* de 4 módulos por inversor. A produtividade do sistema foi calculada através do *software* de cálculo do fabricante. Introduzidas as características técnicas do painel, como se pode verificar em anexo na figura C 1, obteve-se uma produtividade anual de 19.789 kWh.

Ao nível da instalação dos painéis transparentes (*See Thru*), o sistema será constituído pelos 192 módulos interligados a 2 inversores da marca SMA, modelo Sunny Mini Central SMC 4600A [Donauer, 2009], que ligados em paralelo perfazem uma potência DC máxima de 10,50 kW. A distribuição dos painéis será de 16 *strings* de 6 módulos por inversor. A produtividade do sistema foi realizada de igual forma ao ponto anterior, no qual se obteve uma produtividade anual de 13.715 kWh.

Na fachada da zona de serviços, o sistema será constituído pelos 110 módulos interligados a 1 inversor da marca SMA, modelo Sunny Mini Central SMC 6000A [Donauer, 2009], cuja potência DC máxima é de 6,30 kW. A distribuição dos painéis será de 22 *strings* de 5 módulos. A produtividade do anual do sistema obtida foi de 5.627 kWh.

Na Fig. 5.21 é possível verificar a integração das diversas tecnologias escolhidas, nas respectivas zonas do edifício.

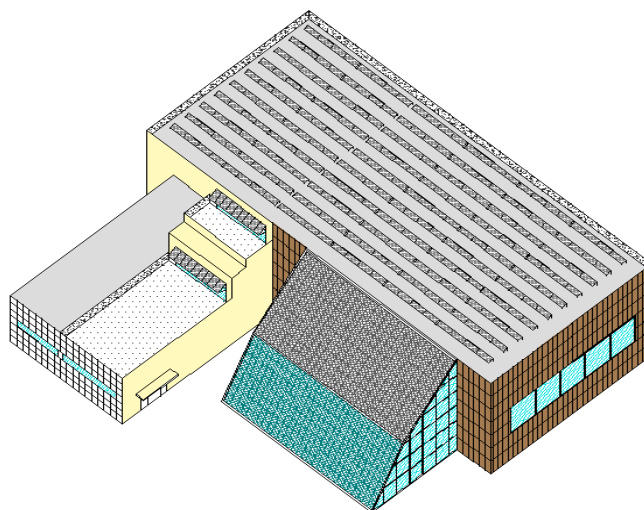


Fig.5.21. Localização das instalações solares no edifício.

5.5 Análise económica

Para efectuar a análise económica do projecto é necessário contabilizar todos os encargos a nível de projecto, materiais utilizados, instalação de equipamentos e manutenção e avaliar a poupança anual de energia primária, obtida com a contribuição da energia solar.

5.5.1 Avaliação dos custos do projecto

Os custos da instalação solar térmica para a piscina de competição, tendo em consideração os materiais seleccionados, apresentam-se na Tabela 5.6. O custo total da instalação é de 146.964,35€. Este será também o custo total da instalação associada à piscina de aprendizagem, uma vez que vão ser utilizados equipamentos com as mesmas características.

Tabela 5.6. Custos da instalação solar térmica do sistema de aquecimento solar das piscinas.

Descrição	preço unitário	quantidade	preço total
Colector solar térmico SK500L	880,00 €	80,00	70.400,00 €
Kit de tampões terminais	2,10 €	20,00	42,00 €
Junta de vedação 1" para SK500L	36,60 €	5,00	183,00 €
Sist. de fixação através de lastre de betão, 4 painéis em série	1.283,00 €	20,00	25.660,00 €
Acumulador de inércia estratificado de 7000L	7.540,00 €	2,00	15.080,00 €
Módulo de carga por estratificação - SLM200	8.745,00 €	1,00	8.745,00 €
Tubagem e acessórios de ligação	2.500,00 €	1,00	2.500,00 €
Anticongelante - glicol 200L	1.068,00 €	1,00	1.068,00 €
Caudalímetro do circuito solar - DMS25	173,00 €	5,00	865,00 €
Válvula de 3 vias motorizada 1" 230V	86,30 €	2,00	172,60 €
Vaso de expansão de 400L	800,00 €	1,00	800,00 €
Vaso de expansão de 700L	1.800,00 €	1,00	1.800,00 €
Controlador solar sksc3	474,00 €	1,00	474,00 €
		sub-total1	127.789,60 €
		iva 12%	15.334,75 €
Mão de obra	3.200,00 €	1,00	3.200,00 €
		iva 20%	640,00 €
		Total	146.964,35 €

Os custos associados à instalação solar para produção de AQS apresentam-se na Tabela 5.7. O custo total da instalação é de 135.576,98€.

O custo total da instalação solar térmica para o edifício será de 429.505,68€.

Tabela 5.7. Custos da instalação solar térmica do sistema de aquecimento de AQS da instalação.

Descrição	preço unitário	quantidade	preço total
Colector solar térmico SK500L	880,00 €	80,00	70.400,00 €
Kit de tampões terminais	2,10 €	20,00	42,00 €
Junta de vedação 1" para SK500L	36,60 €	5,00	183,00 €
Sist. de fixação através de lastre de betão, 4 painéis em série	1.283,00 €	20,00	25.660,00 €
Acumulador de inércia estratificado de 8000L	8.240,00 €	1,00	8.240,00 €
Módulo de produção de água quente FWM35	1.792,00 €	2,00	3.584,00 €
Permutador de placas PWT100S	1.920,00 €	1,00	1.920,00 €
Tubagem e acessórios de ligação	2.500,00 €	1,00	2.500,00 €
Anticongelante - glicol 200L	1.068,00 €	1,00	1.068,00 €
Caudalímetro do circuito solar - DMS25	173,00 €	5,00	865,00 €
Válvula de 3 vias motorizada 1" 230V	86,30 €	1,00	86,30 €
Vaso de expansão de 400L	800,00 €	1,00	800,00 €
Vaso de expansão de 700L	1.800,00 €	1,00	1.800,00 €
Controlador solar sksc3	474,00 €	1,00	474,00 €
		sub-total1	117.622,30 €
		iva 12%	14.114,68 €
Mão de obra	3.200,00 €	1,00	3.200,00 €
		iva 20%	640,00 €
		total	135.576,98 €

O sistema de climatização solar por *chiller* de absorção, associado ao sistema de climatização do edifício e ao sistema de produção de AQS, terá o custo total de 72.000,00€, como apresentado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8. Custos do sistema de climatização solar por *chiller* de absorção.

Descrição	preço unitário	quantidade	preço total
Chiller de absorção Climatewell CW20	18.000,00 €	3,00	54.000,00 €
tubagens + acessórios	3.500,00 €	1,00	3.500,00 €
Mão de obra	2.500,00 €	1,00	2.500,00 €
			60.000,00 €
			iva (20%)
			12.000,00 €
			Total
			72.000,00 €

Os custos das instalações fotovoltaicas, não englobadas na microgeração, encontram-se representados nas três tabelas seguintes, de acordo com os tipos de módulos considerados.

Tabela 5.9. Custos da instalação do sistema *Light Thru*.

Sistema Light Thru			
Descrição	Quantidade	Preço unitário	Total
Painel fotovoltaico Suntech Light Thru - 509Wp	24,00	2.249,63 €	53.991,12 €
Inversor Sunny Mini Central SMC 6000TL	2,00	3.593,80 €	7.187,60 €
		sub-total1	61.178,72 €
		iva 12%	7.341,45 €
cablagem + acessórios	1,00	1.800,00 €	1.800,00 €
Mão de obra	1,00	3.500,00 €	3.500,00 €
		sub-total2	5.300,00 €
		iva 20%	1.060,00 €
		Total	74.880,17 €

Tabela 5.10. Custos de instalação do sistema *See Thru*.

Sistema See Thru			
descrição	Quantidade	Preço unitário	total
Painel fotovoltaico Suntech See Thru - 50Wp	192,00	292,52 €	56.163,84 €
Inversor Sunny Mini Central SMC 4600A	2,00	3.400,65 €	6.801,30 €
		sub-total1	62.965,14 €
		iva 12%	7.555,82 €
cablagem + acessórios	1,00	2.200,00 €	2.200,00 €
Mão de obra	1,00	3.200,00 €	3.200,00 €
		sub-total2	5.400,00 €
		iva 20%	1.080,00 €
		Total	77.000,96 €

Tabela 5.11. Custos da instalação do sistema amorfo.

Sistema Amorfo			
descrição	Quantidade	Preço unitário	total
Painel fotovoltaico Amorfo Kaneka - 60Wp	110,00	260,18 €	28.619,80 €
Inversor Sunny Mini Central SMC 6000A	1,00	3.523,80 €	3.523,80 €
sub-total1			32.143,60 €
iva 12%			3.857,23 €
cablagem + acessórios	1,00	2.000,00 €	2.000,00 €
Mão de obra	1,00	3.000,00 €	3.000,00 €
sub-total2			5.000,00 €
iva 20%			1.000,00 €
Total			42.000,83 €

A instalação fotovoltaica englobada na microgeração terá o custo total de 23.797,52€, como apresentado na Tabela 5.12.

Tabela 5.12- Custos da instalação de microgeração.

Designação	Quantidade	Preço unitário	Total
Sanyo HIP 210HDE1	18,00	807,98 €	14.543,55 €
Estrutura metálica triangular para fixação em fachada	1,00	909,87 €	909,87 €
Inversor SMA Sunny Boy 3800PT	1,00	1.702,35 €	1.702,35 €
Contador Janz A 1700	1,00	292,50 €	292,50 €
Modem GSM	1,00	154,70 €	154,70 €
Antena GSM 3 db	1,00	7,80 €	7,80 €
subtotal1			17.610,77 €
iva(12%)			2.113,29 €
Material eléctrico + cablagem	1,00	694,55 €	694,55 €
Mão de obra	1,00	2.200,00 €	2.200,00 €
Licenciamento	1,00	500,00 €	500,00 €
subtotal2			3.394,55 €
iva(20%)			678,91 €
total			23.797,52 €

5.5.2 Análise da viabilidade económica

Habitualmente, são três os motivos que levam à instalação de um sistema de energia solar: obter benefício económico, através do aproveitamento de energia que chega de forma gratuita ao local de consumo; minimizar a degradação do ambiente, através do uso de energias limpas e diminuir a dependência das fontes convencionais de energia.

As economias de energia requerem um investimento, normalmente elevado, pelo que é necessária uma análise económica que facilite as decisões.

5.5.2.1 Instalações solares térmicas

Para realizar a viabilidade económica das instalações solares térmicas, foi utilizada a funcionalidade do *SolTerm* que permite efectuar esta análise, tendo em conta o custo da instalação, o combustível utilizado (GN), a análise produtiva do sistema e outros factores, tais como: vida útil do sistema, custos de manutenção, taxa de inflação e deriva do preço da energia substituída.

Os parâmetros considerados na análise da viabilidade económica dos sistemas solares térmicos apresentam-se na Tabela 5.12.

Tabela 5.13. Parâmetros considerados na análise económica dos sistemas solares térmicos.

Vida útil do sistema solar	Manutenção anual	Renovação de componentes	Inflação anual	Deriva do preço da energia substituída
20 anos	1% do custo do sistema	1% do custo do sistema	2,0% ao ano	4,0% acima da inflação

Os resultados obtidos através da simulação são os que se encontram na Tabela 5.14 e que podem ser consultados nas figuras E.1, E.2, E.4 em anexo.

Tabela 5.14. Resultados da análise económica das instalações solares térmicas.

Características solar térmico piscina competição	
Investimento inicial	- 143.519,00 €
Custos energéticos evitados	530.636,00 €
Reinvestimentos	185.366,00 €
Manutenção	- 35.569,00 €
Reparações	- 1.784,00 €
Saldo final	535.130,00 €
PRI (Prazo de recuperação do investimento)	12 anos
VAL (Valor Actual Líquido)	216.608,00 €
TIR (Taxa Interna de Rendibilidade)	6,7% ao ano
Características solar térmico piscina aprendizagem	
Investimento inicial	- 143.519,00 €
Custos energéticos evitados	236.146,00 €
Reinvestimentos	73.168,00 €
Manutenção	- 35.569,00 €
Reparações	- 1.784,00 €
Saldo final	128.442,00 €
PRI (Prazo de recuperação do investimento)	sem viabilidade
VAL (Valor Actual Líquido)	- 57.081,00 €
TIR (Taxa Interna de Rendibilidade)	sem rentabilidade
Características solar térmico AQS	
Investimento inicial	- 135.576,98 €
Custos energéticos evitados	518.980,00 €
Reinvestimentos	182.251,00 €
Manutenção	- 32.763,00 €
Reparações	- 1.644,00 €
Saldo final	534.625,00 €
PRI (Prazo de recuperação do investimento)	11 anos
VAL (Valor Actual Líquido)	227.589,00 €
TIR (Taxa Interna de Rendibilidade)	7,1% ao ano

Ao analisar os dados obtidos, verificou-se que a instalação solar térmica da piscina de aprendizagem, na qual se pretendeu ter uma fracção solar de 100%, ou seja, não ser necessário apoio para aquecimento da água da piscina, apresenta um investimento não compensador de um ponto de vista económico.

Realizou-se uma nova análise económica, considerando a utilização de gás propano como fonte de energia primária, uma vez que o GN ainda não se encontra disponível em todas regiões do nosso país. Com esta alteração, obtiveram-se os resultados indicados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15. Nova análise económica da instalação solar térmica da piscina de aprendizagem.

Características solar térmico AQS	
Investimento inicial	- 143.519,00 €
Custos energéticos evitados	309.803,00 €
Reinvestimentos	100.875,00 €
Manutenção	- 35.569,00 €
Reparações	- 1.784,00 €
Saldo final	534.625,00 €
PRI (Prazo de recuperação do investimento)	20 anos
VAL (Valor Actual Líquido)	11.373,00 €
TIR (Taxa Interna de Rendibilidade)	2,3% ao ano

Com os novos valores obtidos, verifica-se que o PRI se encontra nos 20 anos, definido como o tempo de vida útil da instalação. Como tal, esta instalação pode considerar-se que, embora no limite, é economicamente viável.

5.5.2.2 Microgeração fotovoltaica

Tendo em consideração o estipulado pelo D.L. 363/2007 relativamente às instalações de microgeração de energia eléctrica, que usufruam do regime bonificado (ou seja, tendo em consideração: o preço do kWh ser durante 5 anos igual à taxa máxima imposta na data do registo, a previsão do preço do kWh após os 5 anos e a diminuição do preço até ao final dos restantes 10 anos) e com base nos pressupostos representados na na Tabela 5.16, obtiveram-se os resultados da análise económica da instalação solar fotovoltaica de microgeração apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16. Pressupostos para análise económica da instalação de microgeração fotovoltaica.

Ano de registo da instalação	2009
Número de meses de produção no ano de arranque	10
Venda de energia eléctrica à rede (kWh/ano)	5.601
Remuneração no arranque da instalação (eur/kWh)	0,6175 €
Custo de fornecimento e montagem do sistema (eur)	23.797,52 €
Custos de manutenção (eur/ano)	237,98 €
Taxas de registo	287,06 €
Dedução fiscal	- 796,00 €
Custos totais	23.526,56 €

Da análise do fluxo de caixa acumulado, apresentado na última coluna Tabela 5.17, verifica-se que o PRI do sistema será de 7 anos, a TIR de 9,8%, e o VAL de 5.216€.

Tabela 5.17. Resultados da análise económica da instalação solar fotovoltaica de microgeração.

Ano	Custo inicial	Custos manutenção	Facturação anual	Fluxo de caixa no final do ano	Fluxo de caixa acumulado
0	- 23.288,58 €	- €	2.882,18 €	- 20.406,40 €	- 20.406,40 €
1		- €	3.458,62 €	3.458,62 €	- 16.947,79 €
2		- €	3.458,62 €	3.458,62 €	- 13.489,17 €
3		- €	3.458,62 €	3.458,62 €	- 10.030,55 €
4		- €	3.458,62 €	3.458,62 €	- 6.571,93 €
5		- €	3.458,62 €	3.458,62 €	- 3.113,32 €
6		237,98 €	2.542,40 €	2.304,43 €	- 808,89 €
7		242,73 €	2.415,28 €	2.172,55 €	1.363,66 €
8		247,59 €	2.294,52 €	2.046,93 €	3.410,59 €
9		252,54 €	2.179,79 €	1.927,25 €	5.337,84 €
10		257,59 €	2.070,80 €	1.813,21 €	7.151,05 €
11		262,74 €	1.967,26 €	1.704,52 €	8.855,56 €
12		268,00 €	1.868,90 €	1.600,90 €	10.456,46 €
13		273,36 €	1.775,45 €	1.502,10 €	11.958,56 €
14		278,83 €	1.686,68 €	1.407,86 €	13.366,41 €
15		284,40 €	1.602,35 €	1.317,94 €	14.684,36 €

Para a análise da viabilidade económica das instalações fotovoltaicas não englobadas na microprodução de energia em regime bonificado, foi utilizado o custo total das três instalações, 133.941,95€ (cf. Tabela 5.9, Tabela 5.10 e Tabela 5.11), e a sua produtividade anual média de 39.131kWh, resultante do somatório das produtividades individuais das três instalações.

Os pressupostos utilizados foram os usados para os sistemas solares térmicos (cf. Tabela 5.13), com excepção da renovação de equipamentos. Esta não foi incluída, uma vez que a vida útil dos equipamentos é elevada e as necessidades de manutenção são reduzidas. Considerou-se a tarifa de venda da energia à taxa actual de 0,12€/kWh. Os resultados da análise encontram-se na Tabela 5.18.

Tabela 5.18. Resultados da análise económica da instalação solar fotovoltaica BIPV.

Ano	Custo inicial	Custos manutenção	Facturação anual	Fluxo de caixa no final do ano	Fluxo de caixa acumulado
0	- 193.880,00 €	- €	4.695,72 €	- 189.184,28 €	-€ 189.184,28
1		- €	4.883,55 €	4.883,55 €	-€ 184.300,73
2		- €	5.078,89 €	5.078,89 €	-€ 179.221,84
3		- €	5.282,05 €	5.282,05 €	-€ 173.939,79
4		- €	5.493,33 €	5.493,33 €	-€ 168.446,47
5		- €	5.713,06 €	5.713,06 €	-€ 162.733,40
6		1.339,42 €	5.941,58 €	4.602,16 €	-€ 158.131,24
7		1.366,21 €	6.179,25 €	4.813,04 €	-€ 153.318,20
8		1.393,53 €	6.426,42 €	5.032,88 €	-€ 148.285,32
9		1.421,40 €	6.683,47 €	5.262,07 €	-€ 143.023,24
10		1.449,83 €	6.950,81 €	5.500,98 €	-€ 137.522,26
11		1.478,83 €	7.228,85 €	5.750,02 €	-€ 131.772,25
12		1.508,40 €	7.518,00 €	6.009,60 €	-€ 125.762,65
13		1.538,57 €	7.818,72 €	6.280,15 €	-€ 119.482,50
14		1.569,34 €	8.131,47 €	6.562,12 €	-€ 112.920,38
15		1.600,73 €	8.456,73 €	6.856,00 €	-€ 106.064,38
16		1.632,74 €	8.795,00 €	7.162,25 €	-€ 98.902,13
17		1.665,40 €	9.146,80 €	7.481,40 €	-€ 91.420,74
18		1.698,71 €	9.512,67 €	7.813,96 €	-€ 83.606,78
19		1.732,68 €	9.893,17 €	8.160,49 €	-€ 75.446,29
20		1.767,34 €	10.288,90 €	8.521,57 €	-€ 66.924,72

Verifica-se que, durante os 20 anos analisados, a instalação não tem viabilidade económica, em termos da produtividade global da instalação e de acordo com os pressupostos considerados.

No entanto, nesta análise não foram considerados os benefícios associados à integração deste tipo de tecnologia na fachada, que para além de melhorar o desempenho energético do edifício, também se traduz numa poupança de custos, associada à não instalação de outros materiais construtivos (metal, vidro, pedra, entre outros).

5.5.3 Incentivos e financiamentos

Em Portugal, existem actualmente em vigor subsídios para as instalações solares térmicas, enquadrados na 2.ª fase da medida solar térmica do governo – 2009. Estes subsídios consistem na comparticipação a fundo perdido até um valor limite de 65% do investimento, para, entre outras, entidades e associações instituições de utilidade pública. Os sistemas deverão produzir energia para suprir entre 55% e 75% das necessidades energéticas em AQS.

Como os sistemas solares térmicos dimensionados par o edifício se enquadram nestas condições, procedeu-se a uma nova análise da viabilidade económica das instalações, tendo em conta os actuais subsídios em vigor.

Os resultados obtidos, tendo em consideração um subsídio de 65% do investimento, são apresentados na Tabela 5.19 e podem ser analisados em anexo nas figuras de E.5 a E.7.

Tabela 5.19. Análise da viabilidade económica considerando a atribuição de subsídios.

Características solar térmico piscina competição	
Subsídios	93.287,35 €
Saldo final	623.672,00 €
PRI (Prazo de recuperação do investimento)	5 anos
VAL (Valor Actual Líquido)	366.037,00 €
TIR (Taxa Interna de Rendibilidade)	7,4% ao ano
Características solar térmico piscina aprendizagem	
Subsídios	93.287,35 €
Saldo final	217.971,00 €
PRI (Prazo de recuperação do investimento)	12 anos
VAL (Valor Actual Líquido)	93.012,00 €
TIR (Taxa Interna de Rendibilidade)	2,0% ao ano
Características solar térmico AQS	
Subsídios	88.125,04 €
Saldo final	618.098,00 €
PRI (Prazo de recuperação do investimento)	5 anos
VAL (Valor Actual Líquido)	368.511,00 €
TIR (Taxa Interna de Rendibilidade)	7,8% ao ano

Pela análise dos resultados agora obtidos, verifica-se que o PRI diminui consideravelmente e o VAL e a TIR sofrem consideráveis mudanças positivas. Com este tipo de incentivo, torna-se ainda mais interessante a oposta neste tipo de tecnologia, contribuindo para o aumento da riqueza a nível local, bem como a nível nacional.

Para as instalações fotovoltaicas, não existe atribuição de subsídios. O único incentivo é o que está previsto no D.L. 363/2007 para as instalações de microgeração e que consiste num pagamento por €/kW muito interessante, o que permite que o PRI destas instalações se situe entre 6 a 7 anos, dependendo da produtividade do sistema.

5.5.4 Emissões poluentes evitadas

A integração de energias renováveis nos edifícios traz também vantagens no que diz respeito às emissões poluentes, nomeadamente na redução das emissões de CO₂, provenientes da produção de energia eléctrica e de utilização de fontes poluentes de energia primária.

Foram calculadas as reduções de emissões de CO₂, obtidas com a utilização das instalações solares térmicas e fotovoltaicas projectadas.

Para as instalações solares térmicas, esta redução foi obtida através da simulação dos impactes ambientais que o *SolTerm* permite realizar em função da fonte primária utilizada. Em anexo nas figuras de F.1 a F.3, encontram-se os resultados obtidos, os quais se transcrevem na Tabela 5.20.

Tabela 5.20. Emissões de CO₂ evitadas com as instalações solares térmicas.

Impactos evitados	
Instalação solar para aquecimento da piscina de competição	
Consumo de energia primária de origem fóssil	178,7 MWh/ano
	16971 m ³ Gás natural/ano
Emissões evitadas	42,6 ton CO ₂ equivalente/ano
Instalação solar para aquecimento da piscina de aprendizagem	
Consumo de energia primária de origem fóssil	79,77 MWh/ano
	7575 m ³ Gás natural/ano
Emissões evitadas	19 ton CO ₂ equivalente/ano
Instalação solar para produção de AQS	
Consumo de energia primária de origem fóssil	174,78 MWh/ano
	16598 m ³ Gás natural/ano
Emissões evitadas	41,6 ton CO ₂ equivalente/ano

A redução de emissões obtida com a produção de energia eléctrica através dos módulos fotovoltaicos é de 18,4 ton CO₂ equivalente/ano, calculado com base no factor de emissão associado ao consumo de electricidade, 0,47 kgCO₂e/kWh [Despacho n.º 17313/2008].

6 Conclusões

Procurou-se com este trabalho propor soluções técnicas e economicamente viáveis para a integração de energias renováveis em edifícios.

Foi feito um levantamento das tecnologias para a produção de energia térmica e de energia eléctrica a partir de fontes renováveis e que poderão ser utilizadas em edifícios e apresentadas as soluções possíveis de integração, tendo em consideração as características do edifício, o espaço disponível e necessidades energéticas.

Foram referidas, ainda, as diferentes tecnologias actuais de arrefecimento solar em edifícios existentes no mercado e o seu potencial de aplicação. A utilização de energia solar para o arrefecimento é de facto um conceito atractivo, pois as necessidades de arrefecimento coincidem, na maior parte do tempo, com a disponibilidade de radiação solar.

As potencialidades que a integração de energias renováveis em edifícios, poderão trazer ao nível da sustentabilidade, da redução da dependência energética, dos benefícios económicos e ambientais foram analisadas através do projecto de uma solução de integração num edifício de serviços.

A arquitectura exterior do edifício foi definida tendo em conta alguns factores de arquitectura bioclimática e de forma a permitir a utilização dos recursos endógenos, com o objectivo de minimizar os consumos energéticos provenientes de formas de energia convencionais. Nesse sentido, foram implementadas medidas relacionadas com o aproveitamento da iluminação natural, forma, orientação, sombreamentos e protecção térmica das fachadas do edifício.

As soluções apresentadas para integrar no edifício contemplam a instalação de sistemas de energia solar para produção de AQS, AQP, produção de energia eléctrica e climatização solar.

O estudo permitiu que a tecnologia solar térmica é neste momento uma tecnologia evoluída e que é possível obter poupanças significativas ao nível de energia primária, em instalações com grande consumo de AQS e AQP. Esta tecnologia ainda tem um valor de custo considerável, o que leva a que o tempo de retorno deste tipo de investimento seja ainda elevado, entre os 10 – 12 anos. Este factor pode justificar a falta de investimento público e privado no sector.

Para incentivar uma maior procura desta tecnologia, será necessária a criação de campanhas de divulgação e de incentivos fiscais, que permitam que o investimento tenha um período de retorno na ordem dos 5-7 anos, tornando-a mais atractiva. Actualmente, existem já algumas medidas de atribuição de subsídios e incentivos fiscais, que em nosso entender, apesar de tardias, podem ser a génese da mudança da procura desta tecnologia para integração em edifícios.

Ao nível da tecnologia fotovoltaica verificou-se que se trata de uma opção sustentável, economicamente viável, financeiramente compensadora e ecológica. Esta tecnologia oferece múltiplas funcionalidades, aproveitando as sinergias entre os materiais envolvidos na construção. Ao permitir a produção de energia eléctrica a nível local, contribuirá para eficiência da RESP. O D.L. 363/2007 veio despoletar a procura desta tecnologia ao nível das instalações domésticas. Torna-se necessária a criação de novos programas e incentivos de apoio á integração desta tecnologia em maior escala nos edifícios.

No edifício analisado deve, num trabalho futuro, ser avaliado o comportamento térmico, em função das soluções instaladas e avaliadas soluções de climatização solar que possam vir a ser associadas com as instalações já propostas.

O principal desafio, a nível da integração de energias renováveis em edifícios será, no entanto, fazer com que os responsáveis por este sector, nomeadamente os promotores imobiliários e os construtores, se tornem mais sensíveis a estas questões. Até ao momento, as duas partes apenas têm tido preocupações económicas, o que originou, até há pouco tempo, uma construção sem preocupações de sustentabilidade.

Para que no futuro sejam construídos edifícios de baixo consumo será ainda necessária a interligação de especialidades ao nível do projecto arquitectónico e estrutural, originando também aqui uma mudança de mentalidades em que tem existido uma relativa distância entre arquitectos e engenheiros na concepção dos edifícios.

Referências

[WBCSD, 2009] - World Business Council for Sustainable Development, “Energy Efficiency in Buildings”, página web, www.wbcsd.org, (2009).

[DL n.º 79/2006] - Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. *Diário da República* n.º 67/06 - I Série A. Ministério da Economia e da Inovação.

[DL n.º 80/2006] - Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. *Diário da República* n.º 67/06 - I Série A. Ministério da Economia e da Inovação.

[DL n.º 78/2006] - Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. *Diário da República* n.º 67/06 - I Série A. Ministério da Economia e da Inovação.

[DL n.º 363/2007] - Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro. *Diário da República* n.º 211/07 - I Série. Ministério da Economia e da Inovação.

[Directiva 2002/91/CE] - Directiva 2002/91/CE 16 de Dezembro de 2002. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* 4.1.2003. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.

[Despacho n.º 17313/2008] - Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho. *Diário da República* n.º 122/08 - II Série. Ministério da Economia e da Inovação.

[RCM n.º 119/2004] - Resolução do Conselho de Ministros de 31 de Julho de 2004. *Diário da República* n.º 179/06 - I Série B. Presidência do Conselho de Ministros.

[RCM n.º 1/2008] - Resolução do Conselho de Ministros de 4 de Janeiro de 2008. *Diário da República* n.º 3/08 - I Série. Presidência do Conselho de Ministros.

[RCM n.º 80/2008] - Resolução do Conselho de Ministros de 20 de Maio de 2008. *Diário da República* n.º 97/08 - I Série. Presidência do Conselho de Ministros.

[INETI, 2006] - INETI, “Curso de Instaladores Solares Térmicos”, Lisboa, 2006.

[EnerBuilding, 2009] - EnerBuilding, “Energy Efficiency”, página web, pt.enerbuilding.eu, (2009).

[GreenBuilding, 2009] - GreenBuilding, “Build Well”, página web, www.projectgreenbuild.org, (2009).

[Doninelli et al, 2006] - M. Doninelli, M. Doninelli, “As instalações solares - técnicas e esquemas de realização”, *Hidraulica*, N.º. 25, pp. 3-35, 2006.

[Malhatlantica, 2009] – Malhatlantica - Os sítios do Centro de Competência, “*Energia Solar Fotovoltaica*”, página web, www.malhatlantica.pt, (2009).

[Ersol, 2009] - *Celda solar fotovoltaica monocristalina Ersol* página web, www.directindustry.es/prod/ersol/, (2009).

[Solar Power, 2008] - *Types of Solar Cells*, página web, solarpowerindustries.com/solar-cell-types.html, (2008).

[Darling, 2009] - *Vertical-axis wind turbine (VAWT)* página web, www.daviddarling.info/encyclopedia/V/AE_vertical-axis_wind_turbine.html, (2009)

[Soliclima, 2009] – *Energia geotérmica* página web, www.soliclima.com/pt/energia_geotermica.html, (2009).

[Altener, 2005] – “*Energia solar térmica – Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*” – Programa Altener, Lisboa, 2005

[DGGE, 2006] - Contribuição da energia solar térmica no mix energético Português, página web, www.dgge.pt/default.aspx, (2006).

[MNES, 2006] – *Ministry of New and Renewable Energy*, – “*Integration of emerging technologies – chapter 6*” – India, 2006.

[Sapa, 2008] – Catalogo Sapa solar, página web, www.sapagroup.com/, (2008).

[Gual, 2008] - GUAL Industrie - éoliennes axe vertical, página web, www.gual-industrie.com, (2008).

[CEEETA, 2008] - CEEETA – Centro de estudos em economia da Energia dos transportes e do Ambiente Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos – “*PARTE II – Tecnologias de Aproveitamento de Calor*”, 2008.

[ADENE, 2008] - ADENE “*Brochura climatização solar*”, 2008.

[Solair, 2007] - Solar Air-Conditioning, página web, www.solair-project.eu/, (2008).

[QUALISOL, 2001] - ALTENER, “*Cluster n.º 4, Promotion of Solar Thermal in Mediterranean Countries*”, 2001.

[SD, 2008] - *Software* simulação sistemas fotovoltaicos, página web, www.sma-america.com/de/produkte/software/sunny-design.html, (2008).

[SolTerm, 2007] - *Software* - Análise de Desempenho de Sistemas Solares Térmicos e Fotovoltaicos, INETI, 2007.

[Painéis Solares, 2009] - Fornecedores painéis solares, pmelink, 2009, página web, www.paineissolares.gov.pt/inst_marcas.html, (2009).

[Sonnenkraft, 2008] - Sonnenkraft, *System solutions*, 2008, página web, www.sonnenkraft.com, (2008).

[Eicker, 2001] - Ursula Eicker. , “Solar technology for buildings”, University of Applied Sciences, Stuttgart, Alemanha, 2001, ISBN 0-471-48637-X

[PVGIS, 2008] - “*Photovoltaic Geographical Information System*”, página web, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>, (2008).

[JRC, 2008] - *Solar irradiation data utility*, página web, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/>, (2008).

[Buderus, 2008] - Catalogo *Buderus*, 2008, página web <http://www.buderus.pt/files>

[ClimateWell, 2008] – Catálogo *Climatewell*, 2008, página web, www.climatewell.com/index.html#/innovation/Documentation, (2008).

[CW10, 2008] – Catalogo “Descripción del producto”, ClimateWell, ver 09/2 SP1, 2008

[Donauer, 2009] – Catalogo equipamentos fotovoltaicos, Donauer, 2009, página web, <http://www.donauer.eu/pt/solar-fotovoltaico/produtos.html>, (2008).

[Suntech, 2009] – “Catalogs Suntech”, página web, www.suntech-power.com/, (2009).

[Kaneka, 2006] – Kaneka, Products (Amorphous), página web, www.pv.kaneka.co.jp/why/index.html, (2006).

[Gonçalves et al, 2004] - Helder Gonçalves et al , “Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal”, INETI, Lisboa , 2004

[Pure, 2008] – *Tecnalia*, “*Pure, Tecnalia energia*”, Madrid, 2008

Bibliografia Consultada

http://www.euleb.info/download/eie-2003-172_euleb_fr_20070228.pdf
http://www.solair-project.eu/uploads/media/Guidelines01_introduction.pdf
http://www.solair-project.eu/uploads/media/Guidelines02_principles.pdf
http://www.solair-project.eu/uploads/media/Guidelines03_absorption_H2O_LiBr.pdf
http://www.solair-project.eu/uploads/media/Guidelines04_absorption_NH3_H2O.pdf
http://www.solair-project.eu/uploads/media/Guidelines05_adsorption.pdf
http://www.solair-project.eu/uploads/media/Guidelines06_liq_desiccants.pdf
http://www.solair-project.eu/uploads/media/Guidelines06_liq_desiccants.pdf
<http://www.solair-project.eu/uploads/media/Pr01.pdf>
<http://www.iea-shc-task25.org/english/hps6/pdf/Solar-Air-Conditioning-Decision-Scheme.pdf>
http://www.p3e-portugal.com/ficheiros/2/1/IEA_SHC_Solar_Update-March_2005.pdf
https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/112785/1/Fotovoltaico_ed2.pdf
http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/27/14_Guia%20pr%20Instaladores.pdf
http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar_Term.pdf
http://www.greenbuilding.ca/iisbe/sbc2k8/teams/SBC08_world/SBC08_Spain/SBC08_Spain_OF_FICE_ARFRISOL_Barredo.pdf
<http://www.mnes.nic.in/booklets/solar-energy/ch6.pdf>
<http://www.sapagroup.com/pt/Company-sites/Sapa-Building-System-Portugal/Noticias/Sapa-Solar/>
www.gual-industrie.com/Doctechang.pdf
<http://www.buderus.pt/files/200507151234260.LOGANO%20PLUS%20GB434,%20SB315,%20SB%20315VM.pdf>
<http://ave.dee.isep.ipp.pt/~pdmen/AT1/TPD/Fotovoltaica/IntegracaoEnergiaSolarEdificios.pdf>
http://www.congresoenergiasolar.com/pdf/SILVIA_SOUTUYO_CASTRO_1.CIEMAT.INTEGRACION_ARQUITECTONICA.pdf

Websites Consultados:

<http://www.iea.org/>
<http://www.p3e-portugal.com/>
<http://www.buildingsplatform.org/>
<http://www.resinbuil.com/>
<http://www.energy.eu>
<http://www.euroace.org>
<http://www1.eere.energy.gov>
<http://www.solair-project.eu>

<http://www.iea-shc-task25.org>
<http://www.ocp.tudelft.nl/ev/res/sace.htm>
<http://www.raee.org/climasol>
<http://www.tecsol.fr/RafrSol/index.htm>
<http://www.ames.pt>
<http://www.adene.pt>
<http://www.aguaquentesolar.com/>
<http://www.solair-project.eu/218.0.html>