



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA BIOMASSA

**A CONTRIBUIÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO NO DESEMPENHO
ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO SOLAR XXI**

ANDREIA ALEXANDRA SALGUEIRO DA SILVA DE CASTRO PEREIRA

*Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
Para a obtenção do Grau de Mestre em Energia e Bioenergia*

**ORIENTADOR: DOUTOR DANIEL AELENEI
CO-ORIENTADOR: DOUTORA LAURA AELENEI**

FEVEREIRO 2011

FICHA TÉCNICA

TÍTULO	A Contribuição de um sistema solar térmico no desempenho energético do edifício solar XXI
AUTOR	Andreia Alexandra Salgueiro da Silva de Castro Pereira
OBJECTIVO DO PRESENTE TRABALHO	Dissertação apresentada Universidade Nova Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, para obtenção do grau de Mestre em Energia e Bioenergia
ORIENTADOR	Doutor Daniel Aelenei Professor Auxiliar Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
CO-ORIENTADOR	Doutora Laura Aelenei Bolsista de Pós Doutoramento Unidade Energia e Ambiente Construído Laboratório Nacional Energia e Geologia
CONTACTO AUTOR	salgueiro.andreia@gmail.com
LOCAL	Monte da Caparica
DATA	Fevereiro 2011

*O conteúdo da presente dissertação é da inteira responsabilidade do autor.
Não é autorizada a cópia, total ou parcial, do conteúdo da presente dissertação.
É autorizada a citação do conteúdo da presente dissertação, desde que acompanhada da respectiva referência bibliográfica, de acordo com as normas internacionais de citação de trabalhos científicos.
Copyright*

"A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor".

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia que me acolhe há quase dois anos e me permite desenvolver conhecimento, em especial ao Engenheiro Farinha Mendes por toda a confiança depositada no meu trabalho.

Ao Professor Doutor Daniel Aelenei agradeço a sua disponibilidade para ser meu orientador mesmo sabendo que seria mais uma função a desempenhar para além das muitas em que está envolvido.

À Doutora Laura Aelenei, minha co-orientadora, um muito obrigada por conseguir com a sua serenidade estar sempre presente para me ajudar nas fases mais complicadas deste trabalho.

Ao Engenheiro Silvino Spencer por de forma tão clara partilhar o seu enorme conhecimento e estar sempre disponível para esclarecer dúvidas.

Ao Ricardo Coelho, ao João Cardoso, à Susana Viana, à Marta Gonçalves e à Ana Neves Sol pela paciência demonstrada nos dias mais complicados.

Ao Mestrado de Energia e Bioenergia um obrigada muito especial, especialmente à Professora Doutora Benilde Mendes pela coordenação e ao Professor Doutor Nuno Lapa por ser uma presença constante durante este percurso.

Ao Mário e ao André com que foi um prazer realizar trabalhos.

À minha mãe que quase deixou de me ver durante o mestrado mas mesmo assim sempre me motivou a continuar.

À minha irmã que com a sua boa disposição me acompanha em todos os meus projectos.

Ao meu marido que com a sua paciência infinita está sempre presente e a quem dedico esta dissertação.

RESUMO

A Directiva 2010/31/UE obriga todos os edifícios novos a serem NZEB até Dezembro de 2020. Um NZEB é aquele que ao longo de um ano produz tanta energia quanto a que consome. O Solar XXI é um edifício de elevado desempenho energético sendo necessário em 2007 apenas 11,5kWh/m².ano para satisfazer todas as necessidades energéticas. O objectivo deste estudo é avaliar a contribuição de um sistema solar térmico na redução das necessidades energéticas de aquecimento do Solar XXI. Estabeleceram-se dois cenários, representando o cenário (A) as necessidades de aquecimento para uma utilização onde todas as salas e gabinetes utilizam o sistema de aquecimento na sua potência máxima, e um cenário (B) representativo de uma suposta utilização mais próxima da realidade, com menores necessidades energéticas. O sistema solar térmico deste edifício produz no cenário (A) 2,1kWh/m².ano e no cenário (B) 4,0kWh/m².ano. Esta contribuição não é suficiente para que o Solar XXI alcance o estatuto NZEB. Contudo, os novos módulos PV instalados no Solar XXI irão produzir 35kWh/m².ano fazendo com que o balanço energético anual do edifício seja positivo. Os resultados obtidos por simulação no programa Solterm 5.1.3. deverão ser aferidos com os dados provenientes da monitorização que se espera realizar ao sistema.

PALAVRAS-CHAVE:

NZEB, Solar XXI, Sistemas Solares Térmicos, Eficiência Energética em Edifícios

ABSTRACT

The Directive 2010/31/EU obligates all new buildings to be NZEB by December 2020. A NZEB building produces as much energy as needed in a year. The Solar XXI building in 2007 with all strategies and technologies implemented needs only 11,5kWh/m².y to satisfy the energetic necessities. The aim of this study is to evaluate the reduction of energy demands for heating through a solar thermal system. For this purpose two scenarios for heating necessities were established, one representing a situation where all the rooms and offices are using the heating system at maximum power (A), and the other one representing a supposed use considered closer to reality, less energy demanding (B). The solar thermal system of this building produces in scenario (A) 2,1kWh/m².y and 4,0kWh/m².y in scenario (B). This contribution it's not enough for Solar XXI building reach NZEB status. However, the new PV modules installed in Solar XXI building will produce 35kWh/m².y making the building's energetic balance positive. The values obtained through simulations using Solterm 5.1.3. should be confirmed when the results from the monitoring system will be available.

KEYWORDS:

NZEB, Solar XXI, Solar Thermal Systems, Energy efficiency in buildings.

LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE ABREVIATURAS:

AQS – Água Quente Sanitária

CPC – Colector Parabólico Composto

CST – Colectores Solares Térmicos

NZEB – Near Zero Energy Building (Edifício Próximo da Energia Zero)

PV - Fotovoltaico

Solar XXI – Edifício Solar XXI

SST – Sistema Solar Térmico

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE QUADROS	XV
1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS	1
2. CONCEITO DE EDIFÍCIOS PRÓXIMO DA ENERGIA ZERO (NZEB)	13
2.1. REDUÇÃO DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS	14
2.2. PRODUÇÃO DE ENERGIA	15
3. EDIFÍCIO SOLAR XXI	17
3.1. CLIMA LOCAL E DESCRIÇÃO GERAL	17
3.2. ESTRATÉGIA DE AQUECIMENTO	19
3.3. ESTRATÉGIA DE ARREFECIMENTO	23
3.4. ILUMINAÇÃO NATURAL	27
3.5. PRODUÇÃO DE ENERGIA	28
4. SISTEMA SOLAR TÉRMICO DO EDIFÍCIO SOLAR XXI	35
4.1. TIPOS DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS	35
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO	41
4.3. SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
Anexo I	59
Anexo II	63
Anexo III	73

ÍNDICE DE FIGURAS

		CAPÍTULO 1
Figura 1.1.	Mapa do número de horas de sol e da radiação incidente no plano horizontal para Portugal	7
Figura 1.2.	Percentagens por país da União Europeia da capacidade instalada em 2009	8
Figura 1.3.	Evolução de área de colectores solares instalados em Portugal entre 2003 e 2009, sendo o valor de 2009 o total adjudicado (apenas no sector doméstico) através da medida do governo.	9
		CAPÍTULO 2
Figura 2.1.	Forma de verificação do alcance do estatuto NZEB	14
		CAPÍTULO 3
Figura 3.1.	Valores médios mensais de temperatura do ar exterior e valores médios diários da radiação solar global nos meses de Janeiro a Dezembro.	17
Figura 3.2.	Número médio de horas de sol nos meses de Janeiro a Dezembro.	17
Figura 3.3.	Aspectos construtivos do Edifício Solar XXI	19
Figura 3.4.	Fachada sul o Edifício Solar XXI	20
Figura 3.5.	Esquema de recuperação de calor dos módulos PV da fachada sul do Edifício Solar XXI na estação de aquecimento e aspecto dos respiradores interiores.	21
Figura 3.6.	Esquema de pré-aquecimento de ar da fachada sul do Edifício Solar XXI na meia estação.	21
Figura 3.7.	Radiadores de parede do sistema de aquecimento do Edifício Solar XXI	22
Figura 3.8.	Caldeira a gás natural utilizada para aquecimento do Edifício Solar XXI	22
Figura 3.9.	Colectores solares instalados no Edifício Solar XXI para aquecimento ambiente e água quente sanitária.	23
Figura 3.10.	Depósito de armazenamento de água quente do Edifício Solar XXI	23
Figura 3.11.	Sistema de tubos enterrados para arrefecimento e esquema de distribuição do ar arrefecido no Edifício Solar XXI.	24
Figura 3.12.	Aspecto da instalação do sistema de tubos enterrados de arrefecimento – manilhas de cimento.	24
Figura 3.13.	Aspectos do sistema de tubos enterrados de arrefecimento – tubagem plástica (PVC).	25
Figura 3.14.	Aspectos do sistema de tubos enterrados para arrefecimento – ascensão por tubos metálicos.	25
Figura 3.15.	Aspectos da distribuição do ar arrefecido do sistema de tubos enterrados do Edifício Solar XXI.	26
Figura 3.16.	Esquema de funcionamento para libertação de calor para o exterior (efeito chaminé) e sistema de arrefecimento dos módulos PV da fachada sul do Edifício Solar XXI no Verão.	27
Figura 3.17.	Aspectos da iluminação natural do Edifício Solar XXI.	28
Figura 3.18.	Consumo desagregado da energia primária do Edifício Solar XXI.	29
Figura 3.19.	Aspecto dos módulos PV integrados na fachada sul e do parque de estacionamento do Edifício Solar XXI.	29
Figura 3.20.	Consumos e produção de energia mensal do Edifício Solar XXI.	30
		CAPÍTULO 4
Figura 4.1.	Esquema unifilar de um sistema solar térmico	35
Figura 4.2.	Esquema geral do perfil de um colector solar térmico plano com cobertura.	38
Figura 4.3.	Esquema tipo de um colector solar térmico parabólico composto (CPC).	39

Figura 4.4.	Esquema tipo de um tubo de vácuo.	40
Figura 4.5	Esquema unifilar geral de aquecimento do Solar XXI	41
Figura 4.6.	Esquema unifilar geral de aquecimento do Solar XXI através do sistema solar térmico	42
Figura 4.7.	Esquema unifilar geral de aquecimento do Solar XXI através de caldeira	42
Figura 4.8.	Esquema unifilar de ligação dos colectores solares do Solar XXI	43
Figura 4.9.	Valores anuais de carga de aquecimento, energia produzida e apoio obtidos a partir de simulação através do programa Solterm	52

ÍNDICE DE QUADROS

		CAPÍTULO 1
Quadro 1.1	Resumo de Legislação sobre a Estratégia Energética Nacional e regulamentação do sector	2
		CAPÍTULO 2
Quadro 2.1.	Definição de conceitos ZEB.	13
		CAPÍTULO 4
Quadro 3.1.	Quantificação dos Radiadores consoante os espaços do Edifício Solar XXI em projecto.	32
Quadro 3.2.	Quantificação dos Radiadores consoante os espaços do Edifício Solar XXI reais.	33
		CAPÍTULO 5
Quadro 4.1.	Distribuição de utilização de colectores solares térmicos consoante a temperatura de utilização.	36
Quadro 4.2.	Tipos de colectores solares térmicos estacionários.	37
Quadro 4.3.	Algumas características técnicas do colector SK500N	43
Quadro 4.4.	Algumas características técnicas do depósito PSK550	44
Quadro 4.5.	Potências de aquecimento requeridas pelo cenário B	50
Quadro 4.6.	Balanço Energético mensal e anual para os meses considerados de aquecimento no cenário de utilização da potência instalada máxima em funcionamento do Edifício Solar XXI.	51
Quadro 4.7.	Balanço Energético mensal e anual para os meses considerados de aquecimento no cenário de utilização previsto como mais representativo da utilização do Edifício Solar XXI.	51

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Presentemente a questão energética tem um enfoque de extrema importância. Todos os sectores actuantes na nossa sociedade, e em grande parte dos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento, têm presente a necessidade de reduzir as suas necessidades energéticas. Recorrendo-se cada vez mais de forma massiva à utilização de fontes de energia renováveis para satisfazer as restantes necessidades.

Um dos sectores mais importantes na economia mundial é representado pelos edifícios. As cidades crescem rapidamente e mais de 3200 milhões de pessoas em todo o mundo irão viver em áreas urbanas. Na Europa este cenário representa cerca de 75% da população, sendo que esta situação incorre em problemas maiores em todo o mundo nomeadamente, o aumento do consumo energético dos edifícios com o conseqüente aumento dos preços da energia e as alterações climáticas em termos locais e globais. Para que este fenómeno seja travado é necessário estabelecer desafios que criem respostas concretas nas áreas de planeamento urbano, projecto construtivo, eficiência energética e integração de energias renováveis nos edifícios [1].

Os desafios que advêm das questões mencionadas são dependentes da região do mundo, visto que cada país tem uma realidade diferente e por esse mesmo motivo as aproximações de desenvolvimento devem diferir consoante as necessidades.

O consumo energético dos edifícios nos países membros da OECD (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico) é responsável por aproximadamente 35% dos consumos energéticos totais [2].

Os edifícios gastam energia consoante a sua localização geográfica, o tipo de edifício, a utilização e o utilizador. Os consumos energéticos dos edifícios habitualmente variam entre os 15Wh/m².ano e os 100Wh/m².ano, consoante o cenário em que se encontram mas por vezes existem edifícios com consumos superiores ao máximo referenciado [1].

Desse modo promovem-se actualmente estratégias que permitem associar a redução de necessidades energéticas à utilização de energias renováveis, reduzindo francamente a utilização de combustíveis fósseis dos quais Portugal tem uma forte dependência do exterior.

O sector habitacional e os serviços, exercem um grande impacto ao nível dos consumos energéticos, dessa forma a União Europeia, no seguimento da sua política energética publicou a 18 de Junho de 2010 a Directiva 2010/31/EU, tratando-se de uma revisão da Directiva 2002/91/EC, considerando a redução das necessidades energéticas como o caminho chave para estabelecer a segurança energética a longo prazo.

No contexto da reformulação do desempenho energético dos Edifícios surge a obrigatoriedade de todos os edifícios novos se tornarem NZEB (Edifício Próximo da Energia Zero) até 31 de Dezembro de 2020 [2].

A estratégia energética nacional não é uma preocupação recente. Diversos foram os diplomas que ao longo dos tempos foram criados para que existissem linhas de acção neste âmbito (Quadro 1.1).

DIPLOMA	CONTEÚDO	INFORMAÇÃO ADICIONAL
DL 40/90 6 de Fevereiro	Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios	Revogado pelo DL 80/2006
DL 156/92 29 de Julho	Aprova o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios	Revogado pelo DL 118/98
DL 118/98 7 de Maio	Regulamenta os sistemas energéticos de climatização em edifícios	Revogado pelo DL 79/2006
RCM 59/2001 30 de Maio	Aprova a estratégia para as alterações climáticas	
RCM 154/2001 19 de Janeiro	Aprova o Programa E4 - Eficiência Energética e Energias Endógenas	Revogada pela RCM 63/2003
RCM 63/2003 28 de Abril	Aprova as orientações da política energética portuguesa e revoga a Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001 de 19 de Outubro	Revogada pela RCM 169/2005
RCM 68/2003 10 de Maio	Define as linhas gerais do quadro estratégico e organizativo do sector energético	Revogada pela RCM 169/2005
RCM 119/2004 31 de Julho	Aprova o Programa Nacional para as Alterações Climáticas	
RCM 169/2005 24 de Outubro	Aprova a estratégia Nacional para a Energia	Revogada pela RCM 29/2010
DL 78/2006 4 de Abril	Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios	Transpõe parcialmente a Directiva 2002/91/CE
DL 79/2006 4 de Abril	Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios	Transpõe parcialmente a Directiva 2002/91/CE
DL 80/2006 4 de Abril	Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)	Transpõe parcialmente a Directiva 2002/91/CE
DL 225/2007 31 de Maio	Concretiza um conjunto de medidas ligadas às energias renováveis previstas na estratégia nacional para a energia, estabelecida através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 de 24 de Outubro	
RCM 80/2008 20 de Maio	Aprova o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (2008-2015)	Conforme um dos eixos da Directiva 2006/32/CE
P 461/2007 5 de Junho	Visa dar cumprimento ao Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril - calendarização da aplicação do Sistema de Certificação Energética	Relativa ao DL 78/2006
RCM 29/2010 15 de Abril	Aprova a Estratégia Nacional para a Energia 2020	
DL 50/2010 20 de Maio	Cria o Fundo de Eficiência Energética previsto no Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética	
DL 141/2010 31 Dezembro	No âmbito da Estratégia Nacional da Energia 2020, define as metas nacionais de energia renovável no consumo de energia final e transpõe parcialmente a Directiva n.º 2009/28/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril	
P 26/2011 10 de Janeiro	Aprova o Regulamento de Gestão do Fundo de Eficiência Energética	
DL 12/2011 24 de Janeiro	No âmbito da Estratégia Nacional da Energia 2020, estabelece os requisitos para a concepção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia e transpõe a Directiva n.º 2009/125/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Outubro	

Quadro 1.1. Resumo de Legislação sobre a Estratégia Energética Nacional e regulamentação do sector

Da consulta do Quadro 1.1., verifica-se que a estratégia nacional já teve diferentes diplomas normativos, sendo que alguns já se encontram revogados.

Embora desde 1990, com o Decreto-Lei 40/90 de 6 de Fevereiro, existisse preocupação com a qualidade construtiva nacional, a grande mudança no panorama nacional, no que se refere à eficiência energética dos edifícios, surge em 2006, com a promulgação de três diplomas que transpõem parcialmente a Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro nomeadamente, o Decreto-Lei 78/2006 de 4 de Abril que aprovou o sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios, o Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril que aprovou o regulamento dos sistemas energéticos de climatização nos edifícios e o Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril que aprovou o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios).

A Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro tem como objectivo a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios da Comunidade Europeia, considerando as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências no que concerne ao clima interior e rentabilidade económica, dessa forma foram estabelecidos os seguintes requisitos [3]:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- Aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.

No seguimento das metas impostas e também por imposições comunitárias, actualmente, existem dois planos de acção no que concerne à eficiência energética, a Resolução do Conselho de Ministros 80/2008 de 20 de Maio que aprova o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) e a Resolução do Conselho de Ministros 29/2010 de 15 de Abril que aprova a estratégia nacional para a energia 2020.

O PNAEE é efectuado conforme um dos eixos da Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Abril. Esta Directiva Comunitária relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos estabeleceu a obrigatoriedade dos Estados Membros publicarem um plano de acção para a eficiência energética, estabelecendo metas de pelo menos 1% de poupança de energia por ano até 2016 [4].

Dessa forma, o PNAEE também designado por “Portugal Eficiência 2015”, veio integrar as políticas e medidas de eficiência energética a desenvolver, estabelecer como meta a redução de 10% do consumo final de energia, atribuir a responsabilidade de monitorização do presente diploma ao Ministério da Economia e da Inovação, promover a articulação com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC - Resolução do Conselho de Ministros 119/2004 de 31 de Julho) de forma a assegurar a compatibilização das medidas previstas em cada um dos instrumentos e determinar que as receitas da aplicação do Incentivo Eficiência ou Tarifário presentes neste plano, para além das receitas legalmente previstas, constituem o Fundo de Eficiência Energética [4].

O PNAEE abrange 4 áreas específicas nomeadamente, o sector dos transportes, o sector residencial e de serviços, o sector da indústria e o sector do estado. Adicionalmente este diploma estabeleceu três áreas transversais (Comportamentos, Fiscalidade e Incentivos e Financiamento) sobre as quais incidiram análises e orientações complementares. Cada uma das estratégias adoptadas agrega um conjunto de programas que integram de forma coerente o vasto leque de medidas de eficiência energética, orientadas para a procura energética [4].

O referido diploma é exaustivo no que refere aos eixos concretos de actuação, mas apenas algumas das medidas possuem interesse no desenvolvimento deste trabalho. Assim sendo, apenas serão abordadas as medidas relacionadas com o sector residencial e dos serviços.

O eixo relativo à área residencial e serviços integra três grandes programas de eficiência energética [4]:

- Programa Renove casa – no qual foram definidas várias medidas relacionadas com eficiência energética na iluminação, electrodomésticos, electrónica de consumo e reabilitação de espaços;
- Sistema de Eficiência Energética nos edifícios – que agrupou as medidas que resultam do processo de certificação energética nos edifícios, num programa que inclui diversas medidas de eficiência energética nos edifícios nomeadamente isolamentos, melhoria dos vãos envidraçados e sistemas energéticos;
- Programa Renováveis na Hora – que se orienta para o aumento da utilização de energias endógenas.

Qualquer um destes programas do eixo relativo à área residencial e dos serviços possui extrema importância no alcance do estatuto NZEB dos edifícios, porque obrigam à adopção de medidas ao nível construtivo que por si só reduzem as necessidades energéticas, fomentam a utilização de equipamentos mais eficientes e promovem uma política de investimento de microprodutores de energia eléctrica com base na utilização de energias renováveis.

Considerando os novos objectivos para a política energética definidos no Programa do XVIII Governo Constitucional e a necessidade de criar um novo enquadramento global para a

aprovação do Plano Nacional de Acção para as Energia Renováveis e para a Revisão do PNAEE, o governo estabeleceu uma Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte 2020 (ENE 2020) através da Resolução do Conselho de Ministros 29/2010 de 15 de Abril.

A ENE 2020 assenta sobre 5 eixos principais [5]:

- Refere-se à competitividade, ao crescimento e à independência energética e financeira que dinamizará os diferentes sectores da economia criando valor e emprego através da aposta em projectos inovadores nas áreas da eficiência energética, das energias renováveis, incluindo a produção descentralizada e a mobilidade eléctrica, num quadro de equilíbrio territorial, promovendo a concorrência através da consolidação do mercado ibérico de electricidade, da criação do mercado ibérico do gás natural e da regulamentação do sistema petrolífero nacional e contribuindo para a maior independência energética e financeira do nosso país face a choques energéticos externos;
- Aposta nas energias renováveis promovendo o desenvolvimento de uma fileira industrial indutora do crescimento económico e do emprego, que permita atingir as metas nacionais de produção de energias renováveis, intensificando a diversificação das energias renováveis no conjunto das fontes de energia que abastecem o país, sendo dessa forma possível reduzir a dependência externa energética e aumentando a segurança de abastecimento;
- Promoção da eficiência energética consolidando o objectivo da redução de 20% do consumo de energia final em 2020, através da aposta em medidas comportamentais e fiscais, assim como em projectos inovadores, designadamente os veículos eléctricos e as redes inteligentes, a produção descentralizada de base renovável e a optimização dos modelos de iluminação pública e de gestão energética dos edifícios públicos, residenciais e de serviços;
- Garantir a segurança de abastecimento através da manutenção da política de diversificação do “mix” energético, do ponto de vista das fontes e das origens do abastecimento, e do reforço das infra-estruturas de transporte e de armazenamento que permitam a consolidação do mercado ibérico em consonância com as orientações da política energética europeia;
- Promover a sustentabilidade económica e ambiental como condição fundamental para o sucesso da política energética, recorrendo a instrumentos da politica fiscal, parte das verbas geradas no sector da energia pelo comércio de licenças de emissão de dióxido de carbono e a outras receitas geradas pelo sector das renováveis, para a criação de um fundo de equilíbrio tarifário que permita continuar o processo de crescimento das energias renováveis.

Este diploma vem assim reforçar as políticas energéticas nacionais anteriores, mantendo um foco na eficiência energética e na utilização de energias renováveis.

No que concerne ao sector dos edifícios, o RCCTE estabeleceu as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo a que as exigências de conforto térmico, quer de aquecimento quer de arrefecimento, de ventilação no que concerne à qualidade do ar interior, e de AQS (águas quentes sanitárias) fossem garantidas sem dispêndio excessivo de energia. Este diploma obriga à redução das necessidades energéticas de climatização através da obrigatoriedade de utilização de boas práticas construtivas. A produção de AQS através de SST (sistemas solares térmicos) passou a ser obrigatória sempre que exista uma exposição solar adequada, na base de 1m² de colectador padrão por ocupante convencional, podendo esta área ser reduzida de forma a não ultrapassar os 50% da área total da cobertura disponível [6].

Neste diploma define-se então exposição solar adequada a existência de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com água cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre sudeste e sudoeste que não sejam sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do sol e termina duas horas antes do ocaso. Está ainda previsto que se possa utilizar outro tipo de energias renováveis em substituição dos CST para a produção de AQS, desde que estas captem, numa base anual, energia equivalente à dos CST podendo ser a energia gerada utilizada noutros fins que não a produção de AQS se tal se demonstrar mais eficiente ou conveniente [6].

É com a reformulação da Directiva 2010/31/EU que se alcança um novo patamar de exigências energéticas dos edifícios. O seu artigo 9º - Edifícios com necessidades quase nulas de energia, vêm finalmente clarificar a importância de estabelecer conceitos e práticas concretas no que concerne aos edifícios NZEB. Assim sendo, o ponto 1 do anteriormente referido artigo 9º da Directiva indica que os estados membros têm que assegurar que o mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia e que após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia [7].

Portugal é um país com escassos recursos energéticos convencionais próprios, especialmente aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas nacionais, como o petróleo, o carvão e o gás [8].

Apesar dos esforços feitos para a utilização e promoção da utilização na última década de energias renováveis em Portugal, ainda existe uma elevada dependência energética do mercado exterior, importando 80% das necessidades energéticas [9].

Portugal é um dos países europeus com maior disponibilidade solar, com valores entre 2200 e 3000 horas de sol. O aproveitamento do potencial estimado de 2,8milhões de m² de CST poderia reduzir de uma forma significativa a dependência energética nacional [10].

O recurso solar em Portugal tem sido caracterizado com base em medidas efectuadas pelo Instituto de Meteorologia, através de uma rede de estações actinométricas nas quais se mede a radiação solar, nas suas componentes global e difusa. Foi através da informação que o Instituto de Meteorologia tem recolhido ao longo dos anos que se produziram os mapas que explicitam o número de horas de Sol e da radiação solar incidente no plano horizontal (Figura 1.1.) [10].

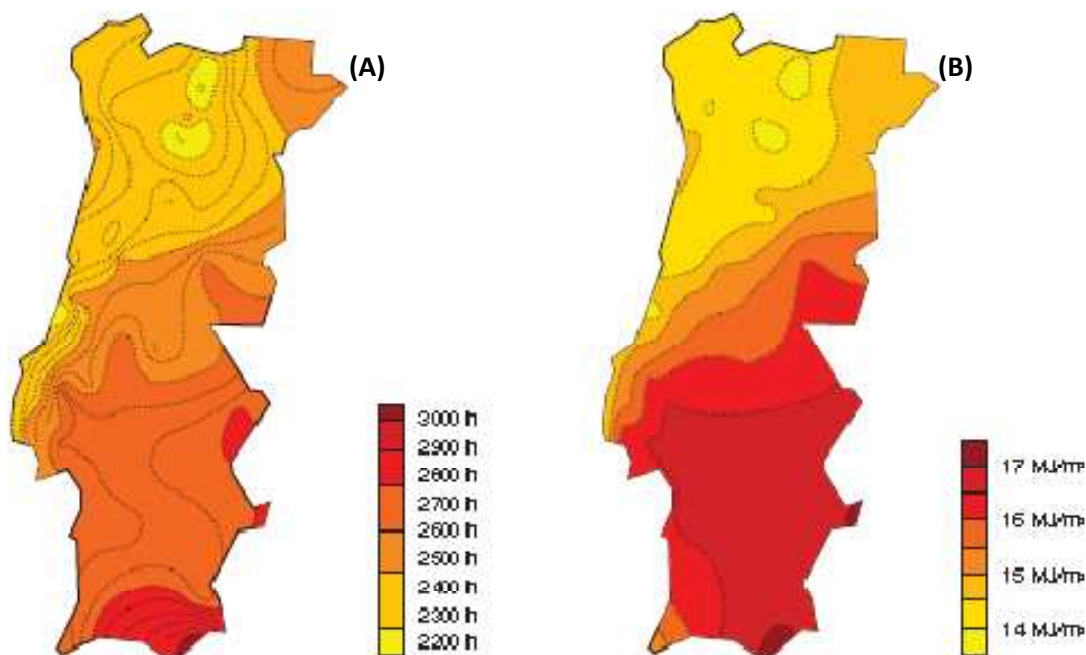


Figura 1.1. Mapa do número de horas de sol (A) e da radiação incidente no plano horizontal (B) para Portugal. [10]

Esta disponibilidade de Energia Solar só por si constitui um forte motivo para promover a sua utilização [9]. No entanto, apesar da disponibilidade deste recurso renovável, verifica-se ao nível do mercado nacional um aproveitamento muito inferior ao seu potencial. Outros países europeus que possuem menor radiação solar, como é o caso da Alemanha apresentam um aproveitamento muito mais significativo (Figura 1.2.) [11].

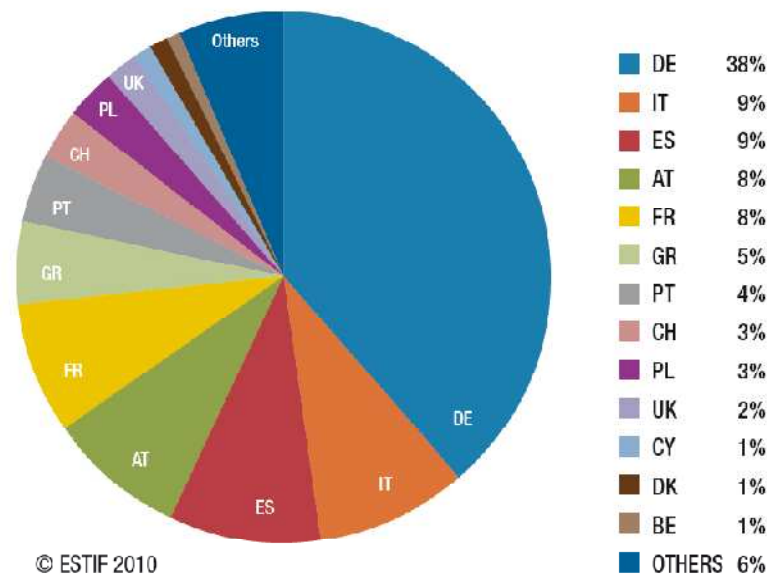


Figura 1.2. Percentagens por país da União Europeia da capacidade solar térmica instalada em 2009. [12]

No entanto o governo português tem promovido de forma significativa a utilização de energias renováveis quer na sua vertente de produção de energia eléctrica, criando um mercado de microprodutores (Renováveis na hora), quer na vertente de produção de água quente através da utilização de CST.

O programa Renováveis na Hora tem como objectivo promover a microprodução de energia eléctrica utilizando fontes de energia renováveis ou a produção combinada de calor e electricidade. Com este programa o sector residencial pode transformar-se de uma forma fácil em microprodutor, contribuindo dessa forma para o cumprimento dos objectivos nacionais no que concerne à utilização de energias renováveis, à redução da emissão de gases com efeito de estufa e da dependência energética do exterior [13].

Para a promoção da instalação destes sistemas existiram dois factores preponderantes nomeadamente, os benefícios fiscais associados à sua instalação e a remuneração da energia injectada na rede eléctrica nacional.

Os benefícios fiscais do programa Renováveis na Hora são diversos, nomeadamente IVA a taxa intermédia na aquisição de equipamentos, dedução à colecta de 30% em sede de IRS e exclusão de tributação de IRS dos rendimentos obtidos com a microprodução até 5000€ [13].

Relativamente à remuneração da energia eléctrica produzida esta encontra-se regulamentada no panorama legislativo nacional através do Decreto-Lei 363/2007. O microprodutor pode escolher entre os dois regimes remuneratórios, o geral e o bonificado. Claramente a grande afluência aos registos de microprodutor estão relacionados com o regime bonificado que à data inicial do programa remunerava nos primeiros cinco anos a energia eléctrica produzida a 650€ por MWh (se

a fonte de energia renovável utilizada fosse a energia solar) até à potência instalada de 10MW. Para pertencer a este regime é necessário ter em conjunto com o sistema escolhido para a produção de energia eléctrica pelo menos 2m² de CST para produção de água quente e a potência máxima instalada de 3.68kW [14]. A tarifa do regime bonificado para 2011 é de 380€ por MW [15].

No âmbito da utilização de energias renováveis para produção de água quente, o governo português também investe em políticas de promoção. O primeiro programa com actuação nesta área iniciou-se na década passada, denominado “Água Quente Solar” promoveu não apenas a divulgação da tecnologia e a criação de um mercado de equipamentos e instaladores certificados, como também introduziu benefícios fiscais para os utilizadores, nomeadamente dedução à colecta de 30% em sede de IRS e taxa de IVA intermédia para os equipamentos. A promulgação do RCCTE implicou o aumento da área de CST instalados, mas foi com a medida governamental de 2009, que lançou um programa de incentivos que contemplava a comparticipação de 50% do custo da instalação do SST com garantia de seis anos que se verificou um aumento significativo do aumento da área de CST instalados [9].

Embora o objectivo traçado pelo subprograma Água Quente solar para Portugal do Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas (Resolução do Conselho de Ministros 154/2001 de 19 de Janeiro) fosse instalar 1 milhão de metros quadrados de CST até 2010 [10]. A promoção de utilização de CST de acordo com esta medida foi um sucesso, sendo o contributo desta medida positivo, pois permitiu a instalação de 176.000m² apenas no sector doméstico (Figura 1.3.) [9].

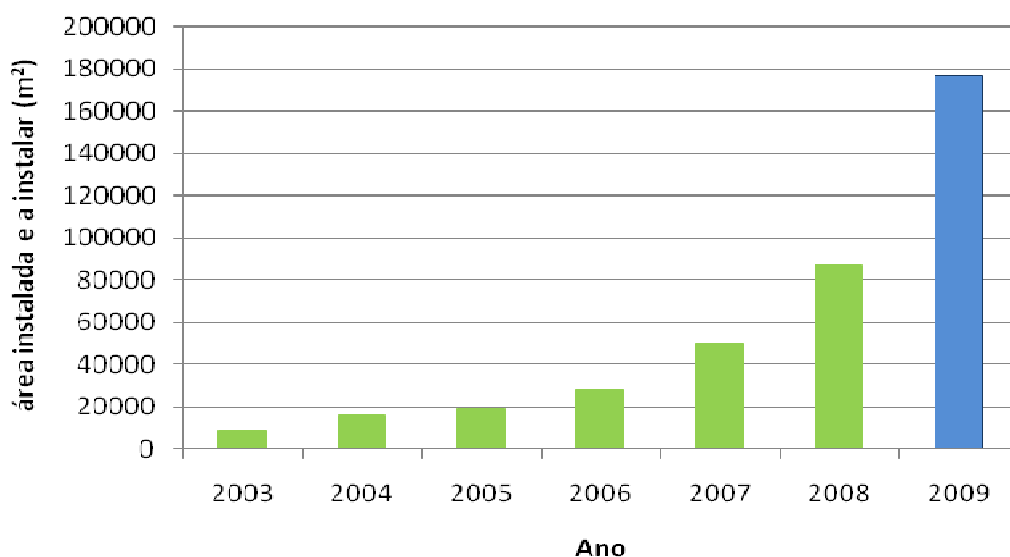


Figura 1.3. Evolução de área de colectores solares instalados em Portugal entre 2003 e 2009, sendo o valor de 2009 o total adjudicado (apenas no sector doméstico) através da medida do governo. [9]

Devido ao sucesso da medida no sector doméstico, ainda durante o ano de 2009 a medida foi alargada a Instituições Particulares de Solidariedade Social e Associações Desportivas de

Utilidade Pública, sendo nestas a comparticipação de 65% sobre a proposta melhor classificada que os diversos instaladores apresentassem. Para esta medida conjunta destinada a particulares, Instituições Particulares de Solidariedade Social e Associações Desportivas de Utilidade Pública foram disponibilizados 95 Milhões de euros [9].

No início de 2010, existiam diversas incertezas sobre a continuidade da medida solar térmica. No entanto, através do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), e sobre outros moldes continuou a ser subsidiada a instalação de SST não só em Instituições Particulares de Solidariedade Social e Associações Desportivas de Utilidade Pública, mas também para Pequenas e Médias Empresas [9].

Apesar dos esforços efectuados na implementação de políticas na área das energias renováveis, a dependência externa do sistema energético nacional ainda é elevada, e tem como implicações o crescimento da factura energética, que se traduz numa elevada intensidade energética do PIB (Produto Interno Bruto). Embora Portugal não atinja as capitações de outros países, o nível das emissões de gases com efeito de estufa reflectem a ineficiência do sistema energético nacional bem como o efeito do domínio dos combustíveis no mix energético nacional [16].

Quer esta seja através da redução da factura energética, quer seja através de medidas para a protecção do ambiente, quer seja ainda através do contributo para a modernização tecnológica dos agentes económicos e das empresas, pode-se aumentar a competitividade da economia nacional através do sector da energia. Só com o desenvolvimento de uma consciência energética e ambiental que seja comum e transversal à indústria, à construção, ao comércio, aos serviços e também ao turismo se pode reduzir de forma significativa a dependência energética do exterior bem como reduzir as emissões atmosféricas poluentes [8].

Com o intuito de reduzir a forte dependência energética externa (essencialmente de combustíveis fósseis), aumentar a eficiência energética, reduzir as emissões de CO₂, aumentar a qualidade do serviço e dos incentivos da concorrência através da adopção de um modelo de organização de empresas com capitais públicos do sector energético, o governo português tem vindo a estabelecer diversas medidas nos últimos anos para alcançar metas estabelecidas pela União Europeia.

De acordo com o cenário referido, devem-se implementar estratégias de redução na fonte das necessidades energéticas. A redução de necessidades energéticas tem especial importância no sector residencial e dos edifícios nos quais é possível, através de pormenores construtivos, reduzir de forma significativa as necessidades energéticas, permitindo ainda a integração de sistemas de energias renováveis.

A estratégia energética nacional e a legislação actual em Portugal, cada vez mais incutem e obrigam à redução de consumos na fonte nos edifícios, tal como obrigam à utilização de energias renováveis. Essa estratégia vai ao encontro do conceito NZEB. Este conceito recente traduz-se na

criação de uma nova forma de construir, em que os edifícios passarão a ser considerados como um produtor de energia e desse modo alia-se a utilização de conceitos bioclimáticos e boas práticas construtivas (como por exemplo a aplicação de isolamentos, a utilização de palas sombreadoras e o recurso a conceitos de construção de aproveitamento da energia solar passiva) que reduzem as necessidades energéticas do mesmo à utilização de energias renováveis, que no seu balanço anual permitem que o consumo energético do edifício seja próximo, igual ou excedentário relativamente à energia produzida.

Perante o panorama apresentado o objectivo desta dissertação é avaliar a quantidade de energia produzida anualmente para aquecimento através de um SST existente no Edifício Solar XXI. Para tal criaram-se dois cenários de consumo representativos de dois tipos de utilização diferentes. Assim sendo, através de simulações efectuadas com recurso ao Programa Solterm 5.1.3 do Laboratório Nacional de Energia e Geologia pode-se prever qual a contribuição energética e a respectiva redução de necessidades para climatização do referido edifício.

Para alcançar tal objectivo o trabalho divide-se em três capítulos fundamentais, para a percepção do âmbito do estudo efectuado, sendo por isso abordado no segundo capítulo o conceito de NZEB, no terceiro capítulo descreve-se o Solar XXI e as suas estratégias de redução de necessidades energéticas e de produção de energia, sendo no quarto capítulo caracterizado o SST existente e apresentadas as simulações e a discussão dos resultados obtidos.

2. CONCEITO EDIFÍCIO PRÓXIMO DA ENERGIA ZERO (NZEB)

É difícil conseguir indicar qual terá sido o primeiro edifício Zero Energy/Emissions Buildings (ZEB), pois que não se trata de um conceito recente, apenas de uma denominação consensualizada [17].

No entanto é importante distinguir claramente os conceitos que envolvem esta tendência construtiva, considerando diversos aspectos tais como, os objectivos do projecto as intenções do investidor, as preocupações climáticas e emissão de gases com efeito de estufa e o custo final da energia (Quadro 2.1.) [17].

DESIGNAÇÃO	DEFINIÇÃO
<i>NET ZERO SITE ENERGY</i>	Produção de pelo menos tanta energia (de origem renovável) quanto consome ao longo de um ano (energia contabilizada localmente)
<i>NET ZERO SOURCE ENERGY</i>	Produção de energia em quantidade suficiente para compensar as necessidades ao longo de um ano (contabilização efectuada na fonte). “Source Energy” refere-se à energia primária requerida para a produção de energia útil utilizada no local com a aplicação dos devidos factores de conversão
<i>NET ZERO ENERGY COSTS</i>	Produção e consequente venda da energia produzida em quantidade suficiente para compensar os custos associados à aquisição de energia necessária para a utilização do edifício ao longo de um ano
<i>NET ZERO ENERGY EMISSIONS</i>	Produção de energia “limpa” em quantidade suficiente para compensar a energia adquirida a partir de combustíveis convencionais ao longo de um ano.

Quadro 2.1. Definição de conceitos ZEB. [17] [18].

Quando se aplicam medidas de eficiência energética em termos construtivos combinadas com a produção local de energia a partir de fontes de energias renováveis, e o consumo energético do edifício é igual ou próximo da energia produzida, o resultado obtido pode ser “Net Zero Energy Buildings” ou “Near Zero Energy Buildings” [19].

De forma clara, alguns autores referem o conceito NZEB, como edifícios que no final de um ano típico são neutros. Para alcançar este conceito é fundamental que as necessidades de energia térmica e eléctrica sejam reduzidas e que a quantidade de energia injectada na rede seja igual à consumida [17] [19] [20] [21].

Este tipo de edifícios não tem que ser obrigatoriamente autónomo e isolado visto que poderá continuar ligado a uma rede energética, quer se trate de energia eléctrica, sistemas de distribuição de calor e frio, rede de gás, biomassa ou biocombustíveis [20] [22].

Quando a energia produzida pelos sistemas de energias renováveis não é suficiente o edifício utiliza energia proveniente da rede, e em caso de se verificar uma produção de energia eléctrica superior às necessidades esta é injectada na rede [17] [21].

O desempenho dos edifícios NZEB depende essencialmente de dois pressupostos fundamentais, a redução das necessidades energéticas do edifício e a produção de energia eléctrica ou outros tipos de energia a partir de fontes de energia renováveis, de forma a alcançar o balanço energético desejado (Figura 2.1.) [19] [20] [21].

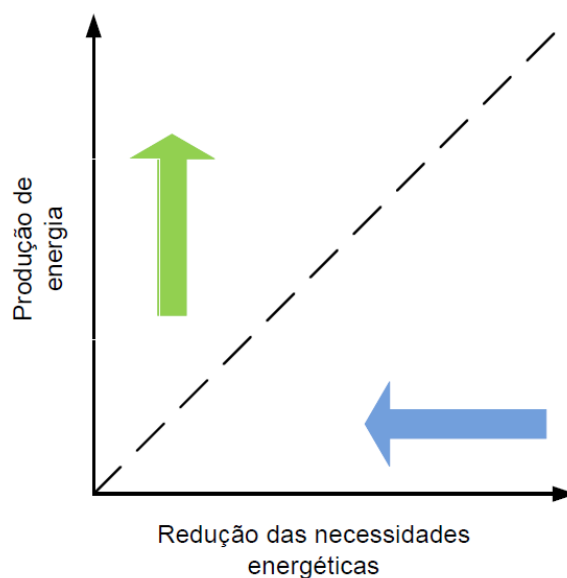


Figura 2.1. Forma de verificação do alcance do estatuto NZEB.

2.1. REDUÇÃO DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS

Os conceitos bioclimáticos encontram-se intimamente relacionados com a componente passiva das edificações, permitindo reduzir de forma significativa as necessidades energéticas. Desse modo é possível promover o conforto através do aproveitamento ou rejeição do frio ou calor. Assim sendo, a componente solar térmica passiva desempenha um papel relevante no comportamento térmico dos edifícios, quer se trate da envolvente opaca, quer se trate da envolvente transparente [23].

Assim sendo, o conceito de redução das necessidades de energia de um edifício deve ser uma parte de um contexto mais amplo, tratando-se de uma fase com uma importância preponderante, que deve ser tida em consideração quando se tomam decisões construtivas, quer seja em termos de arquitectura, materiais utilizados, áreas de vãos envidraçados, orientação do edifício e integração de soluções construtivas passivas, que irão reflectir o comportamento térmico do

edifício. Para que se alcance um bom desempenho energético de um edifício dever-se-á então ter em consideração aspectos como [1]:

- Localização e integração urbana do edifício, nomeadamente o ambiente onde se encontra inserido e condições climáticas;
- Optimização térmica do edifício recorrendo a soluções de isolamento que reduzem as perdas de calor;
- Optimização dos ganhos solares no Inverno e no Verão;
- Utilização de estratégias de sistemas passivos;
- Utilização de estratégias de iluminação natural;
- Utilização de estratégias de ventilação natural;
- Utilização de equipamentos e sistemas eficientes.

Se estes factores forem considerados aquando do projecto de um edifício consegue-se alcançar o objectivo de se estar perante um edifício de elevada eficiência energética [1].

Os sistemas passivos são dispositivos construtivos integrados nos edifícios que contribuem para o aquecimento ou arrefecimento natural. No que se refere à estação de aquecimento (Inverno) a utilização de SST passivos relaciona-se com a maximização da captação da radiação solar, através da construção de vãos envidraçados bem orientados e dimensionados aos quais podem estar associados elementos massivos, que dessa forma vão permitir o armazenamento da energia solar que depois será utilizada em horas posteriores. A estes dispositivos dá-se usualmente a denominação de sistemas de aquecimento passivo e são classificados da seguinte forma [24]:

- Ganho directo;
- Ganho indirecto ou desfasado;
- Ganho isolado.

Como este trabalho tem como objectivo a avaliação da contribuição de um SST activo nas necessidades energéticas do Solar XXI, a componente solar térmica passiva não vai ser abordada aprofundadamente.

2.2. PRODUÇÃO DE ENERGIA

As tecnologias de produção de energia com recurso a energias renováveis comumente integradas em edifícios são [1]:

- CST para produção de AQS ou climatização;
- Módulos PV para produção de energia eléctrica;
- Pequenas turbinas eólicas para produção de energia eléctrica.

Dependendo da sua dimensão e conseqüentemente da energia produzida é possível com estes sistemas alcançar o estatuto NZEB [1].

A energia solar térmica encontra-se largamente divulgada estando numa fase em que a tecnologia alcançou um bom patamar de fiabilidade e conhecimento. Os SST activos são responsáveis pela produção de energia solar térmica, que fica disponível em forma de água quente, a qual pode ser utilizada quer como AQS quer como água quente para climatização, sendo dessa forma um factor chave que reduz as necessidades de utilização de combustíveis convencionais para a obtenção de conforto térmico [23].

A fonte de energia eléctrica descentralizada e integrada em edifícios mais conhecida e usualmente utilizada em sistemas de pequena dimensão é a energia PV, normalmente designa-se por BIPV (Building Integrated Photovoltaic). O seu investimento inicial é elevado. No entanto, é o tipo de equipamento de energias renováveis com maior durabilidade, facilidade de integrar, instalar, controlar e manter em edifícios. Actualmente a sua integração em fachadas é mais usual [23].

A integração de energia eólica em edifícios para produção de energia eléctrica é usualmente feita através de sistemas de micro-produção ou mini-produção, com turbinas eólicas com potências que variam usualmente entre os 1kW e os 50kW. A aplicação urbana em massa desta fonte de energia renovável encontra alguns desafios tais como o padrão irregular do vento característico do ambiente urbano e os elevados custos de manutenção dos equipamentos. Assim sendo, o sucesso desta tecnologia em ambiente urbano dependerá da correcta avaliação do recurso disponível, do tipo de turbina e da sua instalação [23].

Ainda é possível a utilização de sistemas híbridos, que conjugam a utilização de módulos PV e turbinas eólicas, que teoricamente serão mais independentes [23].

3. O EDIFÍCIO SOLAR XXI

3.1. CLIMA LOCAL E DESCRIÇÃO GERAL

A cidade de Lisboa tem um clima temperado, sendo considerado que o período de aquecimento, correspondente ao Inverno, é de 5,3 meses e o período de arrefecimento é de aproximadamente 4 meses [19]. Os valores máximos de radiação global, tal como esperado, ocorrem durante os meses de Junho e Julho, enquanto que os valores de temperatura máxima ocorrem no mês de Agosto [25].

No entanto, as necessidades que se pretendem colmatar são ao nível do aquecimento e para a estação de aquecimento os valores de radiação global são sempre inferiores a 4kWh/m^2 (Figura 3.1.). O número de médio de horas de sol nos meses da estação de aquecimento varia entre as 140 e as 205 horas (Figura 3.2.).

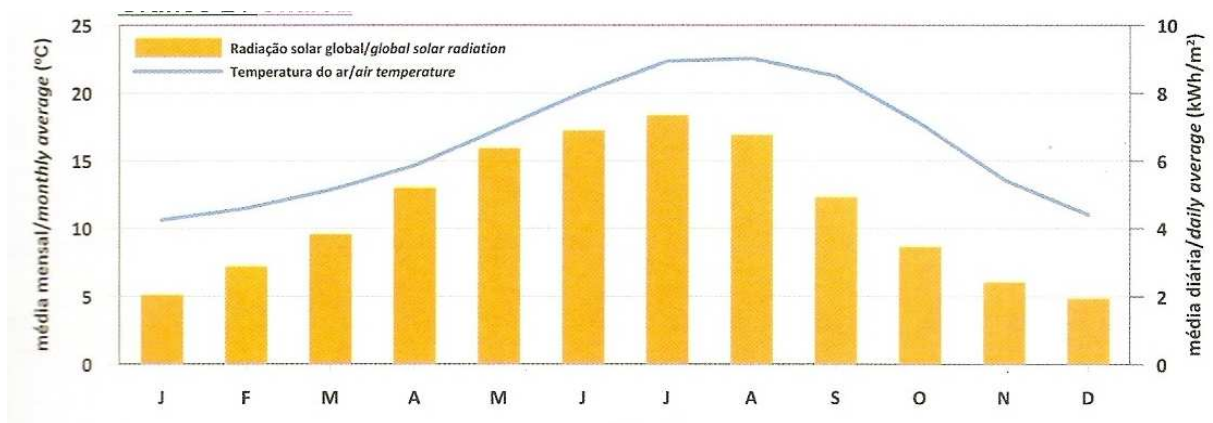


Figura 3.1. Valores médios mensais de temperatura do ar exterior e valores médios diários da radiação solar global nos meses de Janeiro a Dezembro. [25]

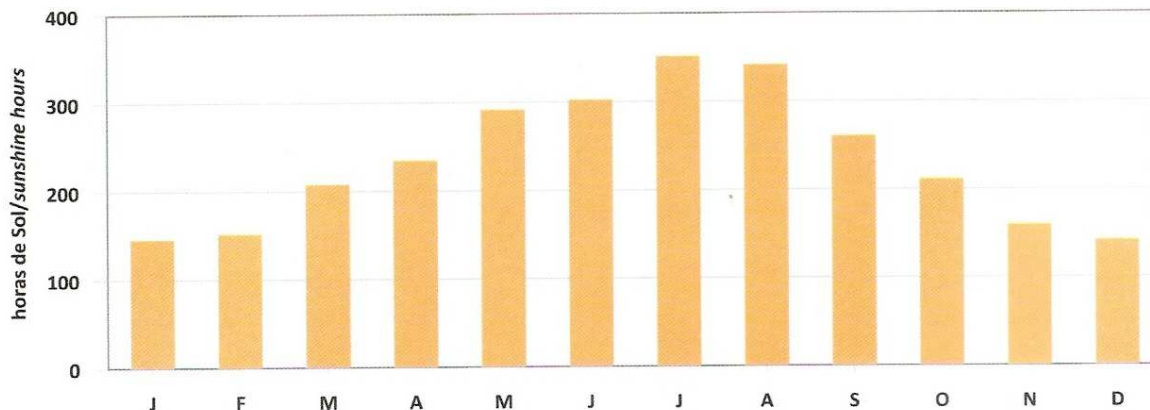


Figura 3.2. Número médio de horas de sol nos meses de Janeiro a Dezembro. [25]

O principal objectivo da construção do Solar XXI foi conseguir um edifício de serviços com baixas necessidades energéticas, para tal recorreu-se a um conjunto de soluções de sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento ambiente aliados à utilização de tecnologias renováveis, conseguindo dessa forma alcançar no edifício um bom conforto térmico ao longo do ano [25] [26].

As técnicas bioclimáticas utilizadas permitiram potenciar a utilização das energias renováveis, nomeadamente a energia solar térmica e PV, integrando simultaneamente as seguintes estratégias [25] [26]:

- Optimização térmica da envolvente;
- Aumento da área de captação de ganhos solares – fachada a sul, com um sistema de ganho directo para aquecimento;
- Dispositivos de sombreamento exteriores nos vãos orientados a sul;
- Fachada PV, para aproveitamento eléctrico;
- Recuperação de calor por convecção natural na fachada PV para aquecimento ambiente;
- CST para aquecimento ambiente;
- Sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados;
- Iluminação natural.

A construção deste edifício teve também como intenção demonstrar que a adequada utilização da energia solar é compatível com arquitecturas mais contemporâneas [26].

Com 1500m², o Solar XXI distribui-se por três pisos, é composto por três tipos de espaços distintos, nomeadamente, salas de reunião/formação, gabinetes de trabalho e laboratório [26] [27] [28].

Da utilização inicial prevista, era expectável que apenas as salas na fachada orientada a sul tivessem ocupação permanente, tirando partido da insolação directa e da recuperação de calor produzido pelos módulos PV, promovendo desse modo os ganhos de calor no Inverno; por sua vez as salas viradas a norte foram pensadas como se tivessem utilização sem ocupação permanente. A circulação e distribuição no edifício são efectuadas por uma zona central que tem uma ampla clarabóia com uma dupla função, iluminar zenitalmente os diversos pisos e permitir a ventilação dos vãos [26] [27].

O Solar XXI tem paredes simples de alvenaria de tijolo de 22cm de espessura, isoladas pelo exterior com 6cm de poliestireno expandido, a laje da cobertura é maciça, também isolada pelo exterior com 10cm, correspondendo 5cm a poliestireno expandido e os outros 5cm a poliestireno extrudido, o pavimento em contacto com o solo possui isolamento de 10cm de poliestireno expandido (Figura 3.3.) [19] [25] [26] [29].



Figura 3.3. Aspectos construtivos do Edifício Solar XXI. [25]

As diferentes espessuras de isolamento térmico aplicado consoante as zonas (paredes, cobertura e pavimento) minimizam as perdas térmicas do edifício. A opção de aplicação do isolamento térmico pelo exterior permite a correcção das pontes térmicas planas, o que na prática permite manter, durante o Inverno, a massa inercial do edifício no seu interior, mantendo o Solar XXI mais quente e reduzindo as necessidades de aquecimento, e no período do Verão transforma-se na primeira barreira à passagem do calor exterior diminuindo a condução de calor do exterior para o interior do edifício diminuindo dessa forma as necessidades de arrefecimento [25] [26].

Os vãos envidraçados do Solar XXI são constituídos por vidro duplo incolor com caixilho de alumínio de correr. Na fachada sul encontram-se protegidos por estores exteriores de lâminas reguláveis, controlados pelo utilizador, os quais permitem impedir os ganhos solares durante a estação de arrefecimento tal como regular a quantidade de luz natural em cada espaço [25] [26].

A área envidraçada ocupa cerca de 46% da fachada sul do Solar XXI e interage directamente com as salas com ocupação permanente [19].

Entre os amplos vãos envidraçados da fachada sul do Solar XXI estão integrados módulos PV com uma área total de aproximadamente 100m^2 e uma potência de pico de 12kW . Para além dos módulos PV da fachada sul existem ainda instalados módulos PV no parque de estacionamento com uma potência de pico de 6kW [25] [26] [27] [28].

3.2. ESTRATÉGIA DE AQUECIMENTO

A estratégia de aquecimento adoptada para o Solar XXI foi pensada de modo a que este tivesse uma resposta positiva às condições climáticas e que as condições de conforto térmico interior fossem satisfeitas, com base neste objectivo utilizaram-se dois princípios básicos [25]:

- Optimizar a qualidade térmica da envolvente;
- Potenciar a captação de ganhos solares.

Para optimizar a qualidade térmica da envolvente recorreu-se à utilização de isolamento térmico adequado a cada uma das zonas construtivas, pois a utilização de isolamento, como referido anteriormente, permite diminuir as perdas térmicas do edifício durante o Inverno. A aplicação de

isolamento térmico pelo exterior consegue corrigir as pontes térmicas e desse modo amortizam-se as variações exteriores da temperatura [25] [29].

A estratégia dominante para potenciar os ganhos solares no Inverno foi a utilização de amplas áreas envidraçadas. Assim sendo o Solar XXI apresenta uma fachada exactamente a sul com amplas áreas de vãos envidraçados os quais são os principais sistemas de ganho directo para aquecimento, devido a tratar-se do principal elemento de captação de ganhos solares (Figura 3.4.). Todas as outras fachadas do edifício apresentam vãos envidraçados com áreas mais pequenas [25] [29].



Figura 3.4. Fachada sul o Edifício Solar XXI. [27]

Durante os dias de sol a quantidade de energia recolhida por cada sistema de ganhos directos (vão envidraçado) é de 35MJ [29].

Para além dos princípios básicos construtivos, utilizou-se uma técnica relacionada com a recuperação de calor na face interior dos módulos PV e recorreu-se à utilização da tecnologia de produção de água quente para climatização através de SST, de modo a tentar alcançar o conforto térmico do Solar XXI, sem recorrer à utilização de meios convencionais que têm como fonte energética os combustíveis fósseis.

Entre os amplos vãos envidraçados da fachada sul do Solar XXI estão integrados módulos PV, a integração destes foi feita de modo a que fosse possível recuperar o calor emitido pelos mesmos quando em funcionamento, desse modo, a sua integração foi feita na fachada sul do edifício na posição vertical. Mesmo que a posição vertical penalize os ganhos dos módulos PV essa posição torna mais fácil a recuperação de calor através da convecção natural para o interior do edifício [26].

Para a recuperação do calor produzido pelos módulos PV existem dois respiradouros nas paredes do Solar XXI, os quais são controlados manualmente por cada utilizador de acordo com a estratégia pretendida [26].

Durante o Inverno, o utilizador deve abrir os dois respiradouros durante o dia para recuperar o calor gerado pelos módulos PV através de convecção natural contribuindo para o aquecimento do ar ambiente dos gabinetes e espaços contíguos (Figura 3.5.) [19] [25] [26] [27].

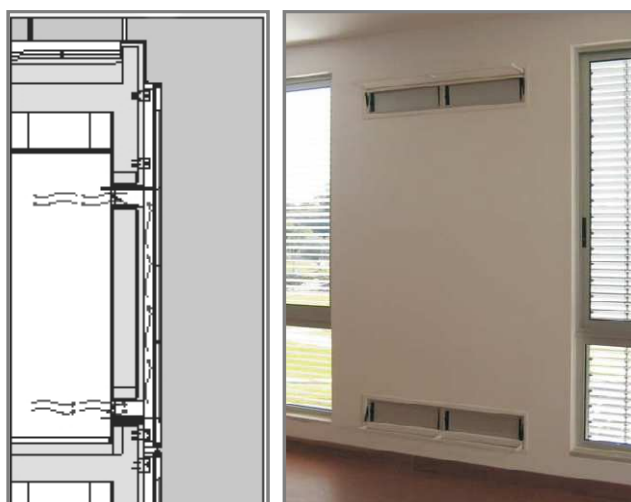


Figura 3.5. Esquema de recuperação de calor dos módulos PV da fachada sul do Edifício Solar XXI na estação de aquecimento e aspecto dos respiradores interiores. [25]

No período de meia estação este sistema poderá funcionar mas com o intuito de pré aquecer o ar novo, no qual se admite o ar do exterior por intermédio do registo exterior inferior, o qual depois de aquecido na conduta é insuflado directamente no interior da sala, por convecção natural através do registo localizado na parte interior superior (Figura 3.6.) [25] [26] [27].

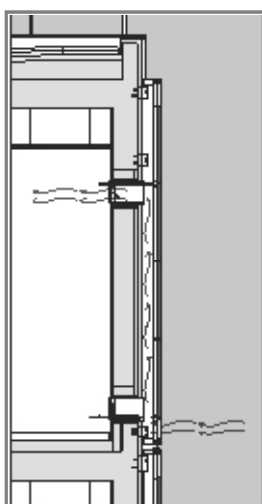


Figura 3.6. Esquema de pré-aquecimento de ar da fachada sul do Edifício Solar XXI na meia estação. [25]

Os ganhos solares obtidos pelos vãos envidraçados em conjunto com a recuperação de calor dos módulos PV e com o isolamento pelo exterior são os principais factores estratégicos para alcançar condições de conforto térmico nesta estação [26].

De modo a verificarem-se as condições de conforto térmico no interior do Solar XXI no período de Inverno, especialmente nas zonas norte, existe um sistema de aquecimento central com radiadores de parede (Figura 3.7.) que funcionam com uma caldeira a gás natural (Figura 3.8.) assistida por um conjunto de colectores solares instalados no telhado do edifício (Figura 3.9.) com um sistema de armazenamento na cave (Figura 3.10.) que acabam por reduzir as necessidades.



Figura 3.7. Radiadores de parede do sistema de aquecimento do Edifício Solar XXI



Figura 3.8. Caldeira a gás natural utilizada para aquecimento do Edifício Solar XXI.



Figura 3.9. Colectores solares instalados no Edifício Solar XXI para aquecimento ambiente e água quente sanitária.



Figura 3.10. Depósito de armazenamento de água quente do Edifício Solar XXI

3.3. ESTRATÉGIA DE ARREFECIMENTO

A elevada intensidade de radiação solar ocorre em Lisboa nos meses de Verão associada às elevadas temperaturas do ar exterior, podem dar origem a situações de sobreaquecimento nos edifícios. Para reduzir as elevadas temperaturas no interior do Solar XXI utilizou-se um conjunto de estratégias e medidas que permitem o seu arrefecimento natural, as quais conjugam o efeito da obstrução aos ganhos solares quer se trate da envolvente opaca, quer se trate da envolvente transparente [25].

Tal como para a estação de aquecimento, na estação de arrefecimento o isolamento também tem um papel preponderante no desempenho do edifício, só que enquanto no Inverno o isolamento mantém o calor dentro do edifício diminuindo as perdas de calor através das pontes térmicas planas, no verão constitui a primeira barreira à entrada do calor para o interior do edifício [29].

A utilização de um sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados proporciona o arrefecimento dos espaços através da entrada de ar (Figura 3.11.). O sistema de 32 tubos (manilhas de cimento) com um diâmetro de 30cm que se encontram enterrados a 4.6m de profundidade permitem recorrer ao importante potencial de frio do solo para arrefecer o ar exterior [19] [25] [26] [28] [29].

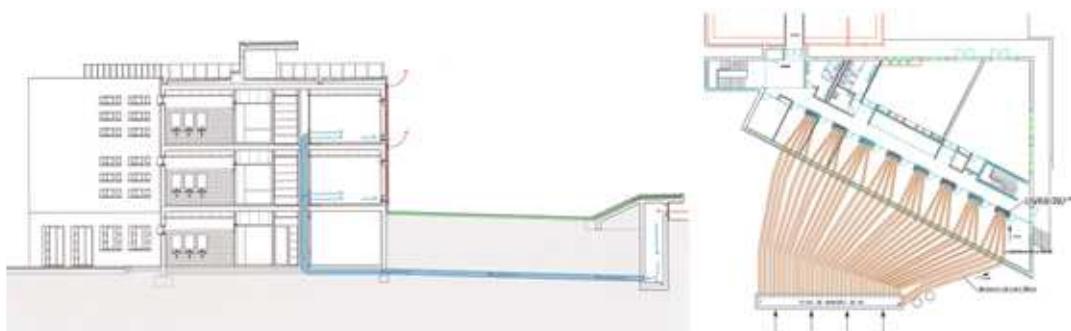


Figura 3.11. Sistema de tubos enterrados para arrefecimento e esquema de distribuição do ar arrefecido no Edifício Solar XXI. [27]

Os tubos enterrados funcionam como se fossem um permutador de calor arrefecendo o ar em contacto com a fonte fria que é o solo, sendo posteriormente insuflado no edifício por convecção natural ou forçada utilizando pequenos ventiladores.

A escolha das manilhas de cimento como meio de transferência de calor baseia-se no facto de serem um material com grande condutibilidade térmica, promovendo dessa forma as trocas de ar com os solo (Figura 3.12.) [25].

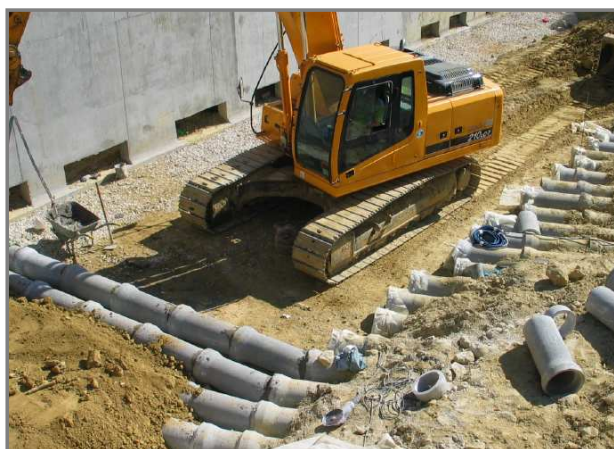


Figura 3.12. Aspecto da instalação do sistema de tubos enterrados de arrefecimento – manilhas de cimento. [27]

A entrada de ar para os tubos ocorre a cerca de 15m do Solar XXI através de um poço de alimentação [23] [25] [26]. O acesso destes tubos ao Solar XXI dá-se pelo piso semi-enterrado (piso -1), em tubagem plástica (PVC) (Figura 3.13.), uma vez que nesta fase já não é necessário promover as trocas de calor, ascendendo pelas coretes centrais do edifício (de material metálico) (Figura 3.14.) [25].



Figura 3.13. Aspectos do sistema de tubos enterrados de arrefecimento – tubagem plástica (PVC). [27]



Figura 3.14. Ascensão do ar arrefecido por tubos metálicos do Edifício Solar XXI. [27]

Esse sistema é usado no Verão quando a temperatura ambiente exterior pode estar entre os 30°C e os 35°C enquanto que a temperatura do solo se encontra entre os 14°C e os 18°C [19] [26].

A temperatura do ar arrefecido pelo solo que é injectado nas salas varia entre os 22°C e os 23°C o que permite que a temperatura interior desça 2°C a 3°C [19].

A distribuição do ar arrefecido pelo solo ocorre directamente e individualmente em cada sala do Solar XXI através de dois tubos por sala que podem ser controlados em termos de abertura e fecho pelo utilizador com um caudal de 200m³/h (Figura 3.15.) [25] [26] [29].



Figura 3.15. Aspectos da distribuição do ar arrefecido do sistema de tubos enterrados do Edifício Solar XXI. [27]

A eficiência deste sistema depende da utilização do mesmo. Se for promovida a insuflação de ar pelos tubos a partir do meio da tarde, que é a altura em que se requer ar frio para compensar o aumento da temperatura do ar interior, a sua eficiência será superior [25] [26].

Este sistema de arrefecimento, ao contrário de um sistema de ar condicionado, não deve estar em funcionamento durante todo o dia, daí que tenha que ser complementado com estratégias de ventilação natural [25].

A ventilação natural pode ser implementada através de aberturas nas diferentes fachadas para que ocorra uma ventilação transversal. A sua implementação no Solar XXI é uma solução complementar de arrefecimento do ar insuflado a qual tem gestão individualizada para cada utilizador [25] [28] [29].

A possibilidade de controlar a ventilação transversal deve-se à existência de registos reguláveis em bandeiras existentes sobre todas as portas, que ligam as salas ao corredor e ao poço central, que por sua vez permite uma ventilação ascendente por efeito de chaminé, existindo para tal no topo do poço aberturas motorizadas. Este fenómeno ascendente ocorre também nas escadas de distribuição do Solar XXI, a poente, que tem na parte inferior e superior aberturas que permitem a circulação do ar [19] [25] [29].

A ventilação natural tem um papel importante durante todo o ano. Durante o Inverno a ventilação natural permite a transferência de calor da zona sul do edifício para a zona norte. Por sua vez no Verão o conjunto de estratégias de ventilação diurna e nocturna determina o nível de cargas térmicas no interior do edifício e respectiva temperatura, sendo fundamental para o arrefecimento do edifício durante o período nocturno no Verão, sendo que as temperaturas exteriores associadas a esta estação do ano constituem uma importante fonte de arrefecimento do edifício [25] [26].

Contrariamente ao sucedido na estação de aquecimento, não interessa na estação de arrefecimento recuperar o calor produzido pelos módulos PV quando em funcionamento, mas é necessário que o calor seja libertado de modo a que não se transfira para o interior do edifício. Desse modo, a situação funcional recorrentemente utilizada é a extracção do calor dos módulos PV utilizando o registo superior e inferior dos módulos que comunicam directamente com o exterior, mantendo-se os respiradouros interiores totalmente fechados, no entanto também se poderá promover a saída de calor do interior da sala através do efeito chaminé (Figura 3.16.) [25].

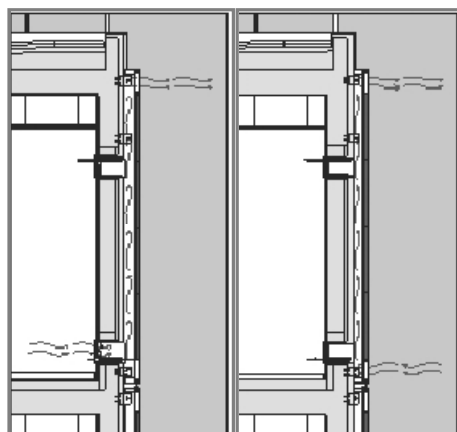


Figura 3.16. Esquema de funcionamento para libertação de calor para o exterior (efeito chaminé) e sistema de arrefecimento dos módulos PV da fachada sul do Edifício Solar XXI no Verão. [27]

Durante o Verão os ganhos directos de energia proveniente da radiação solar são desnecessários. Assim sendo, deve também ser uma estratégia de arrefecimento a utilização de dispositivos de protecção que promovam o sombreamento, tais como as lâminas exteriores existentes no Solar XXI [28] [29].

3.4. ILUMINAÇÃO NATURAL

O Solar XXI foi projectado considerando aberturas e vãos que determinassem a existência de uma excelente iluminação natural. Para além dos grandes vãos envidraçados a sul já referenciados, as portas de comunicação com o corredor têm bandeiras translúcidas que permitem o contacto com a zona central do edifício, o qual possui um poço de luz com clarabóias no topo que ilumina verticalmente toda a zona central. O poço de luz central é um dos principais elementos da estratégia de iluminação natural do edifício. Nas salas a norte e nascente para que ficassem com uma excelente iluminação natural construí-se uma parede cega exterior ao edifício que funciona como um elemento reflector (Figura 3.17.) [25].



Figura 3.17. Aspectos da iluminação natural do Edifício Solar XXI. [27]

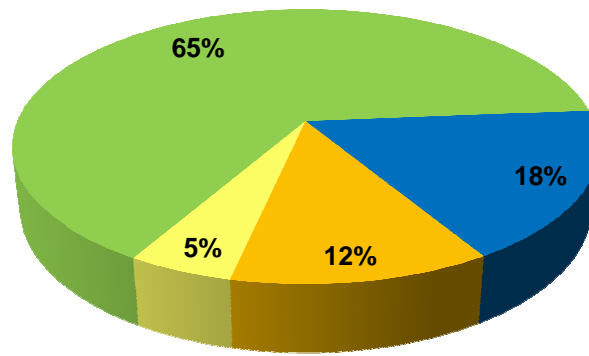
Este tipo de iluminação implica que as necessidades de energia eléctrica para iluminação sejam menores [19] [26]. Sendo que a potência instalada no que concerne à iluminação artificial é de $8W/m^2$ [28a].

3.5. PRODUÇÃO DE ENERGIA

O Solar XXI utiliza energia eléctrica para iluminação e equipamentos de escritório e gás natural numa caldeira associada a CST para o aquecimento ambiente.

A monitorização do Solar XXI e o modelo de simulação são dois factores cruciais para conseguir compreender o desempenho do edifício em termos energéticos. Enquanto que as componentes físicas construtivas são fáceis de ser modeladas com base nas ferramentas de simulação próprias, as características de utilização são difíceis de definir. Uma das formas de conseguir ultrapassar as diferenças entre o consumo previsto e a realidade de consumo é através da aferição do modelo de simulação através da desagregação das utilizações energéticas [19].

Através da ferramenta de simulação EnergyPlus do U. S. Department of Energy e de dados experimentais provenientes da medição no local estimou-se o consumo desagregado de energia primária (Figura 3.18.) [19].



■ Equipamentos de escritório ■ Iluminação ■ Aquecimento ■ Outros

Figura 3.18. Consumo desagregado da energia primária do Edifício Solar XXI.[19]

Como já referido o Solar XXI até 2010 tinha na sua fachada sul instalados 96m² de módulos PV, correspondentes a 76 módulos de silício policristalino com uma potência de pico de 12kW; sendo os restantes 95m² com uma potência de pico instalada de 6kW respeitantes aos módulos de silício amorfo do parque de estacionamento deste edifício (Figura 3.19.) [19] [25] [26] [28].



Figura 3.19. Aspecto dos módulos PV integrados na fachada sul e do parque de estacionamento do Edifício Solar XXI. [1]

A energia eléctrica que foi produzida diariamente em média no ano de 2007 pelo conjunto dos dois sistemas PV é de 54kWh, correspondendo 23kWh aos módulos do parque de estacionamento e os 31kWh restantes à fachada sul do Solar XXI. O consumo diário de energia eléctrica do Solar XXI é de 78kWh sendo por isso produzida localmente 70% da energia eléctrica consumida [25].

Até 2010, a potência de pico instalada no que concerne aos módulos PV (18kW) era responsável pela produção de aproximadamente 20MWh por ano, sendo como esperado variável ao longo dos anos [19].

O sistema de monitorização para o ano de 2007 demonstrou que o consumo total de energia eléctrica foi de 27MWh e a produção de energia eléctrica a partir dos módulos PV instalados foi de 21MWh, tendo como esperado um comportamento consoante a altura do ano (Figura 3.20.) [19].

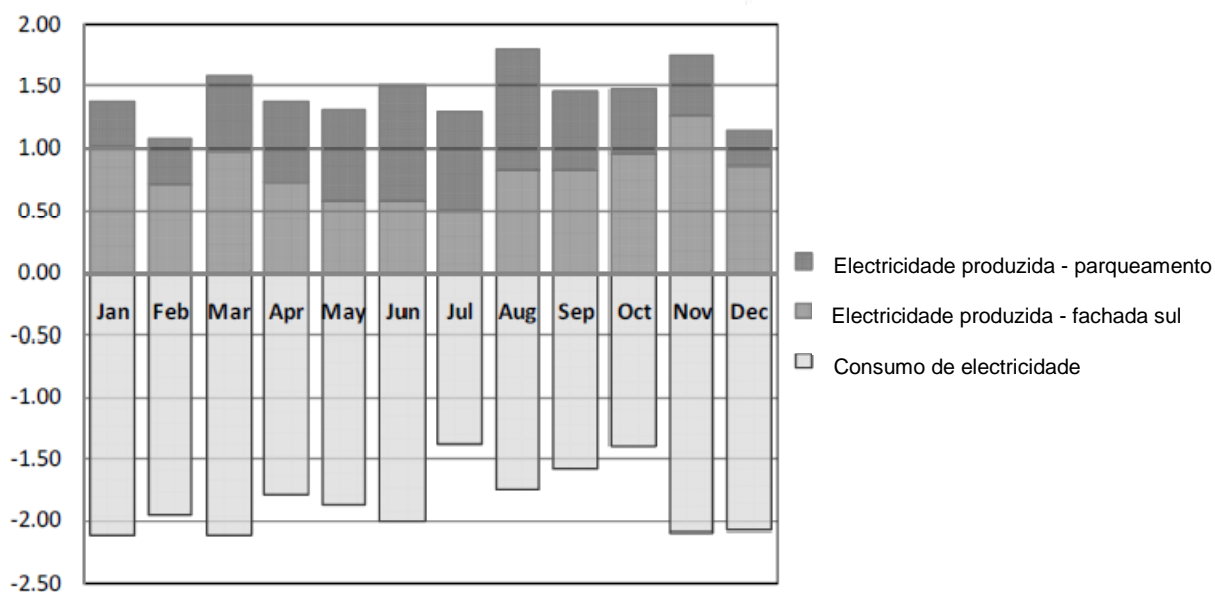


Figura 3.20. Consumos e produção de energia mensal do Edifício Solar XXI. [19]

No entanto, no início de Fevereiro de 2010 iniciou-se a instalação de um sistema de módulos PV complementar no parque de estacionamento com uma potência de pico de 12kW. Estes novos módulos PV são constituídos por 150 módulos de filme fino que ocupa uma área de 110m² que à semelhança do sistema pré-existente tem também a funcionalidade de provocar sombreamento e é esperado que tenha a mesma produtividade. Sendo expectável que a produção de energia eléctrica conjunta dos três sistemas ao fim de um ano venha a ser de 37MWh [19].

A tecnologia associada à produção de águas quentes e climatização é a utilização de uma caldeira a gás natural e CST, os quais estão colocados na cobertura do Solar XXI. O sistema de produção de AQS e climatização inicial era composto uma caldeira a gás natural, oito CST do tipo CPC e um sistema de armazenamento na cave do edifício [25] [28]. Recentemente este SST sofreu alterações. Ao nível dos CST os CPC existentes foram substituídos por oito colectores do tipo plano selectivo; o depósito de armazenamento actual tem um depósito de menor volume de acumulação dentro do depósito de maior volume de acumulação (tipo “tank in tank”).

As necessidades energéticas em termos de aquecimento ambiente foram calculadas em consonância com as necessidades energéticas dos sistemas existentes previstas para a utilização do Solar XXI. Para o aquecimento do Solar XXI, desenvolveu-se, segundo a especificidade dos espaços que se pretendia aquecer, um projecto que contempla a utilização de radiadores de parede, tendo sempre como principal preocupação a localização da caldeira de apoio e dos

depósitos de armazenamento, bem como do percurso a que a tubagem iria estar sujeita. Os radiadores de aquecimento utilizados são de alumínio termolacado com uma torneira termoestática à entrada, a alimentação de água quente aos radiadores é efectuada através de tubagem de polietileno reticulado com uma folha de alumínio integrada na sua composição (Pex-multicamada). A potência calorífica de cada elemento dos radiadores é de aproximadamente 221W considerando que a temperatura de entrada é de 90°C e a saída é de 70°C e que a temperatura ambiente é de cerca de 20°C. Cada sala tem consoante as suas necessidades energéticas, radiadores compostos por número de elementos variáveis (Quadro 3.1.) [30].

Como se sabe os projectos por vezes sofrem alterações no decurso da obra, foi então confirmado para todas as salas existentes a potência instalada para aquecimentos, tendo-se notado que no caso dos pisos 0 e 1 a potencia efectivamente instalada foi relativamente mais baixa (Quadro 3.2.).

PISO.RADIADOR	EXPOSIÇÃO	ESPAÇO	NÚMERO DE ELEMENTOS	POTÊNCIA DE AQUECIMENTO (W)
-1.1	Norte	Laboratório Biomassa	13	2.873
-1.2	Norte		13	2.873
-1.3	Norte		13	2.873
Total Piso -1			39	8619
0.1	Sul	Bar	9	1.989
0.2	Sul	Sala de convívio	8	1.768
0.3	Sul	Gabinete	9	1.989
0.4	Sul	Gabinete	9	1.989
0.5	Sul	Gabinete	9	1.989
0.6	Sul	Gabinete	9	1.989
0.7	Sul	Sala Monitorização Edifício	8	1.768
0.8	Sul		10	2.210
0.9	Sul		10	2.210
0.10	Norte	Sala Polivalente	7	1.547
0.11	Norte		10	2.210
0.12	Norte		10	2.210
0.13	Norte		10	2.210
0.14	Norte	Sala Bolseiros	10	2.210
0.15	Norte		10	2.210
0.16	Norte		10	2.210
0.17	Norte		10	2.210
Total Piso 0			158	34.918
1.1	Sul	Sala Reuniões	10	2.210
1.2	Sul		10	2.210
1.3	Sul	Secretariado	9	1.989
1.4	Sul	Sala Direcção	8	1.768
1.5	Sul		9	1.989
1.6	Sul	Gabinete	9	1.989
1.7	Sul	Gabinete	9	1.989
1.8	Sul	Gabinete	6	1.326
1.9	Sul		7	1.547
1.10	Norte		7	1.547
1.11	Norte	Auditório	10	2.210
1.12	Norte		10	2.210
1.13	Norte		10	2.210
1.14	Norte		10	2.210
1.15	Norte	Sala Desenho e Computadores	11	2.431
1.16	Norte		11	2.341
1.17	Norte		11	2.341
1.18	Norte		11	2.341
Total Piso 1			168	37.128
TOTAL EDIFÍCIO			365	80.665

Quadro 3.1. Quantificação dos Radiadores consoante os espaços do Edifício Solar XXI em projecto.

[30]

PISO.RADIADOR	EXPOSIÇÃO	ESPAÇO	NÚMERO DE ELEMENTOS	POTÊNCIA DE AQUECIMENTO (W)
-1.1	Norte		13	2.873
-1.2	Norte	Laboratório Biomassa	13	2.873
-1.3	Norte		13	2.873
Total Piso -1			39	8619
0.1	Sul	Bar	9	1.989
0.2	Sul	Sala de convívio	8	1.768
0.3	Sul	Gabinete	10	2.210
0.4	Sul	Gabinete	9	1.989
0.5	Sul	Gabinete	9	1.989
0.6	Sul	Gabinete	9	1.989
0.7	Sul		8	1.768
0.8	Sul	Sala Monitorização Edifício	10	2.210
0.9	Sul		10	2.210
0.10	Norte		8	1.768
0.11	Norte	Sala Polivalente	8	1.768
0.12	Norte		8	1.768
0.13	Norte		10	2.210
0.14	Norte		10	2.210
0.15	Norte	Sala Bolseiros	10	2.210
0.16	Norte		10	2.210
0.17	Norte		10	2.210
Total Piso 0			156	34.476
1.1	Sul	Sala Reuniões	11	2.431
1.2	Sul		10	2.210
1.3	Sul	Secretariado	9	1.989
1.4	Sul	Sala Direcção	8	1.768
1.5	Sul		9	1.989
1.6	Sul	Gabinete	9	1.989
1.7	Sul	Gabinete	9	1.989
1.8	Sul		6	1.326
1.9	Sul	Gabinete	10	2.210
1.10	Norte		12	2.652
1.11	Norte	Auditório	12	2.652
1.12	Norte		8	1.768
1.13	Norte		8	1.768
1.14	Norte		10	2.210
1.15	Norte	Sala Desenho e Computadores	11	2.431
1.16	Norte		11	2.431
1.17	Norte		11	2.431
Total Piso 1			164	36.244
TOTAL EDIFÍCIO			359	79.339

Quadro 3.2. Quantificação dos Radiadores consoante os espaços do Edifício Solar XXI reais.

4. SISTEMA SOLAR TÉRMICO DO EDIFÍCIO SOLAR XXI

4.1. TIPOS DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS

O bom funcionamento de um SST depende das boas práticas realizadas em obra mas também de um bom projecto. Todos os componentes do SST têm um papel importante no desempenho do mesmo. No entanto, o principal componente que influenciará toda a escolha de componentes é o CST, sendo então necessário conhecer os diferentes tipos existentes para adequar o CST à utilização pretendida.

Os CST funcionam como os permutadores de calor, transformando a radiação solar em calor. São os CST que estabelecem a ligação entre a energia proveniente do sol e a produção de água quente. O calor é “gerado” pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica, que tem o comportamento de um corpo negro (absorvor), sendo desta forma o componente mais importante do CST. No absorvor existe um sistema de tubos cuja funcionalidade é transferir o calor gerado para um fluido de transferência térmica, o qual entregara esta mesma energia directamente ou através de um depósito de armazenamento de água quente [31] [32].

O fluido circulante arrefece devido à permuta no depósito de armazenamento, este acaba por voltar à área de captação através da tubagem com recurso à utilização de uma bomba que obriga o referido fluido a voltar aos colectores solares, mantendo assim o sistema solar térmico em funcionamento enquanto houver energia solar para transferir (Figura 4.1) [31].

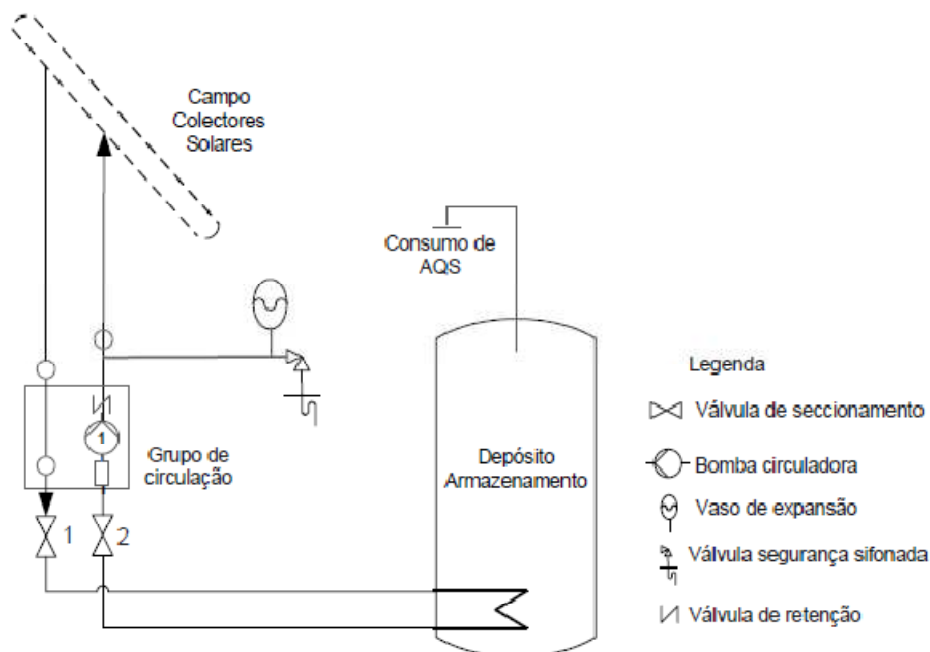


Figura 4.1. Esquema unifilar de um sistema solar térmico

As tecnologias de conversão da energia solar para utilização através de energia térmica dividem-se essencialmente em função da gama de temperaturas, sendo o desenvolvimento de cada uma delas em função desse mesmo parâmetro. Assim sendo, existem as utilizações que requerem baixas temperaturas, médias temperaturas, altas temperaturas (Quadro 4.1.) [10] Sendo as muito altas temperaturas utilizadas para produção de energia eléctrica através de centrais de concentração solar.

APLICAÇÃO	GAMA DE TEMPERATURAS
Baixa Temperatura	<90°C
Média temperatura	90°C < x <150°C
Alta Temperatura	>150°C

Quadro 4.1. Distribuição de utilização de colectores solares térmicos consoante a temperatura de utilização. [10]

As tecnologias de baixa temperatura utilizam-se essencialmente para aquecimento de água. Esta tecnologia encontra-se desenvolvida e alcançou um grau de maturidade bastante significativo. Neste âmbito utilizam-se essencialmente colectores estacionários planos ou do tipo CPC de baixa concentração. Não obstante ao desenvolvimento dos CST, nos dias de hoje também se encontram desenvolvidos os sistemas de armazenamento, para além das questões de dimensionamento e projecto seguem presentemente regras bem precisas não apenas de boas práticas mas também legais. O desenvolvimento destas tecnologias remonta à década de 70, desde então que se desenvolvem os métodos necessários de caracterização em laboratório dos equipamentos, quer ao nível do seu comportamento térmico, quer ao nível dos factores referentes à verificação de requisitos mínimos de segurança e qualidade. A aprovação de normas europeias em 2000, estabeleceu um conjunto de requisitos e ensaios a efectuar aos SST e seus componentes. Estes requisitos são a base de certificação dos produtos [10].

No que se refere às tecnologias de médias temperaturas aplicadas à indústria os SST podem ser utilizados para produção de vapor, condicionamento de ar (aquecimento e arrefecimento através de máquinas frigoríficas em que o campo de colectores constitui a fonte quente do ciclo termodinâmico), produção de electricidade por via térmica com turbinas de baixa temperatura e dessalinização com sistemas multflash. Para estas utilizações poder-se-ão utilizar à semelhança das tecnologias de baixa temperatura, os CST estacionários. No entanto, é necessário que os mesmos integrem mecanismos de redução de perdas térmicas como o vácuo e/ou a concentração. Esta última tecnologia reveste-se de especial interesse em aplicações de carácter industrial, sendo eventualmente utilizada até na produção de energia eléctrica por via térmica. No entanto, esta utilização ainda se encontra em fase de desenvolvimento [10].

Os SST de altas temperaturas a nível industrial utilizam-se essencialmente para a produção de energia eléctrica por via térmica através de tecnologias com seguimento do movimento aparente do sol [10].

As utilizações de muito altas temperaturas ocorrem para produção de energia eléctrica por via térmica, recorrendo a ciclos termodinâmicos de alta temperatura. Para alcançar esta gama de temperaturas utilizam-se colectores cilindro-parabólicos (centrais distribuídas ou centrais de torre) em que a concentração se obtém através de heliostatos (campo de espelhos planos) que concentram a radiação solar fazendo um acompanhamento do movimento aparente do sol [10].

Os CST são utilizados para converter a maior quantidade de radiação solar em calor e transferir o calor com um mínimo de perdas para o resto do sistema. Daí que existam diversos tipos de CST, os quais se utilizam consoante o custo, o rendimento requerido e a aplicação em questão, motivo pelo qual se deverá sempre fazer uma escolha adequada do CST consoante o projecto em questão.

Os CST para além de se dividirem consoante a gama de temperaturas de utilização dividem-se em CST estacionários e CST com seguimento solar (com um ou dois eixos de seguimento). Os CST estacionários podem dividir-se em três categorias (Quadro 4.2.) [32].

DENOMINAÇÃO	
Colectores solares térmicos Planos	Sem cobertura
	Com cobertura
Colectores Solares Térmicos Parabólicos Compostos	
Colectores solares térmicos de tubos de vácuo	

Quadro 4.2. Tipos de colectores solares térmicos estacionários. [31]

Os CST planos sem cobertura consistem exclusivamente num absorvedor de plástico para aquecimento de água e utilizam-se principalmente para aquecimento da água de piscinas. São o tipo de CST que possuem o menor rendimento porque não têm cobertura, revestimento e isolamento térmico, o que induz perdas de calor elevadas. Devido à sua construção e materiais utilizados são os colectores mais baratos [31].

Por sua vez os CST planos com cobertura disponíveis no mercado são compostos por absorvedores de metal dentro de uma caixa rectangular plana. Estes são dotados de isolamento térmico na parte inferior e lateralmente e na parte superior têm uma cobertura transparente (Figura 4.2.) [31] [32].

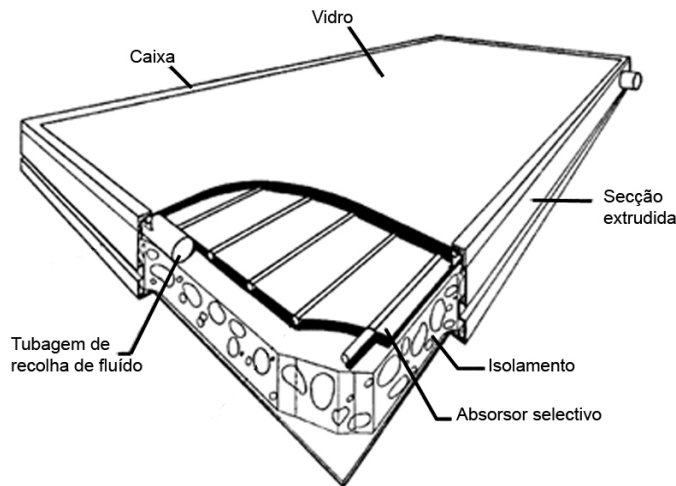


Figura 4.2. Esquema geral do perfil de um coletor solar térmico plano com cobertura. [32]

Este tipo de colectores pesa entre 15 e 20kg/m² e existem em diversas dimensões que podem ir dos 1,5m² até aos 12,5m². No entanto, os mais usuais têm cerca de 2m² [31].

Neste tipo de CST, o absorvedor está otimizado para ter maior capacidade de absorção e menor emissividade térmica. A chapa metálica é otimizada através de um revestimento de pintura preto-baço ou selectivo. O tratamento selectivo é formado por uma estrutura com diferentes camadas que melhora a conversão da radiação solar reduzindo as perdas por radiação do coletor [31].

Os revestimentos selectivos mais utilizados são feitos através de tratamento electroquímico (cromo - preto, níquel - preto), mas os últimos desenvolvimentos na área dos revestimentos aplicados permitem que os CST melhorem as suas características ópticas, como é o caso do revestimento por deposição física do tipo “*sputtering*” com TiNO_x que aumenta a absorção de energia quer para elevadas temperaturas quer para baixos níveis de irradiação. Este processo tem como principais características um menor consumo de energia e menores impactos ambientais durante a sua produção face aos revestimentos de cromo - preto e níquel - preto que usualmente são produzidos através de processos de cromagem [31].

O isolamento existente neste tipo de CST reduz, através de condução térmica, as perdas de calor para o ambiente. Quando não estão em funcionamento os CST podem atingir temperaturas na ordem dos 150°C a 200°C, para esta gama de temperaturas os isolamentos de fibra mineral são os mais indicados, para que este não derreta, encolha ou liberte gases, dando origem a eventuais condensações no interior do coletor ou a corrosão das superfícies metálicas, o que irá reduzir significativamente a eficácia destes. Habitualmente utilizam-se como isolamento o poliuretano, o poliuretano isento de CFC, a lã de rocha e a lã de vidro [31].

O absorvedor e o isolamento térmico estão dentro de uma caixa e encontram-se protegidos por uma cobertura transparente, que usualmente é de vidro mas que também pode ser de plástico, a qual

provoca o efeito de estufa e reduz as perdas de calor. A cobertura deverá ainda possuir características que permitam uma elevada transmissão de luz e deverá ter uma baixa reflexão [31] [32]. A cobertura deverá ainda garantir a estanquicidade do CST à água e ao ar, assim como deve resistir à pressão do vento, choques térmicos e ao impacto de objectos [31].

Com o intuito de reduzir as perdas térmicas dos CST planos desenvolveu-se uma tecnologia que através da redução da área de absorção comparativamente com a área de captação da radiação solar incidente se consegue diminuir as perdas térmicas. Este tipo de CST funciona pela concentração da radiação solar no absorvedor. Devido à configuração da superfície reflectora em forma de parábola, estes CST são denominados colectores parabólicos compostos, também conhecidos por concentradores do tipo CPC [31]. Estes CST são constituídos por um sistema de absorvedores que permitem absorver a radiação de forma semelhante aos CST planos e um sistema de reflexão da radiação que permite a absorção da radiação na parte inferior do absorvedor. A superfície reflectora, através da sua configuração permite concentrar a radiação com a utilização de materiais espelhados com elevado nível de reflectividade (Figura 4.3.) [31] [32].

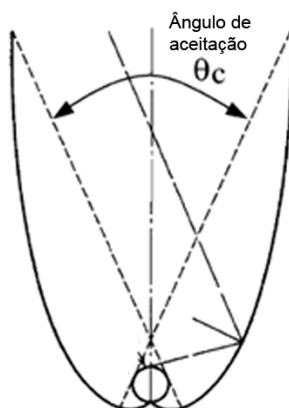


Figura 4.3. Esquema tipo de um coletor solar térmico parabólico composto (CPC). [32]

Os CST planos foram concebidos idealmente para serem utilizados em climas quentes e com elevada radiação, como é o caso de Portugal. Em climas mais frios e nebulosos o seu rendimento diminui significativamente [32]. Desse modo desenvolveu-se uma tecnologia de CST que tem perdas térmicas menores, que consistem em tubos de vidro com absorvedores internos sujeitos a vácuo (Figura 4.4.) [31].

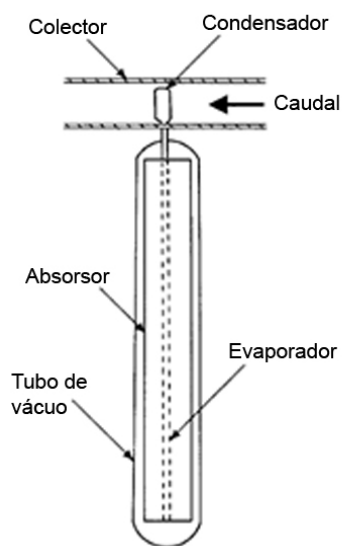


Figura 4.4. Esquema tipo de um tubo de vácuo. [32]

Para que sejam eliminadas as perdas de calor por convecção neste tipo de CST a pressão dentro dos tubos de vidro deve ser pelo menos de 10^{-2} bar. Um aumento adicional de evacuação reduz as perdas por condução térmica. Deste modo as perdas de calor para a atmosfera são significativamente menores e mesmo perante temperaturas de absorção acima dos 120°C os tubos de vidro continuam frios no exterior. Usualmente os tubos de vácuo são evacuados abaixo dos 10^{-5} bar. As perdas por radiação, uma vez que as características da perda do coletor não dependem do meio em que se encontra, não podem ser reduzidas pela criação de vácuo. No entanto, à semelhança dos CST planos, podem obter-se reduções das perdas de calor por radiação através da utilização de revestimentos selectivos [31].

Os CST tipo tubo de vácuo são um conjunto de tubos que estão ligados entre si pelo topo através de um distribuidor ou caixa colectora no qual se localiza o isolamento e as linhas de alimentação e retorno. Neste tipo de CST de vácuo os absorvedores são instalados como absorvedores planos, convexos ou cilíndricos. A forma tubular deste tipo de CST controla através da sua alta compressão, as forças que aumentam com o vácuo [31].

O CST escolhido para o apoio do sistema de aquecimento com caldeira e radiadores de parede do Solar XXI, considerando o clima local e a gama de temperaturas necessárias ao funcionamento foi do tipo plano com cobertura.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO

A instalação de CST no Solar XXI foi feita com o intuito de produzir AQS para as baixas necessidades do Edifício, mas foi essencialmente instalado para produzir água quente de modo a reduzir as necessidades de aquecimento.

A recente remodelação do SST do Solar XXI incidiu essencialmente na alteração do tipo de CST, do tipo de depósito de armazenamento e da estratégia de funcionamento. O aquecimento do Solar XXI presentemente é feito através de dois regimes de funcionamento (Figura 4.5.). Assim sendo, o aquecimento é feito exclusivamente pelo SST (Figura 4.6) ou exclusivamente pela caldeira (Figura 4.7). A estratégia de aquecimento dá claramente prioridade ao solar.

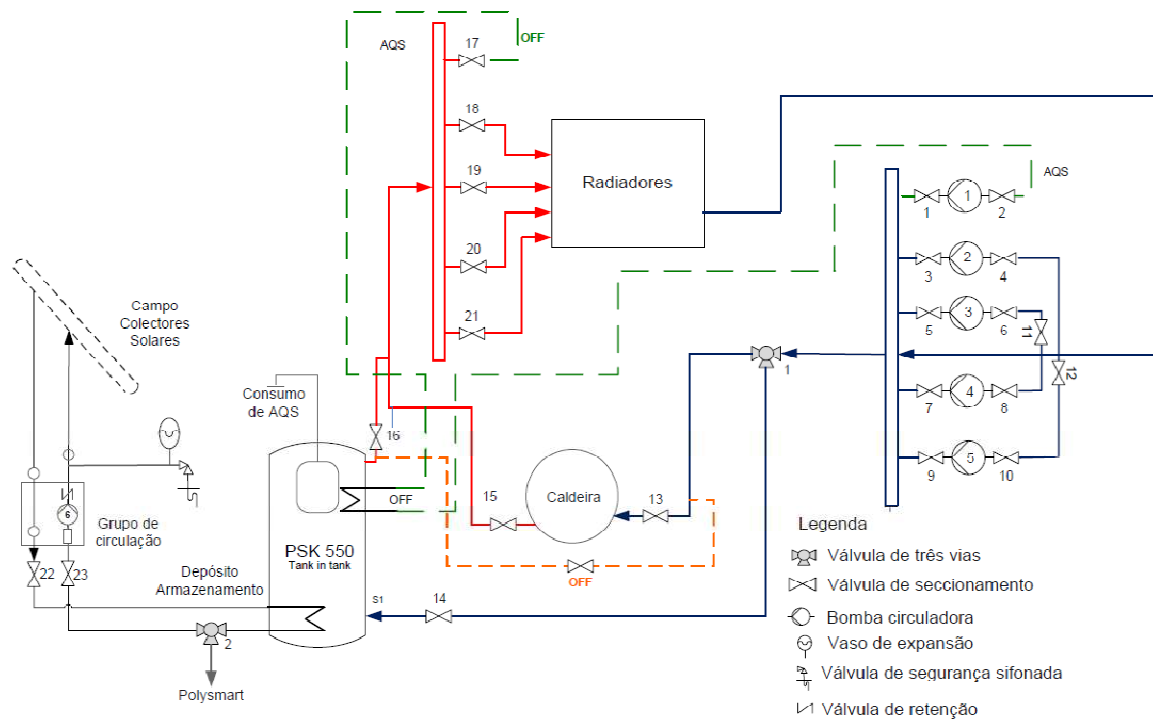


Figura 4.5. Esquema Unifilar Geral de Aquecimento do Solar XXI

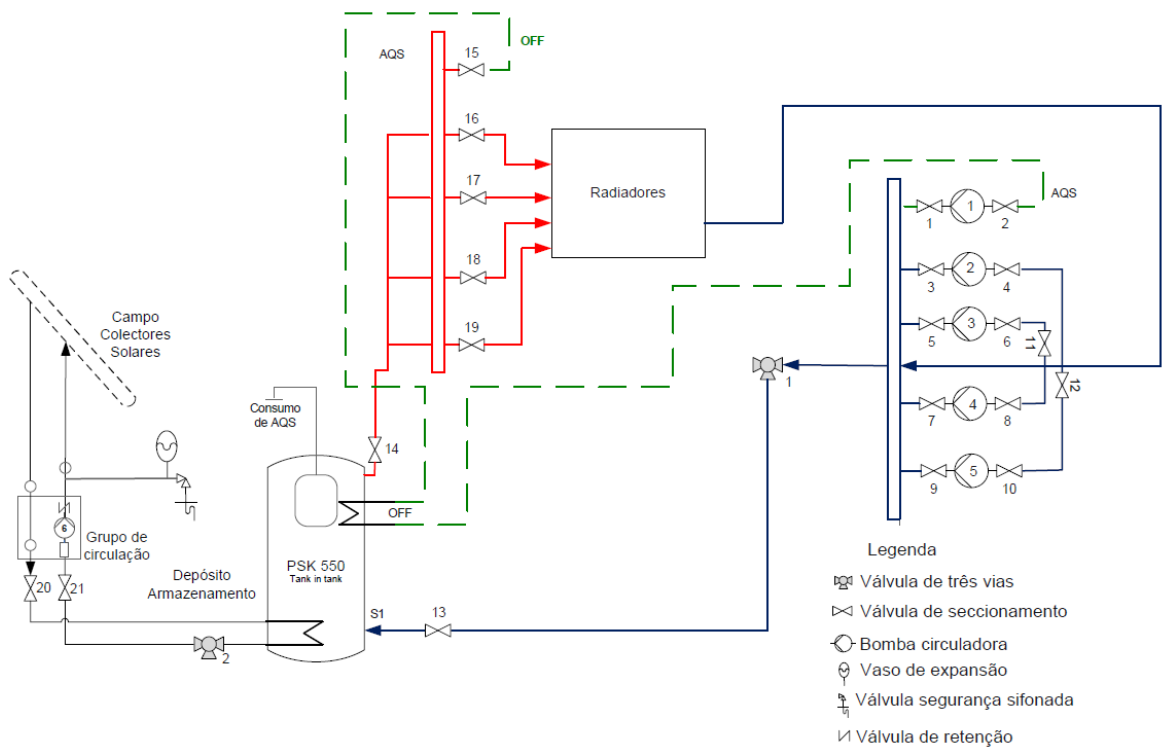


Figura 4.6. Esquema Unifilar de Aquecimento do Solar XXI através do SST

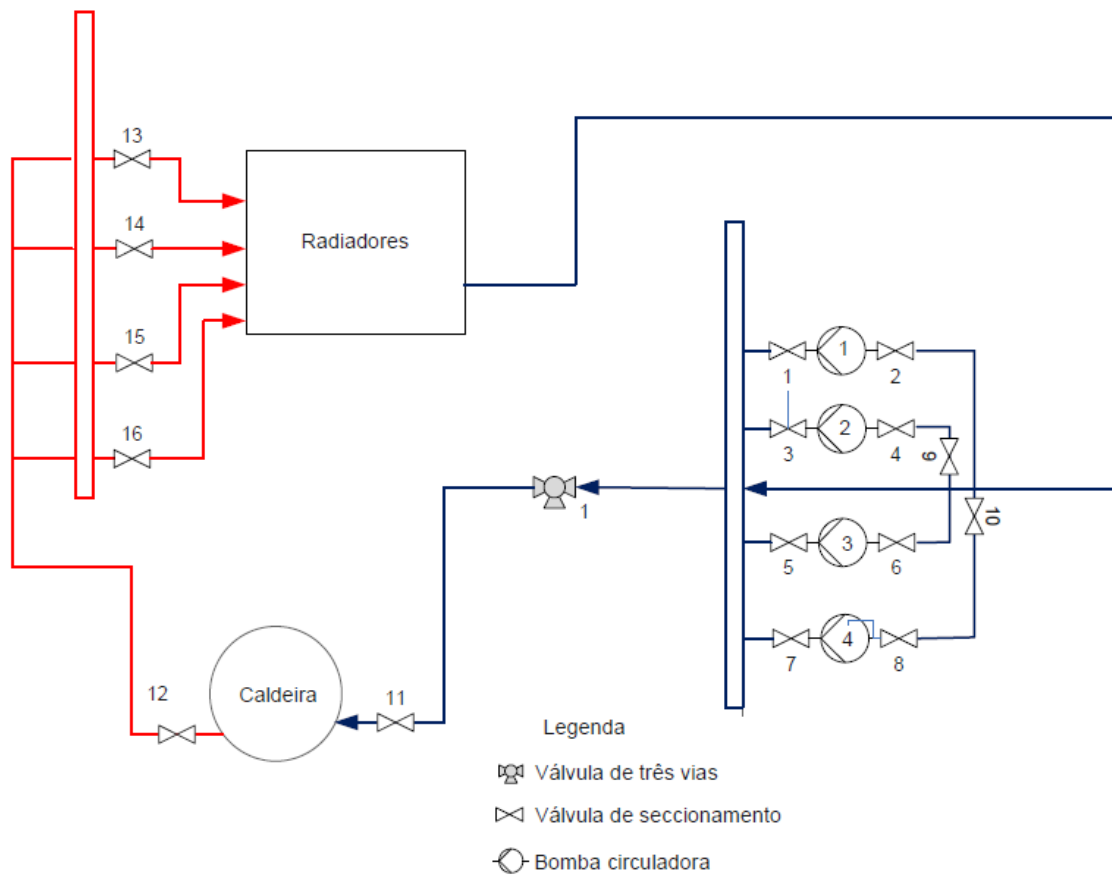


Figura 4.7. Esquema Unifilar de Aquecimento do Solar XXI através da caldeira

O campo de CST é constituído por 8 colectores planos selectivos, instalados em 4 baterias em paralelo, tendo cada bateria dois colectores em série, sendo a alimentação do campo de colectores invertida (Figura 4.8.).

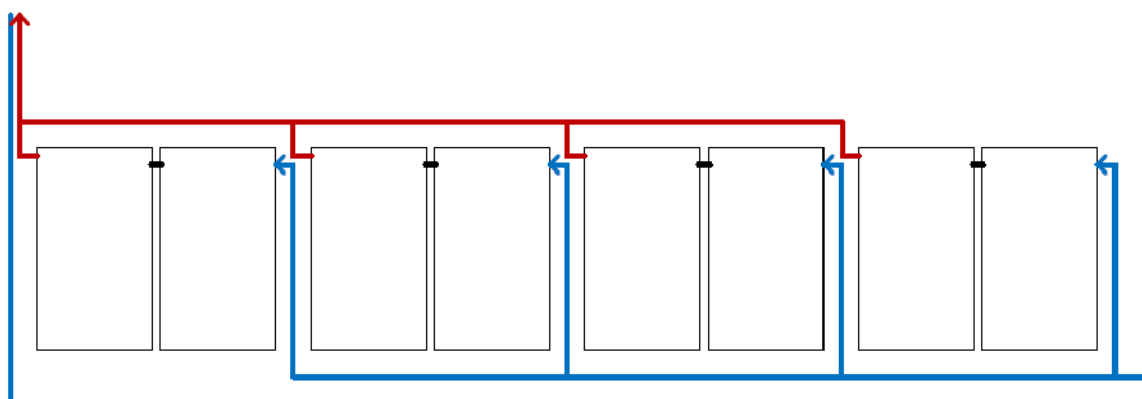


Figura 4.8. Esquema unifilar de ligação dos colectores solares do Solar XXI

Os CST escolhidos para o SST são da marca Sonnenkraft, modelo SK500 N de utilização na horizontal. Estes CST são certificados pela DIN CERTCO (Certificado 011-7S068 F), apresentando as características do Quadro 4.3..

CARACTERÍSTICAS COLECTOR SK 500 N	
Área de absorção	2,211m ²
Rendimento óptico	0,770
Coeficiente a1	3,494W/m ² .K
Coeficiente a2	0,017W/m ² .K ²
Modificador de ângulo a 50°	0,95
Temperatura de estagnação	218°C

Quadro 4.3. Algumas características técnicas do colector SK500N [33]

A cobertura do Solar XXI possui ainda espaço para instalar mais baterias de CST, mas como actualmente se trata de um sistema com aplicação sazonal tem que ser tido em conta que fora da estação de aquecimento a sua utilidade é reduzida, daí que energeticamente nesta fase seja mais importante não sobredimensionar o sistema para não ter desperdícios muito elevados em grande parte do ano.

Já fora do âmbito deste trabalho o SST do Solar XXI vai ser monitorizado e será esta monitorização que permitirá aferir se o campo de CST instalado se encontra adequado à utilização pretendida.

A tubagem do SST é feita na íntegra em tubo de Cobre diâmetro 22mm com 1mm de espessura tendo por isso um diâmetro interno de 20mm. A tubagem tem um comprimento total de 110m, dos quais 72m se encontram no exterior. A tubagem tem um isolamento de 30mm e o percurso exterior tem protecção mecânica.

O depósito de acumulação é da marca Sonnenkraft modelo PSK550. Trata-se de um depósito “tank in tank”. Este tipo de depósito tem um tanque de menores dimensões dentro do depósito maior, o qual tem como função manter a AQS separada do resto da água acumulada, existindo assim dentro do mesmo depósito um volume exclusivamente para AQS e um volume exclusivamente para a produção de água quente para climatização. Este depósito caracteriza-se pelas seguintes características presentes no Quadro 4.4..

CARACTERÍSTICA	
Capacidade do depósito	540l
Capacidade do depósito interior	150l
Diâmetro com isolamento	825mm
Diâmetro sem isolamento	650mm

Quadro 4.4. Algumas características técnicas do depósito PSK550

O depósito de acumulação encontra-se na posição vertical dentro de uma sala técnica. A permuta de calor entre o circuito primário e o depósito ocorre numa serpentina interior ao depósito. O depósito de armazenamento tem na sua parte mais baixa um termóstato que quando regista uma temperatura de 45°C emite um sinal eléctrico, o qual será responsável pelo fecho da válvula de três vias a qual é responsável pela condução do caudal ou para a caldeira ou para o depósito de acumulação do SST, e pára as bombas do circuito das caldeiras, ficando apenas a funcionar o SST.

Para aferir a escolha do depósito de armazenamento é necessário calcular o caudal volúmico. Para realizar esse cálculo primeiramente calcula-se o caudal óptimo de fluido térmico (Equação 1):

$$m = \frac{10 \times F'U_L}{C_p} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

m – Caudal mássico ($kg/s.m^2$)

F^{UL} – Coeficiente de perdas de calor do colector (W/m^2K)

C_p – Calor específico do fluido (com 25% de anticongelante a 60°C)($J/(Kg.°C)$)

$$m = \frac{10 \times 3,384}{4072} = \frac{33,84}{4072} = 0,0083kg/s.m^2$$

Seguidamente é necessário calcular a área de CST total. Como a área de absorção é de 2,211m² e se trata de 8 colectores a área total é de 17,69m². Logo o caudal mássico total do campo de colectores é:

$$m = 0,0083 \times 17,69 = 0,1468kg/s$$

Sabendo o caudal mássico total do campo de colectores é necessário convertê-lo em caudal volúmico (Equação 2).

$$Q = \frac{m}{l}$$

Equação 2

Em que:

Q – Caudal volumico (m^3/s)

m – Caudal mássico (kg/s)

l – Massa específica da água com glicola 25%(kg/m^3)

$$Q = \frac{m}{l} = \frac{0,1468}{1016} = 1,44 \times 10^{-4} m^3/s$$

Para obter o caudal volúmico em termos horários multiplica-se o valor obtido por 3600 segundos, obtendo dessa forma o valor pretendido.

$$Q = 1,44 \times 10^{-4} \times 3600 = 0,520 m^3/h = 520l/h$$

Com este caudal e com as características técnicas do depósito verifica-se que o depósito escolhido está perfeitamente adequado à utilização pretendida.

A partir da obtenção do caudal volúmico calcula-se o diâmetro da tubagem a utilizar para tal impõe-se uma velocidade máxima de modo a garantir que não existirão velocidades elevadas no sistema (Equação 3).

$$d = \sqrt{\frac{(4 \times Q)}{(\pi \times v)}} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

d – Diâmetro da tubagem (m)

Q – Caudal volumico (m^3/s)

v – Velocidade, imposta para efeitos do cálculo do diâmetro (m/s)

$$d = \sqrt{\frac{(4 \times Q)}{(\pi \times v)}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.44 \times 10^{-4}}{\pi \times 0.6}} = \sqrt{\frac{5.76 \times 10^{-4}}{1.8849}} = \sqrt{3.06 \times 10^{-4}} = 0,0175m = 17,5mm$$

Após a obtenção do diâmetro interno deve-se verificar qual o diâmetro comercial mais próximo sempre por excesso e nunca por defeito. Para o diâmetro calculado o diâmetro de tubo comercial de cobre para instalações de sistemas solares térmicos mais próximo é 22mm, que corresponde a um diâmetro interno de 20mm.

Após a escolha do diâmetro a utilizar é necessário recalculer a velocidade do circuito primário do sistema através da Equação 3.

$$v = \frac{4 \times Q}{d^2 \times \pi} = \frac{4 \times 1.44 \times 10^{-4}}{0,02^2 \times \pi} = \frac{5,76 \times 10^{-4}}{0,0013} = 0,44m/s$$

Conhecendo esta nova velocidade é necessário verificar que a tubagem não tem perdas de carga superiores a 4mbar por metro linear de tubo (valor de referência), aplicando-se para tal a Equação 4.

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho g} = f \times \frac{1}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times L \text{ (mca)} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

ΔH – Perdas de carga na tubagem (mca)

f – Factor de atrito

d – Diâmetro da tubagem (m)

v – Velocidade corrigida para o diametro de tubagem escolhido (m/s)

g – Aceleração da gravidade (m^2/s)

L – Comprimento (m)

No entanto para calcular as perdas de carga na tubagem é necessário conhecer o factor de atrito. Para obter o mesmo consulta-se o diagrama de Moody considerando a rugosidade relativa do tubo e o número de Reynolds (Equação 5).

$$R_e = \frac{v \times d}{\vartheta} \quad \text{Equação 5}$$

Onde

R_e – Número de Reynolds (adimensional)

v – Velocidade corrigida para o diametro de tubagem escolhido (m/s)

d – Diâmetro da tubagem (m)

ϑ – Viscosidade Cinemática (para esta mistura é aproximadamente $2mm^2 \cdot s^{-1}$) (m^2/s)

$$R_e = \frac{0,44 \times 0,02}{2 \times 10^{-6}} = \frac{0,0088}{2 \times 10^{-6}} = 4.400$$

O número de Reynolds calculado indica que se trata de um regime turbulento, logo será necessário através do Diagrama de Moody (Anexo I) verificar o factor de atrito e para tal é necessário calcular a rugosidade relativa (Equação 6).

$$\text{Rugosidade Relativa} = \frac{k}{d} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

k – Rugosidade do tubo de cobre(mm)

d – Diâmetro da tubagem (mm)

Logo:

$$\text{Rugosidade Relativa} = \frac{0,0015}{20} = 7,5 \times 10^{-5}$$

Da consulta do Diagrama de Moody para uma rugosidade relativa de $7,5 \times 10^{-5}$ e com o número de Reynolds igual a 4.400 verifica-se que o factor de atrito é 0,038.

Depois de obter o factor de atrito substitui-se a Equação 4 e verifica-se se as perdas de carga do sistema são inferiores ao valor de referência.

$$\Delta H = f \times \frac{1}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times L = 0,038 \times \frac{1}{0,02} \times \frac{0,44^2}{2 \times 9,8} \times 1 = \frac{7,3568 \times 10^{-3}}{0,396} = 0,0186mca$$

$$\Delta P = \Delta H \times \rho \times g = 0,0186 \times 1016 \times 9,8 \approx 185Pa \approx 1,85mbar$$

O valor de perda de carga por metro linear de tubo é inferior aos 4mbar de referência o que indica que a tubagem escolhida é adequada.

4.3. SIMULAÇÕES ENERGÉTICAS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A potência requerida para climatizar as salas existentes no Solar XXI foi útil para escolher a potência da caldeira uma vez que habitualmente estes sistemas de aquecimento encontram-se ligados directamente a uma caldeira que é responsável pela produção da energia térmica requerida. O SST é integrado no referido sistema de aquecimento para diminuir as necessidades de energia térmica, passando a caldeira a ter que produzir menor quantidade de energia. No entanto, é necessário que a caldeira existente tenha potência suficiente para colmatar as necessidades requeridas de modo a que, em caso de o SST não produzir energia, o aquecimento permaneça assegurado.

Para poder prever a contribuição energética do SST instalado no Solar XXI efectuaram-se duas simulações com base em características técnicas dos equipamentos e com diferentes pressupostos no que concerne às necessidades de aquecimento.

As simulações do SST instalado (Anexo II) foram efectuadas para Lisboa.

O sombreamento deve ser determinado para saber se pode afectar o SST. O sombreamento da instalação é determinado desde o ponto intermédio da aresta inferior do CST, tomando como referência a intersecção da trajectória solar no dia mais desfavorável do período de utilização. No entanto a área de implantação dos CST não tem nas proximidades objectos responsáveis por causar sombreamento e como se pretende a utilização de apenas uma fileira de CST não é necessário calcular a distância que deve existir entre CST de forma a não serem sombreados pela fileira precedente. Desse modo o sombreamento contemplado em simulação foi de 3º (sombreamento por defeito).

Utilizaram-se no SST 8 CST tipo plano com cobertura da marca Sonnenkraft modelo SK 500 N com um caudal calculado de 29,4l/h por cada metro quadrado de colector e a percentagem de glicol é de 25%.

A inclinação dos CST calcula-se consoante a utilização que se pretende dar ao SST. Neste caso específico, à latitude do local somam-se 15º devido à utilização preferencial de inverno por se tratar de um sistema utilizado essencialmente para contribuir na redução das necessidades térmicas de aquecimento. Desse modo, para a utilização requerida, a inclinação dos colectores solares é de:

$$\text{latitude de lisboa} + 15^\circ = 38^\circ 42' + 15^\circ = 53^\circ 42' \approx 54^\circ$$

Por uma questão de facilidade de instalação em obra arredondou-se para 50º.

Como referido anteriormente, a tubagem é de cobre com diâmetro nominal de 22mm e tem um comprimento de 110m dos quais 72m são no exterior e têm protecção mecânica. O isolamento utilizado tem uma espessura de 30mm.

O depósito encontra-se na posição vertical dentro da sala técnica e tem um volume de acumulação de 540litros com uma serpentina interior para efectuar a permuta de calor. Foi considerado como apoio o gás natural, por ser o combustível que a caldeira existente consome e se o SST não entregasse energia seria esse o combustível utilizado para conseguir alcançar o conforto térmico dos diferentes espaços do Solar XXI.

Quanto às necessidades energéticas criaram-se dois cenários, um mais pessimista (A) em que se considera que as necessidades de aquecimento são entre as 7:00h até às 20:00h e que todas as salas do Solar XXI têm todos os radiadores ligados durante o referido período (valores de

potências instaladas apresentadas no Quadro 3.2.); e um cenário (B) em que o regime horário de funcionamento é o mesmo mas apenas as salas viradas a norte com ocupação permanente têm o aquecimento ligado à sua potência máxima, as salas com ocupação esporádica não são incluídas e para as salas com exposição a sul apenas se considera metade da potência instalada de aquecimento, sendo este mais representativo do funcionamento do Solar XXI (Quadro 4.5.).

PISO.RADIADOR	EXPOSIÇÃO	ESPAÇO	NÚMERO DE ELEMENTOS	POTÊNCIA DE AQUECIMENTO (W)
-1.1	Norte		13	2.873
-1.2	Norte	Laboratório Biomassa	13	2.873
-1.3	Norte		13	2.873
Total Piso -1			39	8619
0.1	Sul	Bar	9	995
0.2	Sul	Sala de convívio	8	884
0.3	Sul	Gabinete	10	1.105
0.4	Sul	Gabinete	9	995
0.5	Sul	Gabinete	9	995
0.6	Sul	Gabinete	9	995
0.7	Sul		8	884
0.8	Sul	Sala Monitorização Edifício	10	1.105
0.9	Sul		10	1.105
0.10	Norte		8	0
0.11	Norte		8	0
0.12	Norte	Sala Polivalente	8	0
0.13	Norte		10	0
0.14	Norte		10	2.210
0.15	Norte		10	2.210
0.16	Norte	Sala Bolseiros	10	2.210
0.17	Norte		10	2.210
Total Piso 0			156	17.903
1.1	Sul		11	0
1.2	Sul	Sala Reuniões	10	0
1.3	Sul	Secretariado	9	995
1.4	Sul		8	884
1.5	Sul	Sala Direcção	9	995
1.6	Sul	Gabinete	9	995
1.7	Sul	Gabinete	9	995
1.8	Sul		6	663
1.9	Sul	Gabinete	10	1.105
1.10	Norte		12	0
1.11	Norte		12	0
1.12	Norte	Auditório	8	0
1.13	Norte		8	0
1.14	Norte		10	1.105
1.15	Norte	Sala Desenho e	11	1.216
1.16	Norte	Computadores	11	1.216
1.17	Norte		11	1.216
Total Piso 1			164	11.385
TOTAL EDIFÍCIO			359	37.907

Quadro 4.5. Potências de aquecimento requeridas pelo Cenário B.

Em nenhum dos cenários se considerou a necessidade de aquecimento durante o período do fim-de-semana. E para ambos os cenários considerou-se que existia recirculação de água consumida e que a temperatura de entrada no depósito é de 35°C e de saída do depósito é de 65°C.

As potências de aquecimento requeridas para cada um dos cenários foram introduzidas na versão 5.1.3. do programa SolTerm – Análise e Desempenho de Sistemas Solares Térmicos e Fotovoltaicos do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, considerando que as mesmas correspondem à carga horária, a qual se pode expressar por um caudal correspondente.

A existência de dois cenários com potências de aquecimento diferentes implicou, como esperado, em termos de simulação cargas distintas. Foi também através das simulações efectuadas com recurso ao Solterm 5.1.3. do LNEG que se verificou que não só as cargas requeridas são diferentes mas também a energia desperdiçada e a energia fornecida são distintas para cada um dos cenários e conseqüentemente o apoio requerido para cada um dos cenários também difere (Quadro 4.6., Quadro 4.7. e Figura 4.9.).

	ENERGIA DESPERDIÇADA	ENERGIA FORNECIDA	CARGA HORÁRIA	APOIO
	kWh	kWh	kWh	kWh
JANEIRO	3	273	23.739	23.465
FEVEREIRO	7	273	20.643	20.369
MARÇO	8	869	6.804	5.935
OUTUBRO	10	529	23.739	23.210
NOVEMBRO	10	326	22.707	22.380
DEZEMBRO		238	21.675	21.437
ANUAL	38	2.510	119.306	116.796

Quadro 4.6. Balanço Energético mensal e anual para os meses considerados de aquecimento no cenário A de utilização do aquecimento do Solar XXI.

	ENERGIA DESPERDIÇADA	ENERGIA FORNECIDA	CARGA HORÁRIA	APOIO
	kWh	kWh	kWh	kWh
JANEIRO	2	671	11.327	10.656
FEVEREIRO	3	720	9.850	9.129
MARÇO	8	841	5.437	4.596
OUTUBRO	6	1077	11.327	10.250
NOVEMBRO	4	825	10.835	10.010
DEZEMBRO		664	10.342	9.678
ANUAL	22	4.799	59.118	54.319

Quadro 4.7. Balanço Energético mensal e anual para os meses considerados de aquecimento no cenário B de utilização do aquecimento do Solar XXI.

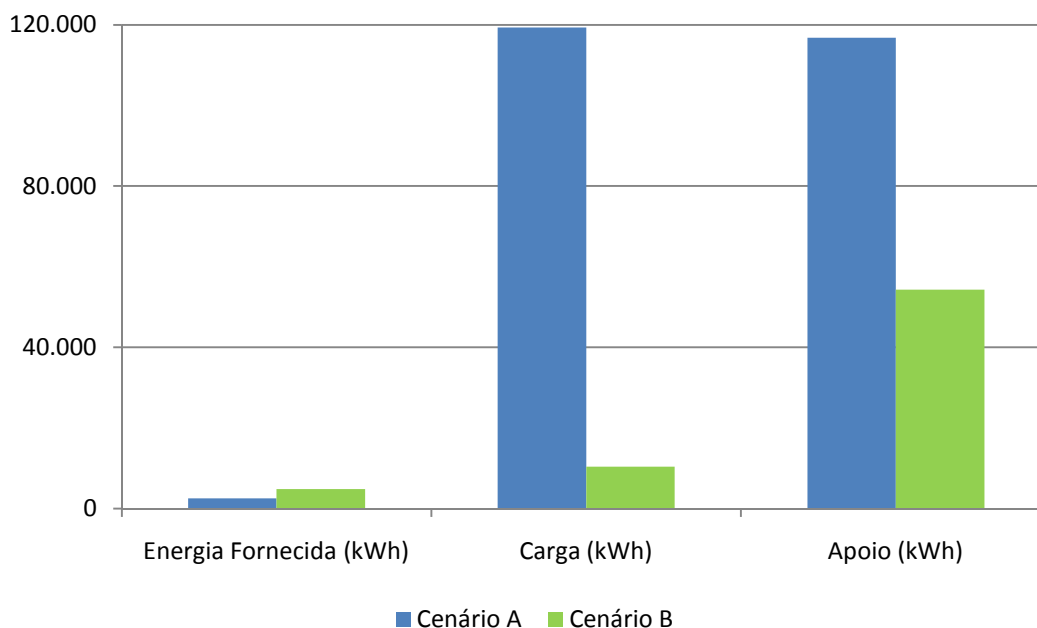


Figura 4.9. Valores Anuais da carga de aquecimento, energia produzida e apoio obtidos a partir de Simulação através do programa Solterm.

Para o cenário A, em que se considera que todos os radiadores de todas as salas se encontram a funcionar na sua potência máxima a contribuição do SST é de aproximadamente 2,5MWh/ano o que para uma carga de aproximadamente 119,3MWh/ano representa uma redução de aproximadamente 2,1% das necessidades anuais.

Por sua vez para o cenário B, construído para uma situação mais próxima da realidade de utilização do Solar XXI a contribuição do SST é de aproximadamente 4,8MWh/ano para uma carga de aproximadamente 59,1MWh/ano, sendo neste cenário a poupança relativa à utilização do SST de 8,1%.

A redução de emissões de gases de efeito de estufa anual para o cenário A de 676kg de CO₂ equivalentes e para o cenário B de 1,29t de CO₂ equivalentes (Anexo III).

O consumo energético do Solar XXI é de 36kWh/m².ano, mas segundo uma das definições anteriormente enunciadas a energia eléctrica consumida que provém de fontes de energia renováveis também reduzem as necessidades energéticas. Para o ano de 2007 cerca de 31% da energia eléctrica utilizada pelo solar XXI foi produzida com base em energias renováveis, o que implica que o consumo energético do Solar XXI seja de 29kWh/m².ano. A produção de energia eléctrica do Solar XXI, através dos módulos PV, é de 17,5kWh/m².ano, o que nos indica que perante este cenário o Solar XXI se encontra no limiar do estatuto NZEB, visto necessitar de apenas 11,5kWh/m².ano [19].

O Solar XXI tem 1500m^2 de área bruta e cerca de 1200m^2 de área útil, assim sendo na situação mais pessimista, cenário A, o SST produz aproximadamente $2,1\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ e no cenário B o SST produz $4,0\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$. Desse modo as necessidades energéticas do Solar XXI no primeiro caso passariam a ser de $9,4\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ e no segundo caso passariam a ser de $7,5\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$. A contribuição do SST é real no entanto não é suficiente para que o Solar XXI alcance o estatuto de NZEB, visto que ainda requer para o cenário A de aproximadamente $11\text{MWh}/\text{ano}$ e para o cenário B $9\text{MWh}/\text{ano}$, para satisfazer as suas necessidades energéticas.

No entanto, com a instalação dos novos módulos PV no parque de estacionamento é expectável que se produzam $35\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$, sendo dessa forma possível ultrapassar o estatuto NZEB devido ao balanço energético anual passar a ser positivo [19].

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estatuto NZEB só é possível alcançar conjugando técnicas e tecnologias construtivas bioclimáticas, a boas práticas construtivas, especialmente ao nível da envolvente, bem como à utilização de energias renováveis.

O Solar XXI tem desempenho energético elevado mas mesmo assim ainda não detém o estatuto NZEB.

A contribuição de um SST para satisfazer as necessidades de aquecimento, pode ter uma importância no desempenho do edifício. A escolha do tipo de CST para cada instalação é importante pois permite adequar a cada projecto o colector, até porque se trata de um dos componentes mais importantes.

A contribuição dos dois cenários previstos não foi suficiente para que o Solar XXI alcançasse o estatuto de NZEB, pois que o cenário A apenas contribui com $2,1\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, enquanto que, o cenário B contribui com $4,0\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ e o Solar XXI mesmo com menores necessidades energéticas inerentes à boa construção e produção de energia eléctrica pelos módulos PV da fachada do edifício e um dos módulos do parque de estacionamento, segundo dados de 2007, ainda necessitava de $11,5\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

É esperado que os módulos PV instalados no ano de 2010 sejam responsáveis pela produção de $35\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, o que claramente fará com que o Solar XXI ultrapasse o estatuto devido a ficar com um balanço energético anual positivo.

As simulações apresentadas tentam reproduzir o que será esperado do SST, no entanto só com posse dos dados que serão registados pelo sistema de aquisição de dados se poderá aferir a validade das mesmas, porque as necessidades de aquecimento variam consoante o ano e o utilizador e dessa forma só com dados concretos se pode calcular com certeza o contributo do SST em questão.

Deverá então o sistema ser monitorizado para poder aferir o estudo apresentado mas também como contributo para outros edifícios que pretendam construir sobre a mesma perspectiva.

Como trabalho futuro dever-se-á efectuar uma confrontação entre os resultados obtidos neste estudo energético e os dados resultantes da futura monitorização para verificar se o estudo apresentado reproduz a realidade de desempenho do SST. Será ainda proveitoso, efectuar um estudo em que se faça uma análise económica para verificar se este investimento se demonstra compensatório.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Gonçalves, H. (2009) Towards a strategy to zero energy buildings (ZEB) concept in *Actas da Conferência CLIMAMED'09, Congresso Mediterrâneo de Climatização*, Lisboa, Portugal.
- [2] Aelenei, D., Aelenei, L., Costa Santos, F. (2010) Standard Unretrofitted Buildings and Net Zero Concept in *EuroSun 2010 International Conference on Solar Heating, Cooling and Building*, 28 September – 1 October 2010, Graz, Austria.
- [3] Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, Jornal Oficial das Comunidades Europeias L1 de 4 de Janeiro de 2003, pp. 65-71.
- [4] Resolução do Conselho de Ministros 80/2008 de 20 de Maio de 2008, que aprova o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (2008-2015), Diário da República nº 97 Série I de 20 de Maio de 2008, pp. 2824-2865.
- [5] Resolução do Conselho de Ministros 29/2010 de 15 de Abril de 2010, que aprova a Estratégia Nacional para a Energia 2020, Diário da República nº 73 Série I de 15 de Abril de 2010, pp. 1289-1296.
- [6] Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril de 2006, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Diário da República nº 67 Série I-A de 4 de Abril de 2006, pp. 2468-2513.
- [7] Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios (Reformulação), Jornal Oficial da União Europeia L153 de 18 de Junho de 2010, pp. 13-35.
- [8] Ministério da Economia consultado em 16/12/2010 disponível em <http://www.min-economia.pt/innerPage.aspx?idCat=51&idMasterCat=13&idLang=1>
- [9] Salgueiro, A.; Farinha Mendes, J. (2010) The Contribution of Portuguese Solar Thermal Program on the Country Energy Efficiency in *Eurosun 2010 - International Conference on Solar Heating, Cooling and Building*, 28 September – 1 October 2010, Graz, Austria.
- [10] Gonçalves, H., Joyce, A., Silva, L. (editores). (2002) *Fórum “Energias Renováveis em Portugal” Uma Contribuição para os objectivos de Política Energética e Ambiental*. ADENE/INETI, Lisboa, Portugal, pp. 32-67.
- [11] Água Quente Solar consultado em 10/12/2010 disponível em http://www.aguaquentesolar.com/fich/18/Caract_ST_Pt_2008.pdf
- [12] European Solar Thermal Industry Federation consultado em 06/01/2011 disponível em http://www.estif.org/statistics/st_markets_in_europe_2009/
- [13] Renováveis na Hora consultado a 05/12/2010 disponível em <http://www.renovaveisnahaora.pt/web/srm/inicio>
- [14] Decreto 363/2007 de 2 de Novembro 2007, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de unidades de micro-produção, Diário da República nº 211 Série I de 2 de Novembro de 2007, pp. 7978-7984
- [15] Renováveis na Hora consultado a 05/12/2010 disponível em http://www.renovaveisnahaora.pt/c/document_library/get_file?uuid=383f7e42-3876-4229-ad3b-4f3791b3b2d4&groupId=13360 a 05/12/2010
- [16] Resolução do Conselho de Ministros 154/2001 de 19 de Outubro de 2001, que aprova o Programa E4, Eficiência Energética e Energias Endógenas, Diário da República nº 243 Série I-B de 19 de Outubro de 2001, pp. 6648-6649.
- [17] Marszal, A. E Heiselberg, P. (2009) *A literature review of Zero Energy Buildings (ZEB) definitions*, DCE Technical Report nº 78 Aalborg University, Aalborg, Denmark, ISSN 1901-726X.

- [18] Aelenei, L. (2010) Edifícios “Energia Zero”. *Apresentação de comunicação na Conferência A Dimensão das Energias Renováveis no Planeamento Renovável*, 17 Março de 2010, Lisboa, Portugal.
- [19] Aelenei, L., Gonçalves, H., Rodrigues, C. (2010) The roads towards “Zero Energy” in Buildings: Lessons learned from Solar XXI Building in Portugal, *EuroSun 2010 International Conference on Solar Heating, Cooling and Building*, 28 September – 1 October 2010, Graz, Austria.
- [20] Iqbal, M.T. (2004) A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland in *Renewable Energy* nº 29 pp. 277-289.
- [21] Wang, L., Gwilliam, J., Jones, P. (2009) Case Study of zero energy house design in UK in *Energy and Buildings* nº 41 pp. 1215-1222.
- [22] Sartori, I., Napolitano, A., Marszal, A., Pless, S., Torcellini, P., Voss, K. (2010) Critéria for Definition of Net Zero Energy Buildings, *EuroSun 2010 International Conference on Solar Heating, Cooling and Building*, 28 September – 1 October 2010, Graz, Austria.
- [23] Farinha Mendes, J., Salgueiro, A., Cardoso, J., Coelho, R. A Integração de Energias Renováveis em Edifícios na *Revista Construção Magazine*, Julho/Agosto 2010, nº 38, pp.17-23.
- [24] Gonçalves, H e Graça, J.M. (2003) *Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal*. Direcção Geral de Geologia e Energia/IP3E. ISBN 972-8268-34-3.
- [25] LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia (editor). (2010) *Solar XXI– Em direcção à Energia zero*, ISBN 978-989-675-007-7.
- [26] Gonçalves, H. e Cabrito, P. (2006) A passive Solar Office Building in Portugal in *PLEA2006 – 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture* 6-8 September 2006, Geneve, Switzerland.
- [27] INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Departamento de Energias Renováveis. (2005) *Edifício Solar XXI – Um Edifício energeticamente eficiente em Portugal*, Brochura.
- [28] Alexandre, J. e Silva, M. (2009) Advanced Ventilation Technologies Case Study nº 4 – Edifício Solar XXI Lisboa Portugal in *Building AdVent – Building Advanced Ventilation Technological examples to demonstrate materialised energy savings for acceptable indoor air quality and thermal comfort in different European climatic regions*, Brochura.
- [29] Panão, M. e Gonçalves, H. (2010) Solar XXI building: proof of concept or a concept to be proved?, *Comunicação apresentada na Conferencia Portugal SB10: Sustainable Buildings affordable to All: Low cost Sustainable Solutions*, 17-19 de Março 2010, Vilamoura, Portugal, pp. 801-806.
- [30] Nogueira, M. (2003) *Projecto de Execução de Instalações Mecânicas do Edifício Solar XXI*.
- [31] EST – *Energia Solar Térmica, Manual sobre Tecnologias, projecto e instalação*. (2004) Projecto “GRENPRO” do Programa ALTENER.
- [32] Kalogirou, S. (2004) Solar thermal collectors and applications in *Progress in Energy and Combustion Science* nº 30, pp. 231-295.
- [33] Solar KeyMark consultado a 30/10/2010 disponível em <http://solarkey.dk/solarkeymarkdata/qCollectorCertificates/ShowQCollectorCertificatesTable.asp>

x

Anexo I

MOODY (STANTON) DIAGRAM

$$f = \frac{64}{Re}$$

($Re < 2300$ Hagen - Poiseuille)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

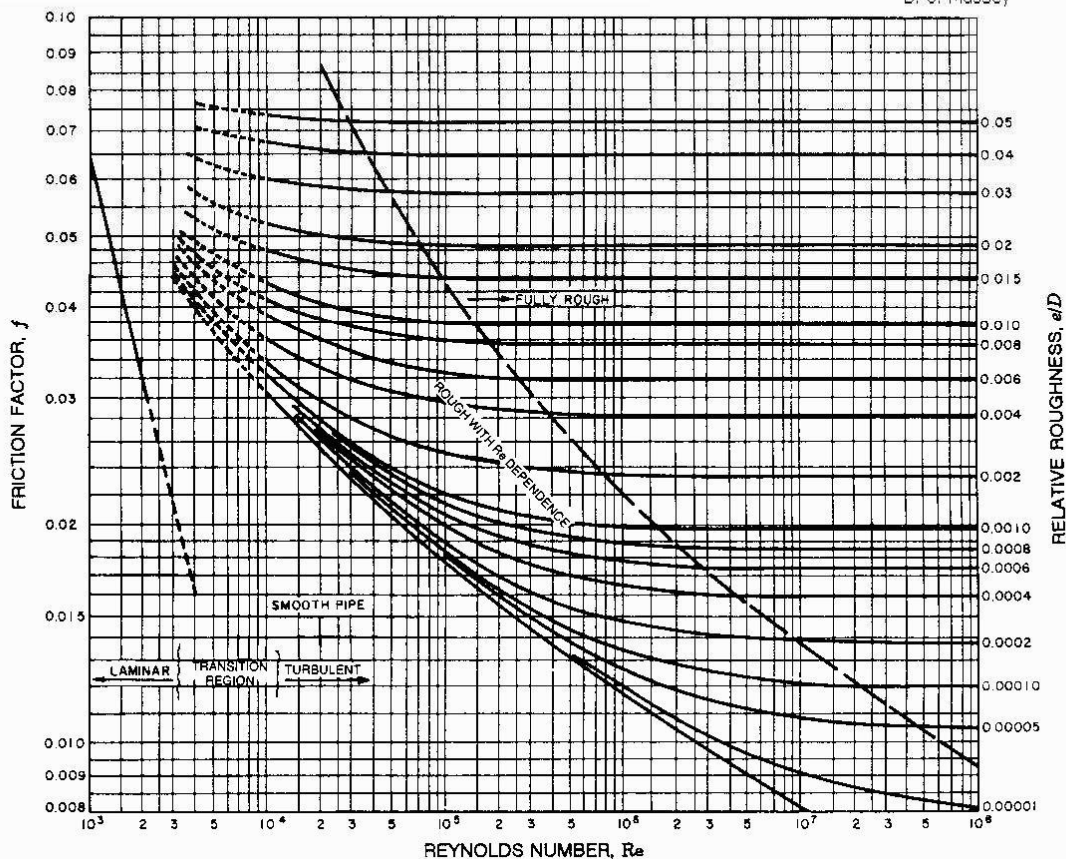
($Re > 2300$ Colbrook)

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho g} = \left(\frac{f}{D} \frac{V^2}{2g} \right) L \quad \frac{\epsilon}{D} \text{ - rugosidade relativa}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

	k (mm)
Aço com rebites	1 - 10
Betão	0.3 - 3
Réguas de madeira	0.2 - 1
Ferro fundido	0.25
Aço galvanizado	0.15
Ferro revestido a asfalto	0.12
Aço comercial ou ferro forjado	0.045
Tubo extrudido	0.0015

Mecânica dos Fluidos
B. S. Mascay



Anexo II

Anexo III