



Estudo e Concepção de Sistemas de Ventilação Natural em Edifícios de Habitação

Rúben Dinarte Fernandes Gomes

Dissertação apresentada à Universidade da Madeira para cumprimento dos
requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em:

Engenharia Civil

Funchal, Dezembro de 2010



Estudo e Concepção de Sistemas de Ventilação Natural em Edifícios de Habitação

Rúben Dinarte Fernandes Gomes
Licenciado em Engenharia Civil

Orientador:
Doutor José Carlos Magro Esteves

Dissertação apresentada à Universidade da Madeira para cumprimento dos
requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em:

Engenharia Civil

Funchal, Dezembro de 2010

Estudo e Concepção de Sistemas de Ventilação Natural em Edifícios de Habitação

Resumo

Pretende-se que este trabalho seja uma contribuição para o reconhecimento da importância da promoção da ventilação em edifícios de habitação, esta que é imprescindível para que haja um ambiente saudável e confortável no espaço interior. Pretende-se também que seja dado a conhecer alguns tipos de sistemas de ventilação que recorrem a processos naturais para o seu funcionamento, garantindo assim a sustentabilidade dos edifícios a nível energético.

Nesta dissertação é inicialmente abordada a temática do conforto térmico, com o objectivo de compreender a adaptação e resposta de um indivíduo face às condições térmicas no interior de um edifício de habitação. Seguidamente foram estudados os factores que mais influenciam o processo de Ventilação Natural, ou seja, a acção do vento e a acção térmica (o sol). O passo seguinte foi o estudo do dimensionamento e concepção de sistemas de Ventilação Natural mais usuais (tais como aberturas exteriores, aberturas interiores e chaminés), e o estudo de vários exemplos de sistemas solar passivos e estratégias arquitectónicas que podem ser utilizados. Seguidamente foi estudada a modelação matemática dos processos de Ventilação Natural.

Foram ainda estudados dois edifícios construídos na região autónoma da Madeira, mais concretamente na ilha de Porto Santo, estes que foram concebidos para se adaptarem ao clima da região através de algumas estratégias arquitectónicas e através de sistemas solar passivos.

Finalmente foi elaborado um pequeno projecto para uma moradia a ser construída na ilha da Madeira. Para esta foram adoptadas algumas estratégias tendo em vista uma adaptação ao clima durante todo o ano, nomeadamente estratégias arquitectónicas e sistemas solar passivos para a promoção da Ventilação Natural.

Study and Design of Natural Ventilation Systems in Residential Buildings

Abstract

This dissertation aims to contribute for the recognition of the importance of promoting the ventilation in residential buildings, since this is essential to a healthy and comfortable indoor space. It's also intended to be made known some examples of ventilation systems that use only natural processes for their operation, ensuring this way the sustainability of the buildings on the energy level.

In this work is first studied the issue of thermal comfort, with the objective of understanding the adaptation of a person and his actions facing the thermal conditions on the interior of a residential building. Next it was studied the factors that more contribute to Natural Ventilation, i.e. the wind and the sun. The next step was the study of conception and design of Natural Ventilation systems that are more commonly used (such as exterior openings, vents and chimneys), and the study of several examples of solar passive systems and architectural strategies that can be used. Next it was studied mathematic models of Natural Ventilation processes.

It was also studied two buildings in Porto Santo Island at Madeira Islands witch were designed to adapt to the climate of the region through some architectural strategy's and solar passive systems.

Finally, it was made a small project of a house to be built in Madeira Island. For this, it was adopted some strategy's, so that the building can adapt to the climate throughout the year, such as architectural strategy's and solar passive systems for Natural Ventilation.

Palavras-chave

Conforto

Acção do Vento

Acção térmica/radiação solar

Ventilação Natural

Sistemas de Ventilação Natural

Keywords

Comfort

Wind activity

Thermal activity/solar radiation

Natural Ventilation

Natural Ventilation Systems

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação não seria possível sem a colaboração de algumas pessoas. A elas gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos:

- Ao meu orientador, Doutor José Carlos Magro Esteves, pela sua paciência e disponibilidade para responder a todas as minhas questões desde o primeiro dia da elaboração desta dissertação;
- À minha namorada, Ana Sofia F. Marote pela ajuda e todo o apoio emocional, por estar sempre do meu lado quando mais necessitei;
- Aos meus pais, à minha irmã e o meu cunhado pelo apoio constante.
- Ao Carlos e ao Leonardo, aos demais amigos e todos aqueles que incentivaram ou colaboraram de alguma forma para a realização do trabalho.

Índice

Resumo	III
Abstract	V
Palavras-chave	VII
Keywords	VII
Agradecimentos	IX
Índice	XI
Lista de tabelas	XV
Lista de figuras	XVII
Lista de siglas	XXV
Introdução	4
1. Conforto térmico	8
1.1. O conforto	8
1.2. Índices de conforto térmico.....	10
1.3. Teoria adaptativa do conforto térmico	11
1.4. Outros critérios a satisfazer	13
1.4.1. Influência da humidade relativa	13
1.4.2. Comparação anual do nível de conforto.....	14
2. Factores que condicionam a Ventilação Natural	18
2.1. Acção do vento.....	18
2.1.1. O vento	18
2.1.2. Interferência do vento em obstáculos.....	20
2.1.3. Distribuição das aberturas de entrada e saída de ar.....	21

2.1.4.	Uso de deflectores na promoção da Ventilação Natural	25
2.1.5.	Interferência do vento em coberturas.....	27
2.2.	Acção térmica.....	29
2.2.1.	Geometria solar	29
2.2.2.	Orientação de fachadas envidraçadas.....	31
2.2.3.	Perdas e ganhos térmicos pela envolvente de edifícios.....	34
3.	Ventilação Natural	38
3.1.	Definição e controlo da Ventilação Natural.....	38
3.2.	Necessidades de ventilação	39
3.3.	Concepção de sistemas de Ventilação Natural.....	42
3.3.1.	Esquemas de ventilação	42
3.3.2.	Componentes dos sistemas de ventilação natural no edifício	44
3.3.2.1.	Admissão de ar.....	44
3.3.2.1.1.	Admissão de ar através de aberturas de ar.....	44
3.3.2.1.2.	Admissão de ar através de condutas.....	45
3.3.2.2.	Passagens interiores para a ventilação	50
3.3.2.3.	Evacuação do ar.....	51
3.4.	Sistemas solar passivos e a arquitectura na promoção da ventilação natural.....	62
3.4.1.	Torre eólica ou de vento.....	63
3.4.2.	Chaminé solar.....	65
3.4.3.	Parede de trombe.....	66
3.4.4.	Parede de trombe ventilada	68

3.4.5. Estufas	70
3.4.6. Sistemas de termosifão.....	72
3.4.7. Utilização do solo para climatização de um edifício.....	75
3.4.7.1. Sistemas de tubos enterrados (contacto indirecto).....	76
3.4.7.2. Edificações parcialmente ou totalmente enterradas (contacto directo).....	78
4. Modelação da ventilação em edifícios.....	84
4.1. Factores que condicionam a ventilação natural.....	84
4.1.1. Efeito de chaminé.....	84
4.1.2. Quantificação da acção eólica	88
4.1.2.1. Camada limite atmosférica	89
4.2. Escoamento através de aberturas.....	93
4.3. Efeitos combinados	95
4.4. Modelos de previsão	96
4.4.1. Modelos empíricos	97
4.4.1.1. Modelo da norma BS 5925	97
4.4.2. Modelos multi-zona	100
4.4.3. Modelos CFD (computational fluid dynamics).....	101
4.4.4. Modelos zonais.....	102
5. Edifícios solar passivos.....	108
5.1. Casa Schäfer.....	108
5.1.1. Direcção e solução construtiva da moradia.....	109
5.1.2. Promoção da Ventilação Natural através de sistemas solar passivos.....	111

5.2.	Casa solar passiva Porto Santo.....	114
5.2.1.	Direccionamento e solução construtiva do edifício	115
5.2.2.	Promoção da ventilação natural através de sistemas solar passivos	116
6.	Um edifício solar passivo para a ilha da Madeira	122
6.1.	A arquitectura do edifício.....	122
6.2.	Adaptação do edifício ao clima.....	123
6.2.1.	Promoção e restrição dos ganhos solares	123
6.2.2.	Sistemas de Ventilação Natural	127
6.2.2.1.	Aberturas interiores de ventilação	129
6.2.2.2.	Chaminé solar	131
6.2.2.3.	Clarabóia.....	133
6.2.2.4.	Paredes de trombe.....	134
6.2.2.5.	Sistema de tubos enterrados.....	135
6.2.2.6.	Entrada de ar na cozinha.....	136
7.	Considerações finais.....	140
	Bibliografia	148
	Anexos	154

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Escala de sensação térmica (Adaptado de: Gonçalves, 1997).....	10
Tabela 3.1 – Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço (Adaptado de: IPQ, 2002).	41
Tabela 3.2 – Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais (Fonte: IPQ, 2002).	41
Tabela 3.3 – áreas úteis de aberturas de entrada de ar nos compartimentos através de condutas (Adaptado de: IPQ, 2002).	46
Tabela 3.4 – Valores mínimos recomendados para áreas de secções para condutas circulares lisas (Adaptado de: IPQ, 2002).	47
Tabela 3.5 – Valores mínimos recomendados para áreas de secções para condutas circulares colectivas lisas (Adaptado de: IPQ, 2002).	49
Tabela 3.6 – Áreas úteis de aberturas de passagem de ar entre os compartimentos principais e os compartimentos de serviço (Adaptado de: IPQ, 2002).....	50
Tabela 3.7 – Áreas úteis mínimas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 3Pa) (Adaptado de: IPQ, 2002).	52
Tabela 3.8 – Áreas úteis mínimas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 10Pa) (Adaptado de: IPQ, 2002).	53
Tabela 4.1 – Características das camadas limite atmosférica (fonte: Silva, 2002).....	91
Tabela 4.2 – Valores da escala de rugosidade, Z_0 , referentes a diferentes tipos de terreno (Fonte: Amaral, 2008)	92
Tabela 4.3 – Fórmulas de ventilação para espaços ventilados por aberturas em uma fachada (Adaptado de Allard (1998) e BS 5925 (1991)).....	98
Tabela 4.4 – Fórmulas de ventilação para espaços sujeitos a ventilação cruzada (Adaptado de Allard (1998) e BS 5925 (1991)).	99
Tabela 6.1 – Volumes de ar de dimensionamento dos sistemas de Ventilação Natural.....	129
Tabela 6.2 – Áreas de aberturas das passagens interiores de ventilação.....	130

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Unidade MET (fonte: Gonçalves, 1997).....	9
Figura 1.2 – Unidade CLO (fonte: Gonçalves, 1997).....	9
Figura 1.3 – PMV vs PPD (fonte: Amaral, 2008).....	11
Figura 1.4 – Modelo adaptativo de conforto térmico proposto por Dear, Brager e Cooper (Adaptado de Ashrae, RP-884 1997).	12
Figura 1.5 – Variação de temperatura operativa aceitável em ambientes ventilados naturalmente, proposto pela ASHRAE 55, 2004. (Adaptado de: ASHRAE 55, 2004).....	13
Figura 1.6 – Relação entre temperatura e humidade relativa com o conforto térmico (Fonte: Moita, 1985).	14
Figura 1.7 – Necessidades anuais de adaptação das temperaturas interiores do edifício em relação à estação do ano (Fonte: Lisboa, 2007).	15
Figura 2.1 – Perfis de camada limite atmosférica (adaptado de Silva, 2002 e de Amaral, 2008).	20
Figura 2.2 – Campo de velocidades de um escoamento em torno de um edifício (efeito de Esteira) (Adaptado de Simões, [199-?])......	21
Figura 2.3 – Ventilação através de aberturas laterais e barlavento de saídas e entradas respectivamente (Adaptado de Verdelho, 2008).	22
Figura 2.4 – Interferência entre escoamento e dois edifícios posicionados lado a lado (Adaptado de Silva, 2002).	23
Figura 2.5 – Efeito de Esteira pela associação crítica de edifícios (ou Efeito Wise) (Adaptado de Simões, [199-?]).	23
Figura 2.6 – Efeito de Esteira em um edifício típico (Adaptado de Simões, [199-?]).	24
Figura 2.7 – Exemplo de uso de deflectores para aberturas na mesma fachada na ventilação unilateral (Adaptado de Simões, [199-?]).	25
Figura 2.8 – Exemplos do uso de deflectores para aberturas de ventilação em duas fachadas, para a promoção de ventilação cruzada (Adaptado de Verdelho, 2008).	26

Figura 2.9 – Exemplo de uso de vegetação na promoção da Ventilação Natural (Adaptado de Verdelho, 2008).....	26
Figura 2.10 – Posicionamento de chaminé sobre a zona de recirculação (Adaptado de Silva, 2002).....	27
Figura 2.11 – Linhas de corrente do escoamento em coberturas planas (Adaptado de Silva, 2002).....	27
Figura 2.12 – Linhas de corrente do escoamento em coberturas inclinada..... (Adaptado de Silva, 2002).....	28
Figura 2.13 – Tipo de casa mais tradicional localizada nos Prazeres, Ilha da Madeira (Autor: C. Magro).	28
Figura 2.14 – Percurso do sol em diferentes alturas do ano (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004). 30	
Figura 2.15 – Orientação das fachadas envidraçadas de casas face à radiação solar no sítio dos Prazeres, Ilha da Madeira.	32
Figura 2.16 – Orientação das fachadas envidraçadas de casas face a uma obstrução à incidência da radiação solar no sítio dos Prazeres, Ilha da Madeira.....	32
Figura 2.17 – Influência do percurso do sol em envidraçados nas fachadas orientadas a Sul (à esquerda) e a nascente (à direita) no Inverno (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004).	33
Figura 2.18 – Influência do percurso do sol em envidraçados nas fachadas orientadas a Sul (à esquerda) e a nascente (à direita) no Verão (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004).....	34
Figura 3.1 – Esquema de diagramas de pressões na fachada de um edifício em relação á direcção do vento (adaptado de: Verdelho, 2008).....	38
Figura 3.2 – Esquemas de ventilação conjunta (à esquerda) e separada (à direita) em um fogo de habitação em um edifício multifamiliar com entradas de ar pelas janelas e/ou outros dispositivos de entrada de ar (adaptado de: Viegas, 1995).	43
Figura 3.3 – Esquemas de funcionamento de abertura fixa (à esquerda) e abertura regulável (à direita) (adaptado de: Viegas, 1995).	45
Figura 3.4 – Esquema de funcionamento de abertura de admissão de ar auto-regulável (adaptado de: IPQ, 2002).	45

Figura 3.5 – Diagrama para o cálculo da secção de condutas individuais lisas de secção circular (Fonte: IPQ, 2002).	47
Figura3.6 – Diagrama para o cálculo da secção de condutas colectivas lisas de secção circular (Fonte: IPQ, 2002).	48
Figura 3.7 -Esquema de funcionamento de passagens de ar interiores aplicadas em portas através de folga na parte inferior da porta (à esquerda) e através de grelha (à direita) (adaptado de: IPQ, 2002).	50
Figura3.8 – Esquema de funcionamento simultâneo de sistemas de admissão e exaustão de ar através de condutas colectivas (adaptado de: IPQ, 2002).	53
Figura 3.9 – Limitação de troços inclinados em condutas de evacuação.....	54
(adaptado de: IPQ, 2002).	54
Figura 3.10 – Determinação do parâmetro R em relação á direcção do vento.....	55
(adaptado de: IPQ, 2002).	55
Figura 3.11 – Linhas das zonas I e II de exclusão para chaminés em coberturas de terraço (adaptado de: IPQ, 2002).	56
Figura3.12 – Zona de exclusão para chaminés em coberturas inclinadas até 10°	57
(adaptado de: IPQ, 2002).	57
Figura 3.13 – Zona de exclusão para chaminés em coberturas de inclinação superior a 10° (adaptado de: IPQ, 2002).	57
Figura 3.14 – Determinação do parâmetro R em edifícios com descontinuidades verticais (fachada não contínua) (adaptado de: IPQ, 2002).	58
Figura 3.15 – Exemplo de cobertura com “ressalto” (adaptado de: IPQ, 2002).	58
Figura 3.16 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” no rebordo.....	59
(adaptado de: IPQ, 2002).	59
Figura 3.17 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” para $X_{RS} < 0.5R_T$	59
(adaptado de: IPQ, 2002).	59
Figura 3.18 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” para $0.5 < X_{RS} < 2R_T$	60
(adaptado de: IPQ, 2002).	60

Figura 3.19 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” para $X_{RS} > 2R_T$	60
(adaptado de: IPQ, 2002).	60
Figura 3.20 – Esquema de determinação de largura de ressalto para a determinação da zona de exclusão (adaptado de: IPQ, 2002).	61
Figura 3.21 – Princípio básico de funcionamento de uma torre de vento em condições ventosas (esquerda) e em condições de pouco vento (direita).	63
Figura3.22 – Torres de vento de 6 faces (à esquerda) e de 4 faces (à direita), situadas no Irão (Autor: Desconhecido).	64
Figura3.23 – Modelos tridimensionais de torres de vento com canais iguais (à esquerda) e com lâminas em formato cruz e diferentes canais (à direita) (Fonte: Zarandi, 2009).	64
Figura3.24 – Funcionamento de uma torre de vento em uma habitação em condições ventosas (direita) e em condições de pouco vento (esquerda). (adaptado de Zarandi, 2009).	65
Figura3.25 – Esquema de funcionamento de uma chaminé solar.	66
Figura3.26 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe não ventilada (adaptado de: Moita, 1985).	67
Figura3.27 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada em época fria (Inverno) (adaptado de: Gonçalves et al, 1997).	69
Figura3.28 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada em época amena (Primavera/Outono) (adaptado de: Gonçalves et al, 1997).	69
Figura3.29 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada em época Quente (Verão) (Gonçalves et al, 1997).	69
Figura3.30 – Esquema de funcionamento de estufa em época de inverno em período nocturno (à direita) e em período diurno (à esquerda). (Fonte: Mendonça, 2005).	71
Figura3.31 – Estufa em época de verão (à direita) e em época de inverno (à esquerda). (Fonte: Gonçalves et al, 1997) Casa Vale Rosal, Charneca da Caparica, Arq. Fausto Simões.	71
Figura3.32 – Esquema de funcionamento de colector termosifão em formato U	73
(adaptado de: Anderson e Wells, 1981).	73
Figura3.33 – Esquema de funcionamento de colector termosifão em formato U	73

(adaptado de: Chen et al, 1982).....	73
Figura3.34 – Esquema de funcionamento de termosifão com recipiente de rocha sob a casa, em período diurno (à esquerda) e em período nocturno (à direita).....	74
(adaptado de: Chen et al, 1982).....	74
Figura3.35 – Esquema de funcionamento de colector com recipiente de rocha em edifício de habitação (adaptado de: Anderson e Wells, 1981).....	75
Figura3.36 – Esquema do sistema de ventilação do Edifício Solar XXI Localizado no campus do INETI em Lisboa (Adaptado de Gonçalves e Cabrito, 2004).	77
Figura 3.37 – Vista em planta do sistema de tubos enterrados e visualização dos tubos em cimento de diâmetro 300 mm (Adaptado de Gonçalves e Cabrito, 2004).	78
Figura 3.38 – Casa enterrada situada em Vals na Suíça (Autor: desconhecido).....	79
Figura 3.39 – Seward Town Houses, vista de corte transversal e gráfico de temperaturas (Adaptado de: Simões, [199-?]).	80
Figura4.1 – Fluxo resultante do efeito de chaminé para uma temperatura do ar interior superior à temperatura do ar exterior (Adaptado de Verdelho, 2008).....	86
Figura 4.2 – Diferença de temperatura entre áreas diferentes (Fonte: Amaral, 2008).	87
Figura 4.3 – Influência da rugosidade do terreno nos Perfis de Camada Limite Atmosférica (fonte: Silva, 2002).....	90
Figura4.4 – Pressões típicas nas fachadas de um edifício pela acção térmica e pela acção do vento (Adaptado de Amaral,2008).	95
Figura4.5 – Modelo multi-zona (adaptado de: Awbi, 2003).....	101
Figura 4.6 – Esquema tipo de um modelo zonal (Fonte: Amaral, 2008).	104
Figura5.1 – Localização da casa Schäfer na Camacha, Porto Santo.	108
Figura5.2 – Clarabóia na cobertura da moradia Schäfer para promoção dos ganhos solares (Autor: C. Magro).	109
Figura5.3 – Fachada Norte protegida dos ventos frios provenientes de Norte	110
(Autor: C. Magro).	110

Figura5.4 – Fachada Norte parcialmente enterrada e com aberturas de ventilação da cobertura (Autor: C. Magro).	110
Figura5.5 – Caixilharias com vidros duplos (Autor: C. Magro).	110
Figura5.6 – Mecanismos de controlo das chaminés solares (à esquerda) e do sistema de tubos enterrados (à direita) (Autor: C. Magro).	112
Figura5.7 – Paredes de trombe na moradia Schäfer (Autor: C. Magro).	112
Figura5.8 – Pormenor dos beirados salientes na fachada sul, das chaminés solares na moradia Schäfer pintadas com uma cor escura para uma maior absorção do calor proveniente da radiação solar e da clarabóia com pala de pequena dimensão (Autor: C. Magro).	112
Figura5.9 – Saída de ar do sistema de tubos enterrados para o interior da habitação (sob as escadas em madeira) (Autor: C. Magro).	113
Figura5.11 – Localização da casa Solar Passiva Porto Santo.	114
Figura5.12 – Fachada Norte da casa Solar Passiva Porto Santo parcialmente enterrada (Autor: C. Magro).	116
Figura5.13 – Pérgola sombreando a fachada Poente (fonte: Gonçalves et al, 1997).	116
Figura5.14 – Pormenor da colocação dos tubos enterrados (à esquerda) e entrada de ar do sistema de tubos (à direita) (Autor: C. Magro).	118
Figura5.15 – Entradas de ar de sistema de tubos enterrados para o interior do edifício com regulação manual (Autor: C. Magro).	118
Figura5.16 – Variação da temperatura média anual no exterior e no interior da Casa Solar Passiva Porto Santo (Fonte: Gonçalves et al, 1997).	119
Figura 6.1 – Perspectiva da moradia piloto.....	123
Figura6.2 – Percurso solar anual na Ilha da Madeira em relação à moradia cuja fachada frontal se encontra orientada a Sul (Software: Ecotect Analysis 2011, © Autodesk).	124
Figura6.3 – Sombreamentos resultantes do percurso solar diário na Ilha da Madeira em relação à moradia no dia 21 de Junho (Software: Ecotect Analysis 2011, © Autodesk).	125
Figura6.4 – Sombreamentos resultantes do percurso solar diário na Ilha da Madeira em relação à moradia no dia 21 de Dezembro (Software: Ecotect Analysis 2011, © Autodesk).	126

Figura6.5 – Esquemas de ventilação no 1º piso.	128
Figura6.6 – Esquemas de ventilação no piso térreo.	128
Figura6.7 – Aberturas para passagens interiores de ventilação a utilizar na moradia (adaptado de: IPQ, 2002 e < http://www.euroar.pt >).	130
Figura6.8 – Zona de exclusão para chaminé na cobertura.	131
Figura 6.9 – Posicionamento da saída de ar para a chaminé.	132
Figura6.10 – Grelha munida de registos para extracção de ar através da chaminé solar (adaptado de: < http://www.euroar.pt >).	132
Figura6.11 – Exemplo de chapéu constituído por peças de betão pré-fabricadas a ser instalado no topo da chaminé da moradia.	132
Figura6.12 – Grelha de ar para exterior anodizada (adaptado de: < http://www.euroar.pt >). ..	133
Figura6.13 – Localização das grelhas na clarabóia da moradia.	134
Figura6.14 – Localização das paredes de trombe.	135
Figura6.15 – Vista em planta do sistema de tubos enterrados.	135
Figura 6.16 – Tipo de aberturas a serem utilizadas na janela da cozinha.	137

Lista de siglas

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning engineers
BS	BRITISH STANDARDS
CLA	Camada limite Atmosférica
GCEE	Gabinete de Coordenação Económica Europeia
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
IPQ	Instituto Português da Qualidade
NP	Norma Portuguesa
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios
R.P.H.	Renovações por Hora
RSaEEP	Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes
RAM	Região autónoma da Madeira
SRES	Secretaria Regional do Equipamento Social
UMa	Universidade da Madeira

Introdução

Introdução

Um edifício deve necessariamente proporcionar o conforto aos seus utilizadores. Para tal, a climatização desempenha um papel fulcral para que seja assegurado o bem-estar das pessoas no seu interior, independentemente da altura do ano ou condições climáticas. Nos tempos que decorrem, o uso de técnicas de climatização que recorrem ao consumo de energia eléctrica, tais como unidades de ar condicionado, aquecedores e ventiladores eléctricos é cada vez mais frequente. Contudo, tendo em conta que a dependência energética deve ser minimizada, são cada vez mais necessárias alternativas viáveis ao uso destes equipamentos. Para tal podem ser utilizados sistemas solares passivos para o aquecimento e o arrefecimento através da ventilação. A força motriz para o funcionamento destes sistemas consiste no aproveitamento de recursos naturais, ou seja, do vento e da radiação solar através da convecção natural e da condução.

Um dos objectivos desta dissertação consiste em abordar os conceitos mais importantes no que toca ao processo da Ventilação Natural para a concepção de sistemas solar passivos de ventilação em edifícios de habitação, através da pesquisa de informação existente relativa a esta temática (ou seja, através da consulta de normas nacionais e internacionais existentes, da análise dos factores que mais influenciam este processo, da pesquisa relativamente a sistemas solar passivos de ventilação existentes, e do estudo de alguns modelos matemáticos para a descrição deste processo). O objectivo final foi o de fazer um pequeno projecto de uma moradia a ser construída na ilha da Madeira, aplicando os conhecimentos resultantes do objectivo anterior.

Este trabalho começa por abordar a temática do conforto térmico dos utilizadores dos edifícios.

O segundo capítulo desta dissertação visa a compreensão da acção térmica e da acção do vento, estas que são essenciais para que seja garantida a eficácia destes sistemas. O vento é um fenómeno físico com um comportamento irregular, em que as características podem variar consoante a localização, a presença de obstáculos no perímetro circundante, orografia do terreno, etc. Sendo assim, o posicionamento de aberturas nas fachadas dos edifícios e a instalação de certos sistemas de Ventilação Natural deve ser feito adequadamente para que o seu correcto funcionamento seja garantido. A

incidência da radiação solar em um edifício não se dá da mesma maneira durante todo o ano. O ângulo de incidência da radiação solar varia consoante a localização do edifício na Terra e consoante a altura do ano. A nível do conforto térmico do utilizador de um edifício interessa que sejam restringidos os ganhos solares para o interior de um edifício em épocas quentes e a promoção dos mesmos em épocas frias, podendo tal ser realizado, por exemplo, através da própria arquitectura do edifício. Logo, a utilização de sistemas solares passivos para ventilação aliada a uma correcta arquitectura torna-se a estratégia mais eficaz e eficiente para que seja garantido o conforto dos utilizadores no interior do edifício.

A eficácia dos sistemas de Ventilação Natural depende também do dimensionamento e posicionamento dos seus componentes, estes que são abordados no terceiro capítulo desta dissertação. Os sistemas mais usuais são compostos por aberturas de ar (simples, reguláveis ou auto-reguláveis) estrategicamente colocadas nas fachadas para a entrada de ar, por aberturas interiores e por sistemas de extracção tais como chaminés. Contudo existem também outros sistemas e técnicas, mais eficazes, para a promoção da Ventilação Natural. Existem dois exemplos de edifícios na ilha de Porto Santo, os quais foram objecto de estudo no capítulo cinco desta dissertação, que incorporam alguns destes sistemas e demonstram bons resultados no que toca a proporcionar um bom nível de conforto para os seus utilizadores.

O quarto capítulo aborda a temática da modelação matemática da ventilação, e são também abordados alguns modelos preditivos.

No sexto e último capítulo desta dissertação são utilizados os conhecimentos dos capítulos anteriores para a realização de um pequeno projecto de uma moradia a ser construída da ilha da Madeira, na qual são adoptadas estratégias arquitectónicas e sistemas de Ventilação Natural tendo em vista o conforto térmico dos utilizadores do edifício no seu interior durante todo o ano.

Capítulo 1

Conforto Térmico

1. Conforto Térmico

1.1. O Conforto

O dimensionamento de qualquer sistema de climatização em edifícios deve necessariamente ter em conta o conforto a nível térmico das pessoas no seu interior, independentemente do fim a que estes se destinam (habitação, escritórios, comércio, etc.). O recurso a métodos passivos para a ventilação, quando correctamente aplicados, traz vantagens tanto a nível energético ao garantir a sustentabilidade do edifício, como também a nível de conforto e higiene ao assegurar a renovação do ar ambiente interior.

O conforto térmico pode ser definido como a resposta do corpo humano face às trocas que ocorrem entre si próprio e o ambiente exterior, sendo que a temperatura corporal mantém-se relativamente constante. Em 1973 Olygay afirmou que "*A zona de conforto representa aquele ponto no qual a pessoa necessita de consumir a menor quantidade de energia para se adaptar ao ambiente circundante*".

A sensação de conforto ou desconforto térmico depende da conjugação de variáveis de natureza climática e as de natureza pessoal, sendo que nestas últimas, o parâmetro fundamental é o relacionado com o metabolismo de cada indivíduo (Gonçalves, 1997). Para um indivíduo saudável, a temperatura média do seu corpo ronda os 37°C. Devido aos seus mecanismos de auto regulação, o corpo adapta-se automaticamente (dentro de um certo limite) à alteração da temperatura circundante, ou seja, existe um aumento da actividade metabólica no caso do frio levando à produção de calor por parte do corpo, e no caso de um aumento da temperatura circundante, existe um aumento das trocas evaporativas através da transpiração.

Segundo Gonçalves (1997), a uma actividade humana está associada, em termos médios, uma determinada quantidade de calor definida por MET, sendo $MET=58W/m^2$. A figura 1.1 ilustra como a unidade MET varia em função da actividade humana. O mesmo autor afirma ainda que além do metabolismo existe outro parâmetro importante para as variáveis de natureza pessoal, sendo este o isolamento do corpo que limita as trocas de calor entre o corpo e o ambiente exterior, quantificado pela unidade CLO

($1\text{CLO}=6.45\text{ W/m}^2\text{K}$). A figura 1.2 ilustra como a unidade CLO varia em função do tipo de vestimenta.

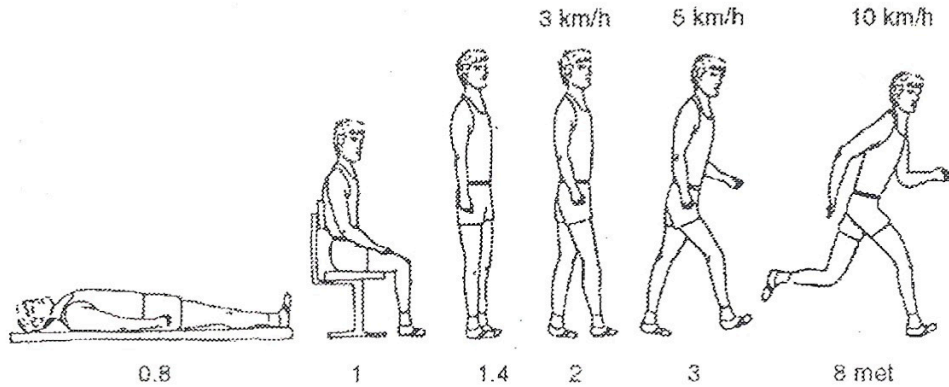


Figura 1.1 – Unidade MET (fonte: Gonçalves, 1997).

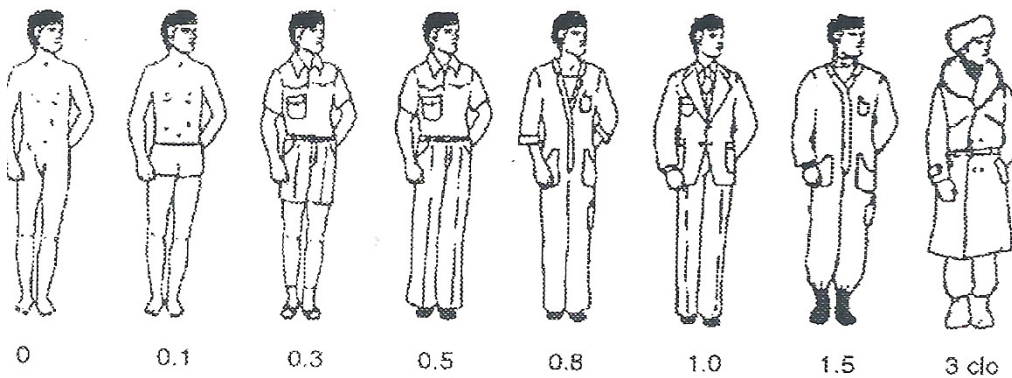


Figura 1.2 – Unidade CLO (fonte: Gonçalves, 1997).

As variáveis de natureza climática que influenciam o conforto térmico são a temperatura do ar, a temperatura radiante, a velocidade do ar e a umidade relativa (Gonçalves, 1997).

1.2. Índices de Conforto Térmico

Para a expressão dos efeitos combinados das variáveis de naturezas climáticas e pessoal sobre as repostas fisiológicas e sensoriais de um indivíduo, em 1973 foram desenvolvidos por Fanger dois parâmetros que quantificam o conforto, sendo estes:

- Parâmetro PMV-Voto médio previsível de um grupo de pessoas perante uma determinada situação;
- Parâmetro PPD-Percentagem de insatisfeitos sujeitos à mesma situação

Na tabela 1.1 apresenta-se a escala de sensação térmica.

Escala	Sensação Térmica
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Tabela 1.1 – Escala de sensação térmica (Adaptado de: Gonçalves, 1997).

A figura 1.3 ilustra a curva que traduz a relação entre a situação de conforto sentida em termos médios com a relação dos insatisfeitos com a mesma situação.

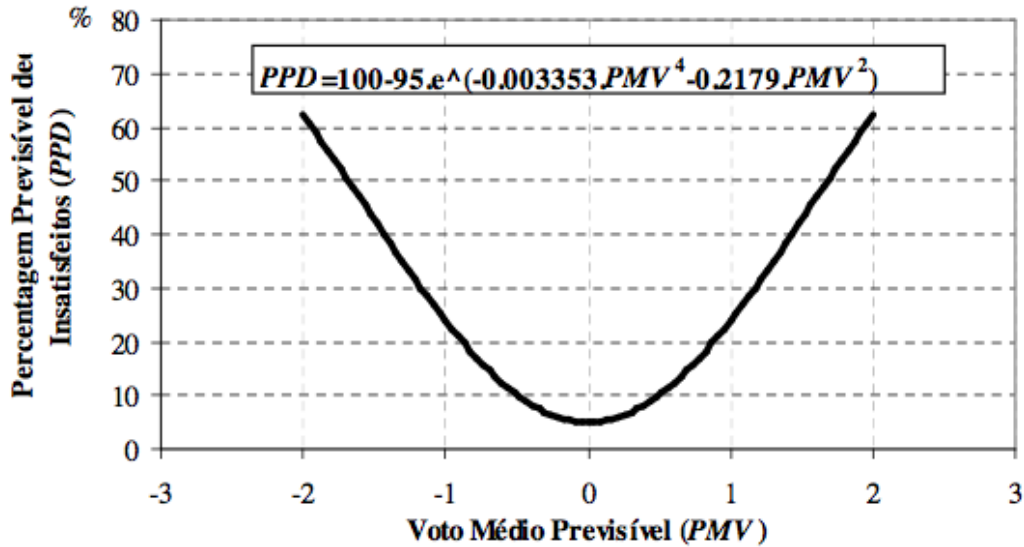


Figura 1.3 – PMV vs PPD (fonte: Amaral, 2008).

1.3. Teoria Adaptativa do conforto térmico

Segundo Figueiredo e Frota [200-?], diversas pesquisas demonstraram que os índices tradicionais tais como o PMV e PPD não são adequados para ambientes ventilados naturalmente visto não considerarem que as pessoas em condições de desconforto térmico podem tomar medidas para melhor se adaptarem ao ambiente. De acordo com estes estudos existe um grau de adaptação ao ambiente que não é levado em conta nos índices tradicionais, o que levou ao desenvolvimento dos Modelos Adaptativos. Esta adaptação ocorre em três esferas, sendo estas a fisiológica, a comportamental e a psicológica (Figueiredo e Frota [200-?]).

Os utilizadores de ambientes ventilados naturalmente reagem às mudanças de temperatura de uma forma diferente em relação àqueles presentes em ambientes condicionados. A constatação deste facto, originou uma investigação através de várias pesquisas, tendo sido uma das mais importantes apresentadas em Ashrae, RP-884: “*Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*”, de Março de 1997.

Através desta investigação, foi elaborado o seguinte modelo adaptativo de conforto térmico:

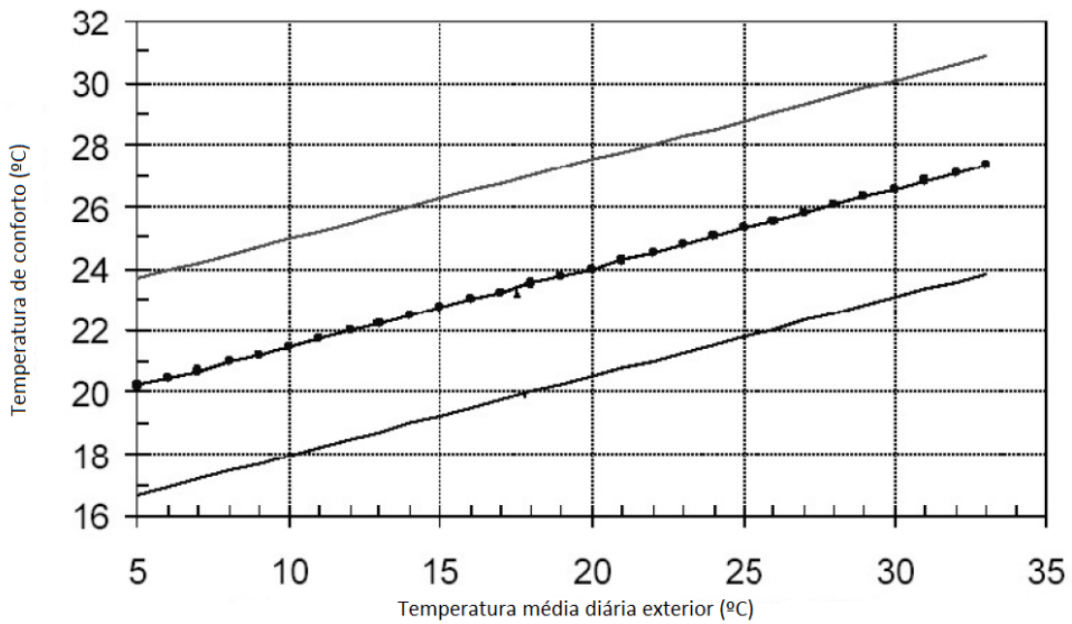


Figura 1.4 – Modelo adaptativo de conforto térmico proposto por Dear, Brager e Cooper (Adaptado de Ashrae, RP-884 1997).

Na determinação do intervalo de temperaturas de conforto em edifícios naturalmente ventilados, resulta do factor “resposta do indivíduo”. A resposta do utilizador sujeito a este tipo de sistema de ventilação, face à alteração da temperatura, passa pela possibilidade de despir um casaco, abrir uma janela, fechar ou abrir estores, etc. Mais tarde aquando da revisão da norma “ASHRAE 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*” no ano de 2004, foi então o índice de conforto ilustrado pela figura 1.5.

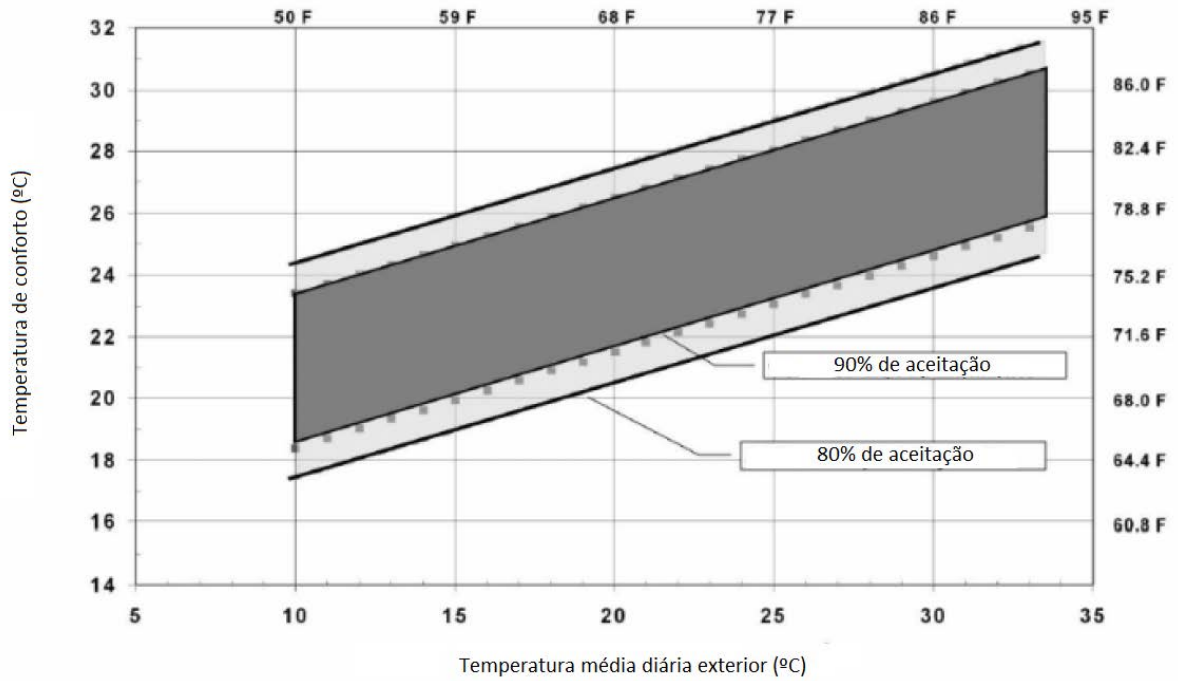


Figura 1.5 – Variação de temperatura operativa aceitável em ambientes ventilados naturalmente, proposto pela ASHRAE 55, 2004. (Adaptado de: ASHRAE 55, 2004).

1.4. Outros critérios a satisfazer

1.4.1. Influência da humidade relativa

O conforto térmico também depende da humidade presente no ambiente circundante ao utilizador no edifício. O desconforto pode ser originado tanto por um ambiente excessivamente húmido como por um ambiente excessivamente seco. Para que seja assegurado o conforto, os valores de humidade relativa e temperatura do ar devem situar-se nos intervalos sombreados na representação gráfica ilustrada pela figura 1.6.

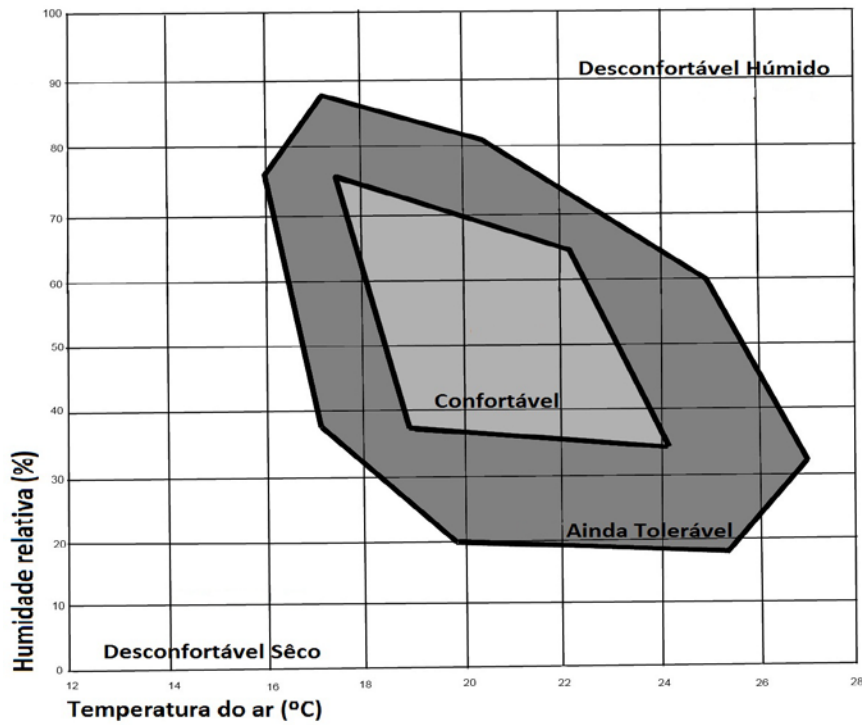


Figura 1.6 – Relação entre temperatura e humidade relativa com o conforto térmico (Fonte: Moita, 1985).

1.4.2. Comparação anual do nível de conforto

As temperaturas médias exteriores variam ao longo do ano, consoante cada estação. Os sistemas de climatização interior do edifício devem então ser projectados para que sejam funcionais, garantindo o aquecimento e o arrefecimento dos interiores consoante seja necessário. Podemos então ver esquematicamente as necessidades de ajuste de temperaturas interiores para que se aproximem de uma zona de conforto térmico.

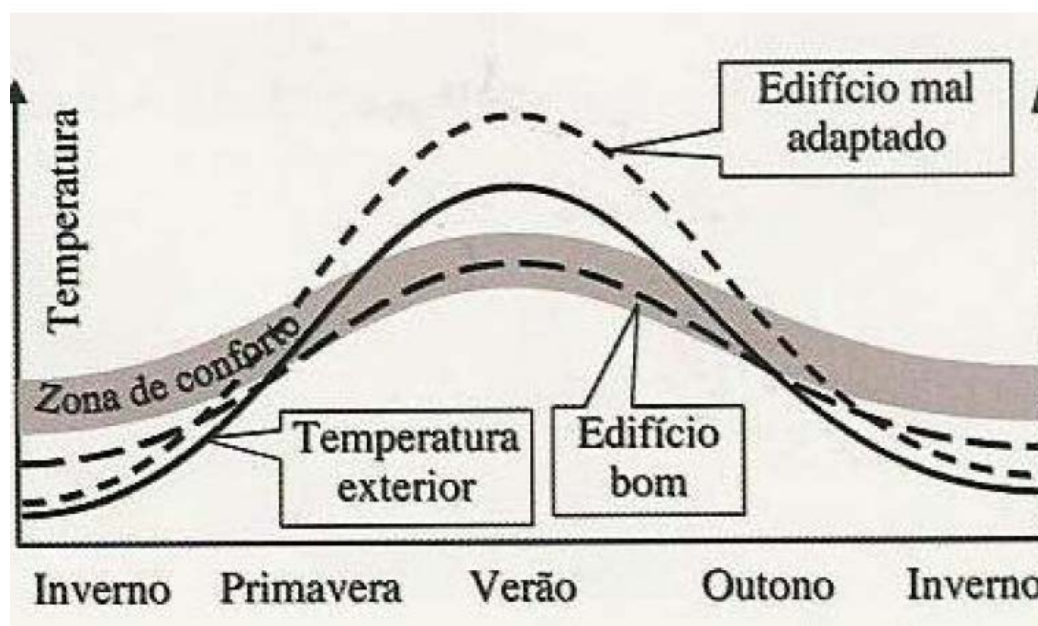


Figura 1.7 – Necessidades anuais de adaptação das temperaturas interiores do edifício em relação à estação do ano (Fonte: Lisboa, 2007).

Capítulo 2

Factores que condicionam a Ventilação Natural

2. Factores que condicionam a Ventilação Natural

A eficácia dos sistemas de Ventilação Natural depende do correcto estudo e compreensão dos parâmetros que mais a influenciam. Estes podem ser incluídos em dois grupos, sendo eles:

- Condições climatéricas no exterior: Acção do vento e a acção térmica;
- Parâmetros arquitectónicos: Englobam as características do local de implantação, a exposição das fachadas ao vento, da forma e tipologia do edifício e da distribuição interior dos espaços.

2.1. Acção do vento

2.1.1. O Vento

O vento é um fenómeno físico com um comportamento muito irregular. Este comportamento aleatório é designado por turbulência, sendo que nas camadas inferiores atmosféricas a turbulência é gerada pelos obstáculos no terreno ou pela instabilidade térmica do escoamento (para baixas velocidades, sendo que esta decresce com a altitude) (Amaral, 2008).

Segundo Silva (2002), o vento consiste em um fluxo de ar atmosférico resultante de um diferencial de pressões com comportamentos dependentes das várias escalas climáticas, sendo estas:

- A escala global, com dimensões de milhares de quilómetros, relacionada com condições astronómicas do Planeta tais como a inclinação do seu eixo de rotação, a órbita em torno do sol, entre outros, estes que determinam os padrões

de grande dimensão no clima de acordo com a posição orbital e a latitude. Os balanços termodinâmicos entre a superfície e a atmosfera geram as condicionantes que determinam o padrão global do escoamento atmosférico, isto é, os sistemas anticiclónicos e depressionários em torno dos quais se processa aquele escoamento e que geram os movimentos das grandes massas de ar com características próprias de cada zona, como por exemplo na zona temperada a que corresponde a Europa Ocidental.

- A escala regional, com uma dimensão de ordem de grandeza inferior à anterior, que depende essencialmente da orografia e das características mais continentais ou marítimas da zona.
- A escala local estende-se por um raio de valor da dezena de quilómetros, resultante da interacção da escala regional com a presença de condicionantes tais como florestação, urbanização ou grandes extensões de água.
- A escala microclimática, sendo esta uma subdivisão da escala local e de dimensão na ordem das centenas de metros. O padrão normal do vento nesta escala pode ser modificado através da acção humana de forma durável pela instalação de dispositivos corta-vento ou através da adaptação do planeamento urbano às condições de vento dominante, entre outros. Nesta escala podem ainda ocorrer o movimento de massas de ar provocado pelo aquecimento diferencial através da actividade humana (acontecem geralmente nos grandes centros urbanos), nomeadamente as ilhas de calor.

A zona definida como a porção mais baixa da troposfera, desde a superfície da Terra até o nível do vento gradiente originado pelas escalas climáticas globais, designa-se por Camada Limite Atmosférica (CLA) e desenvolve-se desde o solo, onde a velocidade horizontal do vento pode ser considerada nula, até uma altura onde se deixam de sentir os efeitos dos obstáculos na superfície terrestre variando progressivamente entre os dois pontos. No ponto de vista da Ventilação Natural importa a garantia que o vento tenha uma componente horizontal dominante, ou seja, que a componente mecânica se sobreponha à componente térmica, situação esta que corresponde a uma atmosfera de estabilidade neutra e, tomando a altura de referência meteorológica de 10m acima do solo, as velocidades deverão estar acima dos 3-4 m/s (Silva, 2002). A camada limite atmosférica pode ser descrita como essencialmente bidimensional desenvolvendo-se sobre uma camada plana em gradiente de pressões nulo com espessura δ que varia entre

os 250 e os 600 metros, dependente da superfície sobre a qual se desenvolve o escoamento (figura 2.1).

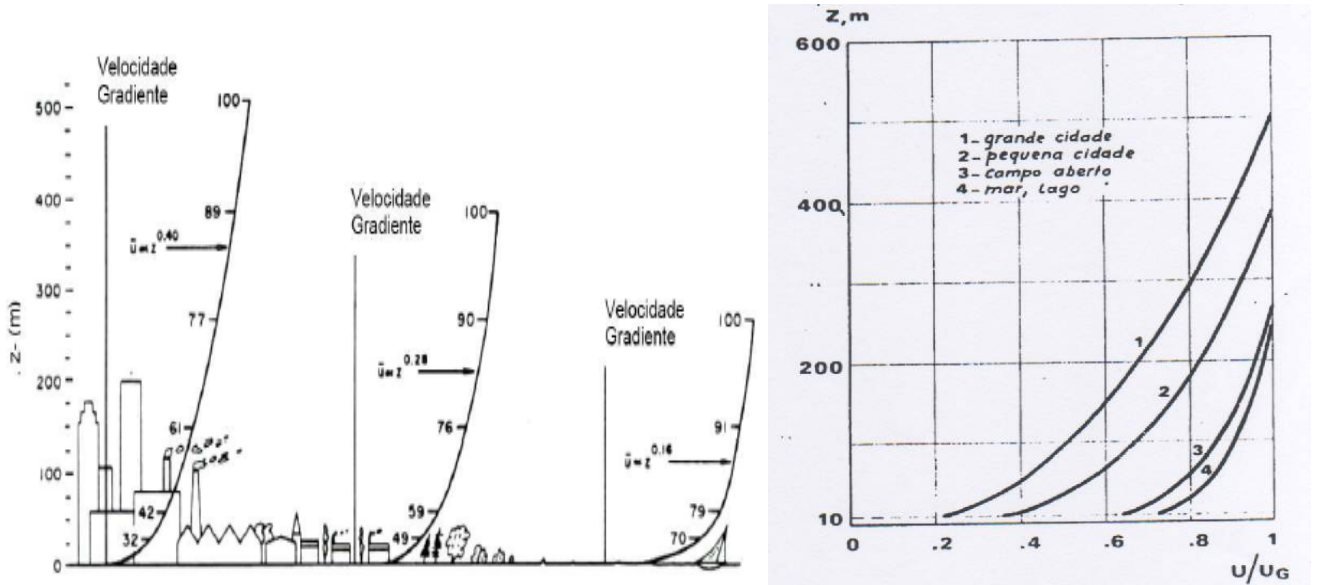


Figura 2.1 – Perfis de camada limite atmosférica (adaptado de Silva, 2002 e de Amaral, 2008).

2.1.2. Interferência do vento em obstáculos

Sendo que o vento é uma das principais forças motrizes na Ventilação Natural, torna-se de grande importância o estudo do efeito da interferência entre este e os componentes exteriores de um edifício (as suas fachadas e coberturas) onde resultam as distribuições de pressões. Estas distribuições são influenciadas pela direcção do vento, pela topografia, pela rugosidade do terreno e obstáculos vizinhos (outros edifícios, arborização, etc.) ou outros elementos que constituam obstáculos à livre circulação do vento. Segundo Silva (2002) quando o vento contorna um obstáculo (Figura 2.2) origina uma alteração no campo de velocidades criando uma distribuição de pressões não uniforme. Esta distribuição de pressões é por norma apresentada através de um coeficiente de pressão, positivo ou negativo consoante a pressão local seja, respectivamente, superior ou inferior à pressão atmosférica.

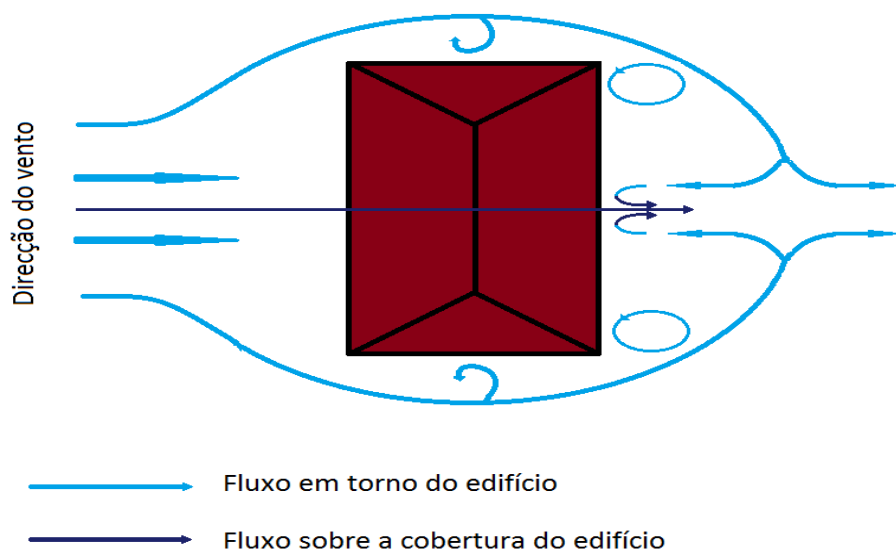


Figura 2.2 – Campo de velocidades de um escoamento em torno de um edifício (efeito de Esteira) (Adaptado de Simões, [199-?]).

A determinação dos coeficientes de pressão só pode ser realizada para valores de velocidade do vento superiores a 3-4m/s (Amaral, 2008). A obtenção destes coeficientes deve ser realizada através de ensaios em túnel de vento, mas só se justificando no caso de edifícios muito especiais ou investigação. Para os casos mais gerais existem resultados para um número razoável de formas simples, tais como cubos e paralelepípedos em bibliografia especializada, e para configurações das envolventes exteriores, como primeira aproximação, podem referir-se valores do RSAEEP (1983). No Anexo I são apresentados alguns exemplos de distribuições de coeficientes de pressão em formas cúbicas.

2.1.3. Distribuição das aberturas de entrada e saída de ar

A compreensão dos padrões de escoamentos em torno de edifícios e das direcções predominantes do vento no local é importante para a instalação dos sistemas de Ventilação Natural. As aberturas de entrada e saída de ar deverão ser instaladas de modo a que estas providenciem a ventilação da maior parte possível do espaço interior.

Existem situações em que o valor do coeficiente de pressão poderá passar de valor positivo a negativo ou vice-versa em alguns pontos nas fachadas, devido a factores tais como a presença de obstáculos na proximidade do edifício. No caso de necessidade de instalação de aberturas nestes locais, as entradas e saídas de ar deverão ser do tipo auto-reguláveis de modo a prevenir a inversão do fluxo de ventilação nos compartimentos respectivos.

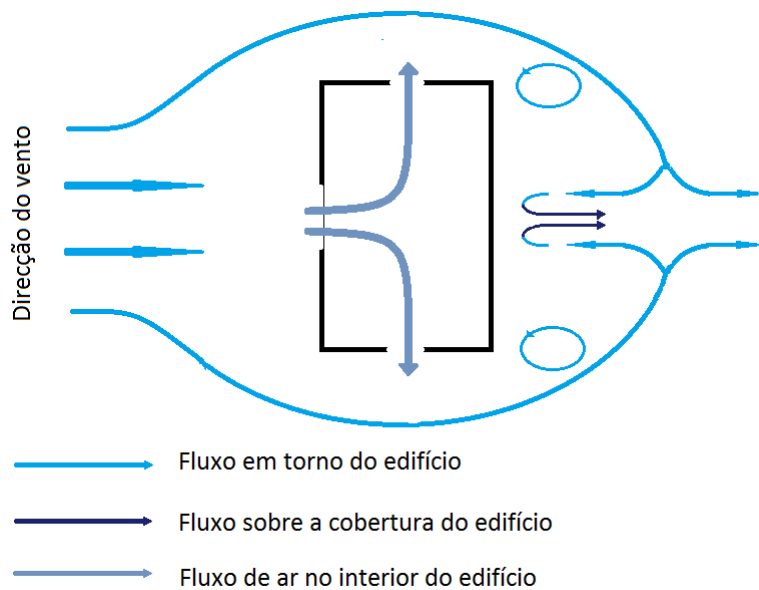


Figura 2.3 – Ventilação através de aberturas laterais e barlavento de saídas e entradas respectivamente (Adaptado de Verdelho, 2008).

A figura 2.3 ilustra um exemplo de como pode ser feita a implantação de um sistema de Ventilação Natural face ao escoamento do ar em torno de um edifício. O vento ao embater na fachada a barlavento, cria uma pressão positiva nesta possibilitando a instalação de uma abertura de entrada de ar. A evacuação do ar pode então ser realizada através de duas aberturas de saída de ar nas fachadas laterais cuja soma das áreas destas é igual á área da abertura de entrada de ar possibilitando assim uma boa distribuição do fluxo de ar no interior do compartimento.

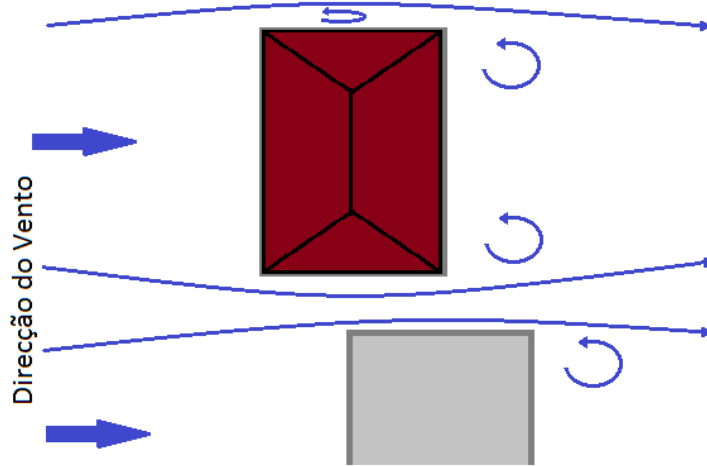


Figura 2.4 – Interferência entre escoamento e dois edifícios posicionados lado a lado (Adaptado de Silva, 2002).

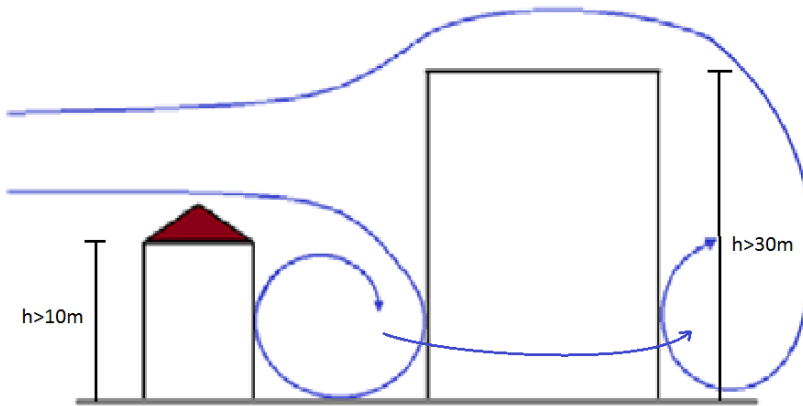


Figura 2.5 – Efeito de Esteira pela associação crítica de edifícios (ou Efeito Wise) (Adaptado de Simões, [199-?]).

O fluxo de ar em um sistema de Ventilação Natural é significativamente influenciado não só pelas características arquitectónicas de um edifício, mas também pelas características do terreno que o rodeiam. A figura 2.4 ilustra um exemplo de como a presença de um edifício com um grande obstáculo na sua proximidade pode influenciar o escoamento do ar em que o vento origina uma distribuição de pressões positivas na fachada a barlavento, enquanto que, na fachada a sotavento e nas fachadas laterais o vento origina distribuições de pressões negativas. A figura 2.5 ilustra a interferência entre o escoamento e dois edifícios com as fachadas de maior dimensão perpendiculares à direcção predominante do vento. Segundo Simões, [199-?], o efeito de Esteira pela

associação crítica de edifícios acontece quando a altura do edifício com maior altitude excede os 30m e a altura do edifício menos alto excede os 10m. A fachada a sotavento do edifício de menor dimensão da figura 2.5 fica sujeita a coeficientes de pressão positivos devido à proximidade de um grande obstáculo formado pelo edifício de maior dimensão.

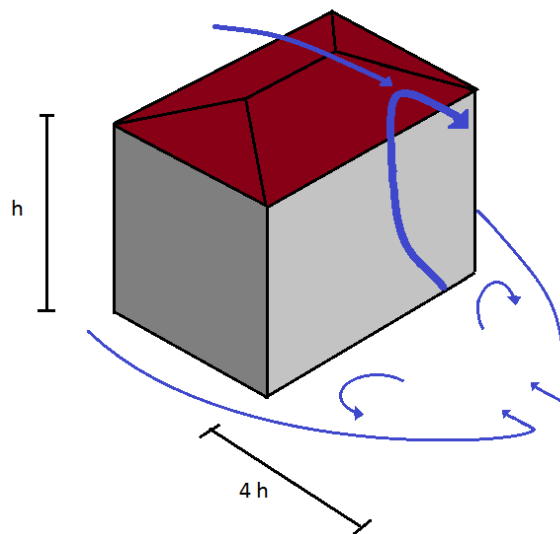


Figura 2.6 – Efeito de Esteira em um edifício típico (Adaptado de Simões, [199-?]).

Segundo Simões, [199-?], o comprimento de influência de um efeito de esteira é de quatro vezes a altura do edifício em questão, sendo esta dimensão medida desde a fachada a sotavento na direcção do vento, como pode ser observado na figura 2.6. Sendo assim, qualquer edifício que se encontre na área de influência do efeito de esteira de outro edifício, terá alguns condicionamentos a nível de ventilação, factor este que é comum e zonas urbanas, devida à grande proximidade entre edifícios.

2.1.4. Uso de deflectores na promoção da Ventilação Natural

Muitas habitações construídas actualmente apenas possuem uma ou duas fachadas exteriores, não permitindo assim o uso de aberturas de saída em oposição às de entrada de ar (exemplo: em edifícios de apartamentos). Nestes casos podem ser utilizados deflectores (figura 2.7) nas aberturas de entradas e saídas de ar de modo a provocarem uma alteração nos valores dos coeficientes de pressão nestas entradas.

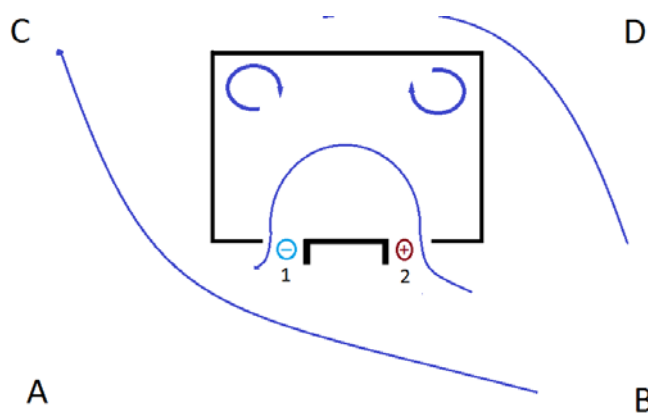


Figura 2.7 – Exemplo de uso de deflectores para aberturas na mesma fachada na ventilação unilateral (Adaptado de Simões, [199-?]).

A figura 2.7 ilustra um exemplo de como ventilar um compartimento através de aberturas quando estas apenas podem ser colocadas em uma fachada. Este exemplo funciona para ventos de direcção predominante B-C e também para quando a direcção predominante dá-se no sentido A-D (neste caso o sentido do fluxo inverte-se em relação ao demonstrado na figura). No caso de edifícios com duas fachadas disponíveis para aberturas de ventilação pode ser feito o recurso à ventilação cruzada, ilustrado na figura 2.8, quando a direcção predominante do vento dá-se no sentido A-D ou B-C (neste último os sentidos de fluxo de ar no interior em relação à figura também se invertem). A figura 2.8 ilustra também como o sentido do fluxo para estas direcções do vento pode ainda ser alterado bastando para tal proceder à alteração do posicionamento dos deflectores, isto é, à direita ou à esquerda das aberturas.

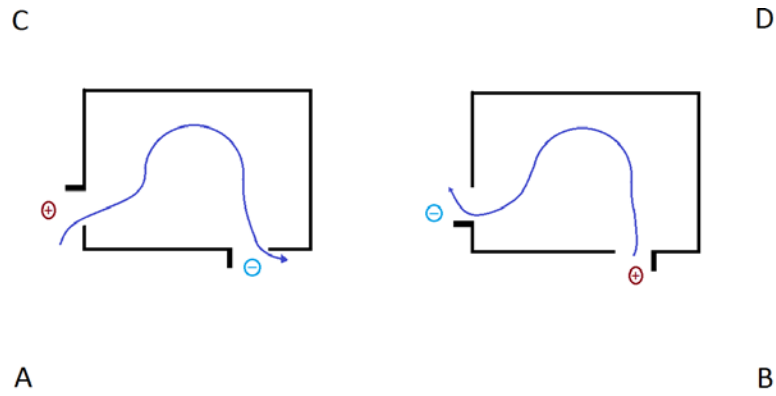


Figura 2.8 – Exemplos do uso de deflectores para aberturas de ventilação em duas fachadas, para a promoção de ventilação cruzada (Adaptado de Verdelho, 2008).

O dimensionamento dos deflectores deve ser realizado consoante a largura das aberturas, isto é, com a largura dos deflectores mínima igual a metade da largura das aberturas (a largura ideal para os deflectores deve ser de igual valor ao da largura das aberturas) (Verdelho, 2008). Outras barreiras podem ser utilizadas para o mesmo efeito, como por exemplo o recurso a vegetação (figura 2.9), desde que sejam seguidos os princípios de posicionamento de deflectores.

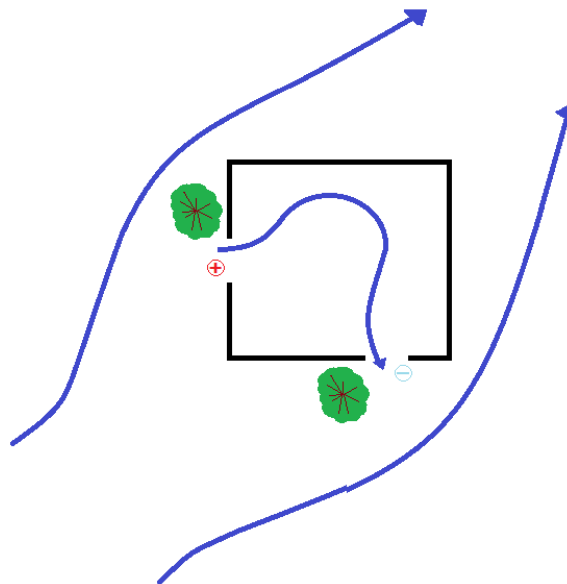


Figura 2.9 – Exemplo de uso de vegetação na promoção da Ventilação Natural (Adaptado de Verdelho, 2008).

2.1.5. Interferência do vento em Coberturas

É importante conhecer a influência do vento nas coberturas dos edifícios para a instalação de sistemas de Ventilação Natural nestes locais. A instalação de chaminés deve ser realizada de modo a que estas não se situam em zonas de recirculação de ar (figura 2.10), já que nestas zonas o ar não é convectado e os gases provenientes destes dispositivos podem ser readmitidas para o próprio edifício ou podem até contaminar um edifício adjacente. A zona de recirculação em um edifício depende também da sua cobertura, ou seja, se esta é inclinada ou horizontal plana. A figura 2.11 ilustra as zonas de recirculação em coberturas horizontais planas em um edifício directamente exposto ao vento (à esquerda) e em um edifício com um obstáculo na fachada a barlavento (à direita). A figura 2.12 ilustra a ocorrência de zonas de recirculação em edifícios com coberturas inclinadas.

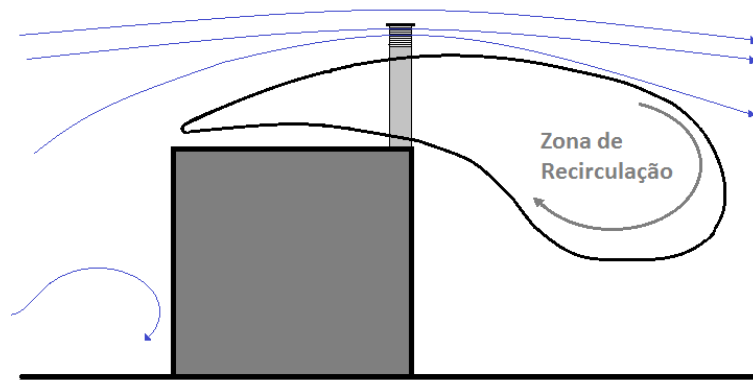


Figura 2.10 – Posicionamento de chaminé sobre a zona de recirculação (Adaptado de Silva, 2002).

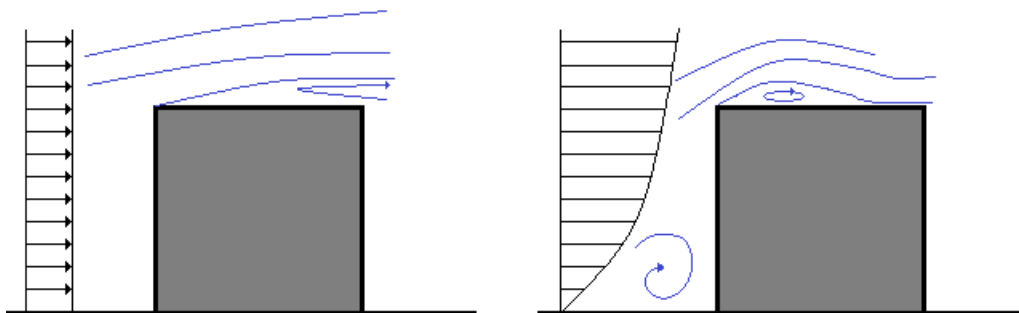


Figura 2.11 – Linhas de corrente do escoamento em coberturas planas (Adaptado de Silva, 2002).

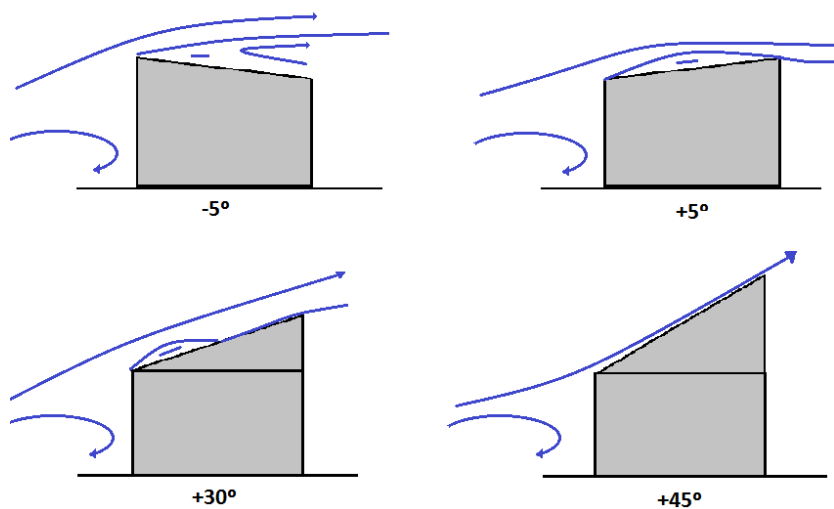


Figura 2.12 – Linhas de corrente do escoamento em coberturas inclinada (Adaptado de Silva, 2002).

Outro pormenor de interesse pode ser observado na figura 2.13, que ilustra como as coberturas em algumas casas mais tradicionais na ilha da Madeira eram construídas com uma grande inclinação. Devido ao desenho das telhas utilizadas nas habitações, era frequente a entrada de água através das “juntas” onde estas se ligavam com a ocorrência de vento de grande intensidade. A inclinação acentuada representava uma boa solução para o problema.



Figura 2.13 – Tipo de casa mais tradicional localizada nos Prazeres, Ilha da Madeira (Autor: C. Magro).

2.2. Acção Térmica

O ambiente interior de um edifício é directamente influenciado pela temperatura do ar exterior e pela radiação solar.

A temperatura do ar é o factor responsável pela indução das trocas de calor pela envolvente do edifício através do estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior (em épocas mais frias originando perdas térmicas na habitação) e do exterior para o interior (em épocas quentes, dando origem a ganhos térmicos) (Gonçalves e Graça, 2004). As perdas térmicas constituem a razão principal pela diminuição da temperatura interior de um edifício. A minimização destas perdas nas épocas mais frias torna-se assim essencial para que seja garantido o conforto térmico no edifício, podendo ser feita através do isolamento das paredes, coberturas e pavimentos e também através da correcta escolha de envidraçados, janelas e portas a serem instalados no edifício. Nas épocas quentes para que seja garantido o conforto, devem ser restringidos os ganhos térmicos e devem ainda ser promovidas estratégias que atenuem os efeitos da temperatura tais como a ventilação.

A radiação solar é essencial para o conforto térmico, sendo que esta é uma fonte de calor importante para o aumento da temperatura no interior de um edifício em épocas mais frias. O contacto directo entre a radiação solar e o interior do edifício deve ser evitado em épocas mais quentes para que não seja atingido o desconforto térmico devido ao sobreaquecimento através do cobrimento de vãos envidraçados por cortinas, vegetação, entre outros.

2.2.1. Geometria Solar

Para o estudo e implementação de sistemas de Ventilação Natural, o posicionamento de um edifício em relação á radiação solar ao longo de todo o ano deve ser estudado de modo a que esta radiação seja aproveitada em todas as épocas climáticas. Sendo assim, para que o aproveitamento da radiação solar no âmbito da climatização seja o mais

eficaz para os objectivos pretendidos, é importante conhecer os diferentes percursos do sol ao longo do dia para todas as estações do ano. Segundo Gonçalves e Graça (2004), o estudo de um edifício quanto à sua forma e das obstruções à incidência de radiação solar designa-se “Geometria da Insolação ou Geometria Solar” e neste incluem-se o estudo dos efeitos de palas e sombreamentos do próprio edifício, bem como os efeitos do sombreamento derivado dos edifícios vizinhos, árvores, vegetação e à forma urbana do espaço circundante (praças, ruas, avenidas, etc.). A figura 2.14 ilustra os percursos do sol em diferentes alturas do ano em Portugal, sendo que no Solstício de Verão o sol nasce na orientação Nordeste e põe-se na orientação Noroeste, variando o ângulo de azimute do nascer e pôr-do-sol com a latitude do local; nos Equinócios o sol nasce na orientação Este e põe-se na orientação Oeste; no Solstício de Inverno o sol nasce na orientação Sudeste e põe-se na orientação Sudoeste, com o ângulo de azimute a variar do nascer e pôr-do-sol com a latitude do lugar (Gonçalves e Graça, 2004).

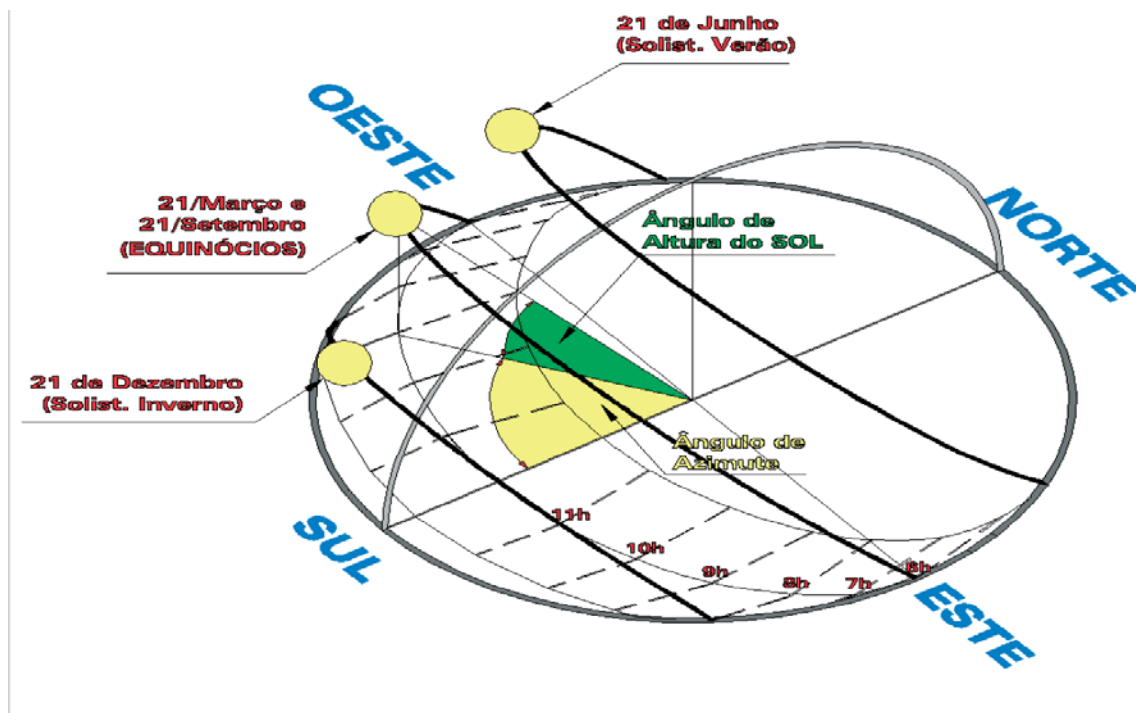


Figura2.14 – Percurso do sol em diferentes alturas do ano (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004).

2.2.2. Orientação de fachadas envidraçadas

Para o dimensionamento das fachadas envidraçadas deverá ser tido em conta não só a dimensão, o tipo de vidro e caixilharias, mas também a sua orientação. Estas devem ser orientadas para uma posição que possibilite a recepção da maior quantidade possível de radiação solar, sendo a orientação Sul a mais adequada este efeito, durante todo o ano (em Portugal). Em locais onde possam ocorrer sombreamentos devido a obstáculos próximos ou devido às características mais acidentadas do terreno (como por exemplo, uma zona montanhosa), a orientação das fachadas deve ser feita de maneira a que estas fiquem expostas à maior quantidade de radiação solar possível durante o maior período de tempo possível. A figura 2.15 ilustra a orientação de casas no sítio dos Prazeres na Ilha da Madeira, sendo que as mais antigas eram predominantemente orientadas aproximadamente a Sudoeste, sendo esta orientação a mais favorável para o melhor aproveitamento possível da radiação solar neste local. Este facto deve-se a que durante algumas horas da manhã a radiação solar é impedida de chegar àquela zona devido à existência de uma zona montanhosa como se pode observar na figura 2.16 (assinalada a amarelo). Na figura 2.15 estão ainda assinalados dois exemplos destas casas a azul e a amarelo. A mesma figura ilustra ainda como algumas casas não são orientadas da forma mais correcta, geralmente as casas mais recentes (por exemplo a casa assinalada a vermelho), estas que podem sofrer de problemas tais como o desconforto térmico, humidades e fungos, factores estes que poderiam ser minimizados através de um melhor aproveitamento dos ganhos térmicos através da correcta orientação dos envidraçados.



Figura 2.15 – Orientação das fachadas envidraçadas de casas face à radiação solar no sítio dos Prazeres, Ilha da Madeira.



Figura 2.16 – Orientação das fachadas envidraçadas de casas face a uma obstrução à incidência da radiação solar no sítio dos Prazeres, Ilha da Madeira.

Durante o Inverno torna-se necessário o aquecimento do interior dos edifícios. O percurso do sol no período matinal e no início da tarde é feito em uma trajetória perto da perpendicular às janelas em uma fachada orientada para Sul. Esta orientação

possibilita assim a entrada da maior quantidade de radiação solar possível para o interior do edifício (figura 2.17 (à esquerda)). Para uma fachada orientada a Nascente, a entrada de radiação solar para o interior do edifício é pouca, visto que o sol nasce em uma orientação próxima de Sudeste, incidindo nesta fachada durante poucas horas da manhã com um pequeno ângulo de incidência (figura 2.17 (à direita)).

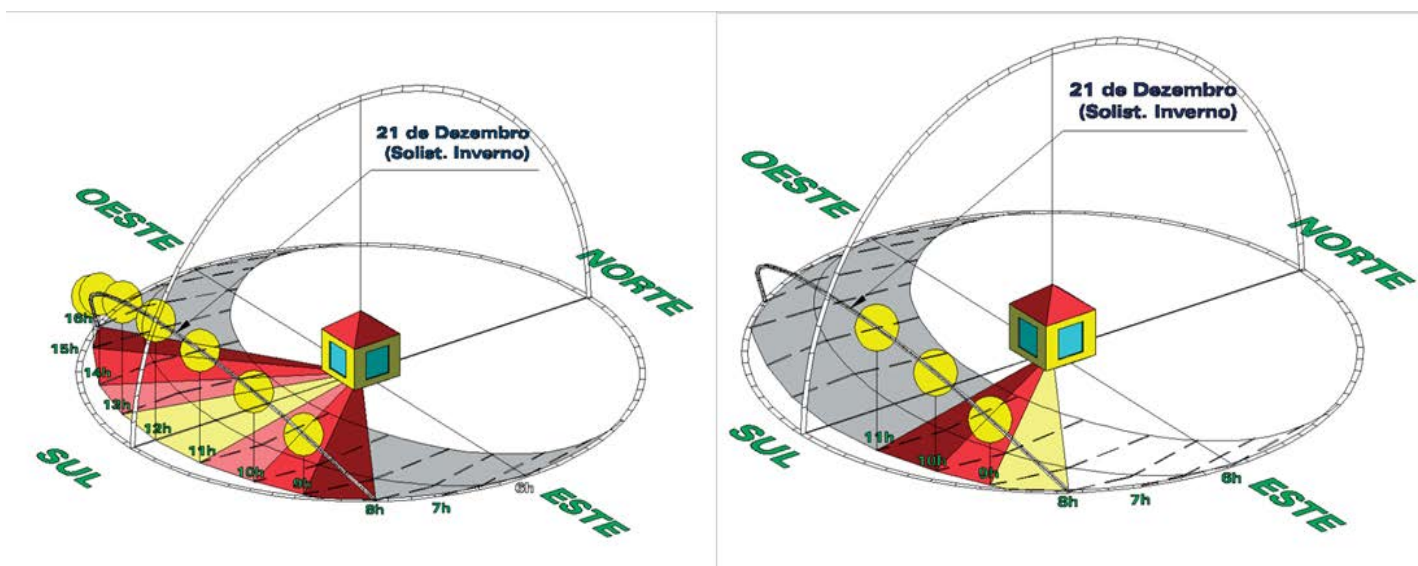


Figura 2.17 – Influência do percurso do sol em envidraçados nas fachadas orientadas a Sul (à esquerda) e a nascente (à direita) no Inverno (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004).

Os ganhos de radiação solar devem ser minimizados durante o Verão. Os ângulos de incidência entre o sol e os envidraçados são grandes, sendo que este factor produz uma redução nos ganhos solares em situação á situação de Inverno (figura 2.18 (à esquerda)). Visto que nestas épocas é conveniente a total atenuação destes ganhos, podem ser dimensionadas para o efeito palas de reduzidas dimensões ou outros dispositivos semelhantes, como por exemplo os beirados salientes na casa Schäfer no Porto Santo. Nesta estação as fachadas orientadas a Nascente ficam expostas à radiação solar durante grande parte da manhã até o meio-dia, visto que o sol nasce próximo da orientação Nordeste (figura 2.18 (à direita)). O ângulo de incidência entre o sol e qualquer envidraçado que se situe nesta orientação faz com que haja uma grande captação de energia para o interior da habitação, factor este que se torna indesejável nesta esta estação do ano.

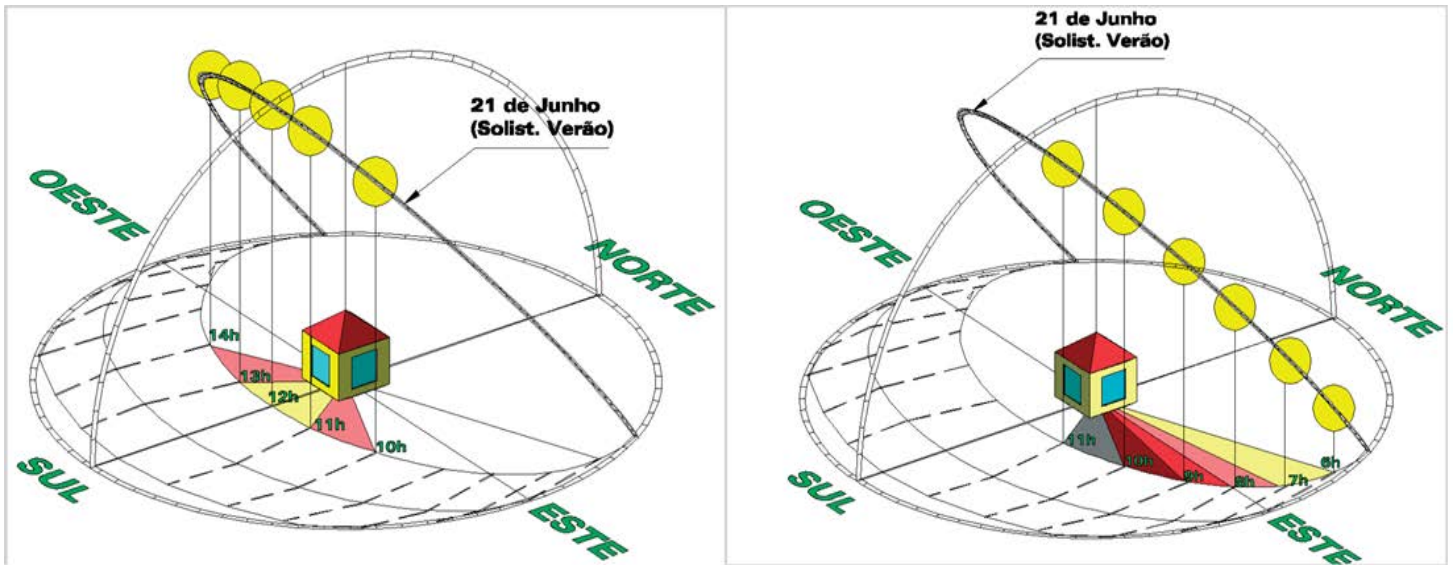


Figura 2.18 – Influência do percurso do sol em envidraçados nas fachadas orientadas a Sul (à esquerda) e a nascente (à direita) no Verão (Fonte: Gonçalves e Graça, 2004).

2.2.3. Perdas e ganhos térmicos pela envolvente de edifícios

A transmissão de calor através das envolventes dos edifícios é um fenómeno que deve ser minimizado para que não ocorram perdas de calor no Inverno ou Ganhos de calor no Verão através de elementos construtivos, sendo estes fenómenos indesejáveis por influenciarem negativamente o comportamento térmico dos edifícios. Para que estes fenómenos sejam minimizados, devem ser adoptadas estratégias com o intuito de aumentar a resistência térmica dos edifícios, ou seja (Gonçalves e Graça, 2004):

- No caso das paredes, coberturas ou pavimentos devem ser instalados materiais isolantes tais como a cortiça, o polistireno expandido, o poliuretano ou lãs minerais;
- No caso dos envidraçados, o conjunto “vidro – caixilharia - persiana“ deve ter uma resistência térmica mais elevada.

Capítulo 3

Ventilação Natural

3. Ventilação Natural

3.1. Definição e Controlo da Ventilação Natural

A Ventilação Natural pode ser definida como a renovação do ar sem o recurso a elementos mecânicos, isto é, a promoção da entrada de ar fresco no interior do edifício substituindo assim o ar poluído que se encontra no seu interior. Os fluxos de ar são o resultado de um diferencial de pressões originado por dois factores, sendo estes (Viegas, 1995):

- A acção do vento sobre o edifício (figura 3.1);
- Alteração da densidade do ar por acção da temperatura.

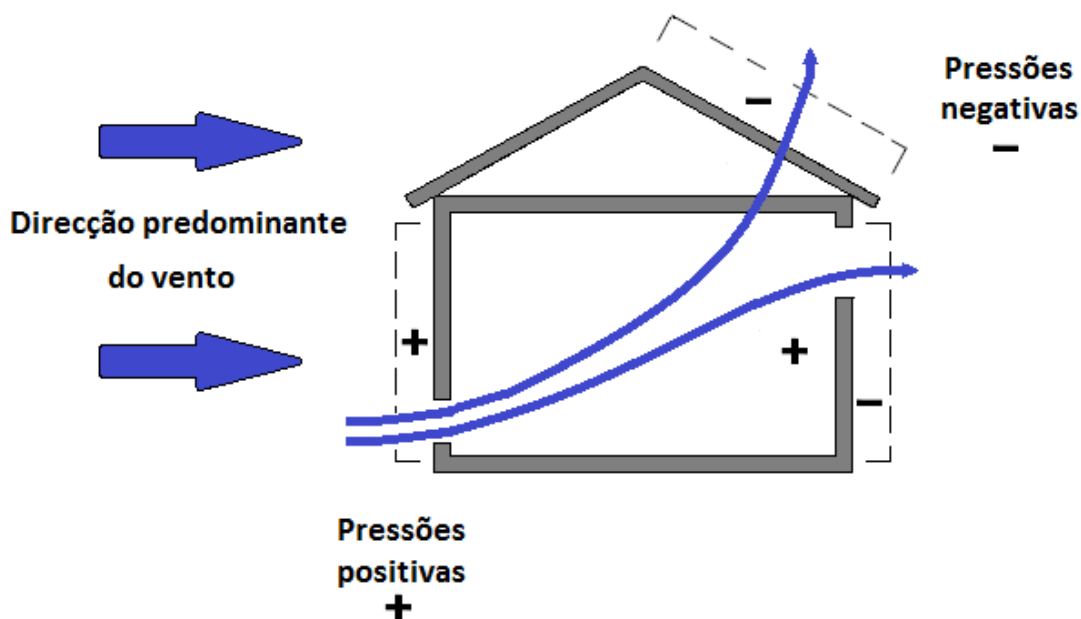


Figura 3.1 – Esquema de diagramas de pressões na fachada de um edifício em relação á direcção do vento (adaptado de: Verdelho, 2008).

Caso o fluxo de ar resulte da existência de aberturas devidamente previstas e colocadas nas fachadas para o efeito, o processo é designado por Ventilação Natural. Se o fluxo de

ar resultar da existência de frinchas, fendas ou caixilharias/portas não adequados nem concebidos para o efeito, o processo designa-se por Infiltração ou Exfiltração.

O controlo dos sistemas de Ventilação Natural pode ser feito através da simples abertura ou fecho de janelas, mas sendo a ventilação um processo difícil de controlar, facilmente se atinge o desconforto pela velocidade excessiva do ar no interior do edifício ou através das trocas de temperatura entre o interior e o exterior quando, por exemplo, a temperatura exterior se encontra muito abaixo da temperatura interior conduzindo ao fecho das janelas.

Na generalidade, antigamente as mulheres ficavam em casa todos os dias com as janelas abertas, mas com a evolução do estilo de vida da população, na maioria das habitações todos os seus moradores passam o dia fora de casa para trabalhar, estudar, etc., facto este que leva a que as portas e janelas fiquem encerradas na maior parte do período diurno. Sendo assim, e existindo a necessidade de que a ventilação de uma habitação seja um processo contínuo, existe a necessidade da implantação de sistemas que a promovam mesmo com as janelas fechadas tais como aberturas nas fachadas ou chaminés, etc.

3.2. Necessidades de Ventilação

A não renovação do ar do interior de um edifício aliado à poluição provocada pelo metabolismo dos seus utilizadores, actividades desenvolvidas ou equipamentos instalados, pode acarretar vários problemas para o interior deste, ao permitir o aparecimento de cheiros, humidades, condensações, bolores e fungos e podendo até originar a degradação de materiais no seu interior (Cardoso, 2008). Já por parte dos utilizadores do edifício, a falta de ventilação reflecte-se no bem-estar físico destes com o surgimento de patologias temporárias (a sua ocorrência dá-se apenas durante a permanência no edifício) identificadas como Síndrome dos edifícios doentes (SED) e nos casos mais graves através de doenças relacionadas com edifícios (DRE) (maior parte dos problemas desaparecem ao fim de vários dias após a visita ao edifício). Os sinais e sintomas resultantes constituem os seguintes indicadores (fonte: <<http://saudepublica.web.pt>>)

- Indicadores da síndrome de edifícios doentes (SED):

- Astenia/fadiga;
- Cefaleias;
- Dificuldade de concentração;
- Hipersensibilidade a odores;
- Irritação ocular, nasal e/ou faríngea;
- Náuseas e tonturas/vertigens;
- Prurido cutâneo e/ou pele seca;
- Tosse seca.

- Indicadores das doenças relacionadas com edifícios (DRE):

- Arrepios;
- Dores musculares;
- Febre;
- Sensação de opressão torácica;
- Tosse.

A Norma Portuguesa 1037-1 intitulada “Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação Natural” foi desenvolvida com o objectivo de “*definir as regras a que devem obedecer os sistemas de Ventilação Natural dos edifícios de habitação, de modo a que os mesmos cumpram a sua função nos seus múltiplos aspectos, como seja o funcionamento dos aparelhos a gás e a qualidade do ar interior*” (IPQ, 2002). Nesta, são apresentados os “caudais-tipo” para objectivo de dimensionamento do sistema de ventilação nos compartimentos da habitação em relação aos seus volumes e tipo de utilização (tabelas 2.1 e 2.2). Estes caudais asseguram então as exigências de ventilação, sendo estas, uma renovação por hora nos compartimentos principais e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço devido à presença de humidades e gases originados da combustão dos aparelhos de gás (IPQ, 2002).

Compartimento		Volume (m ³)					
		≤8	> 8 ≤ 11	> 11 ≤ 15	> 15 ≤ 22	> 22 ≤ 30	
Cozinha e outros espaços para a instalação de aparelhos a gás	l/s	(1)	17		25	120	
	m ³ /h		60		90		
Instalação sanitária	Com banheira ou duche	l/s	13		17	25	(2)
		m ³ /h	45		60		
	Sem banheira ou duche	l/s	8	13	17	(2)	(2)
		m ³ /h	30	45	60		
Espaços para lavandaria	l/s	8	13	17	(2)	(2)	
	m ³ /h	30	45	60			

(1) Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás dos tipos A. Esta montagem é permitida para os aparelhos do tipo B desde que o local seja destinado apenas para alojamento deste.

(2) Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso tendo em conta as exigências acima referidas.

Tabela 3.1 – Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço (Adaptado de: IPQ, 2002).

Volume	m ³	≤30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
		Caudal-tipo	l/s	8	17	25	33	42	50
	m ³ /h	30	60	90	120	150	180	210	240

Tabela 3.2 – Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais (Fonte: IPQ, 2002).

3.3. Concepção de sistemas de Ventilação Natural

3.3.1. Esquemas de ventilação

Para que seja garantido o funcionamento adequado de um sistema de Ventilação Natural é essencial que sejam definidos os percursos de ventilação, prevendo as localizações das entradas e saídas de ar, resultando assim nos esquemas de ventilação. Para este processo é essencial o estudo do local da implantação do edifício quanto às direcções predominantes do vento, para que de possa estudar a influência das pressões deste sobre as suas fachadas (figura 3.1).

Na generalidade deve ser feita a ventilação em todos os compartimentos de um edifício, dando especial atenção à evacuação dos gases de combustão dos aparelhos a gás em cozinhas e do ar das instalações sanitárias de modo a que estes não sejam transmitidos para outros compartimentos no caso de edifícios de habitação unifamiliares e multifamiliares. A tarefa de ventilar naturalmente um edifício é dificultada devido à permeabilidade dos elementos que constituem a envolvente deste, através de juntas ou fendas (Viegas, 1995). Este factor geralmente é desprezado pelo projectista mas pode resultar em uma perda de eficácia considerável em relação aos resultados pretendidos.

Para a definição dos esquemas de ventilação existe a necessidade de que seja diferenciada a situação de Inverno em relação à situação de Verão. Enquanto no período de Verão a ventilação pode ser promovida essencialmente pela abertura de janelas, no período de Inverno a ventilação deve ser realizada constantemente mesmo com as janelas fechadas face às condições climatéricas e temperaturas exteriores. Para tal devem ser instalados sistemas concebidos para esse efeito.

A ventilação de um edifício pode ser feita através de ventilação conjunta ou ventilação separada. A ventilação conjunta consiste em ventilar compartimentos principais (por exemplo quartos ou salas) com todos os compartimentos de serviço, ou seja, no caso de uma habitação, fazendo a admissão do ar exterior através das salas e quartos e promovendo o processo de exaustão através das áreas de serviço onde este processo poderá por exemplo ser realizado simultaneamente com a exaustão dos produtos da combustão dos aparelhos a gás. A ventilação separada consiste em dividir o edifício em

zonas separadas a ventilar, isto é, ventilar as compartições separadamente (por exemplo ventilar os quartos separadamente das instalações sanitárias ao instalar nestas um sistema de entrada de ar e outro de exaustão do mesmo). É de extrema importância evitar trocas de ar entre zonas de ventilação distintas, visto que qualquer interferência entre duas zonas contíguas condiciona o correcto funcionamento do sistema de ventilação. Sendo assim, deve ser assegurada a correcta escolha de materiais para as portas de comunicação quanto à permeabilidade ao ar.

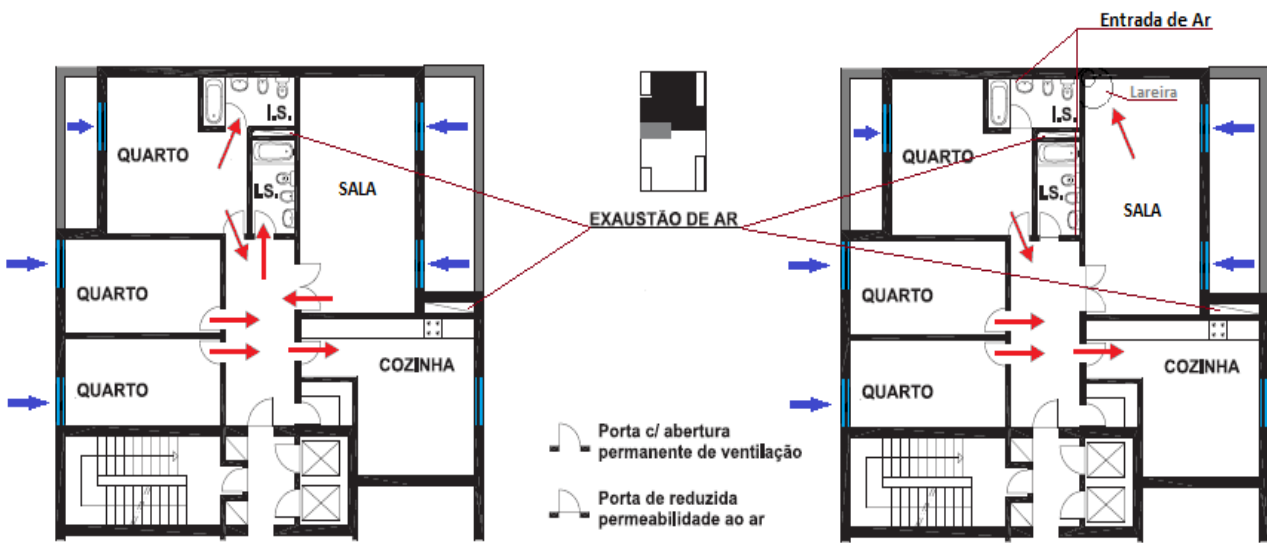


Figura 3.2 – Esquemas de ventilação conjunta (à esquerda) e separada (à direita) em um fogo de habitação em um edifício multifamiliar com entradas de ar pelas janelas e/ou outros dispositivos de entrada de ar (adaptado de: Viegas, 1995).

3.3.2. Componentes dos sistemas de Ventilação Natural no edifício

3.3.2.1. Admissão de ar

No desenho de sistemas de ventilação em edifícios, existem alguns aspectos nos quais o projectista deve ter em consideração tais como a qualidade do ar exterior ou a possibilidade de entrada de animais e insectos no edifício através destes sistemas. A qualidade do ar no exterior do edifício deve ser estudada para que no seu interior não haja contaminação por poluentes e sujidades, entre outros. Sendo assim, nestes casos deve ser estudada a implantação de sistemas que minimizem o impacte da qualidade do ar exterior no edifício tais como filtros, mas dando especial atenção ao facto de que a colocação de filtros e afins pode causar uma diminuição considerável de caudal de ventilação nas aberturas de admissão de ar. Quanto à protecção contra animais ou insectos, podem ser instaladas redes nos pontos de entrada de ar.

3.3.2.1.1. Admissão de ar através de aberturas de ar

As aberturas de ar são dispositivos que asseguram a comunicação directa entre o interior e o exterior do edifício. Existem três tipos de dispositivos sendo estes, as aberturas fixas, as aberturas reguláveis e as aberturas auto-reguláveis (figura 3.3 e figura 3.4). As aberturas fixas, como o próprio nome indica, são simples aberturas nas fachadas que permitem as trocas de ar entre o interior de um edifício com o exterior sendo estas geralmente situadas sobre ou sob as janelas. As aberturas reguláveis são dispositivos que se distinguem das aberturas fixas pelo facto de possuírem um dispositivo que permite a sua abertura ou fecho por parte dos utilizadores do edifício. As aberturas auto-reguláveis são dotadas de um sistema que se regula automaticamente consoante a direcção e o caudal de ar que por esta atravessa, sendo o uso destas aconselhadas para edifícios com grandes obstáculos no seu redor (por exemplo outros edifícios), ao impossibilitar a inversão do sentido do fluxo de ar no dispositivo devido a uma eventual mudança de sentido da distribuição de pressões na fachada do edifício.

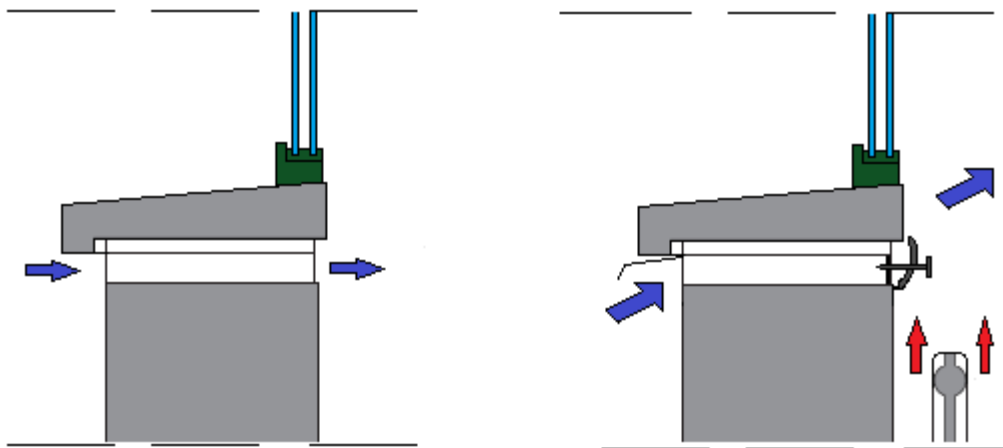


Figura 3.3 – Esquemas de funcionamento de abertura fixa (à esquerda) e abertura regulável (à direita) (adaptado de: Viegas, 1995).

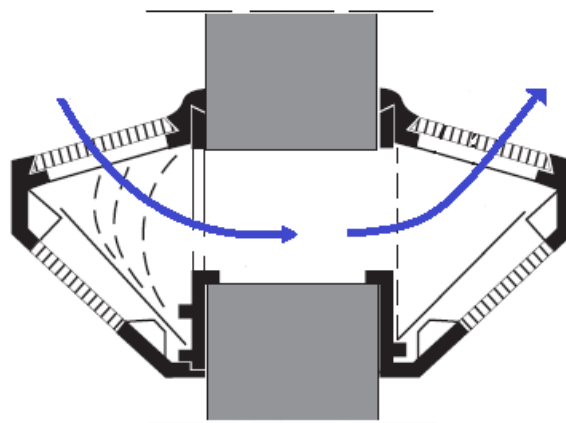


Figura 3.4 – Esquema de funcionamento de abertura de admissão de ar auto-regulável (adaptado de: IPQ, 2002).

3.3.2.1.2. Admissão de ar através de condutas

A admissão do ar pode ser realizada através de um sistema de condutas de comunicação com o exterior. Este sistema consiste em condutas verticais, individuais ou colectivas, ligadas a uma conduta horizontal localizada na base do edifício, com entradas de ar em fachadas opostas. O dimensionamento das aberturas de entrada de ar para os

compartimentos a partir das condutas deve ser efectuado para o caudal tipo pretendido, conforme o indicado na tabela 3.3.

Área útil (cm ²)	Caudal-Tipo	
	60	l/s
m ³ /h		30
90	l/s	13
	m ³ /h	45
120	l/s	70
	m ³ /h	60

Tabela 3.3 – áreas úteis de aberturas de entrada de ar nos compartimentos através de condutas (Adaptado de: IPQ, 2002).

O dimensionamento das **condutas verticais individuais** deve ser feito de modo a que a área de secção nunca seja inferior à área obtida através do diagrama para o cálculo da secção de condutas individuais lisas de secção circular (figura 3.5). A secção das condutas verticais deve ser uniforme a toda a altura. Para condutas lisas de secção não circular, ou seja, quadrangulares ou rectangulares, as suas secções devem ser calculadas através da multiplicação entre um cociente de majoração e o valor da área da secção circular correspondente ao caudal-tipo em causa, de acordo com a seguinte expressão (IPQ, 2002):

$$A_r = A_c \frac{(1+e)^2}{\pi e} \tag{3.1}$$

Onde:

A_c corresponde à área de secção circular para o caudal tipo em causa;

A_r corresponde à área de secção rectangular

e corresponde à razão das dimensões principais da secção, onde $e=1$ para a secção quadrada e $1 \leq e \leq 2$ para secções rectangulares.

Segundo Veigas (1996), para o cálculo de secções de condutas rugosas deve ser levado em conta o aumento do atrito nas paredes destas através de um valor compensatório. Na ausência de especificações ou normalização, este valor deve ser calculado através de ensaios ou através de outros métodos adequados. Para o uso de condutas de betão, o acréscimo da secção deve ser aproximadamente 10%.

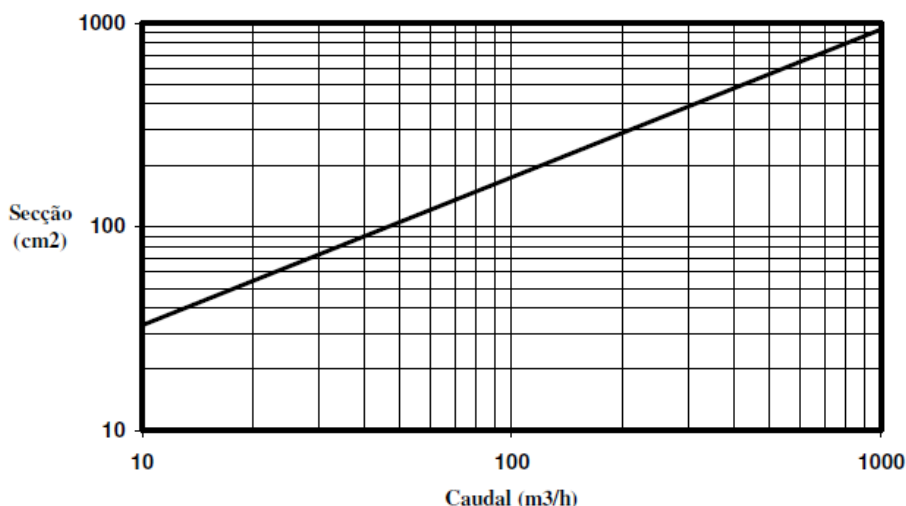


Figura 3.5 – Diagrama para o cálculo da secção de condutas individuais lisas de secção circular (Fonte: IPQ, 2002).

O IPQ (2002) recomenda ainda os valores apresentados na tabela 3.4, para as secções mínimas das condutas individuais circulares lisas.

Caudal		Conduta circular	Conduta Quadrada	Conduta rectangular (e=1.6)
(l/s)	(m³/h)	(cm²)		
8	30	80	100	110
13	45	100	130	135
17	60	120	155	165
25	90	160	205	220
33	120	200	255	270

Por razões de facilidade de limpeza, a menor dimensão da secção das condutas (diâmetro da circunferência, lado do quadrado ou lado menor do rectângulo) deve ser de, pelo menos, 100 mm.

Tabela 3.4 – Valores mínimos recomendados para áreas de secções para condutas circulares lisas (Adaptado de: IPQ, 2002).

O dimensionamento de **condutas verticais colectivas** deve ser feito de modo a que a área de secção nunca seja inferior à área obtida através do diagrama para o cálculo da secção de condutas colectivas lisas de secção circular (figura 3.6), no qual o caudal corresponde á soma dos caudais-tipo de saídas de ar pelas aberturas servidas pelos ramais ligados pela conduta colectora em causa. A secção das condutas verticais deve ser uniforme a toda a altura.

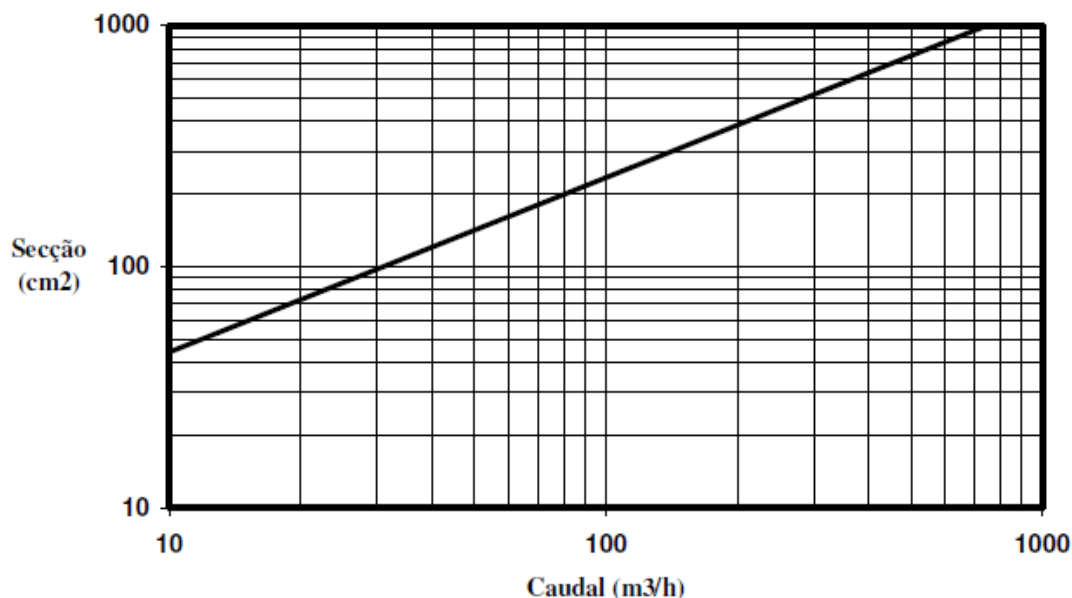


Figura3.6 – Diagrama para o cálculo da secção de condutas colectivas lisas de secção circular (Fonte: IPQ, 2002).

O IPQ (2002) recomenda ainda os valores apresentados na tabela 3.5 para as secções mínimas das condutas circulares colectivas lisas.

Nº de pisos	Conduto Circular (cm ²)					Conduto quadrada (cm ²)					Conduto Rectangular (e=1.6) (cm ²)				
	Caudal-tipo por piso: 30 m ³ /h 45 m ³ /h 60 m ³ /h 90 m ³ /h 120 m ³ /h														
3	220*	290*	360	480	600	280*	370*	460	620	770	295*	390*	490*	650	810
4	270*	360	440	600	730	350*	460	560	770	930	370*	490*	600*	810	990
5	320	420	520	700	860	410	530	670	900	1100	430*	570*	700	950	1160
6	360	480	600	-	-	460	620	770	-	-	490*	650	810	-	-
7	400	530	670	-	-	510	680	860	-	-	540*	720	910	-	-
8	440	600	730	-	-	560	770	930	-	-	600*	810	990	-	-
9	480	650	-	-	-	620	830	-	-	-	650	880	-	-	-
10	520	700	-	-	-	670	900	-	-	-	700	950	-	-	-
3+3	-	-	-	480 +	600 +	-	-	-	620 +	770 +	-	-	-	650 +	810 +
4+3	-	-	-	600 +	730 +	-	-	-	770 +	930 +	-	-	-	810 +	990 +
4+4	-	-	-	600 +	730 +	-	-	-	770 +	930 +	-	-	-	810 +	990 +
5+4	-	-	520 +	700 +	860 +	-	-	670 +	900 +	1100 +	-	-	700 +	950 +	1160 +
5+5	-	-	520 +	700 +	860 +	-	-	670 +	900 +	1100 +	-	-	700 +	950 +	1160 +

* Para a facilitação em termos de limpeza, a área não pode ser inferior a 320 cm² nas secções circulares, a 400 cm², nas secções quadradas e a 640 cm² nas secções rectangulares (e=1.6).

Tabela 3.5 – Valores mínimos recomendados para áreas de secções para condutas circulares colectivas lisas (Adaptado de: IPQ, 2002).

O dimensionamento da **conduta horizontal** deve ser feito semelhantemente ao dimensionamento de condutas verticais colectivas, mas admitindo o dobro da soma dos caudais-tipo para a ventilação dos compartimentos principais ligados á conduta horizontal pelas condutas verticais para efeito de cálculo da secção do tubo.

3.3.2.2. Passagens interiores para a ventilação

Para o correcto funcionamento de um sistema de ventilação, devem ser tomadas medidas que garantam a passagem do ar entre os compartimentos principais e os compartimentos de serviço, mesmo quando todas as portas do interior do edifício se encontram fechadas. Sendo assim, deve ser assegurada a ventilação no interior através de passagens de ar, sendo estas instaladas nas portas interiores (figura 3.7) ou nas paredes. Na maioria dos casos, seja por impacte visual ou pela existência de obstáculos junto às paredes (por exemplo peças de mobiliário), o uso de grelhas ou de folgas sob as portas tornam-se assim as escolhas mais frequentes.

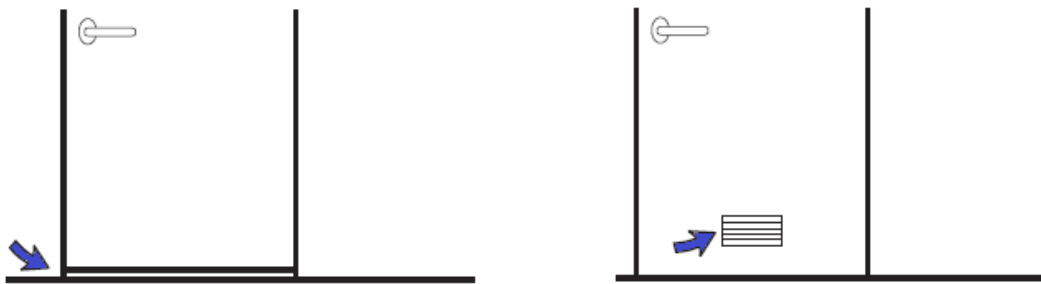


Figura 3.7 -Esquema de funcionamento de passagens de ar interiores aplicadas em portas através de folga na parte inferior da porta (à esquerda) e através de grelha (à direita) (adaptado de: IPQ, 2002).

As passagens de ar interiores devem possuir uma área útil adequada ao caudal necessário para a ventilação do edifício, sendo estas:

Área útil (cm ²)	Caudal-Tipo	
	100	l/s
m ³ /h		30
200	l/s	De 8 até 25
	m ³ /h	De 30 até 90
250	l/s	De 25 a 33
	m ³ /h	De 90 a 120

Tabela 3.6 – Áreas úteis de aberturas de passagem de ar entre os compartimentos principais e os compartimentos de serviço (Adaptado de: IPQ, 2002).

3.3.2.3. Evacuação do ar

A exaustão do ar do interior de um edifício pode ser realizada em qualquer compartimento consoante o esquema de ventilação adoptado pelo projectista. É recomendada a extracção do ar em compartimentos de serviço (devido aos produtos resultantes da utilização destes tais como gases de combustão) e em compartimentos principais que contenham dispositivos cuja remoção dos gases resultantes do seu funcionamento seja necessária.

A evacuação do ar pode ser realizada através de sistemas de exaustão de ar por condutas ou através de aberturas nas paredes no caso de edifícios de habitação unifamiliares, desde que no mesmo sector de ventilação não coexistam aberturas nas paredes com um sistema de exaustão de ar por condutas individuais. As aberturas nas fachadas funcionam de maneira semelhante aos dispositivos de admissão de ar.

Visto que os sistemas de condutas para evacuação de ar podem também ser utilizados para a evacuação dos produtos da combustão do gás e outros, existe a necessidade da escolha de um material com características térmicas resistentes adequadas, ou seja, que resista a 200°C em permanência e a 250°C durante 1 hora, e caso haja a necessidade da exaustão de produtos derivados da combustão de outros combustíveis, o material das condutas deve suportar as temperaturas de 350°C em permanência e 400°C durante 1 hora (IPQ, 2002). As características de estanquicidade do material, resistência à corrosão, isolamento térmico e temperatura devem também ser tomadas em conta de modo a garantir o correcto funcionamento dos sistemas de exaustão de ar.

O traçado das condutas de exaustão de ar deve ser feito na vertical. Contudo, no caso de condutas verticais, se houver a necessidade da instalação de um troço desviado da vertical (figura 3.9) o ângulo de desvio nunca deve ser superior a 20° no caso de condutas com alturas iguais ou superiores a 5 metros, ou 45° no caso de condutas com alturas inferiores a 5 metros que não sejam destinadas a evacuação de produtos de combustão (IPQ, 2002). No caso das condutas colectivas, o seu traçado deve ser feito na vertical até a cobertura do edifício, onde, a partir do ponto de saída da cobertura pode ser instalado um desvio de verticalidade que não exceda os 20°, e as ligações entre os

ramais e a conduta colectiva devem ser feitas com o menor ângulo de desvio possível (IPQ, 2002).

Segundo Viegas (1996) as aberturas de exaustão de ar das cozinhas devem ser colocadas sobre o fogão, e nas instalações sanitárias a uma altura superior a 2,1 metros desde o pavimento e o mais distantes possíveis da entrada de ar possibilitando a maior eficácia possível na remoção do ar contaminado no seu interior.

As áreas úteis das aberturas para a evacuação do ar servidas por condutas colectivas ou individuais, desde que se situem nos 5 últimos pisos de um edifício de habitação multifamiliar ou em uma habitação unifamiliar, devem ser dimensionadas utilizando os valores da tabela 3.7. Para os restantes pisos do edifício multifamiliar, os valores de dimensionamento são apresentados na tabela 3.8.

O dimensionamento das condutas de evacuação de ar deve ser feito de modo semelhante ao dimensionamento das condutas de admissão de ar.

Área Útil	Caudal-tipo	
80 cm ²	l/s	8
	m ³ /h	30
120 cm ²	l/s	13
	m ³ /h	45
150 cm ²	l/s	17
	m ³ /h	60
220 cm ²	l/s	25
	m ³ /h	90
280 cm ²	l/s	33
	m ³ /h	120

Tabela 3.7 – Áreas úteis mínimas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 3Pa) (Adaptado de: IPQ, 2002).

Área Útil	Caudal-tipo	
	40 cm ²	l/s
m ³ /h		30
60 cm ²	l/s	13
	m ³ /h	45
80 cm ²	l/s	17
	m ³ /h	60
120 cm ²	l/s	25
	m ³ /h	90
150 cm ²	l/s	33
	m ³ /h	120

Tabela 3.8 – Áreas úteis mínimas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 10Pa) (Adaptado de: IPQ, 2002).

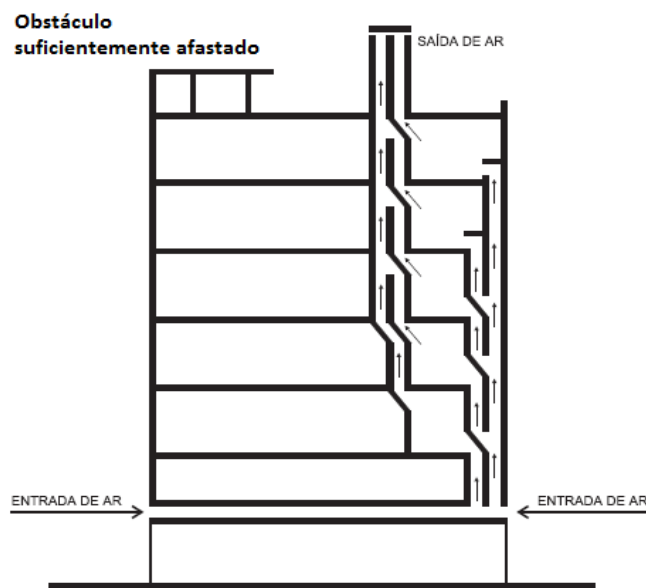


Figura3.8 – Esquema de funcionamento simultâneo de sistemas de admissão e exaustão de ar através de condutas colectivas (adaptado de: IPQ, 2002).

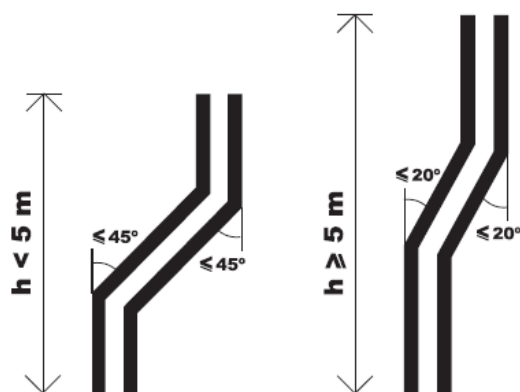


Figura 3.9 – Limitação de troços inclinados em condutas de evacuação (adaptado de: IPQ, 2002).

O posicionamento das saídas de evacuação de ar deve ser feito de modo a que a acção do vento seja favorável aos resultados pretendidos para estes dispositivos dando especial atenção às condutas que sirvam lareiras devido à ocorrência de potenciais problemas de exportação de emissões para edifícios circundantes ou para o próprio edifício, originados da exaustão de produtos de combustão. Sendo assim, no dimensionamento devem ser levados em conta alguns factores, tais como a arquitectura do edifício, a presença de obstáculos em redor das saídas de exaustão de ar e o meio que rodeia o edifício (por exemplo, a presença de edifícios no seu redor).

O correcto funcionamento destes dispositivos implica que haja a eficácia na exaustão, quando ao mesmo tempo seja garantida a não contaminação por parte dos produtos evacuados por este sistema para as entradas de admissão de ar do próprio edifício ou para edifícios vizinhos em meios urbanos ou citadinos. Segundo o IPQ (2002), o processo de posicionamento e dimensionamento das saídas de condutas de evacuação de ar deve seguir os seguintes passos:

- Definição do parâmetro característico do edifício (R) através da seguinte expressão:

$$R = M^{0.33} \times K^{0.67} \quad (3.2)$$

Onde:

M corresponde á maior das dimensões da fachada (figura3.10);

K corresponde à menor das dimensões da fachada (figura3.10);

$$M = 8 \times K \text{ se } M > 8K.$$

- Traçar linha de limitação da zona I;
- Traçar linha de limitação da zona II, com declive descendente de 5.7° no sentido da direcção do vento, até intersectar a cobertura ou até a vertical da fachada de jusante (figura3.11).
- A altura da chaminé deve ser superior às linhas de delimitação da zona I e da zona II.

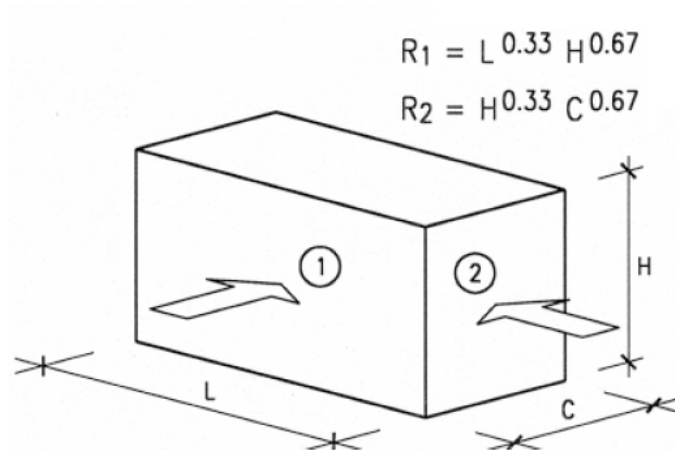


Figura 3.10 – Determinação do parâmetro R em relação á direcção do vento (adaptado de: IPQ, 2002).

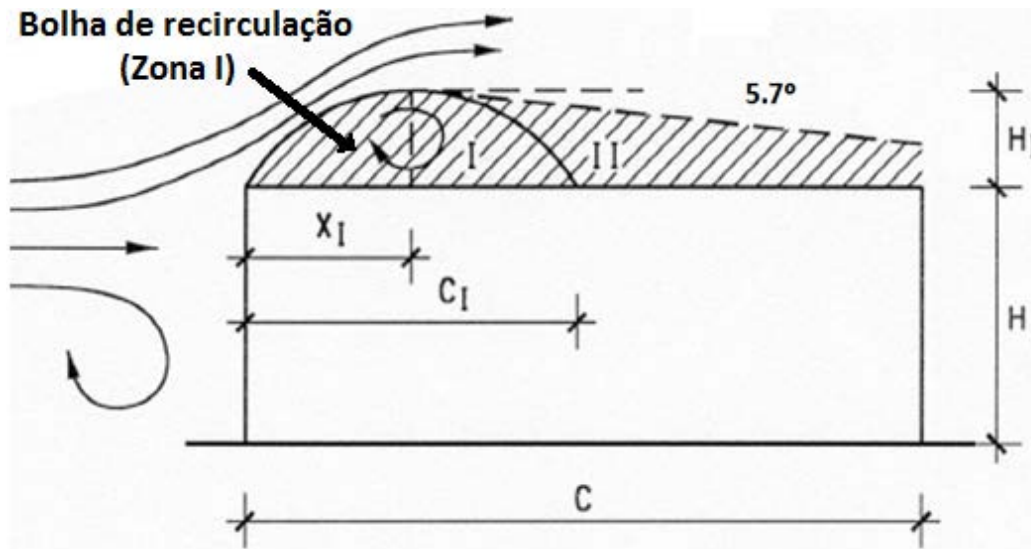


Figura 3.11 – Linhas das zonas I e II de exclusão para chaminés em coberturas de terraço (adaptado de: IPQ, 2002).

A determinação das medidas H_I , X_I e C_I para a determinação das zonas I e II de exclusão para chaminés em coberturas de terraço é feita em relação ao parâmetro característico do edifício (R) através das seguintes expressões:

$$H_I = 0.22R; X_I = 0.5R; C_I = 0.9R \quad (3.3)$$

No caso de coberturas de inclinação até 10° a zona de exclusão situa-se a 0.5m acima da cumeeira do edifício (figura3.12). Para coberturas superiores a 10° , a definição da zona de exclusão é obtida através da prolongação das linhas das águas, desde a cumeeira, até $X=0.5R$ e na horizontal a partir desse ponto (figura3.13).

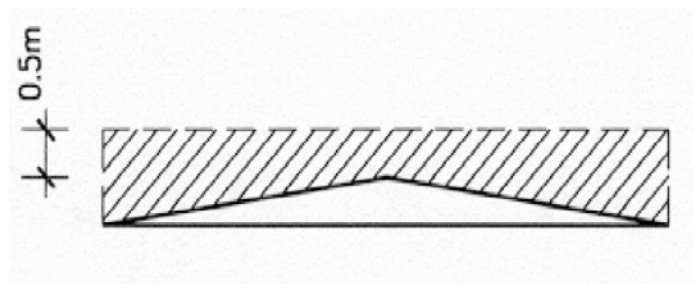


Figura 3.12 – Zona de exclusão para chaminés em coberturas inclinadas até 10° (adaptado de: IPQ, 2002).

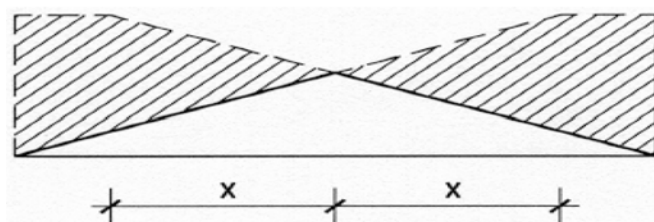


Figura 3.13 – Zona de exclusão para chaminés em coberturas de inclinação superior a 10° (adaptado de: IPQ, 2002).

Ainda, caso a incidência do vento não for normal a uma das fachadas, devem ser avaliadas as situações de incidências perpendiculares às fachadas de orientação mais próxima, considerando a mais desfavorável.

Quando o edifício contém fachadas principais não contínuas com uma dimensão de recuo (C_{RS}) maior que a menor das direcções (K), a obtenção do parâmetro R pode ser feita assumindo como dimensão transversal a largura do “degrau” correspondente à zona da cobertura em análise (figura 3.14).

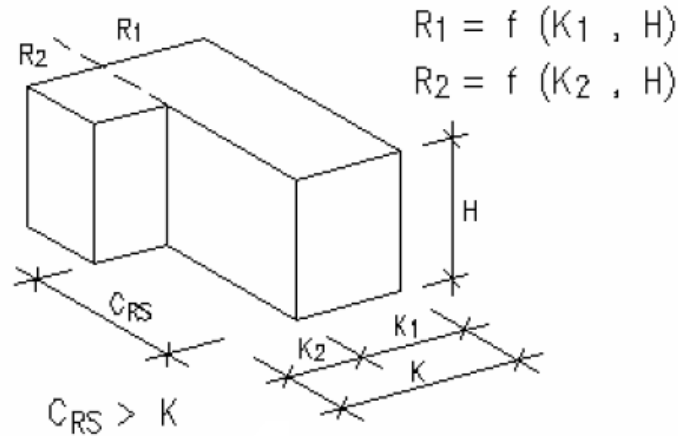


Figura 3.14 – Determinação do parâmetro R em edifícios com descontinuidades verticais (fachada não contínua) (adaptado de: IPQ, 2002).

Segundo o IPQ (2002), para o caso da existência de anexos na cobertura ou outros tipos de equipamento que constituam obstáculos que constituam barreiras no escoamento do ar na cobertura do edifício que possam formar um “ressalto” ou uma arquitectura em escada, as zonas de I e II de exclusão devem ser determinadas através do seguinte procedimento:

- Definição da distância X_{RS} (figura 3.15) e cálculo da dimensão característica R_{RS} utilizando a expressão (3.3) e utilizando as dimensões do “ressalto”.

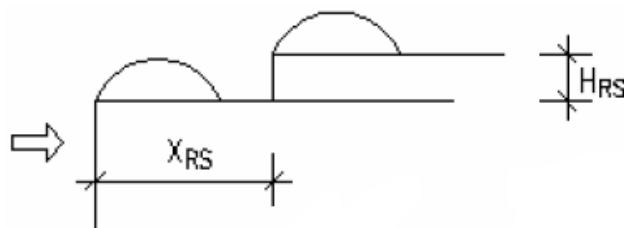


Figura 3.15 – Exemplo de cobertura com “ressalto” (adaptado de: IPQ, 2002).

- Para $X_{RS}=0$ (“ressalto” no bordo do edifício), obtém-se a zona de exclusão identificada na figura 3.16, com $C_{IIRS}=R_{RS}$, utilizando o mesmo critério para edifícios em “U” com a cavidade a jusante do escoamento.

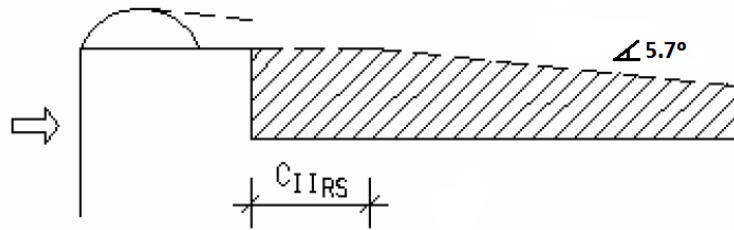


Figura 3.16 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” no rebordo (adaptado de: IPQ, 2002).

- Para $X_{RS} \neq 0$ define-se a dimensão característica $R_T = R + R_{RS}$ com R obtido pela expressão (3.3) utilizando os valores das fachadas, com as zonas de exclusão obtidas pôr:
 1. Se $X_{RS} < 0.5R_T$ as zonas de exclusão são obtidas consoante a figura 3.17. Sendo as características após o “ressalto” obtidas através da dimensão característica R_T .

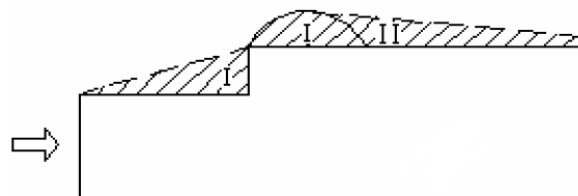


Figura 3.17 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” para $X_{RS} < 0.5R_T$ (adaptado de: IPQ, 2002).

2. Se $0.5 < X_{RS} < 2R_T$ Define-se uma zona I na cobertura usando R_T e uma zona II desde o topo dessa bolha de recirculação até o bordo do “ressalto”. As características após o “ressalto” devem ser obtidas através da dimensão característica R_{RS} (figura 3.18).

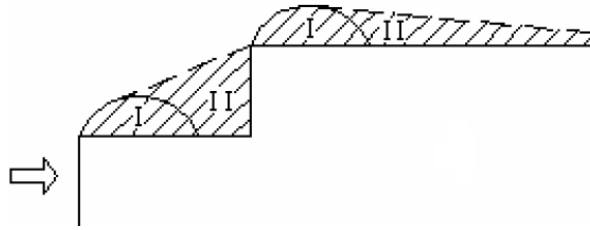


Figura 3.18 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” para $0.5 < X_{RS} < 2R_T$
(adaptado de: IPQ, 2002).

3. Se $X_{RS} > 2R_T$ o edifício e o “ressalto” devem ser tratados individualmente através das dimensões características R e R_T respectivamente (figura 3.19).

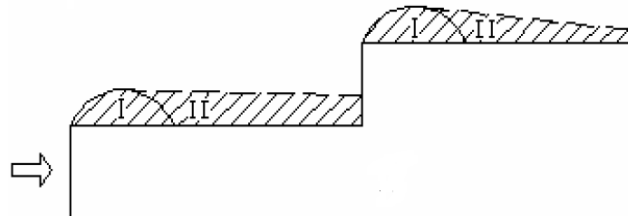


Figura 3.19 – Zona de exclusão em cobertura com “ressalto” para $X_{RS} > 2R_T$
(adaptado de: IPQ, 2002).

Quando o “ressalto” não ocupa a totalidade da cobertura, o critério acima descrito é então aplicado para uma largura da fachada correspondente a $1.5L_{RS}$ como é indicado na figura 3.20. Para zonas fora desta largura, deve ser aplicado o critério da cobertura em terraço.

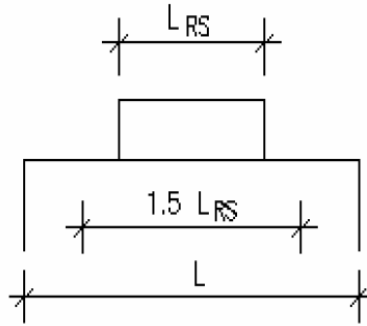


Figura 3.20 – Esquema de determinação de largura de ressalto para a determinação da zona de exclusão (adaptado de: IPQ, 2002).

A presença de obstáculos próximos da saída de exaustão, como por exemplo um edifício na sua proximidade, pode influenciar a sua eficácia. O IPQ (2002) considera que um obstáculo próximo influencia o comportamento da saída de exaustão se a relação entre o afastamento de ambos e a altura do obstáculo (expressão (3.4)) for inferior ao calculado pela expressão (3.5).

$$\alpha = \frac{a}{H_{obs}} \quad (3.4)$$

Onde:

a corresponde ao afastamento entre o obstáculo e a saída de ar;

H_{obs} corresponde à altura do obstáculo.

$$\alpha < 0.02R_{obs} - 0.65R_{obs} + 6.2 \quad (3.5)$$

Onde:

R_{obs} corresponde à dimensão característica do obstáculo.

3.4. Sistemas solar passivos e a arquitectura na promoção da Ventilação Natural

Segundo Gonçalves (1997), os sistemas solares passivos têm como objectivo o armazenamento e distribuição da radiação solar para o interior de um edifício, proporcionando a utilização de energia armazenada através de uma forma natural. Durante o Verão, estes sistemas podem ser utilizados através de determinadas estratégias para o arrefecimento natural.

A simplicidade dos sistemas solares passivos faz com que estes sejam fiáveis, de baixo custo de manutenção e de grande período de vida útil. A reduzida quantidade de partes móveis nestes tipos de sistemas torna-os silenciosos dispensando assim o recurso a mecanismos para a insonorização do próprio sistema, mas têm como desvantagem o facto de provocarem no edifício um aumento na permeabilidade quanto ao ruído e poluição provenientes do exterior. A base do funcionamento dos sistemas solares passivos consiste no aproveitamento da energia que provém da radiação solar (acção da temperatura) e através da acção do vento, ou seja, recorrendo aos diferenciais de pressão originados pelo vento devido ao seu escoamento em torno de um edifício.

A eficácia dos sistemas de ventilação solar passivos depende em muito da sua correcta implementação, sendo para tal necessário o estudo do meio circundante do local de implantação do edifício, nomeadamente o estudo da direcção predominante do vento e o estudo do correcto posicionamento do edifício e dos seus sistemas solar passivos em relação ao sol, em todas as épocas do ano. Em seguida descrevem-se alguns sistemas solar passivos para a promoção da Ventilação Natural.

3.4.1. Torre eólica ou de vento

As torres de vento têm sido utilizadas ao longo de vários séculos em regiões que possuem características climáticas quentes e muito húmidas, e também em regiões quentes e demasiado secas. A origem do seu desenho é desconhecida mas a utilização destas torres pode ser observada em locais como o Médio Oriente, Afeganistão, Paquistão e no Irão. A primeira evidência histórica da existência de torres de vento remonta a 4000 anos AC, aquando da descoberta de um exemplar por parte de uma equipa de expedição japonesa em uma casa no nordeste iraniano (Ghaemmaghami e Mahmoudi, 2005).

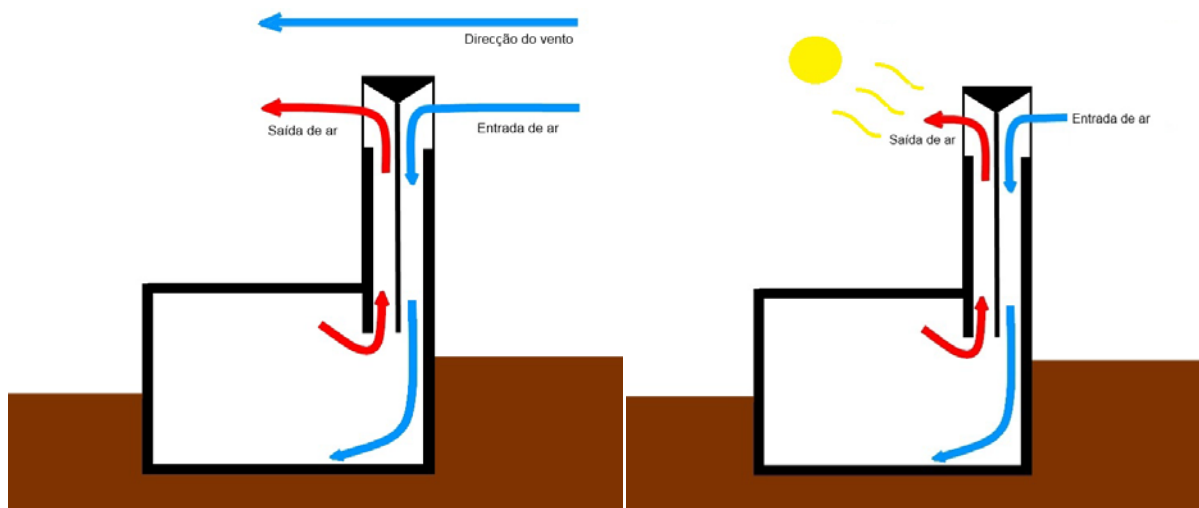


Figura 3.21 – Princípio básico de funcionamento de uma torre de vento em condições ventosas (esquerda) e em condições de pouco vento (direita).

As torres de vento estão posicionadas em relação à direcção do vento característica da região na qual se situam, e geralmente ventilam a parte da casa mais utilizada a nível diurno (período de maior calor), ou seja, salas, salões e/ou corredores. O vento ao embater na face da torre, provoca a entrada do ar, enquanto que na face oposta à direcção do vento, são criadas forças de sucção, estas que extraem o ar quente e poluído do interior do edifício (figura 3.21 (à esquerda)). Estas torres também se mostram eficazes quando o vento é de pouca intensidade, já que o sol ao incidir sobre uma face

da torre aquece o ar que se encontra naquele local, fazendo-o subir e provocando assim uma corrente de ar no interior do edifício (pelo efeito de convecção) (figura 3.21 (à direita)).



Figura3.22 – Torres de vento de 6 faces (à esquerda) e de 4 faces (à direita), situadas no Irão (Autor: Desconhecido).

Podem ser encontradas em várias regiões do Irão, diferentes exemplos de torres e distinguem-se entre si pelo número de entradas de ar, sendo as mais comuns as de 4 e 6 entradas. O número de entradas define a geometria da torre. O interior destas é munido de canais, estes que permitem o fluxo do ar em diferentes sentidos e fazendo com que estas sejam eficazes quando ocorrem mudanças de direcção do vento.



Figura3.23 – Modelos tridimensionais de torres de vento com canais iguais (à esquerda) e com lâminas em formato cruz e diferentes canais (à direita) (Fonte: Zarandi, 2009).

Em regiões muito secas, as torres de vento estão feitas de modo a que a corrente de ar vinda do exterior passe por poços de água, tapetes molhados, piscinas ou até canais subterrâneos de água, de modo a que esta ao se evaporar e transformando-se em humidade, circule então juntamente com o ar provocando um atenuamento quanto às condições quentes e secas que se verificavam no exterior, proporcionando conforto térmico aos utilizadores do edifício.

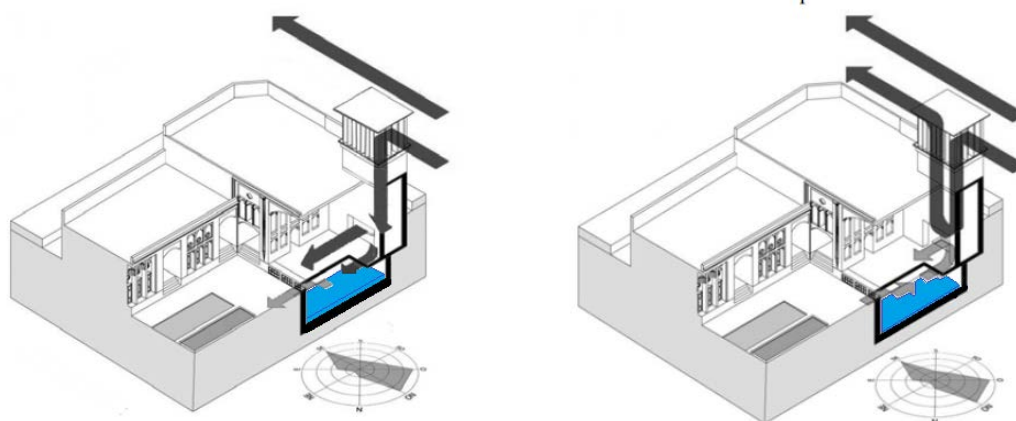


Figura3.24 — Funcionamento de uma torre de vento em uma habitação em condições ventosas (direita) e em condições de pouco vento (esquerda). (adaptado de Zarandi, 2009).

3.4.2. Chaminé solar

Este dispositivo, como o próprio nome indica, consiste em uma chaminé, cuja superfície deve ser escura de modo a absorver a radiação solar. O ar dentro da chaminé é então aquecido e conseqüentemente a sua densidade diminui provocando a sua elevação originando assim sucção nos orifícios inferiores. Este fenómeno provoca uma corrente de ar que pode ser controlada através da abertura ou fecho destes orifícios através de portas, válvulas ou outros dispositivos por parte dos utilizadores do edifício. A chaminé deverá ser posicionada de modo a que possa absorver a maior quantidade de radiação solar durante o dia, sendo que a correcta orientação do edifício e da chaminé em relação ao sol determinará a eficácia desta. Este sistema possui a característica de fornecer uma

ventilação proporcional à radiação solar incidente, ou seja, a ventilação é directamente proporcional às condições climatéricas exteriores.

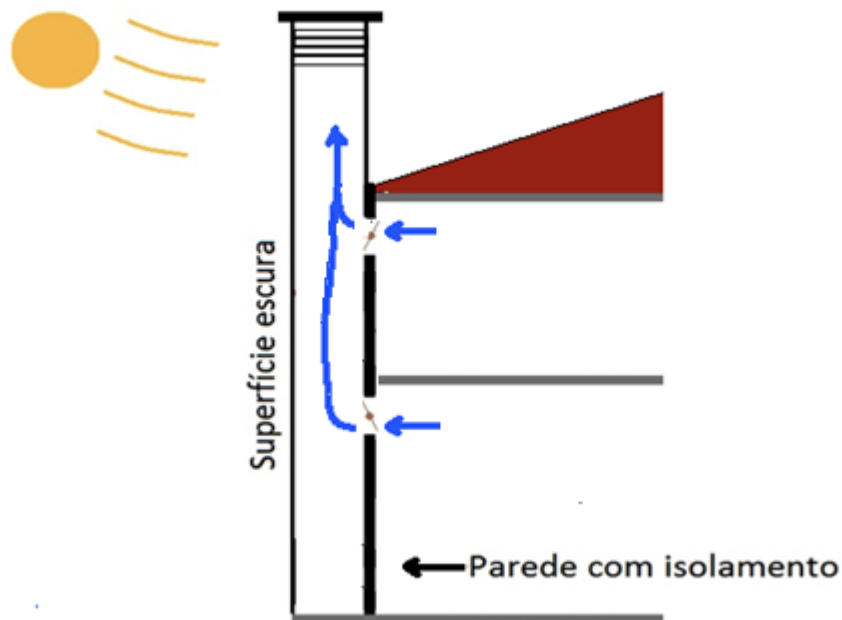


Figura3.25 – Esquema de funcionamento de uma chaminé solar.

3.4.3. Parede de Trombe

Os sistemas de ganho directo (clarabóias, vãos envidraçados, entre outros) são os sistemas mais simples e mais amplamente utilizados para o aquecimento de um edifício no inverno. Visto que o controlo deste tipo de sistema por parte dos utilizadores do edifício é limitado (através do uso de persianas, estores, entre outros), e visto também a sua eficácia depende em muito da inércia térmica do compartimento do edifício onde o sistema se encontra, facilmente se pode atingir o desconforto através do aquecimento ou arrefecimento excessivo. Existem outros sistemas para climatização denominados sistemas de ganho indirecto, nomeadamente as paredes de trombe. Estes já permitem um maior controlo por parte do utilizador face às condições climatéricas exteriores. A

parede de trombe foi popularizada em 1964 pelo francês Felix Trombe, embora já tenha sido patenteada por Eduard Morse em 1881. O seu desenho consiste em uma parede em pedra, betão ou tijolo maciço com furos no topo e na base e coberta por um vidro afastado entre 5 e 20 cm da parede e funcionando assim como uma pequena estufa. A parede é então exposta ao sol, sendo a energia absorvida pela parede, irradiada para dentro da divisão adjacente durante a noite. Os orifícios na parede permitem a circulação do ar na câmara acumuladora de calor, que por convecção aquece o ar frio proveniente da divisão durante o dia. Estes deverão ser fechados em período nocturno. O correcto funcionamento da parede de trombe depende dos seguintes factores:

- Correcta orientação, posicionada para sul (embora o posicionamento a Este e a Oeste também seja aceitável, dependendo da localização e do nível de exposição ao sol);
- Evitar sombreamentos durante o **Inverno**, e proteger em relação ao sol no **Verão** através de pala, beirado saliente, persianas, ou similar de modo a que não haja aquecimento da parede acumuladora.
- Escolha de material adequado para a parede acumuladora que tenha inércia térmica adequada, devendo este ser maciço e de cor escura (pintado com tinta de cor opaca se necessário) de modo a que seja absorvida a maior quantidade de radiação solar possível.

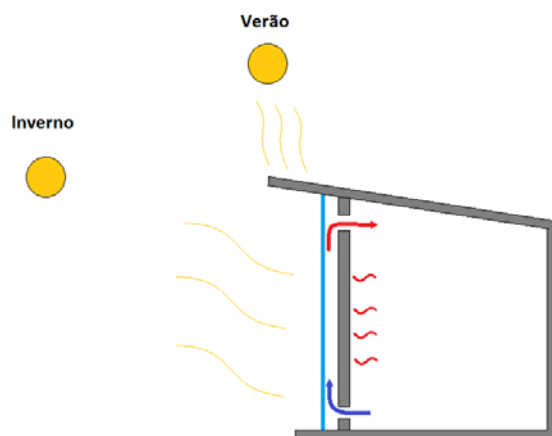


Figura3.26 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe não ventilada (adaptado de: Moita, 1985).

3.4.4. Parede de Trombe ventilada

As paredes de trombe ventiladas destacam-se das anteriores por oferecerem benefícios não só para necessidades de aquecimento da divisão adjacente, mas também para necessidades de arrefecimento visto que este tipo de sistema tem a particularidade de utilizar a radiação solar para o efeito. A principal diferença em relação as paredes não ventiladas consiste na inclusão de aberturas para o exterior na parte superior e inferior do vidro, e também deixa de ser necessária a protecção em relação ao sol nos dias mais quentes, já que a radiação solar é aproveitada para fins de ventilação, tornando assim a sua utilidade benéfica para todas as alturas do ano. O correcto funcionamento deste sistema implica o correcto manuseamento das coberturas dos orifícios e coberturas do vidro (caso existam), logo, devem ser seguidos os seguintes passos:

- Durante épocas mais frias, como no **Inverno**, os orifícios interiores superiores e inferiores devem ser abertos como se pode observar na Figura3.27. Se a temperatura no interior do acumulador for inferior à do compartimento adjacente, então todos os orifícios deverão ser fechados (como por exemplo durante a noite).
- Durante épocas mais amenas, como no **Outono** ou **Primavera**, devem ser abertos os orifícios exteriores inferiores e os superiores interiores conforme representado na Figura3.28.
- Durante as épocas mais quentes, como no **Verão**, devem então ser abertos os orifícios exteriores superiores juntamente com os interiores inferiores, provocando assim uma corrente de ar no interior da divisão adjacente. Provocando assim ventilação cruzada (Figura3.29). Caso seja necessário o arrefecimento da parede exterior como por exemplo durante a noite, os orifícios exteriores superiores e inferiores deverão ser abertos (Mendonça, 2005).

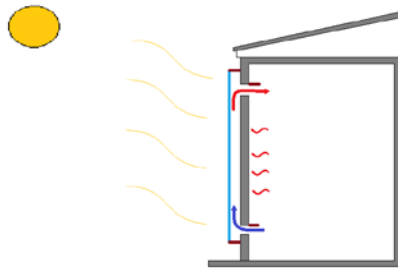


Figura3.27 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada em época fria (**Inverno**) (adaptado de: Gonçalves et al, 1997).

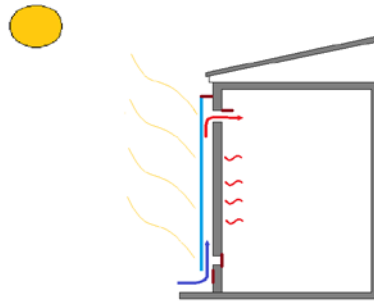


Figura3.28 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada em época amena (**Primavera/Outono**) (adaptado de: Gonçalves et al, 1997).

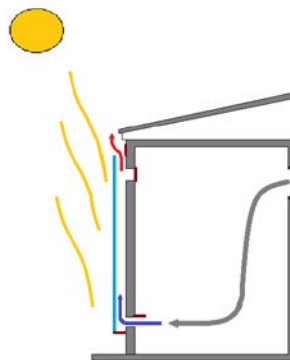


Figura3.29 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada em época Quente (**Verão**) (Gonçalves et al, 1997).

3.4.5. Estufas

As estufas em habitações constituem um sistema de Ganho Directo e têm como objectivo o armazenamento térmico da radiação incidente no inverno. Contudo, a sua utilização no verão, torna-se desnecessária devido aos rápidos ganhos de calor tornando a sua habitabilidade impraticável. Sendo assim, neste período, a estufa deve ser coberta (utilizando vegetação, estores, persianas, etc.) devendo ser promovida no mesmo tempo a sua ventilação.

A sua construção deve ser feita de tal maneira que evite os sombreamentos e permitindo o atravessamento da maior quantidade possível de radiação solar. O suporte dos envidraçados deve ser realizado em madeira ou através de materiais metálicos. O alumínio destaca-se dos restantes materiais pela pouca necessidade de manutenção, estanquicidade, tamanho dos perfis necessário (minimizando o sombreamento e maximizando assim a eficácia da estufa) e a acústica, tendo como única desvantagem o factor preço (embora que a médio/longo prazo se torne na opção mais viável). Quanto ao seu material transparente pode ser utilizado o vidro ou o plástico, sendo o último um material mais barato mas mais desvantajoso em relação ao anterior quanto à acústica e quanto á capacidade de se deixar atravessar pela radiação solar (Mendonça, 2005).

Este sistema torna-se relevante na Ventilação Natural por funcionar se um modo semelhante a uma parede de trombe não ventilada, e ainda funcionando como uma barreira entre o espaço adjacente na habitação e o exterior de modo a prevenir a percas caloríficas no inverno. A temperatura no interior da estufa oscila de uma maneira mais ampla do que no interior do edifício, sendo assim conveniente o dimensionamento e colocação de massas térmicas no seu interior, seja através de paredes acumuladoras ou através de pavimento adequado (como por exemplo betão). O fluxo de ar proveniente da convecção pode então ser controlado através do uso de portas, janelas ou através de orifícios com tampas ou válvulas, dependendo do desenho da estufa. A eficácia do sistema implica a sua correcta concepção, manuseamento e orientação, ou seja:

- Seccionamento para Sul, evitando qualquer sombreamento em épocas frias maximizando a sua exposição ao sol;

- Utilização de materiais adequados no seu interior proporcionando uma massa térmica adequada, minimizando assim os efeitos das abruptas oscilações de temperatura no seu interior;
- Disposição de coberturas nas partes vidradas durante o verão de modo a prevenir o sobreaquecimento e ao mesmo tempo promover a ventilação do espaço;
- Promover o contacto entre a estufa e o espaço adjacente do edifício em caso de necessidade de aquecimento, e restringir o contacto caso a temperatura da estufa for inferior á que se faz sentir no espaço adjacente (época de inverno).

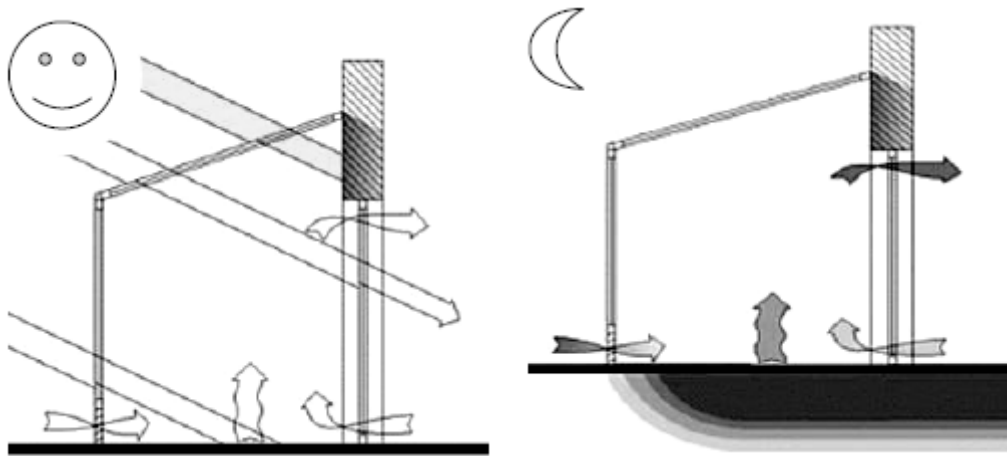


Figura3.30 – Esquema de funcionamento de estufa em época de inverno em período nocturno (á direita) e em período diurno (à esquerda). (Fonte: Mendonça, 2005).



Figura3.31 – Estufa em época de verão (á direita) e em época de inverno (à esquerda). (Fonte: Gonçalves et al, 1997) Casa Vale Rosal, Charneca da Caparica, Arq. Fausto Simões.

3.4.6. Sistemas de Termosifão

Com este tipo de sistema, a captação, absorção e o armazenamento de calor não implica necessariamente a utilização em espaços na própria habitação, sendo este um factor vantajoso, por exemplo, para edifícios cuja orientação não seja a mais correcta em relação á trajectória do sol. Para tal é utilizado um captador (figura3.32 e 3.33), que funciona de uma maneira muito semelhante aos captadores solares para aquecimento de água. O seu design deve assegurar o não abrandamento em demasia na circulação do ar pela superfície acumuladora, sendo que qualquer impedimento, obstáculo ou pormenor que o provoque, seja no captador, ou nos canais de ar que fazem a distribuição para o interior do edifício, afectará o correcto funcionamento de todo o sistema. Existem várias variedades de captadores, que podem funcionar de maneiras diferentes, contudo o conceito básico é sempre o mesmo. Nestes, uma ou duas camadas de vidro ou plástico cobrem um absorvedor, e o fluxo de ar percorre um canal pela frente ou por trás deste (ou até trespassá-lo se este for perfurado (figura3.32)), dependendo do seu desenho (Anderson e Wells, 1981).

A escolha do material para a construção do captador deverá ser pensada tendo em conta as altas temperaturas que serão atingidas no seu interior. Os materiais mais acessíveis tais como a madeira (para o corpo do captador) e o plástico (para a superfície transparente) poderão ser utilizados desde que tenha sido levado em consideração os factores dilatação do material e conservação e manutenção do mesmo.

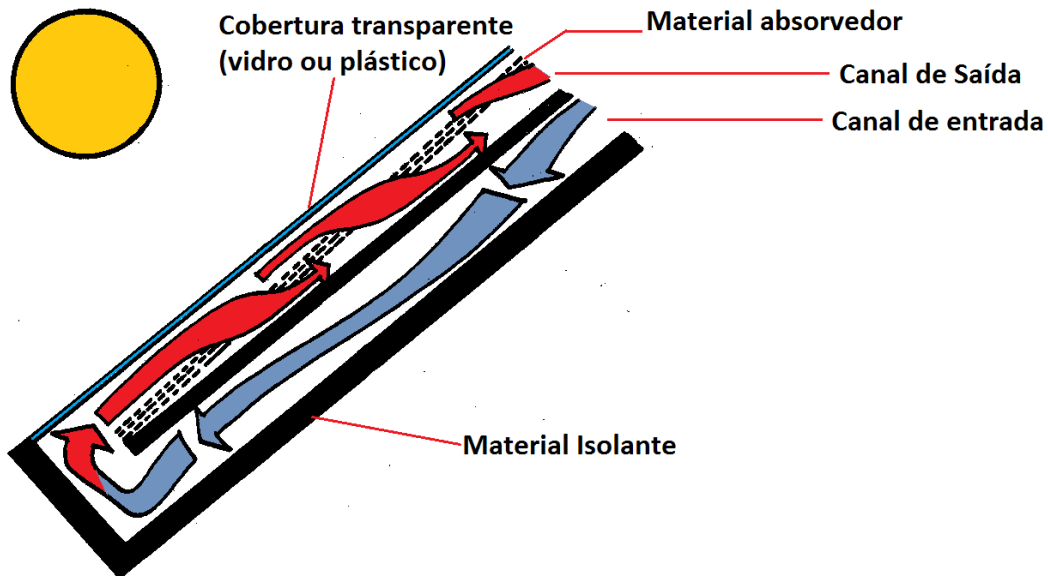


Figura3.32 – Esquema de funcionamento de coletor termosifão em formato U (adaptado de: Anderson e Wells, 1981).

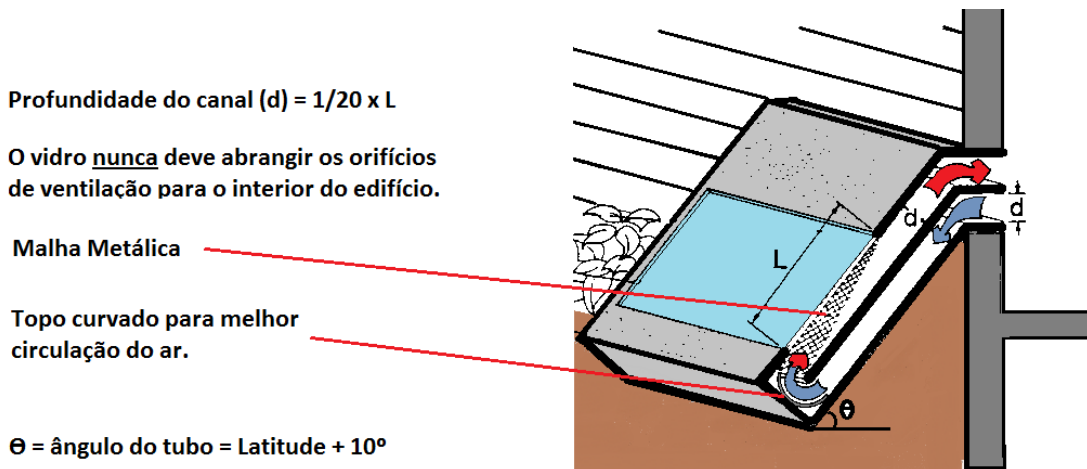


Figura3.33 – Esquema de funcionamento de coletor termosifão em formato U (adaptado de: Chen et al, 1982).

Este sistema pode também ser eficaz durante o período nocturno se a este for adicionado um sistema de armazenamento do calor ganho em período diurno. O armazenamento neste tipo de sistema é geralmente feito através de um recipiente de rocha localizado sob

o edifício (figura3.34). O seu funcionamento consiste em utilizar a capacidade de armazenamento térmico da rocha ao estar em contacto com o ar que provém do colector. A brita é um material adequado para o que se pretende por possuir diâmetros relativamente semelhantes, o que possibilita o atravessamento de ar em um recipiente com este material sem que haja grandes abrandamentos ou interrupções na circulação de ar. O calor armazenado na rocha é então difundido para o edifício em período nocturno.

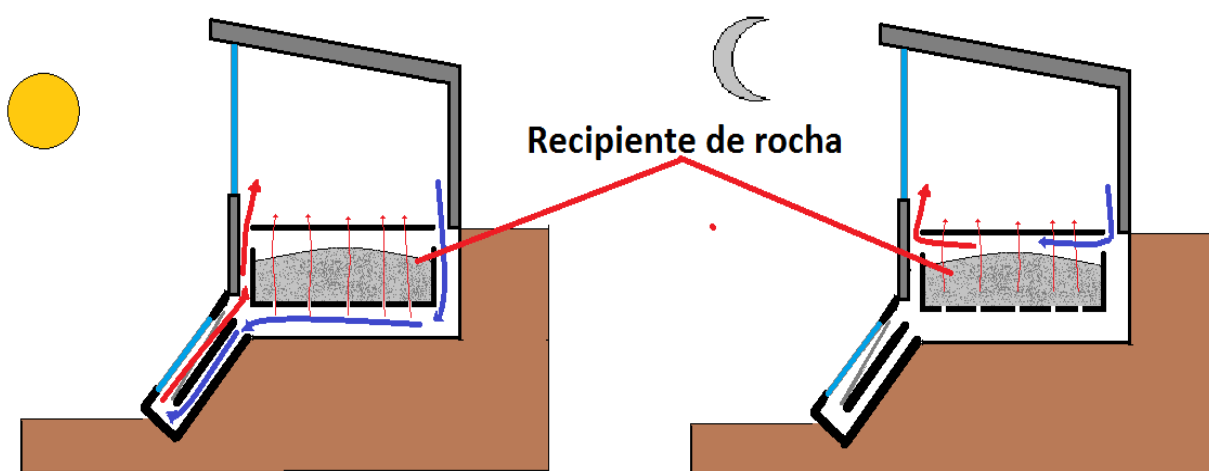


Figura3.34 – Esquema de funcionamento de termosifão com recipiente de rocha sob a casa, em período diurno (à esquerda) e em período nocturno (à direita) (adaptado de: Chen et al, 1982).

A boa eficiência deste sistema atinge-se quando a maior parte do calor captado pelo colector é transportada pela corrente de ar para o interior do edifício, mantendo assim o colector arrefecido. Para tal é essencial que sejam minimizadas o uso de curvas, diminuições de diâmetros dos condutos e afins, evitando qualquer constrangimento à circulação do ar (Anderson e Wells, 1981).

Pode também ocorrer a existência de convecção inversa, sendo este fenómeno comum durante a noite, quando o colector se encontra frio atraindo para si o ar quente do edifício ou do armazenamento (recipiente de rocha) (Anderson e Wells, 1981). Para que tal não aconteça, deverão ser implantados sistemas que bloqueiem a passagem de ar no colector através do uso de tampas, válvulas automáticas, entre outros.

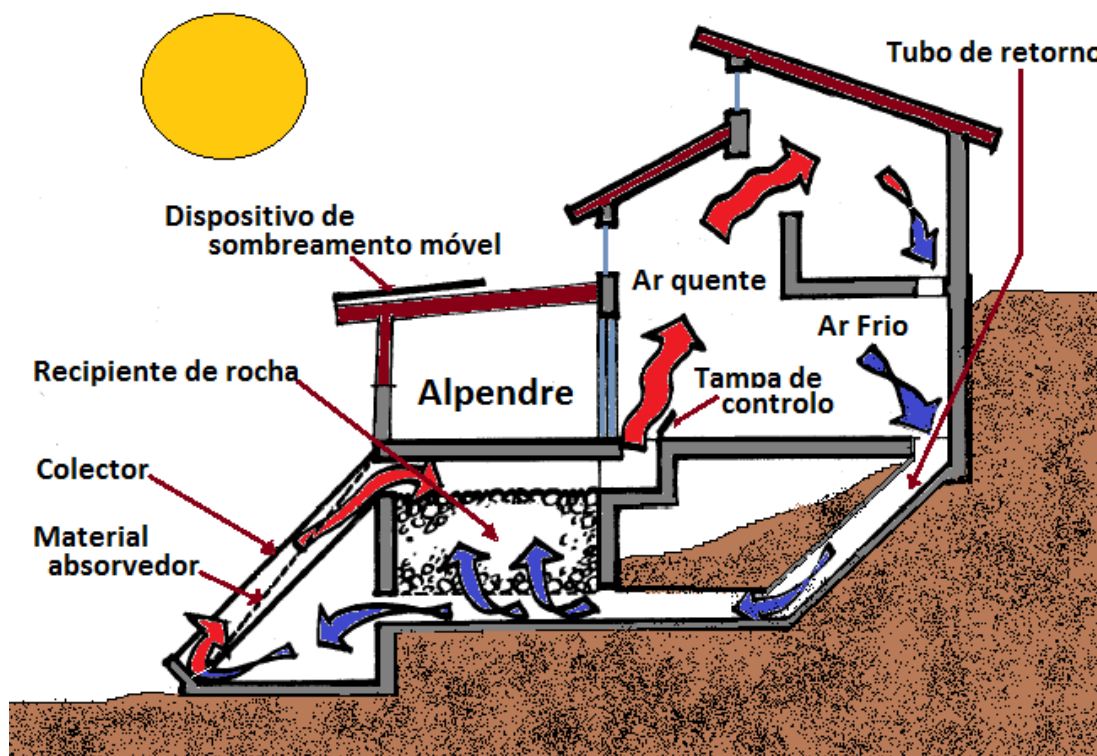


Figura3.35 – Esquema de funcionamento de coletor com recipiente de rocha em edifício de habitação (adaptado de: Anderson e Wells, 1981).

3.4.7. Utilização do solo para climatização de um edifício

A terra pode ser considerada como um sumidouro de calor. A temperatura do solo junto a superfície oscila diariamente em torno da média diária e, à medida que aumenta a profundidade existe uma diminuição da amplitude térmica diária e o período de integração da temperatura média que passa a ser sequencial. Segundo Simões, [199-?], em um intervalo de um ano, a cerca de 7.5m de profundidade em um solo medianamente húmido, a temperatura oscila cerca de 0.5°C em torno de uma média que situa entre 2.0°C a 3.0°C acima da média anual da temperatura do ar. Segundo o mesmo autor o amortecimento da onda de calor é ainda acompanhado de um atraso que varia entre 5 a 10 dias por cada camada de 0.30m de solo. Este facto possibilita o armazenamento térmico de uma estação para outra sendo que a cerca de 4.0m de profundidade o atraso pode ser de aproximadamente 3 meses. A temperatura do solo é

também influenciada pelo tipo de superfície (se é coberta por vegetação, se é impermeabilizada, etc.), exposição ao sol e ao vento.

Existem dois tipos de estratégias para o aproveitamento das características térmicas do solo, sendo estas a edificação parcial ou totalmente enterrada (contacto directo) e através de condutos enterrados que ligam directamente o edifício ao exterior (contacto indirecto). Estes dois tipos de estratégias podem ainda ser utilizados na mesma habitação para o arrefecimento ou o aquecimento da mesma.

3.4.7.1. Sistemas de Tubos enterrados (contacto indirecto)

O funcionamento deste tipo de sistema consiste na instalação de tubos enterrados no solo a uma dada profundidade e comprimento de modo a aproveitar as características térmicas do solo. Sendo assim, ao se fazer percorrer o fluxo de ar pelo subsolo através do uso de tubos enterrados, estas temperaturas podem ser utilizadas para aquecimento ou arrefecimento do interior do edifício através de Ventilação Natural.

A escolha dos tubos a serem utilizados deve ser efectuada tendo em conta que se quer facilitar as trocas de calor entre o ar nos tubos e o solo. Os tubos em cimento tornam-se assim uma boa opção, sendo que o material tem uma textura porosa providenciando bons resultados, e por estes terem também uma boa relação qualidade/preço.

No dimensionamento de um sistema de tubos enterrados deverá ser estudado não só o tipo de tubos a utilizar, mas também outros factores tais como:

- A quantidade de tubos, que dependerá do número de partições a ventilar;
- O comprimento dos tubos enterrados que segundo Simões, [199-?], deverá ser superior a 10m, mas existem exemplos de aplicações destes sistemas cujos comprimentos são inferiores a este valor sem que haja alguma quebra de eficácia.
- A profundidade da instalação dos tubos de modo a aproveitar correctamente as capacidades térmicas do solo, devendo esta ser de 1.5 a 3.0m (Simões, [199-?]).
- O diâmetro dos tubos, factor que depende do tipo de material destes, do caudal do fluxo de ar que se pretende transmitir para o edifício e também da facilidade

- de instalação do sistema. Segundo Simões, [199-?], os diâmetros deverão ser de 0.2 a 0.3m. A velocidade do ar nos tubos deverá rondar os 4 a 8m/s;
- Controlo do sistema, que poderá ser realizado através de portas ou válvulas automáticas ou manuais localizadas nas saídas de ar para cada compartimento. Também se podem utilizar pequenos ventiladores nas saídas de ar, caso haja a necessidade do aumento do fluxo de ar para o interior do edifício.
 - As características do terreno, tais como a presença de freáticos, poderão ser vantajosas para este tipo de sistemas, já que se existir a possibilidade de colocação dos tubos em contacto com os freáticos, o sistema produzirá melhores resultados pois a água é um bom condutor de calor.
 - A utilização dada ao terreno sobre a instalação dos tubos enterrados, visto que os melhores resultados poderão ocorrer da não impermeabilização do terreno utilizando, entre outros, uma cobertura vegetal (ex.: jardins em relva).
 - Utilização de filtros para as entradas de ar no edifício, para que seja barrada a entrada de poluição exterior, poeiras ou animais através do sistema de ventilação.

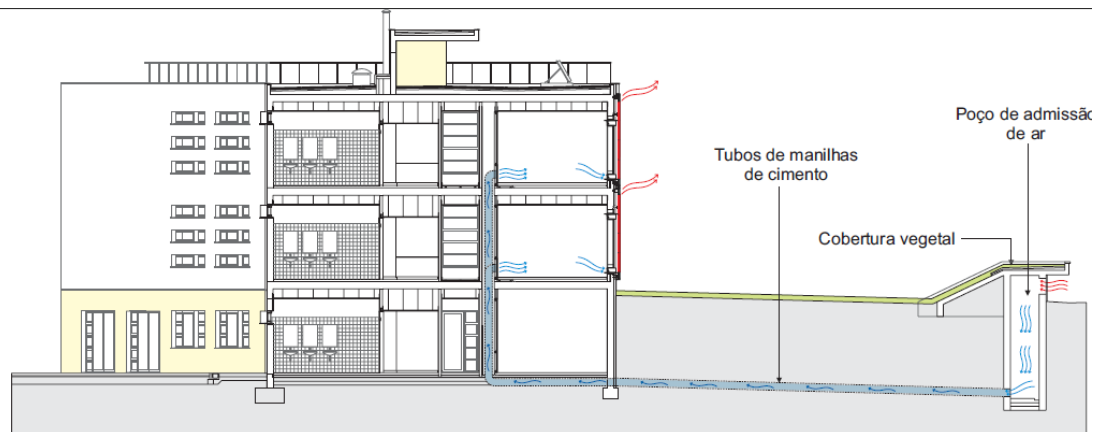


Figura3.36 – Esquema do sistema de ventilação do Edifício Solar XXI Localizado no campus do INETI em Lisboa (Adaptado de Gonçalves e Cabrito, 2004).

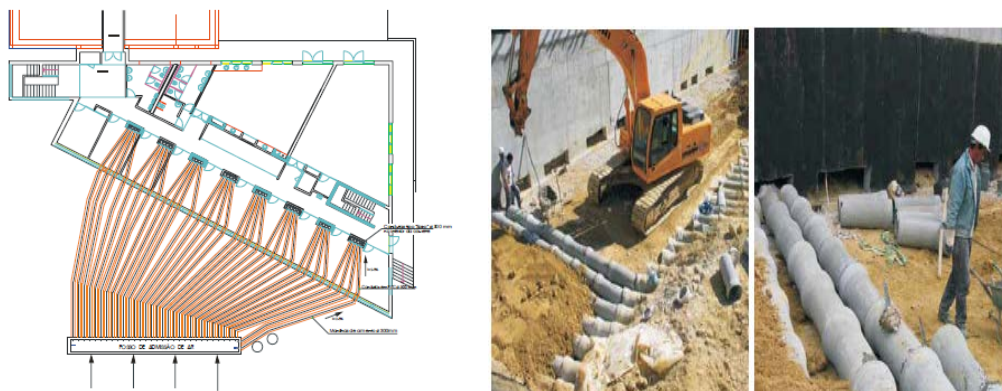


Figura 3.37 – Vista em planta do sistema de tubos enterrados e visualização dos tubos em cimento de diâmetro 300 mm (Adaptado de Gonçalves e Cabrito, 2004).

3.4.7.2. Edificações parcialmente ou totalmente enterradas (contacto directo)

A construção deste tipo de edifícios torna-se vantajoso, não só pelo conforto térmico provindo das capacidades que o solo tem de se manter a uma temperatura constante e agradável a uma determinada profundidade durante todo o ano, mas também por se manter naturalmente inserida no meio circundante, pelo menor impacte na flora local, pelas melhorias a nível da privacidade acústica e visual e pela pequena envolvente exterior a manter. A figura 3.38 ilustra o exemplo de uma habitação enterrada, construída na cidade de Vals na Suíça.



Figura 3.38 – Casa enterrada situada em Vals na Suíça (Autor: desconhecido).

Este tipo de construção no entanto apresenta algumas desvantagens a nível de construção e manutenção (quando necessário), onde nestas se incluem os sobrecustos estruturais (devido à escavação, entivação, aterro, estabilização do terreno, entre outros), impermeabilização e isolamento térmico com materiais adequados, dispendiosos e necessariamente resistentes. A figura 3.39 ilustra outro exemplo de uma casa enterrada, onde no dia 21 de Abril de 1980 as temperaturas exteriores variaram entre aproximadamente 5°C até quase aos 35°C e a temperatura interior se manteve relativamente constante na ordem dos 15°C.

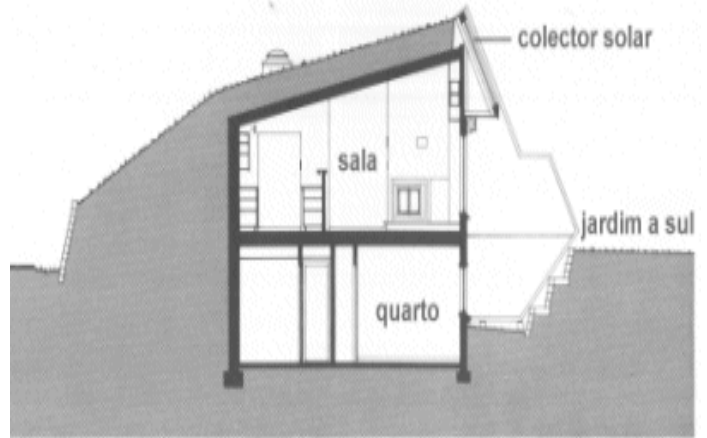
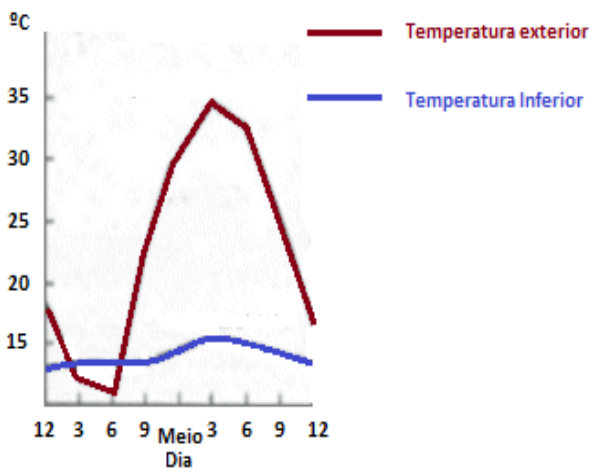
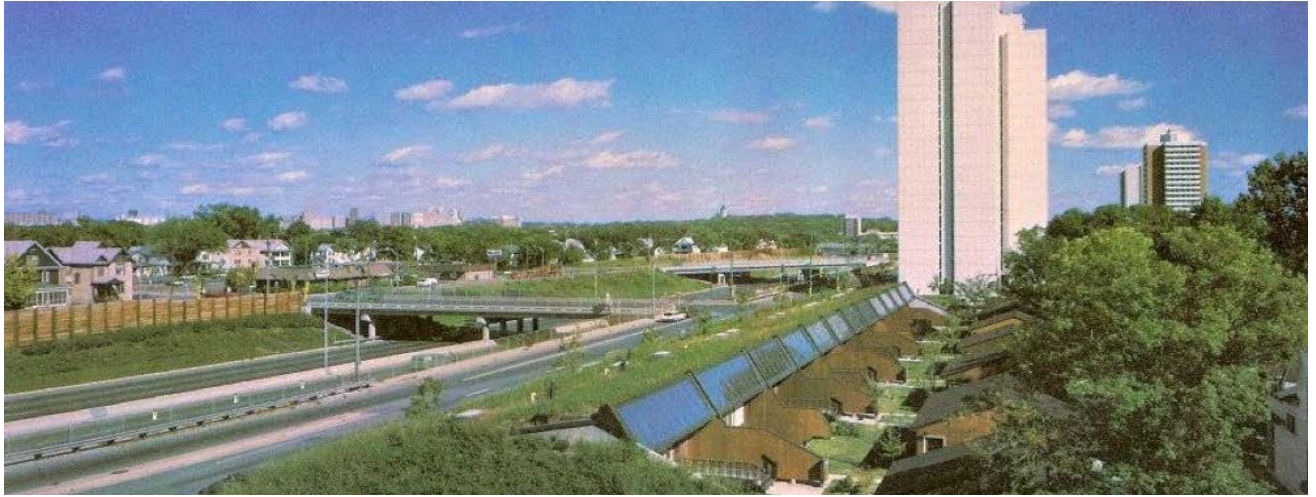


Figura 3.39 – Seward Town Houses, vista de corte transversal e gráfico de temperaturas (Adaptado de: Simões, [199-?]).

Capítulo 4

Modelação da Ventilação Natural em edifícios

4. Modelação da Ventilação em Edifícios

4.1. Factores que condicionam a Ventilação Natural

Como vimos, a renovação do ar interior de um edifício por ar proveniente do exterior é resultado de um diferencial de pressões, resultando em escoamentos nos locais da envolvente do edifício onde se situem aberturas ou frinchas que permitam a passagem de ar. Este diferencial de pressões pode ser originado pela acção do vento sobre o edifício ou pela acção da temperatura.

4.1.1. Efeito de chaminé

Quando a temperatura do ar interior do edifício é distinta da temperatura exterior, o processo Ventilação Natural pode ser promovido através da diferença de pressão hidrostática (ΔP [Pa]) entre o espaço interior e o exterior com aberturas a diferentes cotas. Este processo é denominado Efeito de Chaminé, que pode ser traduzido pela expressão 4.1 (Amaral, 2008 e Silva, 2002).

$$\Delta P = \Delta \rho g H \quad (4.1)$$

Onde:

- $\Delta \rho$ corresponde à diferença de massas volúmicas [kg/m^3] (obtido através da expressão 4.2);
- g corresponde à aceleração gravítica [m/s^2];
- H corresponde à diferença de cotas entre a abertura inferior e a abertura superior ($H = h_{sup} - h_{inf}$) [m];

$$\Delta\rho = \rho_e\beta\Delta T_{int-ext} \quad (4.2)$$

Onde:

- ρ_e corresponde à massa volúmica do ar exterior [kg/m³];

- β corresponde ao coeficiente de expansão volumétrico [K⁻¹];

- $\Delta T_{int-ext}$ corresponde à diferença de temperatura média entre o interior e o exterior [K].

A massa volúmica do ar exterior (ρ_e) é obtida pela equação dos gases perfeitos, ou seja:

$$p_e = \rho_e RT_e; \text{ e para um gás perfeito à temperatura interior do edifício } \beta = \frac{1}{T_i}.$$

Assim temos:

$$\Delta\rho = \frac{p_e}{RT_e} \frac{1}{T_i} (T_i - T_e) = \frac{p_e}{R} \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (4.3)$$

A diferença de pressões entre o interior e o exterior resultante do efeito de chaminé pode então ser determinado através da expressão 4.4, e substituindo os valores das propriedades do ar à pressão atmosférica local, da aceleração gravítica e da pressão atmosférica, a diferença de pressões interior-exterior pode ser obtida através da expressão 4.5.

$$\Delta P = \frac{p_e g H}{R} \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (4.4)$$

$$\Delta p = 3450 H \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (4.5)$$

A figura 4.1 ilustra o fluxo resultante do efeito de chaminé, promovido através de duas aberturas em diferentes cotas. Neste caso, em que se admite que a temperatura interior é mais elevada que a temperatura exterior, verifica-se uma tendência para a entrada de ar no edifício pelas aberturas inferiores. Tal deve-se ao facto de o ar menos denso (no interior devido á temperatura) ter tendência a subir e a ser expelido do edifício pelas aberturas superiores. No caso da inversão da situação, isto é, se a temperatura do ar exterior for mais elevada que a temperatura do ar interior, o sentido fluxo em relação á figura inverter-se-á.

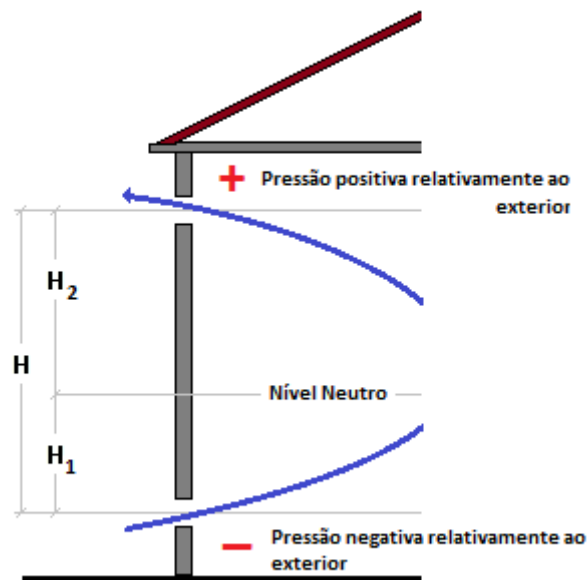


Figura4.1 – Fluxo resultante do efeito de chaminé para uma temperatura do ar interior superior à temperatura do ar exterior (Adaptado de Verdelho, 2008).

Segundo Amaral, 2008, visto que o efeito de chaminé resulta de uma diferença das massas volúmicas do ar exterior e interior, e, visto que a massa volúmica varia com a temperatura e humidade, alguns modelos utilizam a expressão 4.6 para obter a massa volúmica do ar.

$$\rho = \frac{P}{461.518(T+273.15)(U+0.62198)}(1 + U) \quad (4.6)$$

Onde:

- P corresponde à pressão [Pa];
- T corresponde à temperatura [°C];
- U corresponde ao teor de humidade do ar [kg/kg].

Segundo Amaral, 2008, torna-se necessário ter alguns cuidados com a obtenção de dados relativos à temperatura ambiente, nomeadamente quando utilizados dados de estações meteorológicas situadas em zonas rurais ou semi-rurais, visto nestas se registarem temperaturas mais baixas que nas zonas urbanas devido ao fenómeno denominado Ilhas de Calor (figura 4.2). O mesmo autor refere ainda que devido ao mesmo fenómeno e em condições de vento fraco, pode haver um aumento da velocidade do vento em meio urbano.

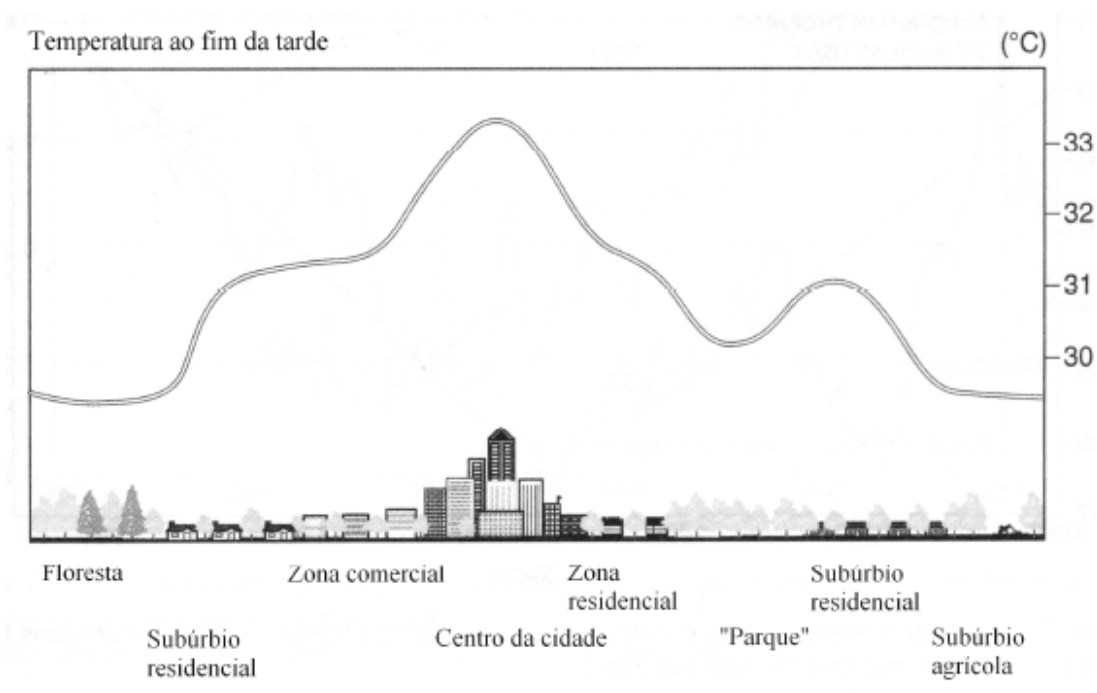


Figura 4.2 – Diferença de temperatura entre áreas diferentes (Fonte: Amaral, 2008).

4.1.2. Quantificação da acção eólica

O vento ao incidir em um edifício origina um escoamento nas suas envolventes, originando nestas pressões estáticas superiores ou inferiores à pressão atmosférica. Na generalidade as fachadas a barlavento ficam sujeitas a sobrepressões e as restantes juntamente com a cobertura ficam sujeitas à sucção, originando assim a ocorrência de fluxos de ar no interior do edifício de barlavento para sotavento (Silva, 2002). A caracterização da velocidade do vento é um processo difícil visto que se trata de um escoamento turbulento e conseqüentemente a velocidade varia continuamente.

O diferencial de pressões (ΔP) nas posições onde existam aberturas de ventilação pode ser obtido através da expressão 4.7, em função dos coeficientes de pressão (C_p) (expressão 4.8).

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 \Delta C_p \quad (4.7)$$

Com:

$$C_p = \frac{p - p_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2} \quad (4.8)$$

Onde:

- ρ corresponde à massa volúmica do fluído [Kg/m³];
- U_{∞} corresponde à velocidade média do vento não perturbada pelo edifício a uma altura de referência, normalmente referida à cota da cobertura [m/s].;
- C_p corresponde ao coeficiente de pressão;
- p_{∞} corresponde à pressão atmosférica [Pa];
- p corresponde ao valor local da pressão em um ponto da envolvente de um edifício [Pa];

Como vimos, os coeficientes de pressão são influenciados pela incidência do vento (direcção e orientação), pela topografia, pela rugosidade do terreno, por obstáculos vizinhos (outros edifícios, arborização, etc.) ou outros elementos que constituam obstáculos à livre circulação do vento, sendo os coeficientes mensuráveis apenas para velocidades do vento superiores a 3-4 m/s. No Anexo I são apresentados alguns exemplos de distribuições de coeficientes de pressão em formas cúbicas.

4.1.2.1. Camada Limite Atmosférica

A Camada Limite Atmosférica desenvolve-se desde o solo, onde a velocidade horizontal do vento pode ser considerada nula, até uma altura onde se deixam de sentir os efeitos dos obstáculos na superfície terrestre variando progressivamente entre os dois pontos. Esta pode ser descrita como essencialmente bidimensional desenvolvendo-se sobre uma camada plana em gradiente de pressões nulo com espessura δ que varia entre os 250 e os 600 metros, dependente da superfície sobre a qual se desenvolve o escoamento (Figura 4.3). A descrição matemática simplificada do perfil de velocidades pode ser realizada através de uma lei de potências, como demonstrado na expressão 4.9. A tabela 4.1 apresenta os valores de n e δ (espessura da CLA) onde se inclui uma classificação de classes de rugosidade.

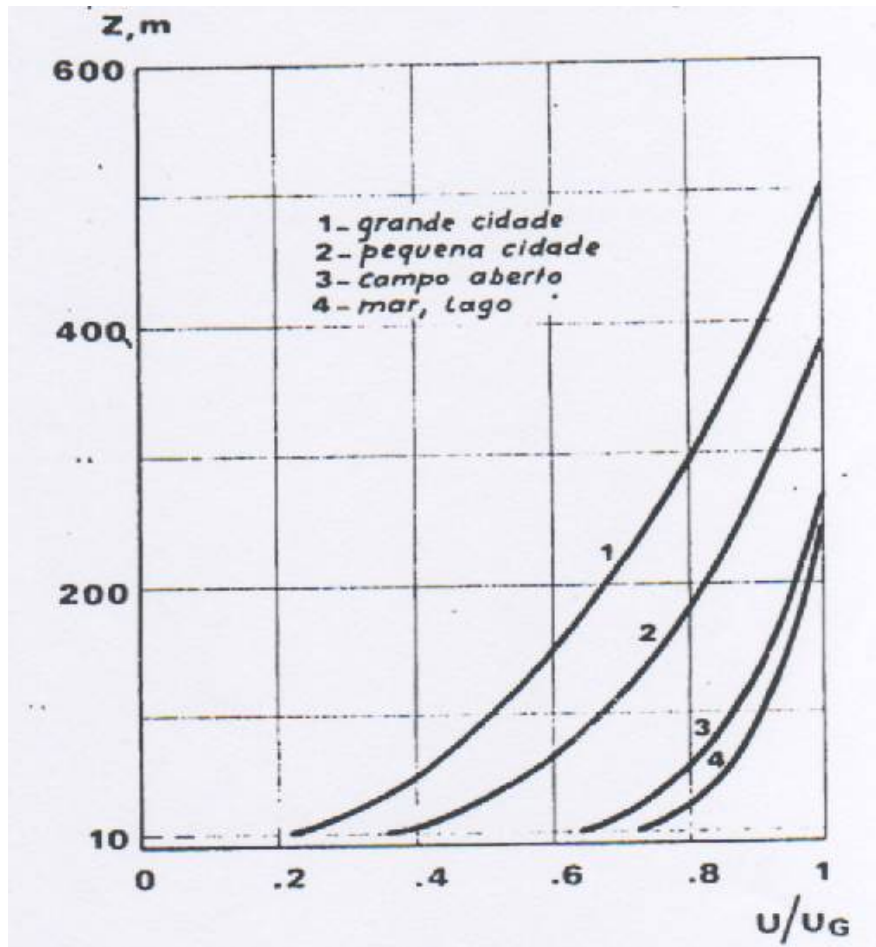


Figura 4.3 – Influência da rugosidade do terreno nos Perfis de Camada Limite Atmosférica (fonte: Silva, 2002).

$$U(z) = U_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.9)$$

Onde:

- $U(z)$ corresponde à velocidade do vento a uma cota Z [m/s];
- U_{ref} corresponde á velocidade de referência a uma cota Z_{ref} [m/s];
- n corresponde a um valor que varia com o tipo de terreno (tabela 4.1).

n	Classe	δ (m)	Tipo de terreno
10	I	250	Mar ou lagos calmos; neve; grandes areas
7	II-IV	250-300	Relvado; campo cultivado e aberto
6	V	300	Grupos de plantas altas dispersas em campo sem obstáculos
5	VI	350	Quintas e habitações dispersas
4	VII	400	Área suburbana
3	VIII	500	Centro urbano; floresta
2.5	IX	600	Grande metrópole; Floresta tropical

Tabela 4.1 – Características das camadas limite atmosférica (fonte: Silva, 2002).

Segundo Amaral (2008), o perfil do tipo potência foi o primeiro a ser utilizado para a representação da variação de velocidades médias em terrenos homogêneos devido à sua simplicidade, mas apresenta algumas desvantagens. A desvantagem principal do perfil do tipo de potência face ao logarítmico consiste em que este perfil ajusta-se bem na zona exterior da CLA mas não na zona superficial, isto é, à zona junto aos edifícios. A variação em altura da velocidade média do vento junto à superfície ($20Z_0 \leq z \leq 0.1\delta$) pode ser descrita pela lei logarítmica apresentada pela expressão 4.10.

$$U_z = U_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)} \quad (4.10)$$

Onde:

- U_z corresponde a uma velocidade a uma cota z [m/s];
- Z_0 corresponde à escala de rugosidade [cm];
- Os valores de escala de rugosidade resumem-se na tabela 4.2.

Tipo de Terreno	Z_0 [cm]
Areia	0.01-0.1
Superfície coberta por neve	0.1-0.6
Relva separada ($\approx 0.01m$)	0.1-1
Vegetação rasteira, estepe	1-4
Terreno de pousio, não cultivado	2-3
Vegetação alta	4-10
Palmeiras	10-30
Pinheiros	90-100
Subúrbios com baixa densidade de edifícios (com $d=0m$)	20-40
Subúrbios com alta densidade de edifícios; cidades (com $d=0m$)	80-120
Centros das grandes cidades (com $d=0m$)	200-300
d representa o deslocamento do plano de referência em zonas com grande densidade urbana, sendo então o plano de origem dado por $z = z_{solo}-d$, com d igual a aproximadamente 70% da altura média dos edifícios.	

Tabela 4.2 – Valores da escala de rugosidade, Z_0 , referentes a diferentes tipos de terreno
(Fonte: Amaral, 2008)

Segundo Silva, 2002, visto que no interior de centros urbanos esta descrição de Camada Limite Atmosférica perde consistência, face à dificuldade de caracterização, para efeitos de cálculo deve ser tomada como primeira observação uma velocidade do vento constante abaixo de uma cota d_0 correspondente a 70% da altura média das construções existentes ($d_0 = 0.7d$).

Para a determinação da velocidade do vento no cálculo da Ventilação Natural o valor de referência geralmente provém de registos meteorológicos obtidos fora da zona em estudo. A transferência desses valores para o local de interesse pode ser realizado através da expressão 4.11, com os índices 1 e 2 a se referirem ao local em estudo e ao local de referência, respectivamente. Este raciocínio pode ser aplicado nos perfis do tipo potência e nos perfis logarítmicos. Esta transferência pode ser realizada quando o terreno é aproximadamente plano, sem colinas ou montanhas entre os dois locais.

$$U(z) = U_{ref} \frac{\left(\frac{z}{\delta_2}\right)^{\frac{1}{n_2}}}{\left(\frac{z_{ref}}{\delta_1}\right)^{\frac{1}{n_1}}} \quad (4.11)$$

4.2. Escoamento através de aberturas

Segundo Amaral (2008) o caudal de infiltrações ou de Ventilação Natural (expressão 4.12) pode ser calculado, em teoria, se forem conhecidos os percursos possíveis de passagem do ar de ou para o interior do edifício, tendo em conta as contribuições individuais de cada passagem. Estas passagens podem ser formadas por:

- Frinchas ou fendas (dimensões menores que 10mm);
- Grandes aberturas (dimensões maiores que 10mm).

$$q_{inf} = CA\Delta p^n \quad (4.12)$$

Onde:

- q_{inf} corresponde ao caudal volúmico [m^3/s];
- C corresponde ao coeficiente de escoamento, este que varia em função da geometria [$m^3s^{-1}m^{-2}Pa^{-n}$];
- A corresponde à área da abertura ou frincha [m^2];
- Δp corresponde à diferença de pressão através da abertura [Pa];
- n corresponde ao expoente de escoamento.

O expoente de escoamento caracteriza o seu regime, que varia entre os 0.5 para o escoamento turbulento e 1.0 para o escoamento laminar. Para as frinchas cujo comprimento é muito maior que a espessura, o escoamento fica mais próximo do laminar, verificando-se $n=0,67$, e para grandes aberturas, se o comprimento é muito menor que a espessura, o escoamento está mais perto do turbulento com $n=0.5$ (Amaral, 2008). Quanto aos valores de C e n , estes devem ser obtidos experimentalmente, e encontram-se tabelados para vários tipos de situações.

Para grandes aberturas é geralmente utilizada a expressão 4.13, denominada *equação do escoamento por um orifício*, derivada da equação de Bernoulli ($p+0.5\rho v^2+pgh=const$) (Silva, 2002).

$$Q = Cd A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (4.13)$$

Onde:

- Q corresponde ao caudal volúmico [m^3/s];
- Cd corresponde ao coeficiente de descarga;
- A corresponde à área de abertura perpendicular ao escoamento [m^2];
- ρ corresponde à massa volúmica média do escoamento [kg/m^3];
- Δp corresponde à diferença de pressão estática através da abertura [Pa].

Na prática corrente, o valor do coeficiente de descarga (Cd) utilizado é de 0.6 mas, segundo Amaral (2008), este coeficiente pode variar em função de alguns valores tais como o número de Reynolds, a forma e localização da abertura na fachada, o ângulo de incidência do escoamento, a diferença de temperatura entre os dois lados da abertura e a porosidade (relação entre a área da abertura e a área da fachada), sendo que torna-se evidente a necessidade da adopção de um valor apropriado a cada situação.

4.3. Efeitos Combinados

Na realidade, o processo de Ventilação Natural resulta da combinação da acção térmica (efeito de chaminé) com a acção do vento, pelo que a distribuição das pressões actuantes na envolvente do edifício é obtida através da soma dos valores instantâneos das pressões originadas por cada uma das duas acções mencionadas (Amaral, 2008). A figura 4.4 ilustra a distribuição de pressões típica nas fachadas de um edifício pela acção térmica e pela acção do vento.

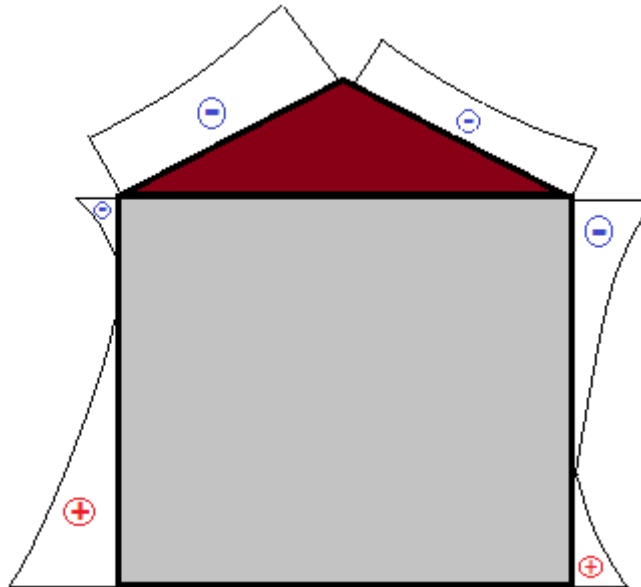


Figura 4.4 – Pressões típicas nas fachadas de um edifício pela acção térmica e pela acção do vento (Adaptado de Amaral, 2008).

O processo de determinação do caudal de ventilação consiste na soma dos diferenciais de pressões (ΔP) e determinação do caudal resultante do resultado anterior, utilizando a expressão 4.13.

4.4. Modelos de previsão

Segundo Allard (1998), os processos físicos envolvidos na Ventilação Natural são complexos, levando a que a interpretação do seu envolvimento na eficácia da ventilação seja uma tarefa difícil. A mecânica de fluidos clássica tem descrito o fenómeno do fluxo de ar sob condições de fronteiras bem definidas através da resolução das equações de Navier-Stokes, combinadas com equações que descrevem os efeitos de turbulência sob condições de fronteira específicas e condições iniciais. Contudo, o conhecimento das condições de fronteira e iniciais é quase impossível dado que o carácter aleatório das características do vento (Allard, 1998). De acordo com o tipo de informação pretendida, podem ser utilizados vários modelos e ferramentas. Os modelos podem variar desde simples algoritmos empíricos para calcular a taxa de ventilação global até técnicas sofisticadas de mecânica de fluidos computacional para a resolução das equações de Navier-Stokes e, na generalidade, podem ser distinguidas quatro aproximações diferentes para a descrição dos fluxos de ar no caso da Ventilação Natural em edifícios baseadas no nível de complexidade do modelo, sendo estas (Allard, 1998):

- Modelos empíricos;
- Modelos multi-zona;
- Modelos zonais;
- Modelos CFD (*Computational Fluid Dynamics models*).

O conhecimento das características do escoamento de ar em um espaço e na globalidade de um edifício é essencial para razões de conforto e energéticas. Aos engenheiros interessa o conhecimento da distribuição da velocidade do ar em uma zona para o dimensionamento de aberturas de entrada e saída de ar; aos arquitectos interessa conhecer o escoamento de ar através de grandes aberturas para que possam proceder ao dimensionamento destas; aos peritos em conforto interessa o conhecimento dos valores da velocidade do ar em uma zona para o cálculo das trocas de calor por convecção com o corpo humano; e aos técnicos da qualidade de ar interessa a taxa de ventilação, a sua eficácia e a dispersão de contaminantes (Allard, 1998).

4.4.1. Modelos Empíricos

Os modelos empíricos simplificados providenciam correlações generalizadas para o cálculo da taxa de ventilação ou da velocidade do ar média em uma zona. Estas expressões combinam o fluxo de ar gerado por uma diferença de temperatura com a velocidade do vento e um eventual termo de flutuação de modo a avaliar a taxa de fluxo de ar ou a velocidade do ar no interior do edifício. Estas ferramentas são úteis devido à capacidade que têm de oferecerem uma rápida primeira estimativa da taxa de fluxo de ar ou da velocidade média do ar, mas devem sempre ser utilizadas dentro dos limites da sua aplicabilidade. Segundo Allard (1998), existem duas categorias de métodos empíricos, sendo estes:

- Métodos empíricos simplificados para a previsão da taxa de fluxo de ar (renovações horárias);
- Metodologias simplificadas para a previsão da velocidade do ar no interior de um edifício.

4.4.1.1. Modelo da norma BS 5925

Existem vários modelos empíricos que podem ser utilizados no âmbito da Ventilação Natural, estes que na generalidade dos casos, propõem fórmulas simples ou gráficos para o auxílio no dimensionamento de sistemas de ventilação. A norma BS 5925 propõe fórmulas para o cálculo da infiltração de ar e ventilação em espaços ventilados por aberturas em apenas uma fachada e para espaços com ventilação cruzada. Este método assume um escoamento em duas direcções e ignora todas as partições internas. As tabelas 4.3 e 4.4 apresentam então as fórmulas propostas para diferentes padrões de fluxo para condições diferentes.

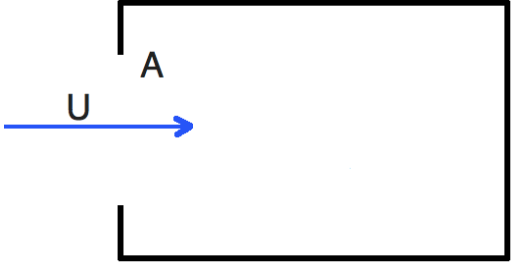
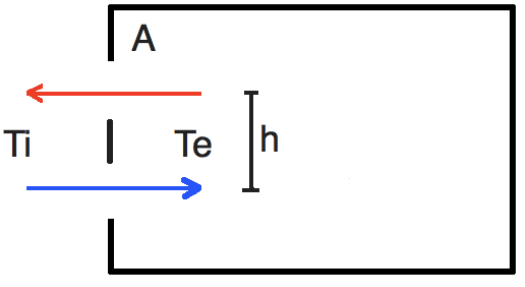
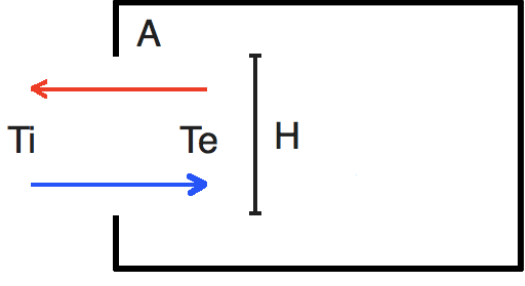
<p>Ventilação devida à acção do vento</p>	$Q = 0.025AU \text{ (m}^3\text{/s)}$ <p>Onde A corresponde à área de abertura e U corresponde à velocidade do vento.</p>	
<p>Ventilação devida à acção térmica com duas aberturas</p>	$Q = C_d A \left[\frac{\varepsilon \sqrt{2}}{(1 + \varepsilon) \sqrt{1 + \varepsilon^2}} \right] \left[\frac{\Delta T g h}{\bar{T}} \right]$ <p>Onde: $\varepsilon = A1/A2$ $A = A1 + A2$ Cd corresponde ao coeficiente de descarga</p>	
<p>Ventilação devida à acção térmica com uma abertura.</p>	$Q = C_d \frac{A}{3} \sqrt{\frac{\Delta T g H}{\bar{T}}}$	

Tabela 4.3 – Fórmulas de ventilação para espaços ventilados por aberturas em uma fachada (Adaptado de Allard (1998) e BS 5925 (1991)).

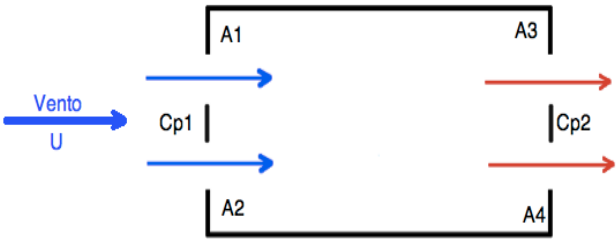
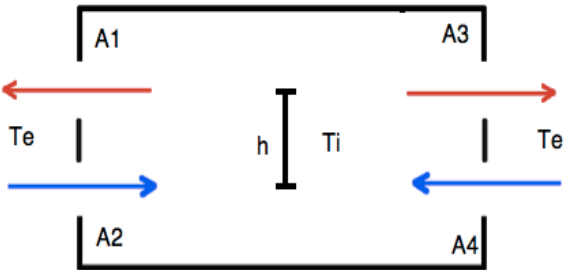
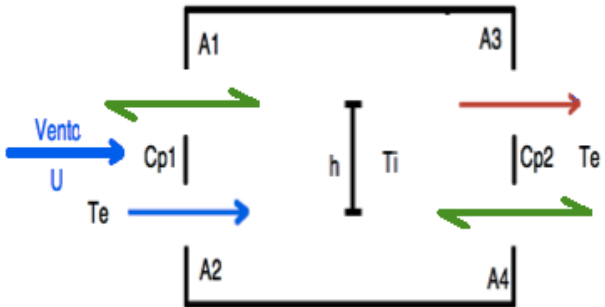
<p>Ventilação devida apenas à acção do vento</p>	$Q = C_d A V \sqrt{\Delta C_p}$ <p>Onde:</p> $\frac{1}{A^2} = \frac{1}{(A1 + A2)^2} + \frac{1}{(A3 + A4)^2}$	
<p>Ventilação devida apenas à acção térmica.</p>	$Q = C_d A \sqrt{\left[\frac{2\Delta T g h}{\bar{T}} \right]}$ <p>Onde:</p> $\frac{1}{A^2} = \frac{1}{(A1 + A3)^2} + \frac{1}{(A2 + A4)^2}$ $T = \frac{T_e + T_i}{2}$	
<p>Ventilação devida à acção térmica e à acção do vento.</p>	<p>$Q = Q_{acção\ térmica\ para\ :}$</p> $\frac{U}{\sqrt{T_i - T_e}} < 0.26 \sqrt{\frac{A_{at}}{A_{av}} \frac{A}{\Delta C_p}}$ <p>$Q = Q_{acção\ vento\ para\ :}$</p> $\frac{U}{\sqrt{T_i - T_e}} > 0.26 \sqrt{\frac{A_{at}}{A_{av}} \frac{A}{\Delta C_p}}$	

Tabela 4.4 – Fórmulas de ventilação para espaços sujeitos a ventilação cruzada (Adaptado de Allard (1998) e BS 5925 (1991)).

4.4.2. Modelos multi-zona

Segundo Amaral (2008), os modelos empíricos têm como base fórmulas simplificadas e devem apenas ser aplicados dentro do seu limite de validade. Segundo o mesmo autor, devido à simplicidade destes modelos, as estimativas para o caudal global apenas podem ser realizadas em edifícios que possam ser simulados como uma zona. Em situações reais a simulação de edifícios como uma zona têm pouco significado devido à interacção entre várias zonas de um edifício através de aberturas internas. Sendo assim, nestes casos, uma análise multi-zona é necessária.

Os modelos multi-zona são mais rigorosos que os empíricos. Segundo Allard (1998), estes modelos fazem uma representação de um edifício através de uma grelha (figura 4.5) formada por um conjunto de nós que representam as zonas simuladas e o ambiente exterior, e a interacção entre as zonas é representada por vias de ligação que interligam os respectivos nós. Os compartimentos do edifício são então representados por nós e as aberturas por caminhos de ligação do fluxo de ar. A interacção entre o interior de um edifício com o exterior é representada por caminhos de ligação. A pressão dos nós exteriores é conhecida, sendo necessário determinar a pressão dos nós interiores para que sejam deduzidos os respectivos fluxos de ar, o que é feito com o recurso à equação da conservação da massa aplicada a cada nó (expressão 4.17), originando um conjunto de equações não lineares, cuja resolução conduz aos valores das pressões dos nós interiores. Alguns dos modelos mais utilizados são o AIOLOS, COMIS, CONTAM e o BREEZE.

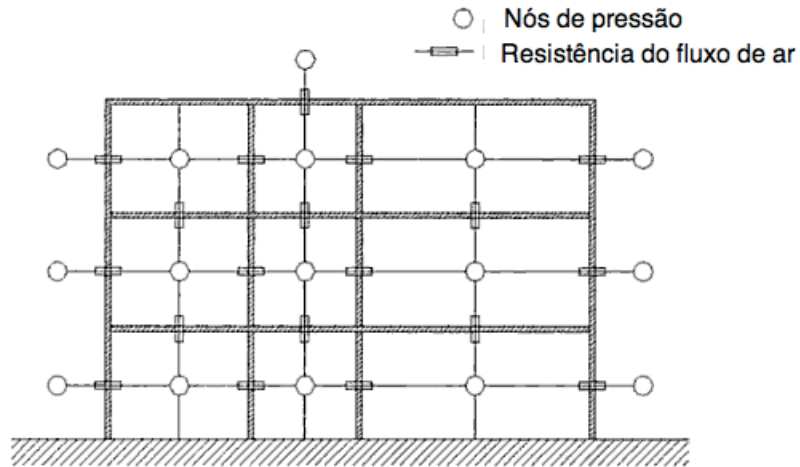


Figura4.5 – Modelo multi-zona (adaptado de: Awbi, 2003).

$$\sum_{j=1}^n \rho_i q_{ij} = 0 \quad (4.17)$$

Onde:

- q_{ij} corresponde ao caudal volúmico da zona i para a zona j ;
- ρ_i corresponde à massa volúmica na direcção do escoamento;
- n corresponde ao número de fluxos.

4.4.3. Modelos CFD (Computational Fluid Dynamics)

Os modelos CFD podem providenciar um conhecimento detalhado dos padrões de ventilação e têm sido altamente reconhecidos na análise de fluxos de ar (Lin, 1999). Para a previsão dos padrões de ventilação em uma divisão de um edifício, este espaço é dividido em uma grande quantidade de células (geralmente aproximadamente 10.000) (Lin, 1999), e em cada célula são resolvidas equações de transporte, ou seja:

- Equações de conservação de massa;
- Equações de conservação da quantidade de movimento;
- Equações de conservação de energia;
- Concentrações de contaminantes;
- Níveis de turbulência.

Através dos modelos CFD podem ser obtidas as grandezas velocidade do ar (3 componentes), a temperatura e temperatura média radiante, pressão, e concentrações de contaminantes.

Segundo Lin (1999), apesar das potencialidades destes modelos devido aos resultados que providenciam informação detalhada no âmbito do estudo do fluxo de ar e do campo de temperatura em um compartimento, os modelos CFD pecam por necessitarem de um grande esforço em termos de definição do problema e computação, devido á grande dificuldade na definição das condições de fronteira.

4.4.4. Modelos Zonais

Segundo Lin (1999), a necessidade da avaliação do conforto térmico e qualidade do ar no interior de edifícios em várias zonas de um edifício torna necessário uma aproximação intermediária entre os modelos CFD e modelos multi-zona. Esta aproximação deve então providenciar um conhecimento detalhado do fluxo de ar e da distribuição da temperatura no interior de um compartimento de um edifício de com uma precisão satisfatória e deverá ainda ser um modelo simplificado (Lin, 1999). O modelo zonal é desenvolvido para o cumprimento destes requisitos através de uma aproximação intermédia, sendo este um modelo simplificado que pode fornecer algumas indicações globais de temperatura e perfis de velocidade do vento. Este modelo é ainda relativamente fácil para a definição do problema e pode ser facilmente incorporado em software de design de edifícios (Lin, 1999).

Em um modelo zonal, um compartimento é dividido em n zonas homogéneas macroscópicas em que tais parâmetros tais como a temperatura e concentrações de contaminantes são assumidos como uniformes. O ar no compartimento deve ser

assumido como invíscido (fluido ideal, sem viscosidade). Em cada zona, o princípio de conservação da massa e energia deve ser mantido. As equações podem então ser escritas da seguinte forma (Lin, 1999):

$$\frac{dM_i}{dt} = \sum_{j=1}^n m_{ij} + m_{fonte} + m_{poço} \quad (4.18)$$

$$\frac{dQ_i}{dt} = \sum_{j=1}^n q_{ij} + q_{fonte} + q_{poço} \quad (4.19)$$

Onde:

- M_i corresponde à massa na zona i;
- m_{ij} corresponde ao “ratio” de fluxo de massa da zona i para a zona j [kg/s];
- m_{fonte} corresponde ao “ratio” de massa providenciado pela fonte na zona [kg/s];
- $m_{poço}$ corresponde ao “ratio” de massa removido da zona [kg/s];
- Q_i corresponde à energia na zona i [J];
- q_{ij} corresponde ao “ratio” de energia transferida da zona i para a zona j [W];
- q_{fonte} corresponde ao “ratio” de energia providenciado pela fonte na zona [W];
- $q_{poço}$ corresponde ao “ratio” de energia removido da zona [W];
- t corresponde ao tempo [s].

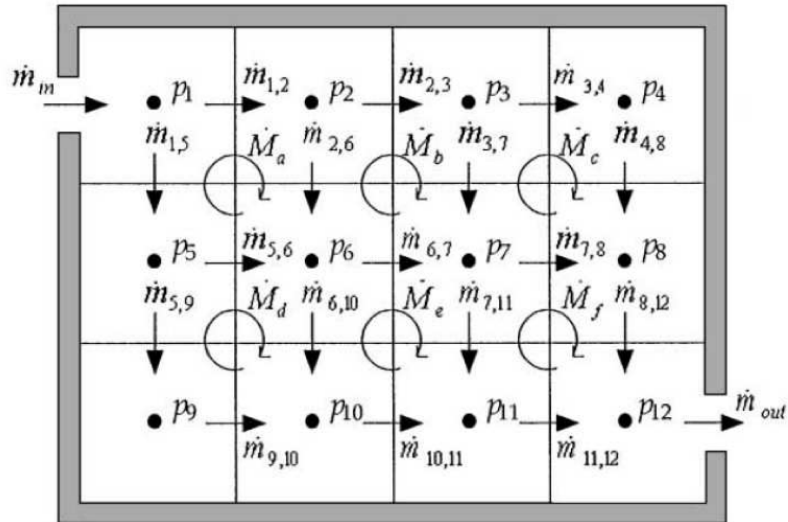


Figura 4.6 – Esquema tipo de um modelo zonal (Fonte: Amaral, 2008).

Segundo Lin (1999), em comparação com os modelos CFD, os modelos zonais têm o mesmo princípio de modelação mas são mais simplificados alguns aspectos tais como:

- A grelha dos modelos zonais não é tão densa em comparação com a grelha dos modelos CFD;
- A turbulência não é levada em conta;

Segundo o mesmo autor, os erros de precisão causados por estas simplificações podem ser compensados pelos baixos custos aliados à simplicidade de utilização dos modelos zonais, desde estes possam providenciar uma previsão satisfatória dos padrões dos fluxos de ar em estudo.

Capítulo 5

Edifícios Solar Passivos

5. Edifícios Solar Passivos

Para o presente capítulo foram estudados dois edifícios situados na Região Autónoma da Madeira, mais concretamente na ilha de Porto Santo que resultaram de estratégias de concepção e construção tendo em vista a melhoria da eficiência energética e comportamental a nível do conforto térmico dos seus utilizadores. Nestas estratégias incluem-se o recurso a materiais adequados, o estudo local da Incidência Solar, a restrição ou promoção dos ganhos e perdas de calor (conforme necessário) e a promoção da Ventilação Natural através de sistemas solar passivos de ventilação.

5.1. Casa Schäfer

A casa Schäfer situa-se na Camacha, na Ilha de Porto Santo (Figura 5.1) e nesta estão implementados sistemas e técnicas que permitem ao edifício uma maior adaptação ao clima da ilha durante todo o ano. Esta moradia foi desenhada pelo arquitecto Günter Ludewig, tendo esta sido construída no ano de 1988. Esta tem uma área útil de 130 m² e desenvolve-se em um único piso de forma trapezoidal (Gonçalves et al, 1997).



Figura5.1 – Localização da casa Schäfer na Camacha, Porto Santo.

5.1.1. Direccionamento e solução construtiva da moradia

A fachada principal na casa Schäfer está orientada a sul de modo a aproveitar da melhor maneira a radiação solar. Esta moradia é também dotada de clarabóias direccionadas a sul de modo a melhor promover ganhos solares durante o Inverno e ao mesmo tempo providenciando a entrada de luz natural para o interior (figura 5.2). A fachada Norte encontra-se parcialmente enterrada de modo a proteger a moradia dos ventos frios provenientes de Norte (figura 5.3 e 5.4). As paredes exteriores são constituídas por paredes de blocos duplos de betão ocos com 20cm e 7cm, sendo que os blocos de 20cm têm um enchimento de areia de modo a aumentar a massa térmica do edifício (Gonçalves et al, 1997). A parede que constitui a fachada sul é construída com pedra regional, sendo a sua espessura aproximada de 32cm e as janelas nesta moradia são duplas com vidro simples (Gonçalves et al, 1997). Quanto à cobertura, esta é constituída por uma laje de betão com isolamento e uma cobertura em telha cerâmica, sendo as separadas por uma caixa-de-ar ventilada através de aberturas especialmente desenhadas para o efeito (figura 5.4). A restrição dos ganhos solares durante o Verão é feita através de beirados salientes (Figura 5.8) e de uma pala na clarabóia, estes que tiram partido dos grandes ângulos de incidência entre o sol e os envidraçados.



Figura5.2 – Clarabóia na cobertura da moradia Schäfer para promoção dos ganhos solares (Autor: C. Magro).



Figura5.3 – Fachada Norte protegida dos ventos frios provenientes de Norte (Autor: C. Magro).



Figura5.4 – Fachada Norte parcialmente enterrada e com aberturas de ventilação da cobertura (Autor: C. Magro).



Figura5.5 – Caixilharias com vidros duplos (Autor: C. Magro).

5.1.2. Promoção da Ventilação Natural através de sistemas solar passivos

A moradia Schäfer possui sistemas integrados para a promoção da Ventilação Natural. Para que haja uma adaptação adequada da temperatura no interior da moradia face á temperatura exterior, a ventilação é feita da seguinte forma:

1. Em situação de Verão a entrada de ar no interior da habitação é feita através de um sistema de 5 tubos enterrados no solo com um comprimento aproximado de 5.25m e 30cm de diâmetro, nos quais as entradas de ar estão posicionadas na parte Norte da moradia e as saídas situam-se no interior desta, como ilustrado na figura 5.6 (à direita) e figura 5.9, respectivamente. A evacuação do ar interior é feita através de dois sistemas distintos, sendo estas as paredes de trombe (figura 5.7) e as chaminés solares (figura 5.8), sistemas estes que tiram partido da convecção natural.
2. Em situação de Inverno a entrada de ar para ventilação no interior da moradia é feita exclusivamente através das paredes de trombe, estas que aquecem o ar proveniente do exterior. Já as saídas de exaustão de ar das chaminés de ventilação e as entradas de ar dos sistemas de tubos enterrados são encerradas através dos sistemas de fecho concebidos para o efeito (figura 5.6).

As paredes de Trombe são constituídas por vidro simples e caixilharia de madeira, que cobrem uma porção da parede da fachada frontal constituída por pedra da região. Já as chaminés solares servem para a evacuação do ar da sala, a evacuação dos gases da lareira, a evacuação do ar da cozinha e a evacuação do ar da cobertura.

O funcionamento e manuseamento dos sistemas de Ventilação Natural instalados na moradia Schäfer foram já estudados no Capítulo 3 desta Dissertação.



Figura5.6 – Mecanismos de controlo das chaminés solares (à esquerda) e do sistema de tubos enterrados (à direita) (Autor: C. Magro).



Figura5.7 – Paredes de trombe na moradia Schäfer (Autor: C. Magro).



Figura5.8 – Pormenor dos beirados salientes na fachada sul, das chaminés solares na moradia Schäfer pintadas com uma cor escura para uma maior absorção do calor proveniente da radiação solar e da clarabóia com pala de pequena dimensão (Autor: C. Magro).



Figura5.9 – Saída de ar do sistema de tubos enterrados para o interior da habitação (sob as escadas em madeira) (Autor: C. Magro).

No Anexo II são apresentados esquemas do funcionamento dos sistemas solar passivos da moradia Schäfer em épocas de Inverno e Verão, à escala 1:100. Estes esquemas tiveram como fonte os desenhos originais da moradia produzidos pelo arquitecto Günther Ludewig com a data de 14/04/1986.

A figura 5.10 ilustra o comportamento térmico no interior da moradia em comparação à temperatura exterior. Como se pode observar através da mesma figura, o correcto direccionamento e solução construtiva da moradia juntamente com os sistemas de ventilação/arrefecimento fazem com que as temperaturas no interior ofereçam um bom nível de conforto térmico durante todo o ano.

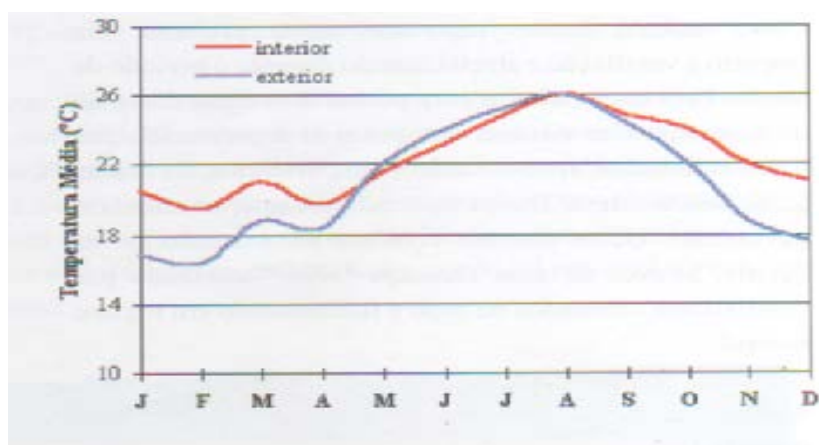


Figura5.10 – Variação da temperatura média anual no exterior e no interior da moradia Schäfer (fonte: Gonçalves et al, 1997).

5.2. Casa Solar Passiva Porto Santo

Este edifício situa-se na Ilha de Porto Santo junto à praia (Figura 5.11), mais concretamente no Sítio da Ponta, na costa Sudeste e a 7.2m acima do nível do mar, e funcionava como apoio a uma estação de dessalinização construída nas suas imediações. O edifício alberga um centro de investigação com oficinas e uma sala para seminários e resultou de uma parceria entre o Governo Regional da Madeira, nomeadamente a SRES e GCEE, e a Universidade Técnica de Berlim tendo sido construído durante os anos de 1984 e 1985 (Gonçalves et al, 1997). À semelhança da moradia Schäfer, neste edifício estão implementados sistemas e técnicas que permitem ao edifício uma maior adaptação ao clima da ilha durante todo o ano tendo em vista o arrefecimento e aquecimento passivo do interior conforme necessário. A área útil do edifício é de 95 m² e possui dois andares sendo que apenas o piso térreo é utilizável.



Figura5.11 – Localização da casa Solar Passiva Porto Santo.

5.2.1. Direcção e solução construtiva do edifício

A fachada principal do edifício solar passivo Porto Santo está orientada a sul de modo a aproveitar da melhor maneira a radiação solar sendo que grande parte desta é constituída por envidraçados constituídos por janelas duplas de vidro simples (Gonçalves et al, 1997) e armações em madeira, fazendo que o edifício tenha uma maior permeabilidade relativamente aos ganhos solares. A restrição dos ganhos solares durante o Verão é feita através de telas brancas que cobrem as janelas do piso térreo (consultar o Anexo III), as quais impedem os ganhos solares desnecessários durante esta época.

A fachada Norte encontra-se parcialmente enterrada através de um talude de terra com 1.9m de modo a proteger a moradia dos ventos frios provenientes de Norte e a minimizar as perdas de calor (figura 5.12).

As fachadas orientadas a oriente e ocidente são sombreadas através de pérgolas (figura 5.13), as quais se estendem sobre os recintos de trabalho e os terraços limitando a incidência solar nos recintos de trabalho. A inclinação das pérgolas do lado sul deve-se à possibilidade de instalação de equipamentos foto-térmicos e fotovoltaicos (Ehlers et al, 1984).

As paredes exteriores são duplas constituídas por blocos de betão ocos de 20cm preenchidos com areia (de modo a aumentar a inércia térmica do edifício) no lado do pano exterior, e por blocos de betão ocos de 7cm no lado do pano interior, sendo estes separados por uma caixa-de-ar de 2cm (Gonçalves et al, 1997).

As lajes do edifício são do tipo maciço em betão de 12cm e a cobertura deste é constituída por um telhado armado com vigas, com um isolamento de cortiça de espessura 8.0cm e telhas de argila (Ehlers et al, 1984).



Figura5.12 – Fachada Norte da casa Solar Passiva Porto Santo parcialmente enterrada (Autor: C. Magro).



Figura5.13 – Pérgola sombreando a fachada Poente (fonte: Gonçalves et al, 1997).

5.2.2. Promoção da Ventilação Natural através de sistemas solar passivos

Tal como a moradia Schäfer, a casa Solar Passiva Porto Santo possui sistemas integrados para a promoção da Ventilação Natural. O manuseamento destes sistemas é feito na seguinte maneira:

- No Verão, a admissão de ar para o interior do edifício é feito através de dois sistemas distintos, isto é, através de janelas localizadas no primeiro piso na

fachada Norte (as janelas do piso térreo localizadas na mesma fachada devem ficar fechadas no período diurno) e de um sistema de 22 tubos em cimento enterrados no solo a uma profundidade aproximada de 1.7m com um diâmetro de 30cm e 12m de comprimento médio (Ehlers et al, 1984). Estes estão instalados na parte Norte da casa e permitem a entrada de ar arrefecido e ligeiramente menos húmido que o ar presente no exterior (Gonçalves et al, 1997) (figura 5.14). O controlo do sistema de tubos enterrados pode ser feito através de comandos manuais (figura 5.15). A exaustão do ar interior é feita através de um sistema para a produção de efeito chaminé. Para este efeito, a fachada sul no primeiro piso é transformada em um colector de ar, que ao ser exposto à radiação solar origina um fluxo ascendente de ar através da alteração da sua densidade por acção térmica. Visto que este sistema está ligado ao piso inferior por via tubular, o ar quente deste piso é então extraído e substituído por ar fresco proveniente do exterior.

- Na laje do primeiro piso existe um lençol de água com 5 a 10cm de altura de água para promoção do arrefecimento evaporativo por acção de ventilação e aquecimento. Segundo Gonçalves et al (1997), o sistema de arrefecimento evaporativo não foi muito bem-sucedido, facto este que foi afirmado pelo seu autor.
- Durante o Inverno, o lençol de água na laje do primeiro piso é esvaziado e, devido às necessidades de aquecimento, o edifício pode ser tornado em um simples colector de calor. Para tal, os colectores são inclinados expondo a laje do primeiro piso directamente à radiação solar, e a tela protectora no piso térreo deve ser recolhida expondo assim também este piso à radiação solar. A energia acumulada nas lajes durante o período diurno é então utilizada naturalmente, e os colectores devem ser colocados na posição vertical para que sirvam como isolamento minimizando assim as perdas de calor.



Figura5.14 – Pormenor da colocação dos tubos enterrados (à esquerda) e entrada de ar do sistema de tubos (à direita) (Autor: C. Magro).



Figura5.15 – Entradas de ar de sistema de tubos enterrados para o interior do edifício com regulação manual (Autor: C. Magro).

No Anexo III são apresentados esquemas do funcionamento dos sistemas solar passivos da Casa Solar Porto Santo durante o Inverno e Verão em período diurno e nocturno, bem como vistas de pormenores construtivos de interesse. Estes esquemas tiveram como fonte os desenhos originais do edifício Solar Passivo Porto Santo produzidos pela Universidade Técnica de Berlim.

Na figura 5.16 podemos observar como o correcto direccionamento e solução construtiva do edifício juntamente com os sistemas de ventilação/arrefecimento fazem com que as temperaturas no interior ofereçam um bom nível de conforto térmico

durante todo o ano. Segundo Gonçalves et al (1997), no Inverno a temperatura interior fica em média 4°C acima da temperatura exterior. Os mesmos autores referem ainda que durante o período de Verão a temperatura interior diminui para valores ligeiramente inferiores à temperatura exterior.

Importa também realçar que durante o Verão, os sistemas de ventilação concebidos para o edifício mostraram ser muito eficazes proporcionando aproximadamente 6 r.p.h. no seu interior.



Figura5.16 – Variação da temperatura média anual no exterior e no interior da Casa Solar Passiva Porto Santo (Fonte: Gonçalves et al, 1997).

Capítulo 6

Um Edifício Solar Passivo para a Ilha da Madeira

6. Um edifício solar passivo para a ilha da Madeira

Para presente capítulo, foi elaborado um pequeno projecto para a construção de uma moradia de pequena envergadura (destinada a alojamento para férias) a ser construída na ilha da Madeira. Para esta, foram pensadas algumas estratégias de concepção e construção tendo em vista a melhoria da sua eficiência energética e comportamental para o conforto térmico dos seus utilizadores. Nestas estratégias incluem-se o recurso a materiais adequados, o estudo local da Incidência Solar, a restrição ou promoção dos ganhos e perdas de calor (conforme necessário) e a promoção da Ventilação Natural.

6.1. A arquitectura do edifício

O edifício unifamiliar ilustrado pela figura 6.1 deverá ser de dois pisos e deverá ter características “T2”, sendo que o piso superior será do tipo “águas furtadas”. O piso térreo deverá ser composto por uma sala de estar, uma cozinha, uma dispensa e casa de banho. Quanto ao piso superior, este será composto por dois quartos de dormir, uma casa de banho e um corredor, sendo este ainda dotado de um espaço exterior com varanda. As paredes do edifício deverão ser duplas e constituídas por alvenaria em blocos de cimento de medidas 20 e 7 centímetros, respectivamente, espaçados por uma camada de isolamento. A cobertura deverá ser constituída por uma laje maciça em betão armado inclinada formando duas águas e coberta por telhas cerâmicas. As portas exteriores e interiores deverão ser em madeira e as janelas constituídas por vidros duplos e armação em alumínio. As janelas dos quartos deverão ser deslizantes e dotadas de tapa-sóis também em alumínio. O edifício deverá também ser dotado de uma clarabóia sobre a escadaria e de uma chaminé no lado Este.

No anexo IV apresentam-se as plantas pormenorizadas do edifício contendo pormenores de interesse.



Figura 6.1 – Perspectiva da moradia piloto.

6.2. Adaptação do edifício ao clima

Esta moradia foi projectada para melhor se adaptar ao clima durante todo o ano. Para tal deverão ser utilizados dois métodos distintos, isto é, o aproveitamento e restrição adequados dos ganhos solares e sistemas de Ventilação Natural.

6.2.1. Promoção e restrição dos ganhos solares

A fachada frontal da moradia deverá ser direccionada de maneira a receber a maior quantidade possível de radiação solar, ou seja, deverá ser orientada de maneira a que fique exposta ao sol durante o maior período de tempo possível, diariamente, durante todo o ano. Na Ilha da Madeira, como já visto no capítulo 2 desta dissertação, a orientação Sul é a mais indicada. Contudo se existirem obstáculos à radiação solar na zona de implantação da moradia (seja devido à presença de outros edifícios ou devido a características montanhosas do terreno, entre outras), o seu direccionamento deverá ser estudado de modo a compensar este factor. A figura 6.2 ilustra o percurso solar anual na Ilha da Madeira em relação à moradia cuja fachada frontal se encontra orientada a Sul.

A restrição dos ganhos solares no edifício em épocas mais quentes é realizada em duas formas distintas no primeiro piso e no rés-do-chão na fachada frontal. No primeiro piso a restrição destes ganhos é feita nas próprias janelas através do uso de tapa-sóis deslizantes. A presença de paredes de trombe neste piso torna necessária a exposição desta parte da fachada ao sol durante todo o ano (os tapa-sóis deslizantes devem-se ao facto de que em épocas mais frias, estes não devem obstruir as paredes de trombe quando abertos). Já no piso inferior a restrição dos ganhos solares é feita através da laje do primeiro piso, sendo que o facto de esta ser saliente deve-se à obstrução de ganhos solares em época de Verão, tirando partido do grande ângulo de incidência da radiação solar nesta estação do ano. A promoção de ganhos solares é simplesmente feita através dos envidraçados em ambos os pisos.

As figuras 6.3 e 6.4 ilustram os sombreamentos nas fachadas resultantes da arquitectura e do percurso solar diário em relação à moradia, convenientemente direccionada a Sul. A figura 6.3 corresponde ao dia 21 de Junho (as horas das imagens são; 07:00; 09:00; 11:00; 13:00;15:00; 17:00; 19:00, respectivamente) e a figura 6.4 corresponde ao dia 21 de Dezembro (as horas das imagens são; 09:00; 11:00; 13:00;15:00; 17:00, respectivamente).

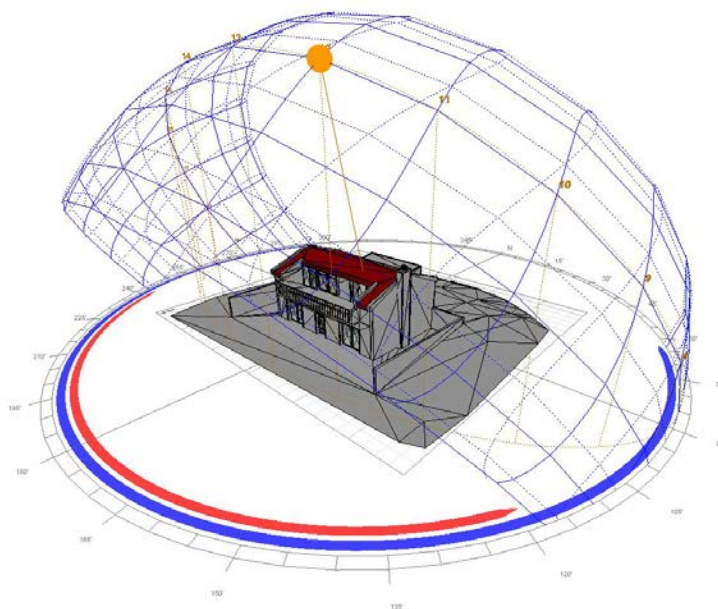


Figura6.2 – Percurso solar anual na Ilha da Madeira em relação à moradia cuja fachada frontal se encontra orientada a Sul (Software: Ecotect Analysis 2011, © Autodesk).

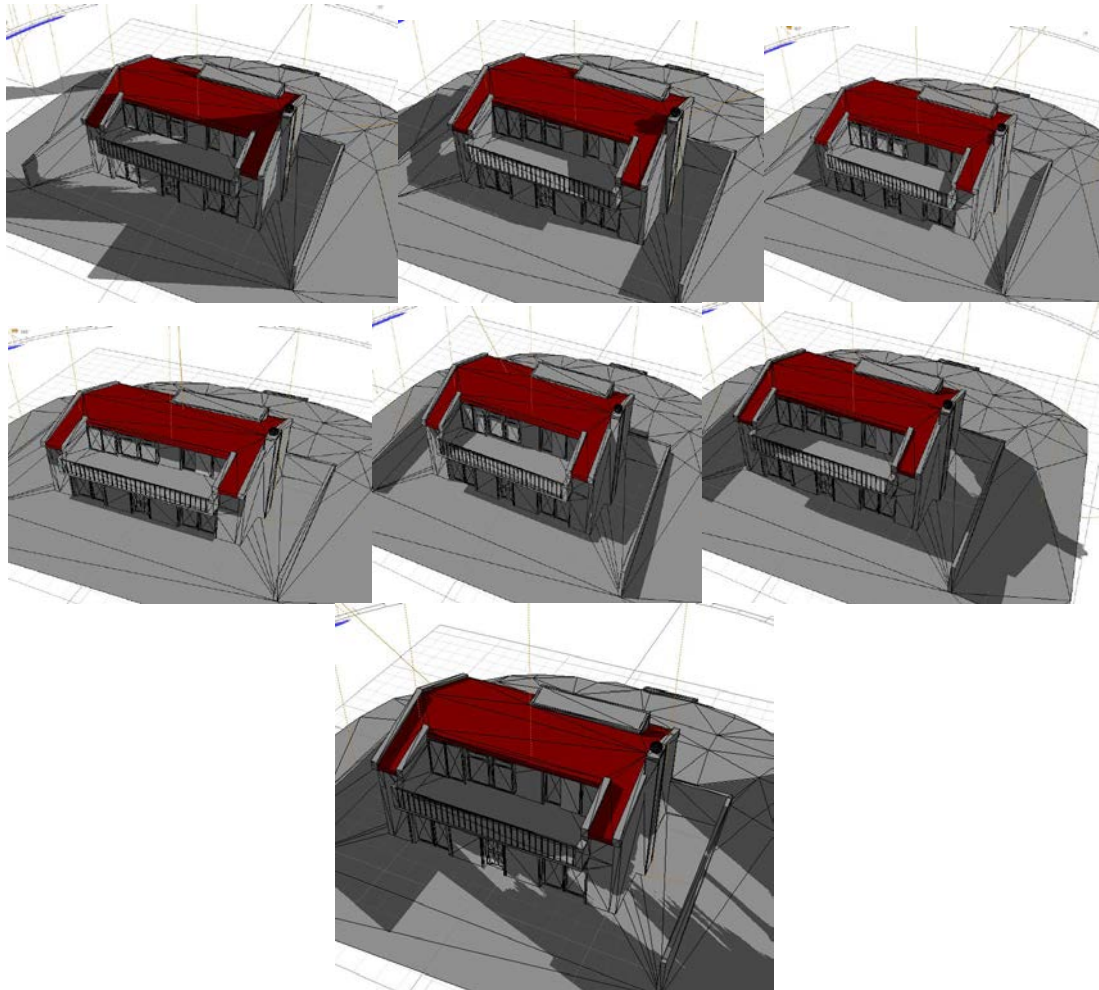


Figura6.3 – Sombreamentos resultantes do percurso solar diário na Ilha da Madeira em relação à moradia no dia 21 de Junho (Software: Ecotect Analysis 2011, © Autodesk).

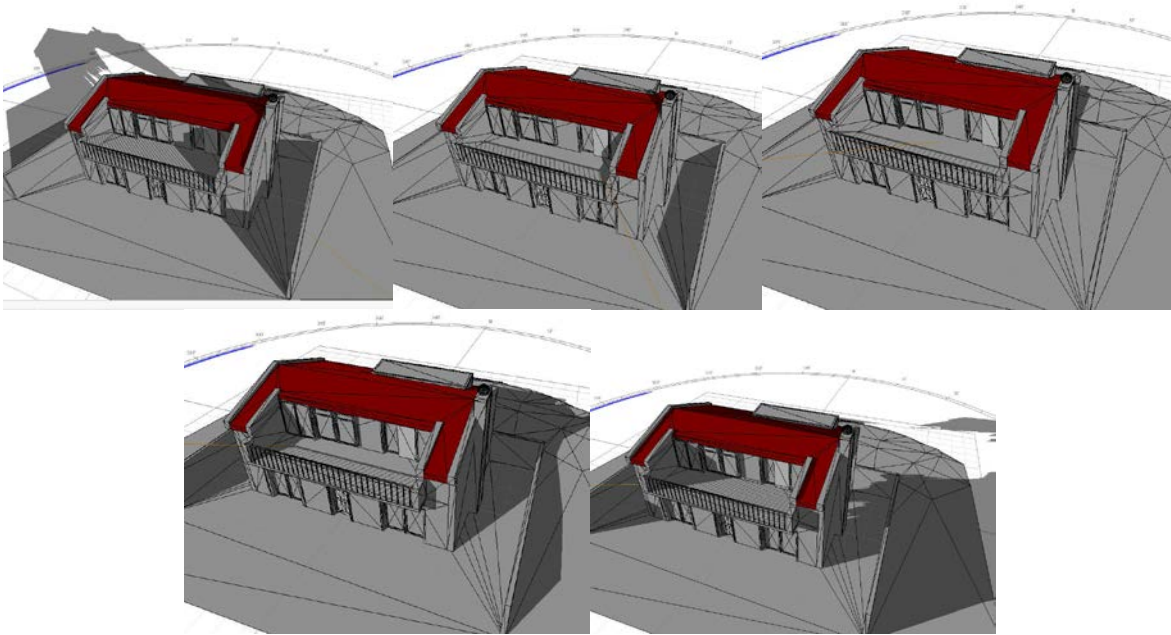


Figura6.4 – Sombreamentos resultantes do percurso solar diário na Ilha da Madeira em relação à moradia no dia 21 de Dezembro (Software: Ecotect Analysis 2011, © Autodesk).

É de importância realçar que no dia 21 de Junho acontece o Solstício de Verão (dia mais longo do ano) e no dia 21 de Dezembro acontece o Solstício de Inverno (o dia mais curto do ano).

Outro aspecto de relevo é o dimensionamento da laje intermédia para efeitos de sombreamento, dimensionamento este que é feito de maneira a que durante o Inverno os envidraçados do rés-do-chão estejam sempre expostos à radiação solar para o aquecimento deste piso através de ganho directo.

6.2.2. Sistemas de Ventilação Natural

O interior da moradia deverá ser inteiramente ventilado, em ambos os pisos, com recurso a métodos passivos. O dimensionamento dos sistemas de ventilação foi realizado tendo em vista um mínimo de quatro r.p.h. nas casas de banho e lavandaria e uma r.p.h. nos compartimentos principais e cozinha. O fogão deverá ainda ser eléctrico e o aquecimento de água deverá ser realizado através de um painel solar.

No **piso térreo** deverão existir dois circuitos distintos para ventilação, sendo que o primeiro ventila a cozinha e a dispensa. Neste, a entrada de ar será feita na janela da cozinha através de uma abertura junto a esta, e a saída deverá ser feita através do exaustor localizado sobre o fogão eléctrico, através da saída de gases do esquentador (localizada a uma altura mínima de 2.10 metros) e através da janela, sendo estes dois últimos localizados na dispensa (estas saídas estão assinaladas por setas a vermelho na figura 6.6 nos respectivos compartimentos, sendo a janela da dispensa instalada na fachada Norte). Se o fogão funcionasse a gás ou outro combustível cujos gases sejam nocivos para a saúde, seria instalada na fachada Oeste uma chaminé solar com duas saídas independentes para exaustão dos gases do fogão e para extracção do ar da cozinha, na qual se passariam a realizar um mínimo de 4 r.p.h. A passagem interior de ventilação entre a cozinha e a dispensa deverá ser realizada através de uma abertura na porta utilizando uma grelha.

O segundo circuito ventila a sala e a casa de banho, onde a entrada de ar será feita sob as escadas, proveniente de um sistema de tubos enterrados instalados na parte traseira da habitação, e as saídas serão feitas através da janela da casa de banho, através de uma chaminé solar instalada na fachada Este da moradia e através de aberturas instaladas junto à clarabóia situada sobre a escadaria. A passagem de ar entre a sala e a casa de banho deverá também ser feita através de uma abertura na porta com uma grelha.

O **piso superior** será inteiramente ventilado por apenas um circuito, sendo a entrada de ar proveniente do sistema de tubos enterrados instalados na traseira do edifício e a saída do ar realizada com o recurso às paredes de trombe do tipo ventiladas e também na janela da casa de banho. As passagens interiores de ventilação deverão ser realizadas de

uma maneira semelhante ao que é feito no piso inferior, ou seja, através de aberturas nas portas com grelhas.

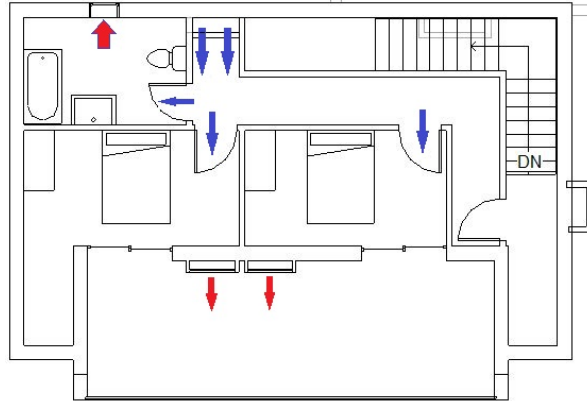


Figura6.5 – Esquemas de ventilação no 1º piso.

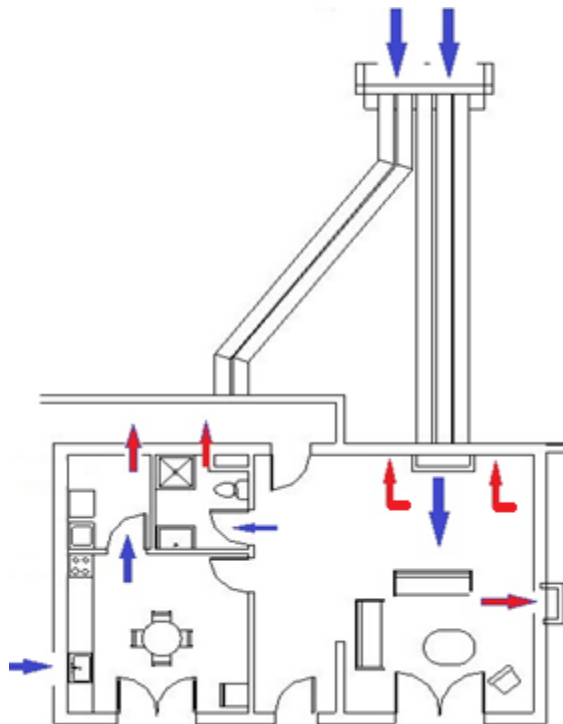


Figura6.6 – Esquemas de ventilação no piso térreo.

Na tabela 6.1 estão indicados os valores dos volumes dos compartimentos da moradia, bem como os valores considerados no dimensionamento dos sistemas de Ventilação Natural tendo em vista as quatro r.p.h. nos compartimentos de serviço e uma r.p.h. nos compartimentos principais.

Piso	Compartimento	Valor real (m ³)	Valor de cálculo (m ³)
Rés-do-Chão	Casa de banho	16	64
	Sala (escada incluída)	156.7	157
	Cozinha	53.6	54*
	Dispensa	14.3	57
1º Piso	Casa de banho	13.4	54
	Quarto 1	25.4	25
	Quarto2	23.8	25
	Corredor	19.4	19

* Será feito no mínimo 1 r.p.h. na cozinha, pelo facto do fogão ser eléctrico e devida à sua pouca utilização. Em caso de necessidade, deverá ser instalada na fachada Oeste uma chaminé solar (com duas saídas independentes para exaustão dos gases do fogão e para extracção do ar da cozinha. Neste compartimento seria então realizado um mínimo de um mínimo de 4 r.p.h.).

Tabela 6.1 – Volumes de ar de dimensionamento dos sistemas de Ventilação Natural.

6.2.2.1. Aberturas interiores de ventilação

As passagens interiores de ventilação deverão ser instaladas de maneira a que estejam sempre desimpedidas de modo a não perturbar o fluxo de ar, isto é, de modo a que não haja nenhum obstáculo à livre circulação de ar (como por exemplo uma peça de mobília). Uma boa solução para esta moradia será a instalação de aberturas nas portas, como ilustra a figura 6.7.

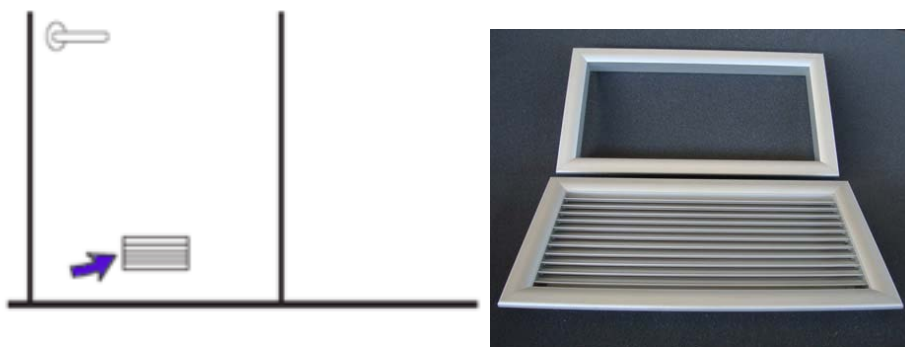


Figura 6.7 – Aberturas para passagens interiores de ventilação a utilizar na moradia (adaptado de: IPQ, 2002 e <<http://www.euroar.pt>>).

Na tabela 6.2 são indicadas as áreas de aberturas a serem utilizadas no respectivo compartimento.

Compartimento		Volume de ar a extrair em 1 hora (m ³)	Área de abertura (mínima) (cm ²)	Área de abertura a utilizar (cm ²)	Medidas (largura x altura) (cm x cm)
R/C	Casa de banho	64	200	200	20x10**
	Dispensa	57+54***	250	250	20x12.5**
1º Piso	Casa de banho	54	200	200	20x10**
	Quartos	25	100	600*	40x15**

* A utilização deste valor para área de abertura deve-se ao aproveitamento do potencial de arrefecimento providenciado pelo sistema de tubos enterrados, isto é, a entrada de ar é feita por dois tubos de 300mm providenciando uma área total de 1414cm², com a soma de todas as aberturas de passagem interiores igual a 1400cm².

** Estas dimensões podem ser alteradas desde que as áreas de aberturas a utilizar sejam iguais ou superiores às áreas indicadas.

*** O valor de 54m³* corresponde ao volume de ar na cozinha, a ser também extraído pela janela da dispensa.

Tabela 6.2 – Áreas de aberturas das passagens interiores de ventilação.

6.2.2.2. Chaminé solar

O dimensionamento da chaminé foi feito de acordo com o disposto no capítulo 3, (mais concretamente na parte que estuda a evacuação do ar nesta dissertação). Para tal primeiramente foi calculado parâmetro característico do edifício (R) (segundo a expressão 3.2), sendo o seu valor $R=6.9$. Seguidamente, com o valor obtido, foi estabelecida a zona de exclusão, ilustrada pela figura 6.8. A saída de ar da chaminé deverá então ficar acima do limite superior da zona de exclusão (zona sombreada sobre a cobertura).

As paredes da chaminé deverão ainda ser pintadas com uma cor escura, e constituídas por blocos de betão ocos com enchimento de areia.

A saída de ar que liga o compartimento ao interior da chaminé deverá ser feita através de uma abertura com área mínima de 700cm^2 e localizada junto à laje intermédia (Figura 6.9). Esta deverá ainda ser dotada de um dispositivo de controlo para que possa ser fechada caso o utilizador o pretenda. Uma boa solução para esta abertura pode ser vista na figura 6.10 onde é apresentada uma grelha dotada de um dispositivo com registos para controlo da ventilação, esta deverá ter uma abertura de dimensões 40×18 (cm). Na saída da chaminé deve ser instalado um sistema que providencie uma boa extracção do ar impedindo ao mesmo tempo a entrada de água proveniente de chuvas. A solução escolhida para a moradia será o uso de um “chapéu” constituído por peças de betão pré-fabricadas (ilustrado pela figura 6.11).

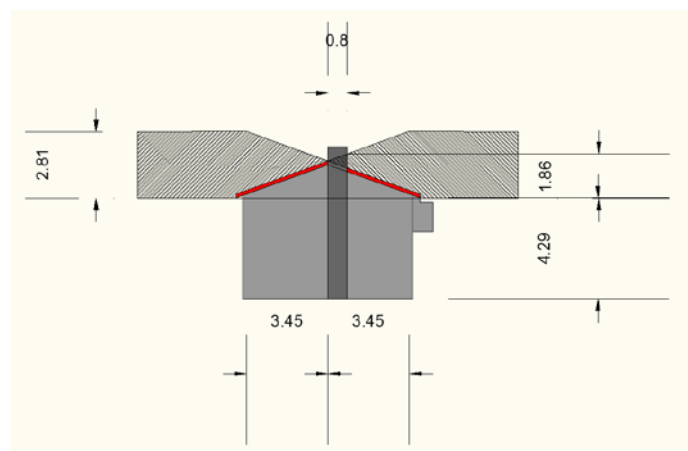


Figura6.8 – Zona de exclusão para chaminé na cobertura.



Figura 6.9 – Posicionamento da saída de ar para a chaminé.



Figura6.10 – Grelha munida de registos para extração de ar através da chaminé solar (adaptado de: <<http://www.euroar.pt>>).

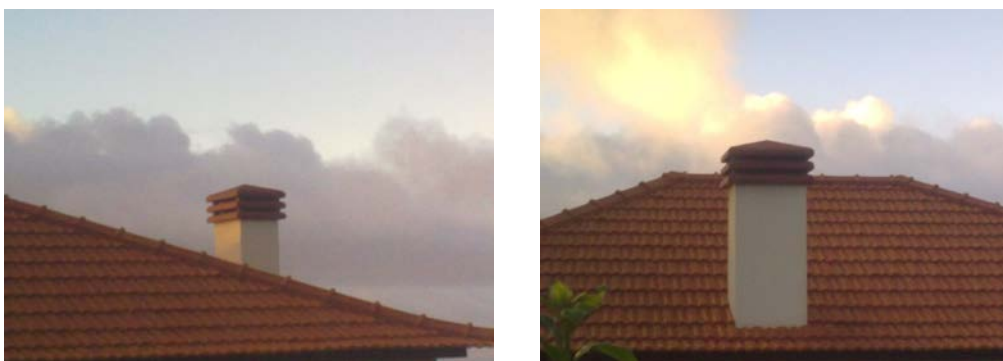


Figura6.11 – Exemplo de chapéu constituído por peças de betão pré-fabricadas a ser instalado no topo da chaminé da moradia.

6.2.2.3. Clarabóia

A inclusão de uma clarabóia na moradia tem como objectivo a promoção de iluminação Natural na moradia e a promoção da Ventilação Natural, tornando-a em um dispositivo de extracção de ar. O ar junto á clarabóia é aquecido originando uma diminuição na sua densidade, provocando a sua elevação e conseqüentemente uma corrente de ar nos compartimentos a este dispositivo ligados.

As saídas de ar podem ser feitas através de dispositivos semelhantes ao utilizado na saída de ar para a chaminé (figura 6.10), com a possibilidade de controlo pelo utilizador, mas adicionando para o lado exterior uma grelha adequada. Um bom exemplo para esta última é ilustrado pela figura 6.12.

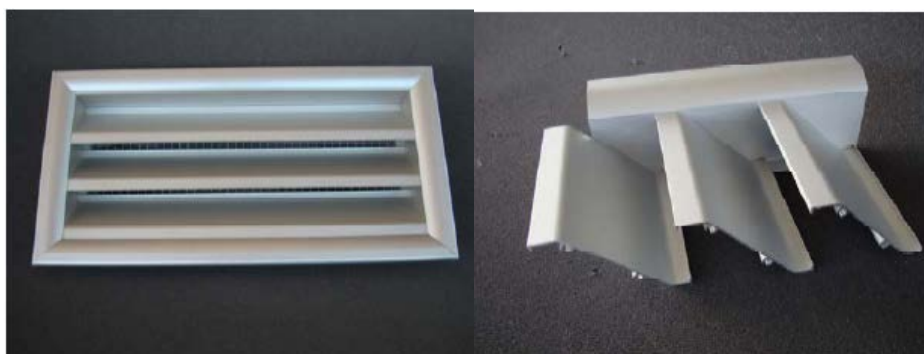


Figura6.12 – Grelha de ar para exterior anodizada (adaptado de: <<http://www.euroar.pt>>).

A área total para as aberturas deve ter em conta a área de aberturas dos dispositivos de entrada de ar. Logo, sendo a entrada de ar realizada através de 3 tubos de diâmetro 300mm e área 2121cm^2 , a área total das aberturas de saída deve ter um valor igual ou superior a este valor. Ao ser utilizada uma abertura de área 700cm^2 para a chaminé e outra de 200cm^2 para a casa de banho, as aberturas na clarabóia deverão ter uma área de valor igual ou superior a 1221cm^2 . A solução ilustrada pela figura 6.13 foi a escolhida para esta moradia na qual serão utilizadas duas aberturas 15×15 (cm) e três aberturas 30×15 (cm). As paredes da clarabóia deverão ainda ser constituídas por blocos de betão ocios com enchimento de areia e pintadas com uma cor escura.

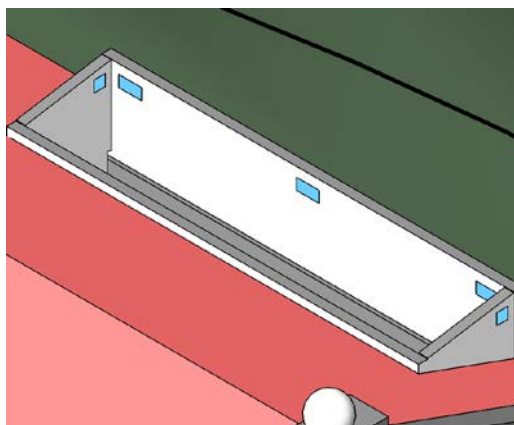


Figura6.13 – Localização das grelhas na clarabóia da moradia.

6.2.2.4. Paredes de trombe

No primeiro piso da moradia, deverão ser instaladas duas paredes de trombe ventiladas (figura 6.14) com o objectivo de aquecer o interior dos quartos e de promover a Ventilação Natural. O funcionamento e manuseamento destes dispositivos são descritos no capítulo 3 nesta dissertação.

As paredes que separam a parede de trombe do interior dos quartos (paredes acumuladoras) devem ser maciças logo, para esta moradia, devem ser constituídas por alvenaria tal como as restantes paredes mas desprovidas de isolamento e as partes ocas e vazias preenchidas por areia, e pintadas com uma cor escura na parte exterior.

As aberturas superiores para o interior da moradia em cada parede de trombe deverão ter uma área total de 600 cm^2 (área semelhante à das passagens interiores de ventilação em cada quarto, para evacuação do ar interior), constituídas por quatro orifícios de forma rectangular com medidas 10×15 (cm) munidas com uma portinhola para o controlo do sistema. Os orifícios inferiores poderão também ser semelhantes aos superiores com uma portinhola para controlo do sistema pelo utilizador. Deverão ainda existir aberturas exteriores reguláveis nas paredes de trombe, tanto na parte superior como na inferior. No anexo IV desta dissertação podem ser encontradas vistas pormenorizadas destes dispositivos bem como outros pormenores de interesse.

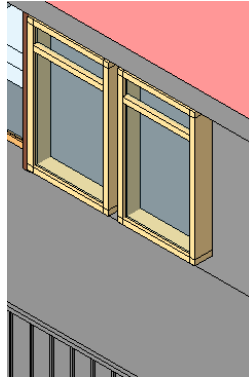


Figura6.14 – Localização das paredes de trombe.

6.2.2.5. Sistema de tubos enterrados

Deverá ser instalado na moradia um sistema de tubos enterrados para a ventilação da sala no rés-do-chão e a totalidade do primeiro piso de modo a aproveitar as características térmicas do solo. A figura 6.15 ilustra o traçado dos tubos deste sistema, desde a estrutura de admissão de ar para os tubos até o interior da moradia.

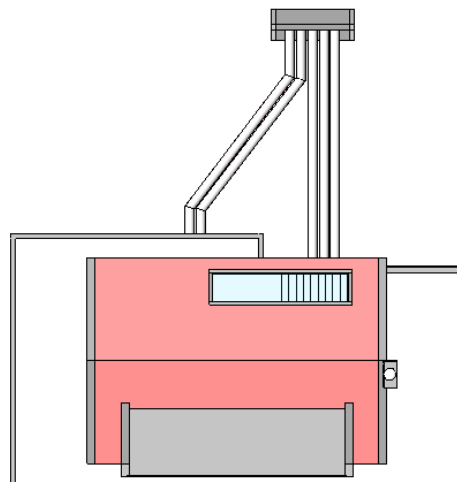


Figura6.15 – Vista em planta do sistema de tubos enterrados.

Os tubos deverão ter uma extensão de aproximadamente 9.0m e enterrados a uma profundidade de cerca de 2 metros e deverão ser constituídos por tubos de cimento, de diâmetro 300mm.

A sala e casa de banho do piso térreo são alimentados pelos três tubos que seguem uma trajectória completamente rectilínea, e os restantes dois tubos alimentam o andar superior. Os tubos de alimentação do piso superior deverão ser ligados a uma caixa-de-ar que se estende desde a laje de fundação até o primeiro piso.

O controlo deste sistema por parte do utilizador pode ser feito através de grelhas munidas com registos semelhantes às ilustradas pela figura 6.10, com área de abertura igual ou superior à área total dos tubos que ventilam a sala e o primeiro piso. Logo, no primeiro piso a área de abertura deverá ser igual ou superior a 1414cm^2 e no piso inferior a área de abertura deverá ser maior ou igual a 2121cm^2 . Sendo assim podem ser utilizadas grelhas com dimensões de abertura 71×20 (cm) e 107×20 (cm), respectivamente.

Nas entradas de ar do sistema de tubos enterrados, devem ser colocadas redes de modo a prevenir a entrada de insectos ou pequenos animais para o interior da habitação através deste sistema.

No anexo IV desta dissertação são apresentadas vistas pormenorizadas do sistema de tubos enterrados à escala indicada.

6.2.2.6. Entrada de ar na cozinha

A entrada de ar para o circuito de ventilação que percorre a cozinha e a dispensa deverá ser instalada sobre a janela presente na cozinha. Sendo assim, para a instalação de um dispositivo de entrada de ar deverá ter em conta a classe de exposição ao vento, esta que depende dos seguintes factores:

- **Zonamento do território:** sendo que esta moradia deverá se localizar na ilha da Madeira, o zonamento do território a ser considerado é a zona B.
- **Rugosidade aerodinâmica:** supondo que o edifício deverá ser construído em uma zona rural com algum relevo, a rugosidade será do tipo II.

Devido aos factores anteriores, a classe de exposição ao vento deverá ser do tipo Exp 2, logo deverá ser escolhida uma abertura regulável por comando manual. Sendo assim a solução escolhida passa por utilizar na caixilharia em alumínio uma abertura regulável na parte superior da janela que será do tipo deslizante, como mostra o exemplo da figura 6.16. no Anexo IV desta dissertação é apresentada uma vista pormenorizada da janela à escala indicada.



Figura 6.16 – Tipo de aberturas a serem utilizadas na janela da cozinha.

Capítulo 7

Considerações Finais

7. Considerações Finais

Os objectivos propostos na elaboração deste trabalho foram atingidos, visto que se conseguiram abordar os conceitos mais importantes no que toca ao processo de Ventilação Natural para a concepção de sistemas passivos de ventilação, possibilitando assim a elaboração de um pequeno projecto de uma moradia a ser construída na ilha da Madeira.

A recolha de informação referente ao primeiro dos objectivos e a elaboração do projecto relativa ao objectivo final ocorreram sem grandes percalços. Contudo um constrangimento a indicar foi a elaboração das peças desenhadas em relação aos edifícios do Porto Santo (apresentadas nos anexos II e III), visto que todos os desenhos que se possuíam não se encontravam nas escalas indicadas. Este facto levou a que a obtenção das dimensões correctas fosse realizada através de cálculos matemáticos e, consequentemente, levando a um grande consumo de tempo. Contudo, o autor considera que a elaboração destas peças desenhadas seja importante para o presente trabalho e para trabalhos futuros.

Esta dissertação refere-se a uma necessidade essencial para o bem-estar de todas as pessoas quando estas se encontram no interior de um edifício. A ventilação através de sistemas passivos torna-se uma mais-valia ao ser utilizada para fins de climatização e para a remoção e consequente substituição do ar poluído resultante da actividade dos utilizadores no interior de um edifício.

A sensação de conforto depende de variáveis de natureza climática e de natureza pessoal. As variáveis de natureza climática que mais influenciam o conforto são a temperatura do ar, a temperatura radiante, a velocidade do ar e a humidade relativa, e nas variáveis de natureza pessoal incluem-se o metabolismo (sendo que o corpo humano, dentro de um certo limite, adapta-se automaticamente à alteração da temperatura circundante) e o isolamento do corpo (vestuário).

Os utilizadores de ambientes ventilados naturalmente reagem a mudanças de temperatura de uma forma diferente em relação aos presentes em ambientes condicionados. A constatação deste facto deu origem a um modelo adaptativo do conforto térmico proposto por normas tais como a ASHRAE 55 do ano 2004.

A Ventilação Natural depende de vários parâmetros, que podem ser incluídos em dois grupos, sendo eles as condições climatéricas (a acção do vento e a acção térmica) e parâmetros arquitectónicos). O estudo destes parâmetros conduziu a uma série de conclusões, das quais se podem retirar as seguintes recomendações:

- Quando a ventilação for feita através de aberturas nas fachadas, devem-se assegurar que as entradas e saídas de ar se encontram em locais cujos coeficientes de pressão sejam simétricos, ou seja, positivos para as entradas e negativos para as saídas. Se existirem obstáculos nas proximidades do edifício, poderá ocorrer uma inversão dos coeficientes de pressão, sendo que em caso de necessidade de colocação de aberturas nessas zonas, estas deverão ser do tipo auto-reguláveis. Estas aberturas impossibilitarão a inversão do fluxo de ar no interior do edifício.
- As entradas e saídas de ar não devem ser localizadas na mesma fachada. Se houver a necessidade da instalação destes dispositivos na mesma fachada, deverão ser utilizados deflectores possibilitando assim o funcionamento adequado destes sistemas.
- O dimensionamento de sistemas de ventilação em coberturas deverá ser feito de modo a que se situem sobre as zonas de recirculação de ar formadas devido ao vento. Sendo assim o dimensionamento poderá ser feito segundo a NP 1037-1 do ano 2002.
- O estudo da geometria solar é de extrema importância para o dimensionamento e concepção de sistemas de ventilação passivos e para a própria arquitectura do edifício. A orientação destes sistemas e das fachadas envidraçadas deve ser feita de modo a que estejam expostos à radiação solar durante o maior período possível de tempo diariamente. Em Portugal a orientação Sul é a mais vantajosa.
- Deve ser dada especial atenção ao ângulo de incidência da radiação solar, já que este se altera durante o ano. Assim, a restrição dos ganhos solares, quando necessário, pode ser feita tirando partido deste factor.
- Na presença de um obstáculo ente o edifício e o sol durante um certo período diário (por exemplo outro edifício ou a orografia do terreno), as fachadas e os sistemas de ventilação, devem ser direccionados de modo a captar a maior quantidade de radiação solar possível diariamente.

O dimensionamento de sistemas de Ventilação Natural deve ser feito de maneira a que sejam satisfeitas as necessidades mínimas de ventilação. O IPQ através da NP1731-1 de 2002 recomenda que o dimensionamento seja feito de modo a proporcionar um mínimo 1 r.p.h. em compartimentos principais e 4 r.p.h. em compartimentos de serviço em um edifício de habitação. Apresentam-se em seguida uma série de recomendações para o dimensionamento destes sistemas:

- Em uma fase inicial é conveniente a determinação dos esquemas de ventilação prevendo as localizações das entradas e saídas de ar e as zonas de ventilação, tendo em conta que todos os compartimentos de uma habitação devem ser ventilados. Deve ser dada especial atenção para os locais que possuam aparelhos a gás ou lareiras, para que os gases provenientes do seu funcionamento não contaminem outros compartimentos.
- A ventilação de uma habitação pode realizada através de ventilação conjunta ou separada. É recomendável que os compartimentos que possuam dispositivos de combustão sejam ventilados separadamente.
- É de extrema importância evitar trocas de ar entre zonas de ventilação distintas, visto que qualquer interferência entre duas zonas contíguas condiciona o correcto funcionamento do sistema de ventilação. Sendo assim, deve ser assegurada a correcta escolha de materiais para as portas de comunicação quanto à permeabilidade ao ar.
- A qualidade do ar no exterior do edifício deve ser estudada para que no seu interior não haja contaminação por poluentes e sujidade, entre outros. Sendo assim, nestes casos deve ser estudada a implantação de sistemas que minimizem o impacte da qualidade do ar exterior no edifício, tais como filtros, mas dando especial atenção ao facto de que a colocação de filtros e afins pode causar uma diminuição considerável do caudal de ventilação nas aberturas de admissão de ar.
- Devem ser instaladas redes ou outros dispositivos semelhantes nas entradas de ar para prevenir a entrada de animais e insectos no interior da habitação através destes sistemas.
- As aberturas de exaustão de ar e as aberturas de passagens interiores de ventilação deverão ter dimensão igual ou superior às aberturas de admissão de ar de modo a evitar a velocidade do ar excessiva com fluxo de ar limitado.

- Os sistemas de ventilação mais usuais são compostos por entradas de ar (normais, reguláveis ou auto reguláveis), passagens interiores de ventilação (grelhas de ventilação), aberturas de saída e chaminés. Contudo existem também outros sistemas e técnicas, mais eficazes, para a promoção da Ventilação Natural tais como paredes de trombe sistemas de tubos enterrados, chaminés solares, etc. Para que sejam exploradas todas as potencialidades destes sistemas, o dimensionamento poderá ter que ser efectuado para valores superiores a 1 r.p.h e 4 r.p.h em compartimentos principais e de serviço, respectivamente.

A renovação do ar interior de um edifício por ar proveniente do exterior é resultado de um diferencial de pressões, resultando em escoamentos nos locais da envolvente do edifício onde se situem aberturas ou frinchas que permitam a passagem de ar. Este diferencial de pressões pode ser originado pela acção do vento sobre o edifício ou pela acção da temperatura. Os processos físicos envolvidos na Ventilação Natural são complexos, levando a que a interpretação do seu envolvimento na eficácia da ventilação seja uma tarefa difícil. Podem ser distinguidas quatro aproximações diferentes para a descrição matemática dos fluxos de ar no caso da Ventilação Natural em edifícios baseadas no nível de complexidade do modelo, sendo estas:

- Modelos empíricos;
- Modelos multi-zona;
- Modelos zonais;
- Modelos CFD (*Computational Fluid Dynamics models*).

Foram estudados neste trabalho dois edifícios localizados na ilha de Porto Santo que resultaram de estratégias de concepção e construção tendo em vista a melhoria da eficiência energética e comportamental a nível do conforto térmico dos seus utilizadores. Nestas estratégias incluem-se o recurso a materiais adequados, o estudo local da Incidência Solar, a restrição ou promoção dos ganhos e perdas de calor (conforme necessário) e a promoção da Ventilação Natural através de sistemas solar passivos. Em ambos os edifícios comprovou-se que as temperaturas interiores em relação às temperaturas exteriores oferecem um bom nível de conforto térmico onde se comprova a eficácia dos sistemas de ventilação instalados.

Esta dissertação foi finalizada com a elaboração de um pequeno projecto de uma moradia a ser construída na ilha da Madeira, na qual deverão ser implementadas

estratégias de concepção e construção tendo em vista a melhoria da eficiência energética e comportamental a nível do conforto térmico dos seus utilizadores. Nestas estratégias englobam-se os seguintes factores:

- Uma arquitectura pensada para uma correcta promoção e restrição de ganhos solares;
- Uso sistemas solares passivos para ventilação.

A elaboração deste projecto resultou dos conhecimentos adquiridos na realização deste trabalho.

Bibliografia

Bibliografia

1. Allard, F., Natural Ventilation in Buildings. A Design Handbook, James & James, 1998.
2. Amaral, M., Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação, Dissertação de Doutoramento submetida à FEUP, 2008.
3. Anderson, B.; Wells, M., Passive Solar Energy -- The Homeowner's Guide to Natural Heating and Cooling, Brick House Pub. Co., 1981.
4. ASHRAE, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1997.
5. ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Ansi/Ashrae Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2004.
6. Awbi, H., Ventilation of Buildings, 2nd Edition, E & FN Spon, 2003.
7. A'zami, A., Badgir in traditional Iranian architecture, International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", Santorini, 2005.

8. BSI, Code of Practice for Design of Buildings. Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation, BS 5925, British Standards Institution, London, 1991.
9. Cardoso, E., Ventilação Natural: Eco-Ventilação Inteligente, [S.E.], [S.L.], 2008.
10. Centro para a conservação da Energia, Aquecimento Ambiente com Lareiras, Notícias da Energia N° 7, Amadora, [199-?].
11. Centro para a conservação da Energia, Solar Passivo, Notícias da Energia N° 8, Amadora, [199-?].
12. Chen, B., Path to Passive: Nebraska's Passive Solar Primer, Solar Energy Associates, Nebraska, 1982
13. Decreto-Lei n.º 253/1983, Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), 31 de Maio, Diário da República, I Série, Lisboa, 1983.
14. Decreto-Lei n.º 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 4 de Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.

15. Ehlers, W., et al, Passives Solargeb'a'ude Porto Santo, Technische Universit'a't Berlin, 1984.
16. Figueiredo, C.; Frota, A., Ventilação Natural para Conforto Térmico em Edifícios de Escritórios–Avaliação com Modelos Adaptativos, Universidade de São Paulo, [200-?].
17. Frota, A.; Schiffer, S., Manual de Conforto Térmico, AMPUB, 2006.
18. Ghaemmaghami, P.; Mahmoudi, M., Wind tower a natural cooling system in Iranian traditional architecture, International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”, Santorini, 2005.
19. Gonçalves, H., Edifícios Solares Passivos em Portugal, INETI, Lisboa, 2007.
20. Gonçalves, H., Térmica de Edifícios: Conceitos Fundamentais, INETI, Lisboa, 1997.
21. Gonçalves, H; Cabrito, P., Edificio Solar XX-I- Um Edifício Energeticamente Eficiente Em Portugal, XII Congreso Ibérico y VII Congreso Íbero Americano de Energía Solar, Vigo, 2004.
22. Gonçalves, H; Graça, J., Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, DGGE, Lisboa, 2004.

23. IPQ, Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural, Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1, Monte da Caparica, 2002.
24. Lin, Yi, POMA - A Zonal Model for Airflow and Temperature Distribution Analysis, A Thesis presented in partial fulfillment of the requirements the degree of master of applied science at Concordia University, Montreal, 1999.
25. Lisboa, C., Conforto térmico na habitação. Necessidades e Soluções., Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 2007.
26. Löhnert, G.; Ehlers, W., Sun-Days on Madeira, Technische Universit'a't Berlin, 1984.
27. Mendonça, P., HABITAR SOB UMA SEGUNDA PELE: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados, Tese de Doutoramento submetida à Universidade do Minho, 2005.
28. Moita, F., “Energia Solar Passiva - 1”, INCM, 1985.
29. Olesen, B., INTERNATIONAL STANDARDS FOR THE INDOOR ENVIRONMENT. WHERE ARE WE AND DO THEY APPLY WORLDWIDE?, Technical University of Denmark, Lyngby [200-?].

30. Rodrigues, E., Conforto Térmico das Construções, Universidade Federal de São Carlos, [200-?].
31. Santamouris, M.; Asimakopoulos, D., Passive Cooling of Buildings, James & James, 1996.
32. Silva, F., Curso sobre Ventilação “Acções que Promovem a Ventilação Natural”, Funchal, 2002.
33. Simões, F., Curso de Formação "Introdução à Arquitectura Bioclimática", [S.L.], 2009.
34. Simões, F., Introdução à Arquitectura Bioclimática, [S.E.], [S.L.], [200-?].
35. Siqueira, T., et al, Dados Climatéricos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 2005.
36. Toledo, E., Ventilação Natural dos Edifícios, LNEC, Lisboa, 1967.
37. Verdelho, S., Avaliação do Potencial de Arrefecimento de Edifícios Através de Ventilação Natural, Dissertação de Mestrado submetida à FEUP, 2008.
38. Viegas, J., Ventilação Natural de Edifícios de Habitação, CED 4, LNEC, Lisboa, 1995.

39. Zarandi, M., Analysis on Iranian Wind Catcher and Its Effect on Natural Ventilation as a Solution towards Sustainable Architecture (Case Study: Yazd), Qazvin Islamic Azad University, 2009

40. ANMSP, Associação Nacional dos Médicos para a Saúde Pública, <http://saudepublica.web.pt/>, acedido em 13 de Abril de 2010.

41. Companhia de Arquitectura e Design, <http://planetacad.com/>, acedido em 2 de Maio de 2010.

42. Euroar, <http://www.euroar.pt/>, acedido em 27 de Setembro de 2010.

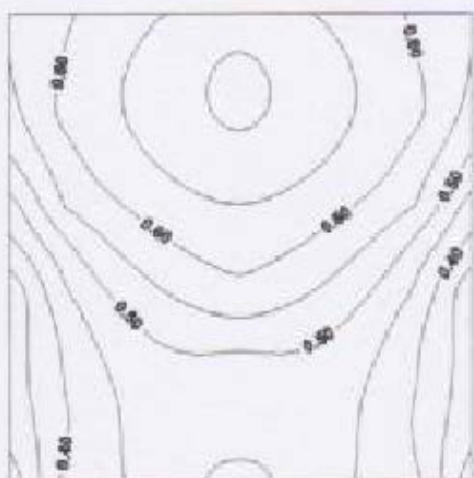
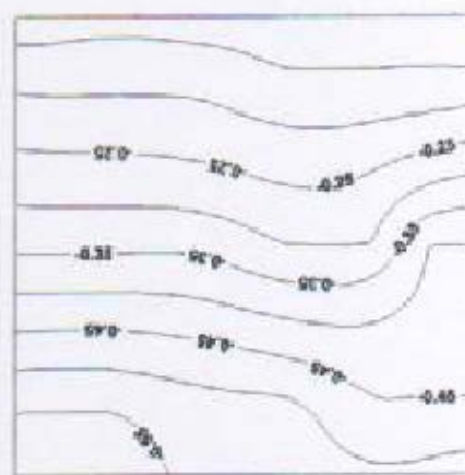
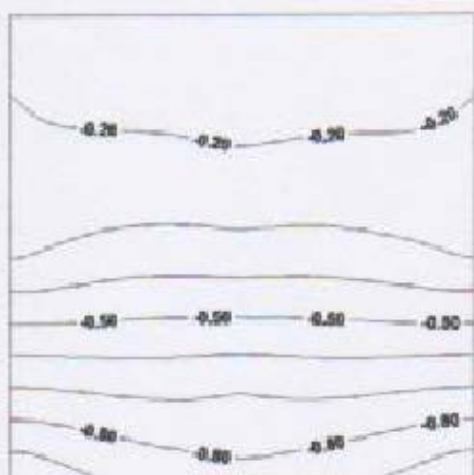
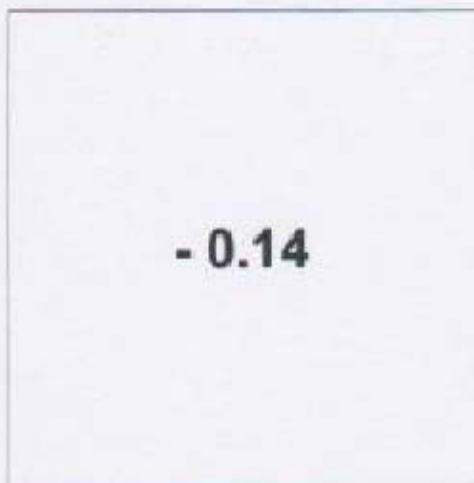
43. Sítio das Lareiras, [http:// http://www.sitiodaslareiras.com](http://www.sitiodaslareiras.com), acedido em 26 de Setembro de 2010.

Anexos

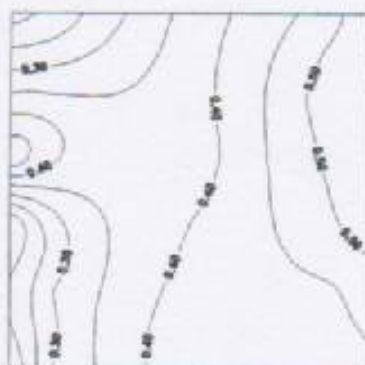
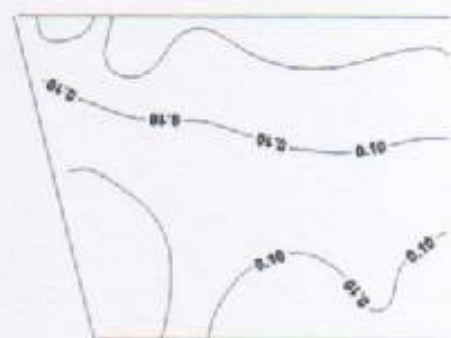
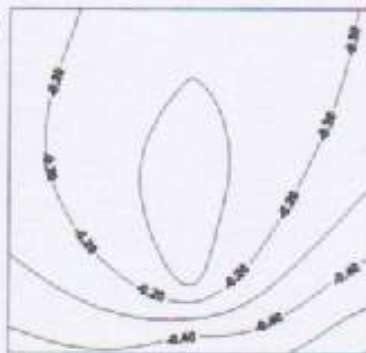
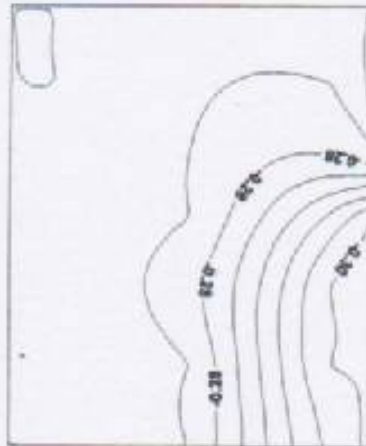
ANEXO I

Distribuições de valores de coeficientes de pressão nas fachadas em formas cúbicas sujeitadas a um vento incidente a 0° e 30° e em outro cubo com topo inclinado simulando um edifício com cobertura em água a 15° e com vento incidente a 30° (Fonte: Silva, 2002).

CLA : n = 5



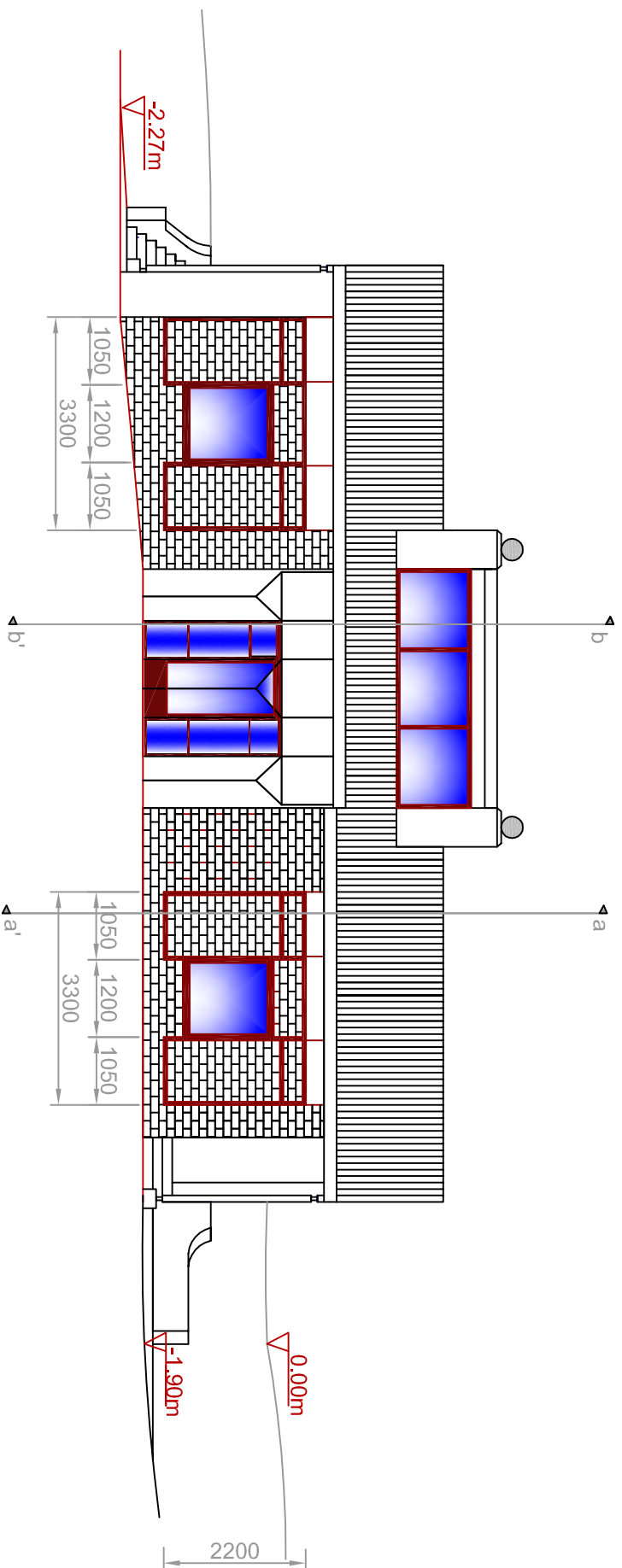
M5 ; CLA : n = 5



↖ 30°

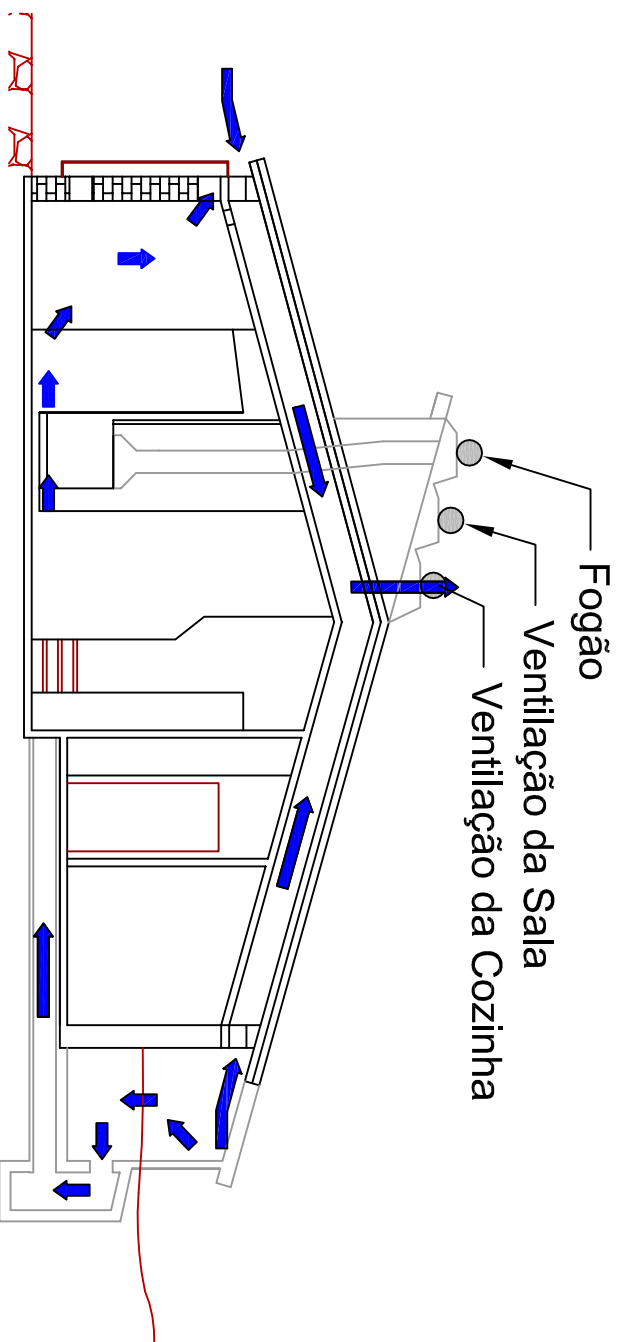
ANEXO II

Esquemas do funcionamento dos sistemas solar passivos da moradia Schäfer em épocas de Inverno e Verão, à escala 1:100. As setas coloridas a azul simbolizam os percursos de ventilação no interior da moradia.



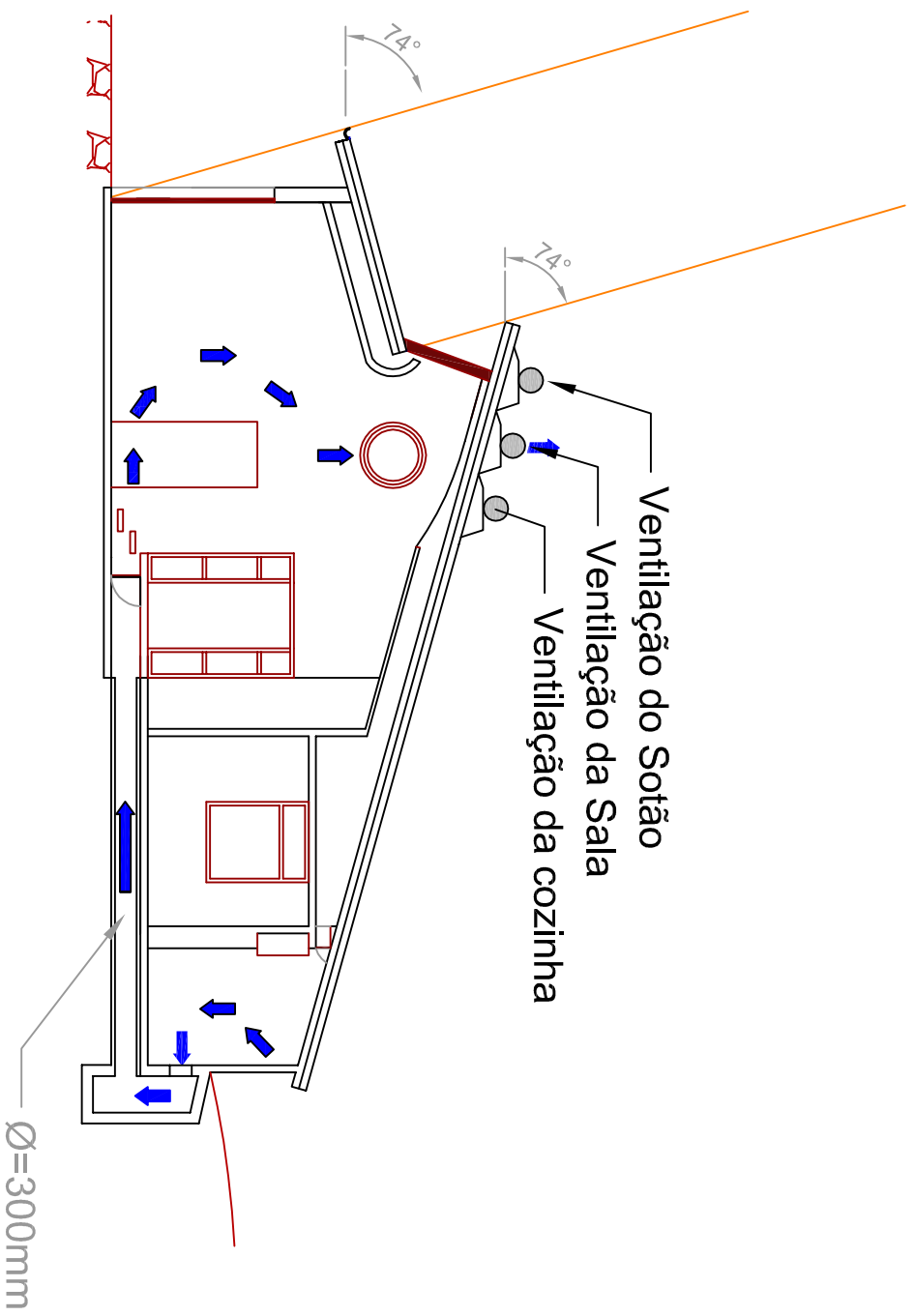
Esquemáticação do funcionamento dos sistemas solar passivos na
casa Schaefer

Descrição	Fachada Sul
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 01	Funchal, 17 de Agosto de 2010



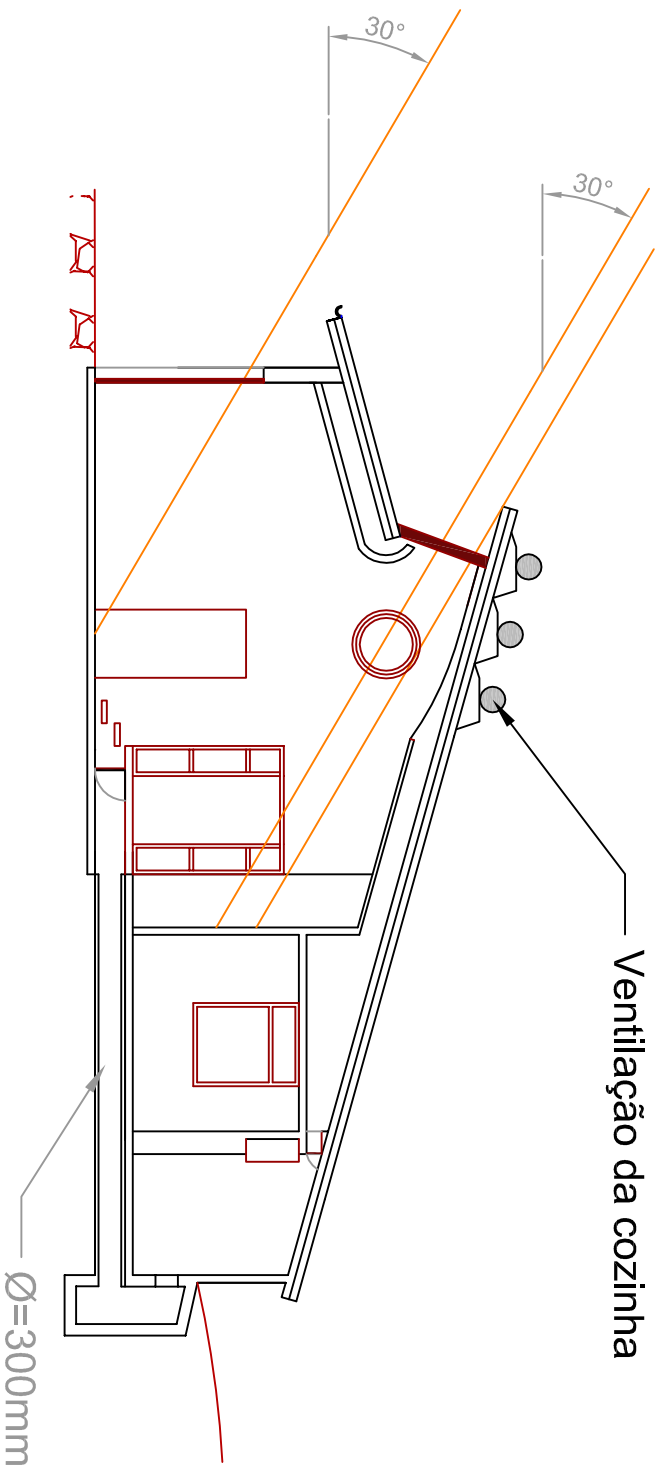
Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na casa Schaefer

Descrição	Corte a-a' (situação de Verão)
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 02	Funchal, 17 de Agosto de 2010



Esquemáticação do funcionamento dos sistemas solar passivos na casa Schaefer

Descrição	Corte b-b' (situação de Verão)
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 03	Funchal, 17 de Agosto de 2010

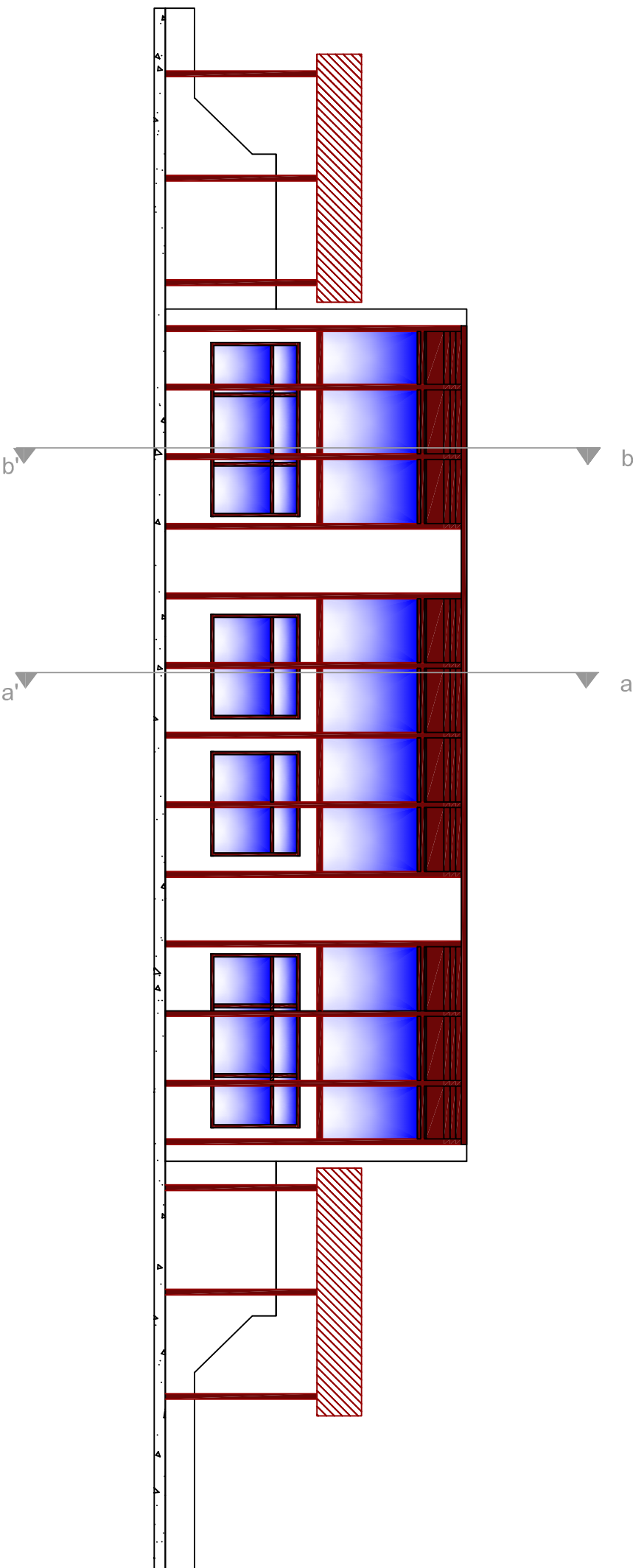


Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na casa Schaefer

Descrição	Corte b-b' (situação de Inverno)
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 04	Funchal, 17 de Agosto de 2010

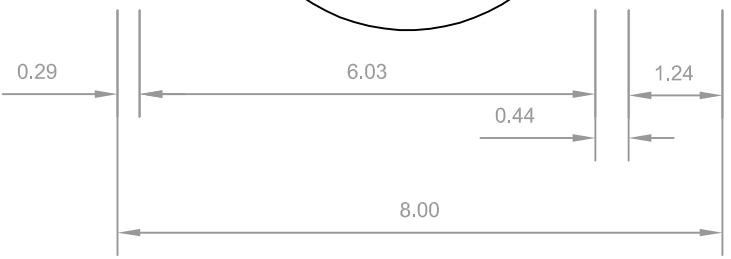
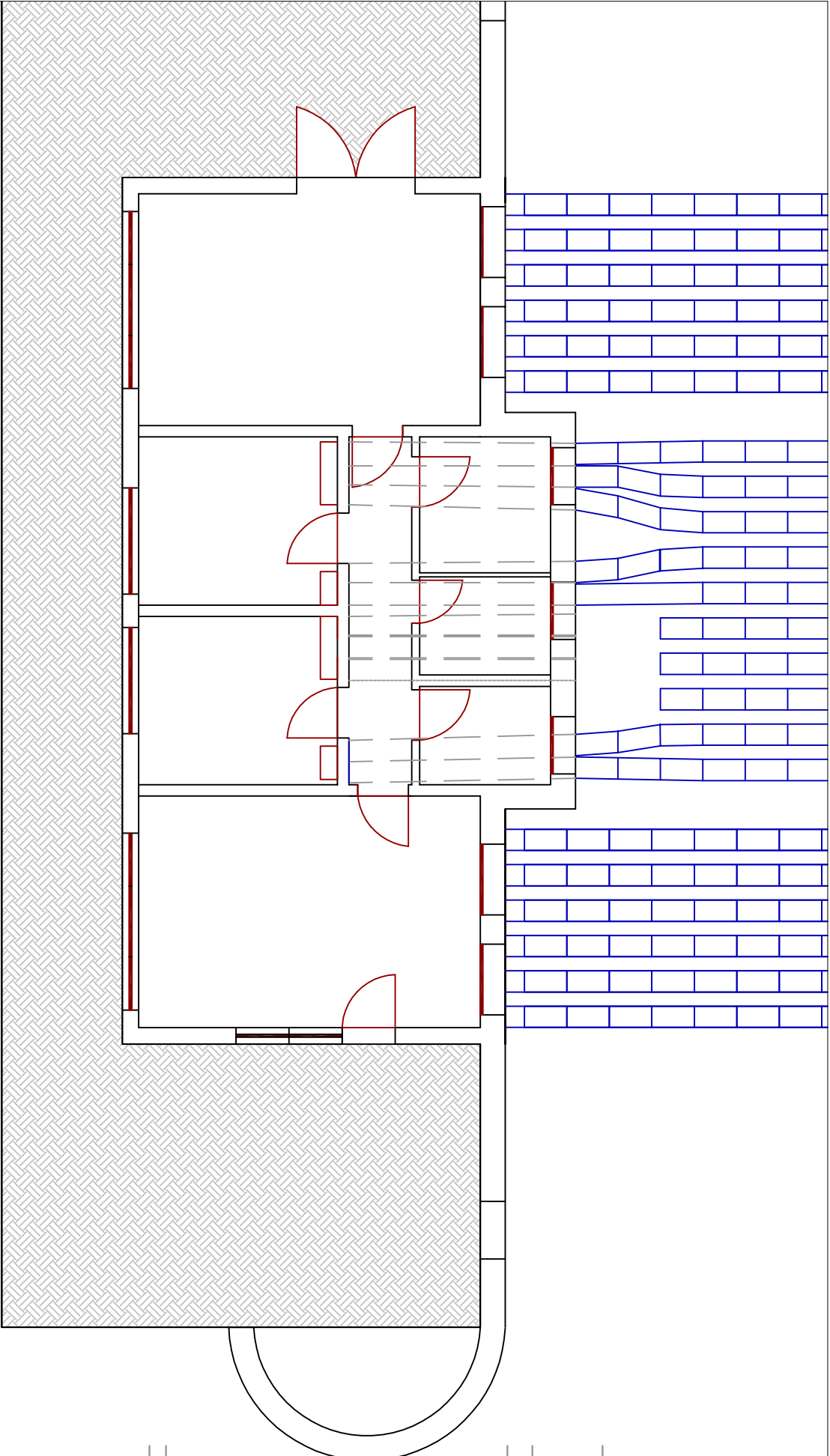
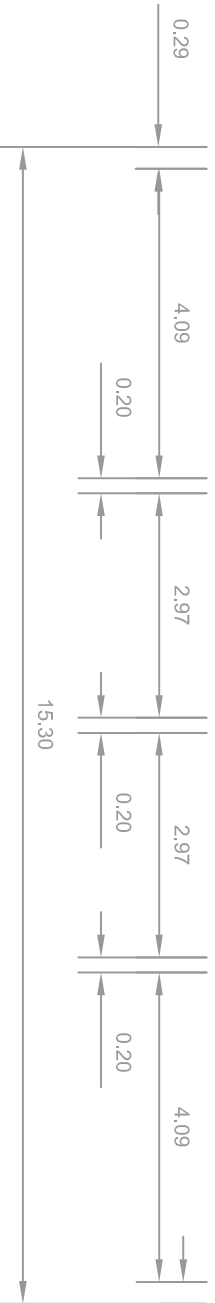
ANEXO III

Esquemas do funcionamento dos sistemas solar passivos da Casa Solar Porto Santo em épocas de Inverno e Verão em período diurno e nocturno, à escala indicada. As setas coloridas a roxo simbolizam os percursos de ventilação no interior da moradia.

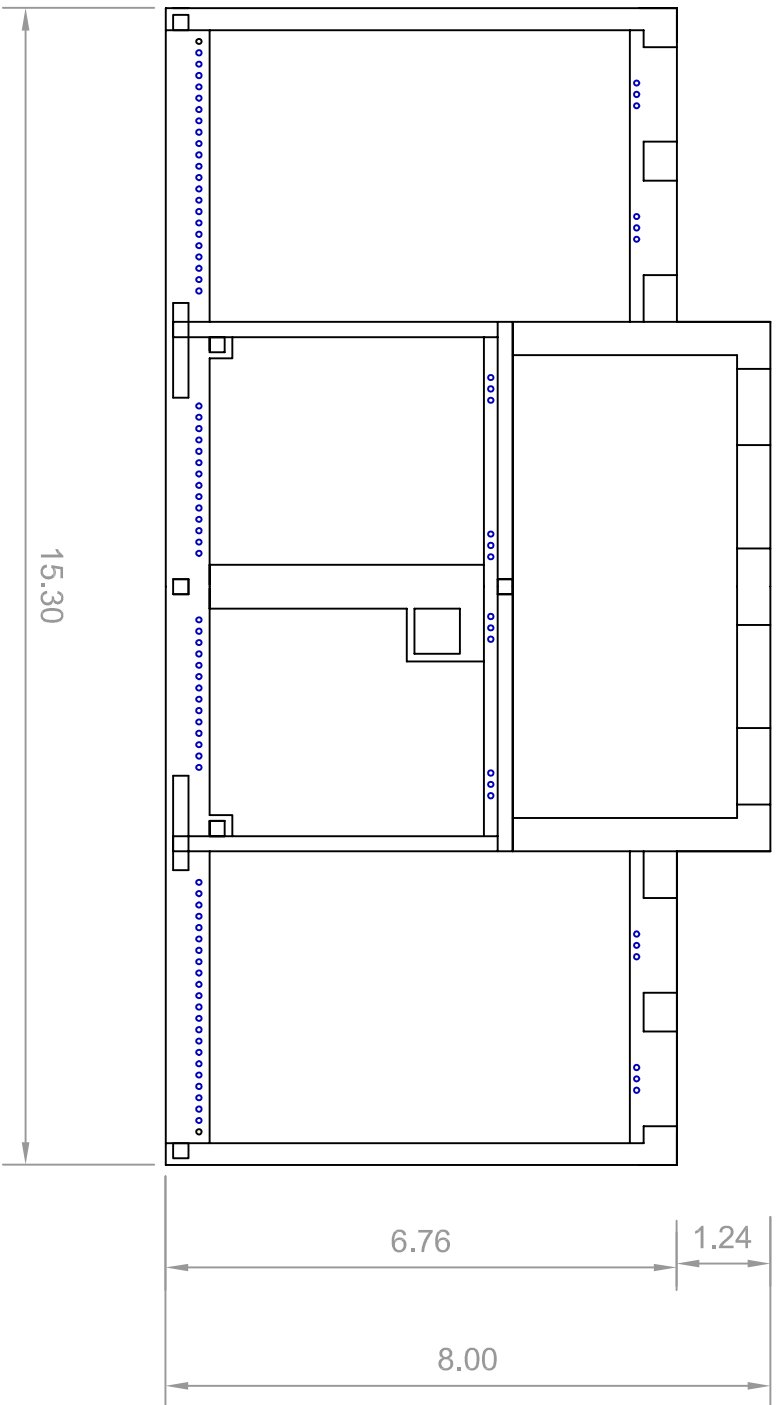


Esquemáticação do funcionamento dos sistemas solar passivos na
 Casa Solar Passiva Porto Santo

Descrição	Fachada Sul
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 01	Funchal, 06 de Setembro de 2010

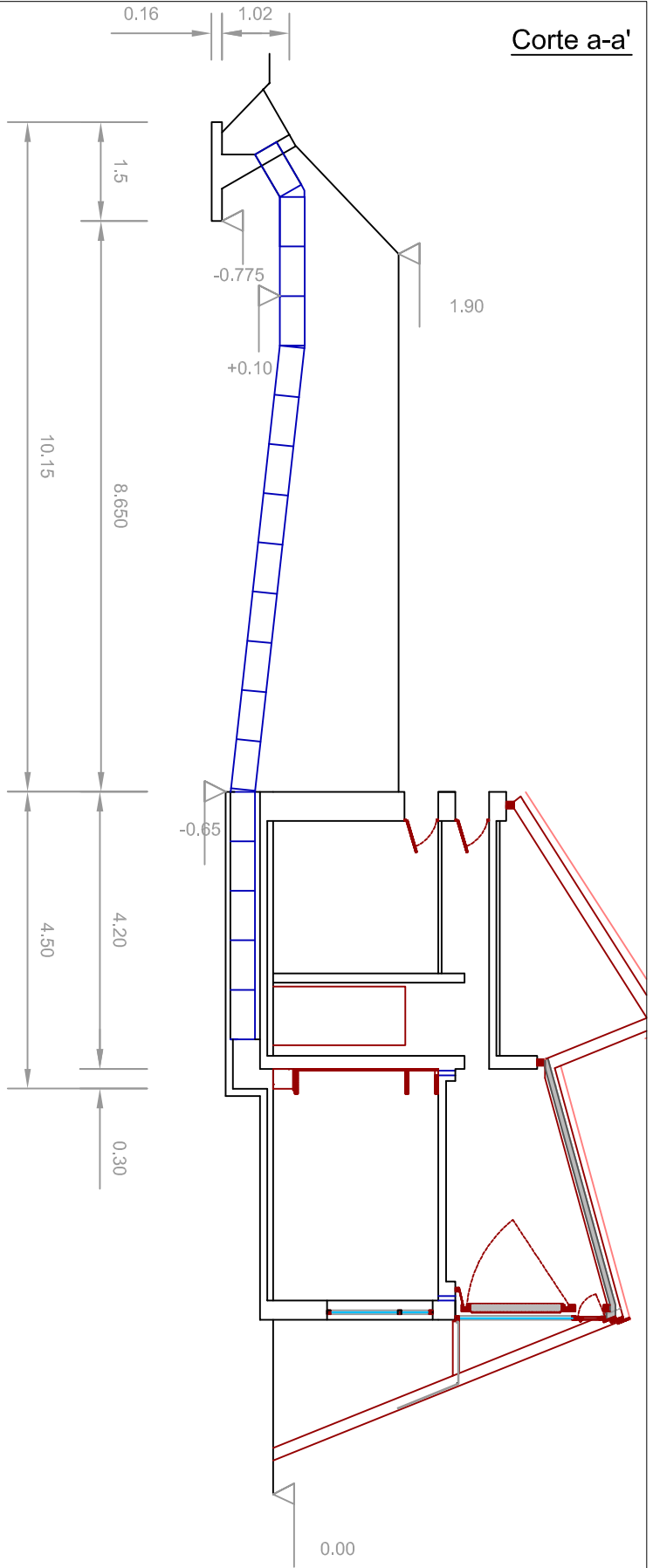
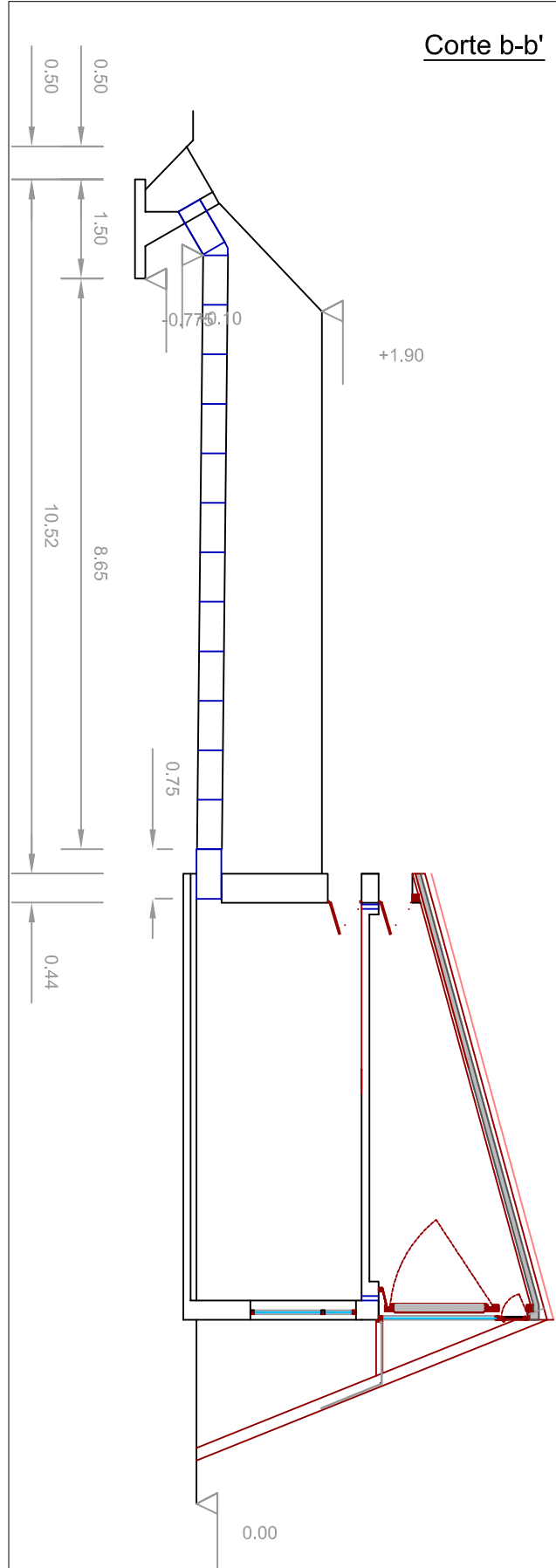


Esquemáticação do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo	
Descrição	Planta do piso térreo e traçado dos tubos enterrados
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 02	Funchal, 06 de Setembro de 2010

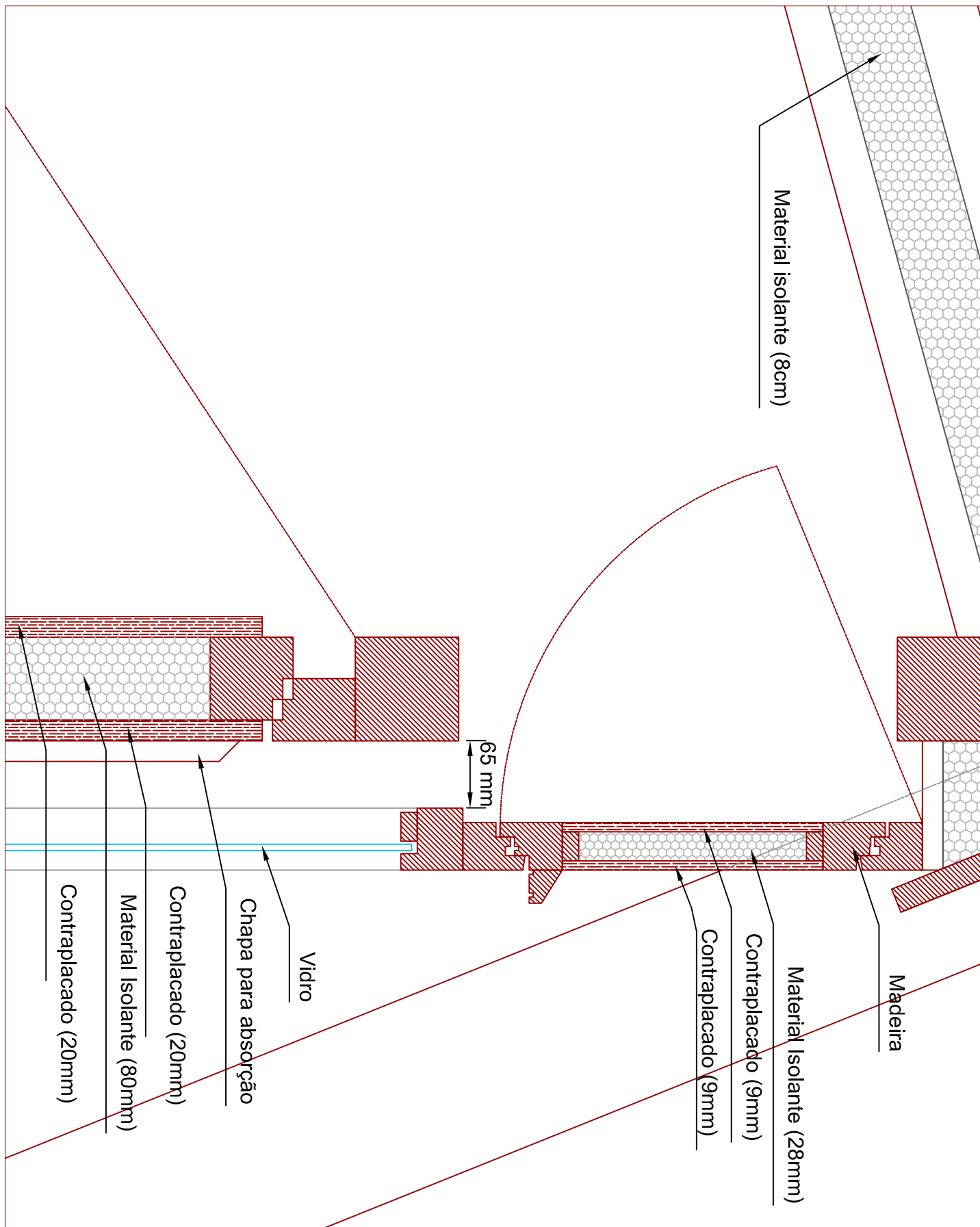


Legenda:
 •
 Tubos Ø 70mm //15cm

Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo	
Descrição	Vista em planta do piso 1 com localização dos tubos de ventilação do piso inferior
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 03	Funchal, 06 de Setembro de 2010

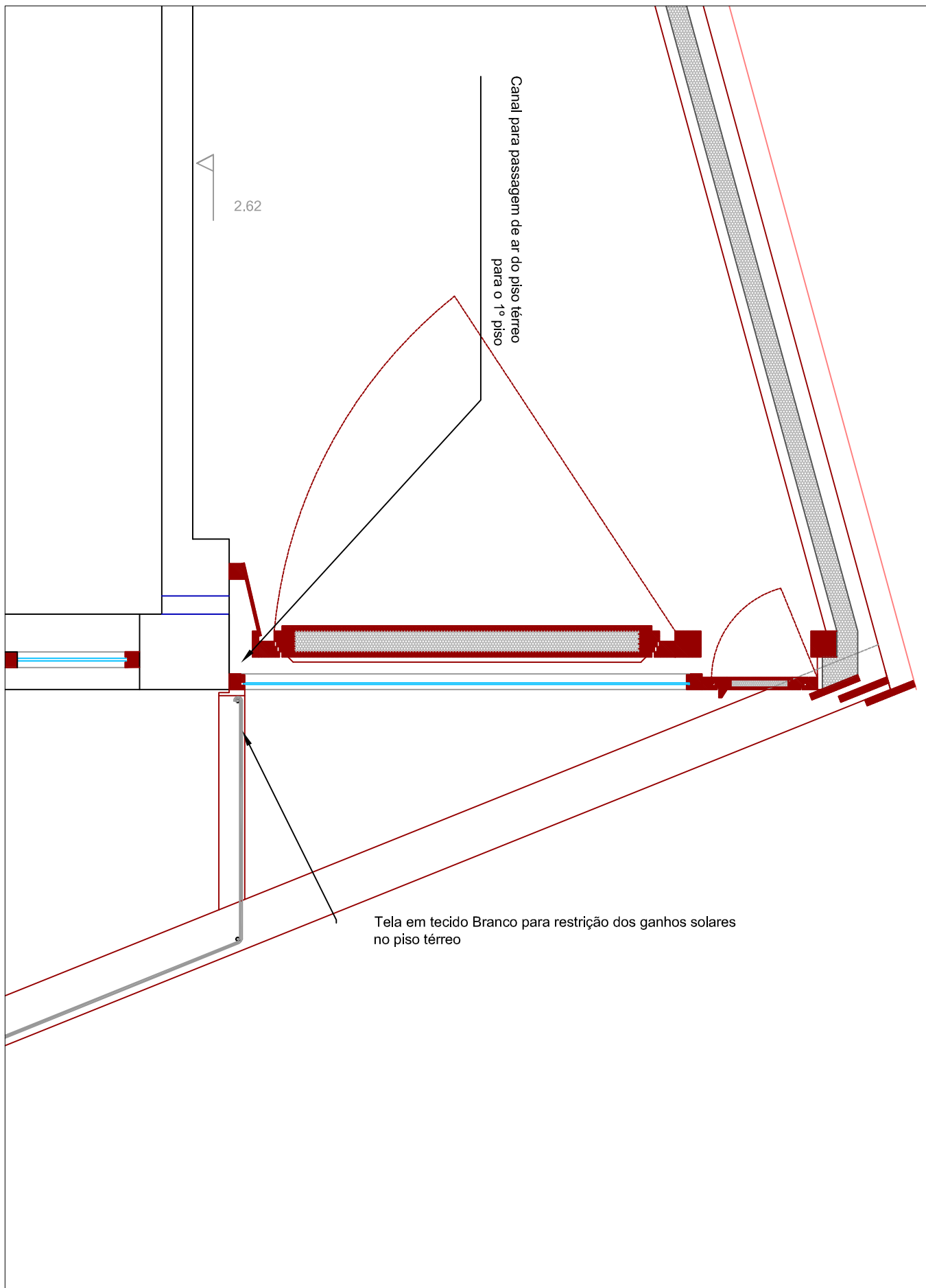


Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo	
Descrição	Pormenor do sistema de tubos enterrados (cortes a-a', b-b')
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 04	Funchal, 06 de Setembro de 2010



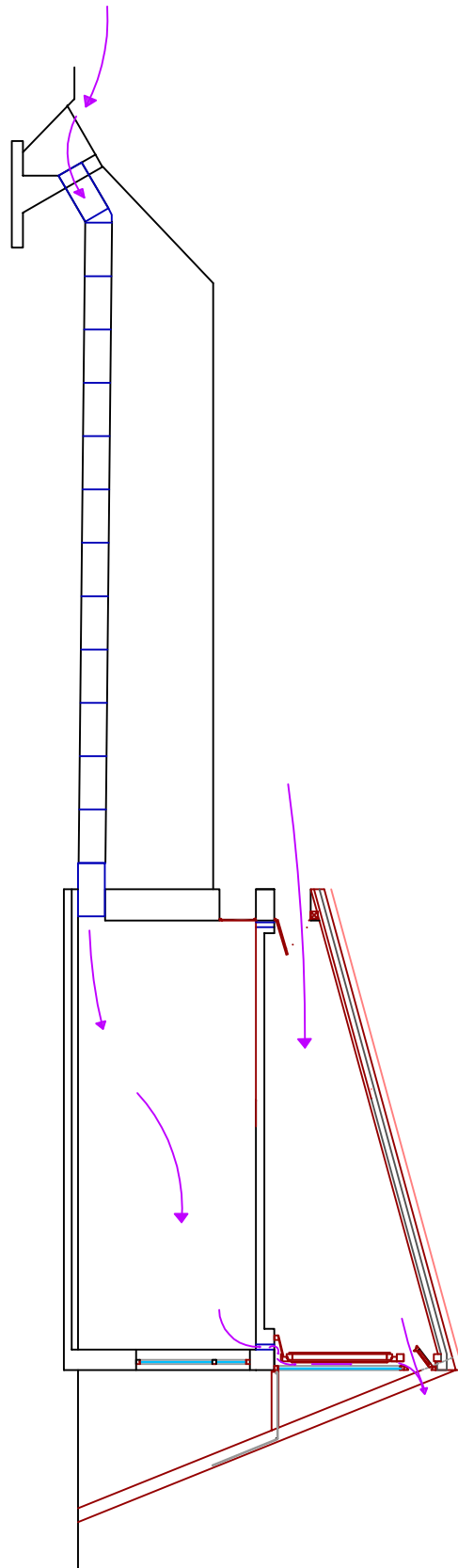
Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo

Descrição	Pormenorização 1 dos colectores solares
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:5
Folha 05	Funchal, 06 de Setembro de 2010



Esquematização do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo

Descrição	Pormenorização 2 dos colectores solares
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:20
Folha 06	Funchal, 06 de Setembro de 2010



Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo

Descrição

Dia de Verão

Desenhador

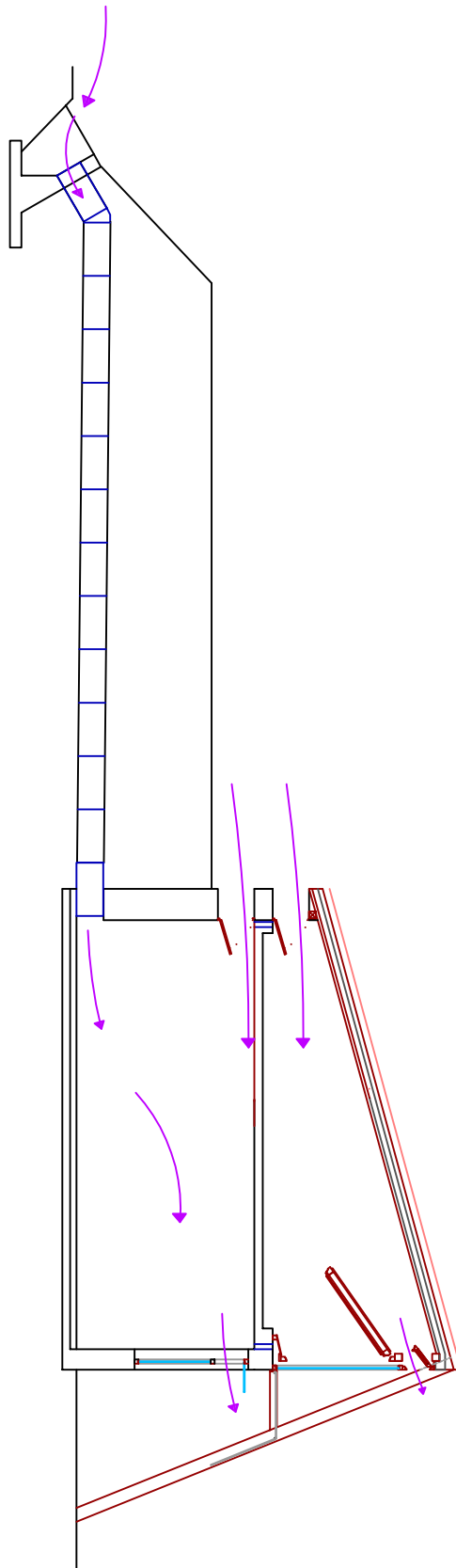
Rúben Gomes

Escala

1:100

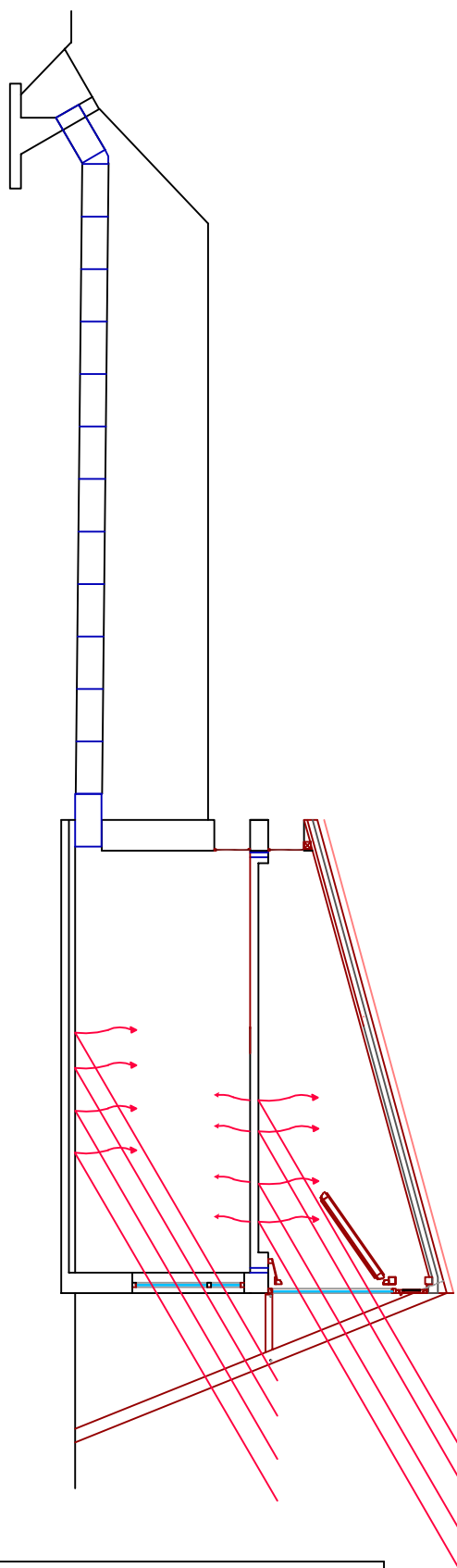
Folha 07

Funchal, 06 de Setembro de 2010



Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo

Descrição	Noite de Verão
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 08	Funchal, 06 de Setembro de 2010



Esquemática do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo

Descrição

Dia de Inverno

Desenhador

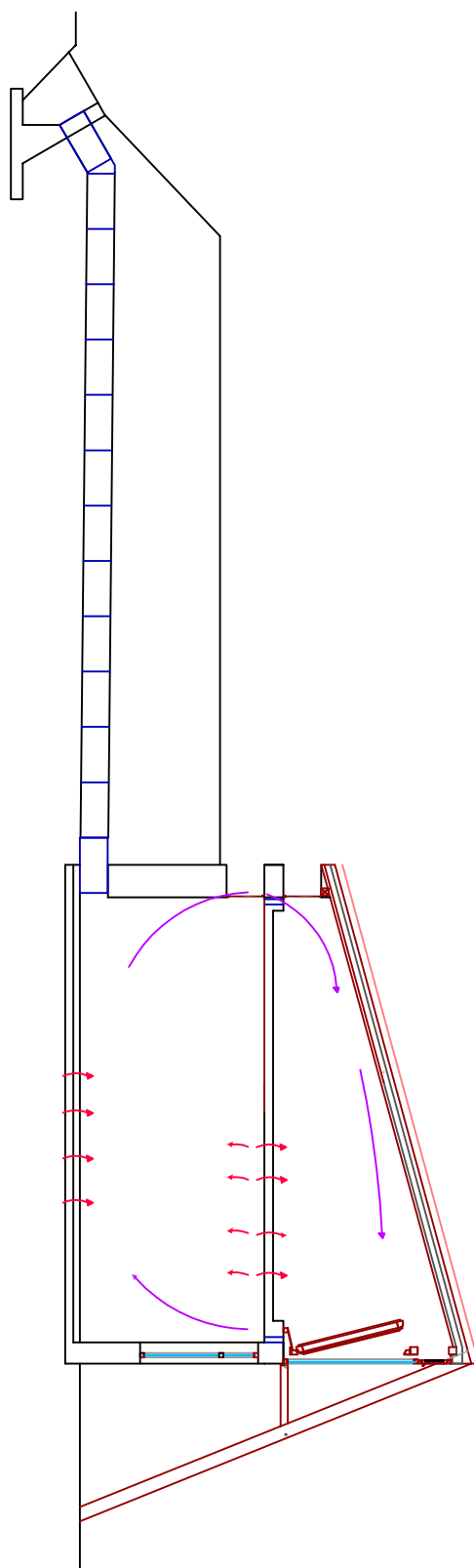
Rúben Gomes

Escala

1:100

Folha 09

Funchal, 06 de Setembro de 2010

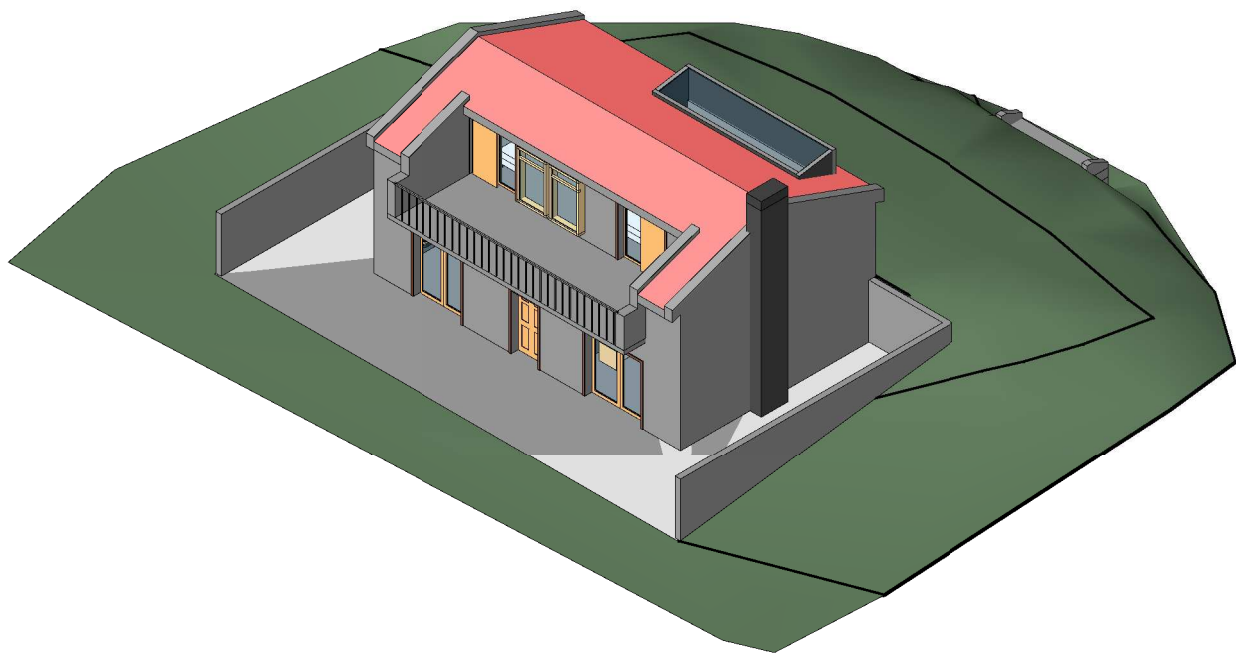


Esquematização do funcionamento dos sistemas solar passivos na Casa Solar Passiva Porto Santo

Descrição	Noite de Inverno
Desenhador	Rúben Gomes
Escala	1:100
Folha 10	Funchal, 06 de Setembro de 2010

ANEXO IV

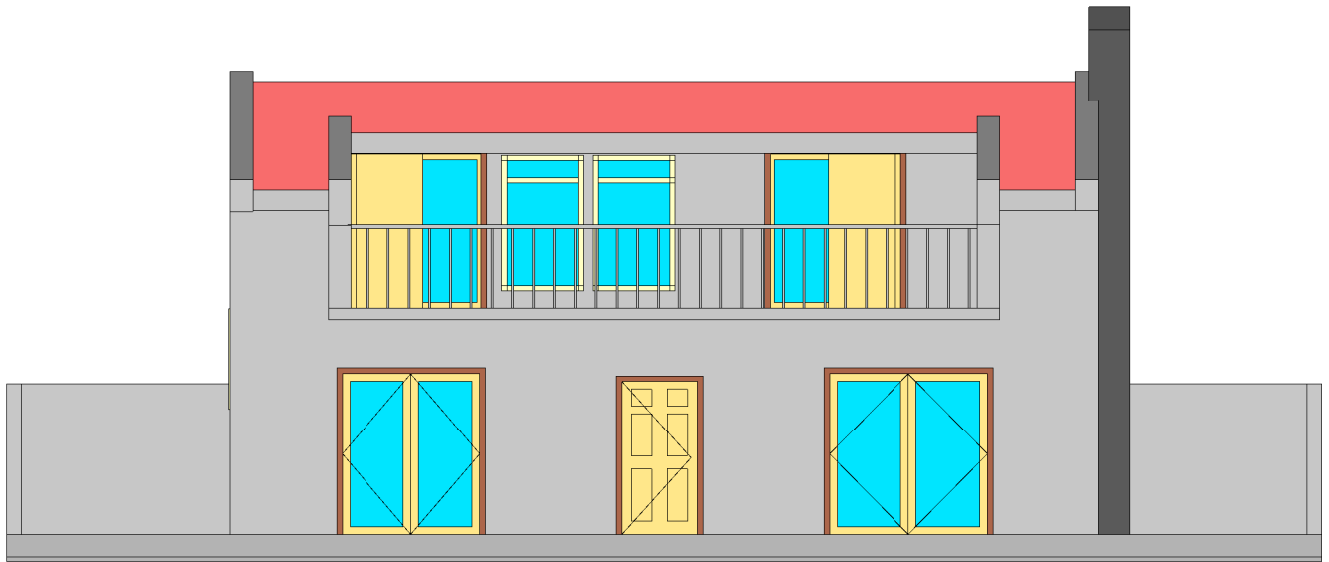
Plantas pormenorizadas e outros pormenores de interesse de um edifício Solar Passivo a ser construído na Ilha da Madeira.



1

{3D}

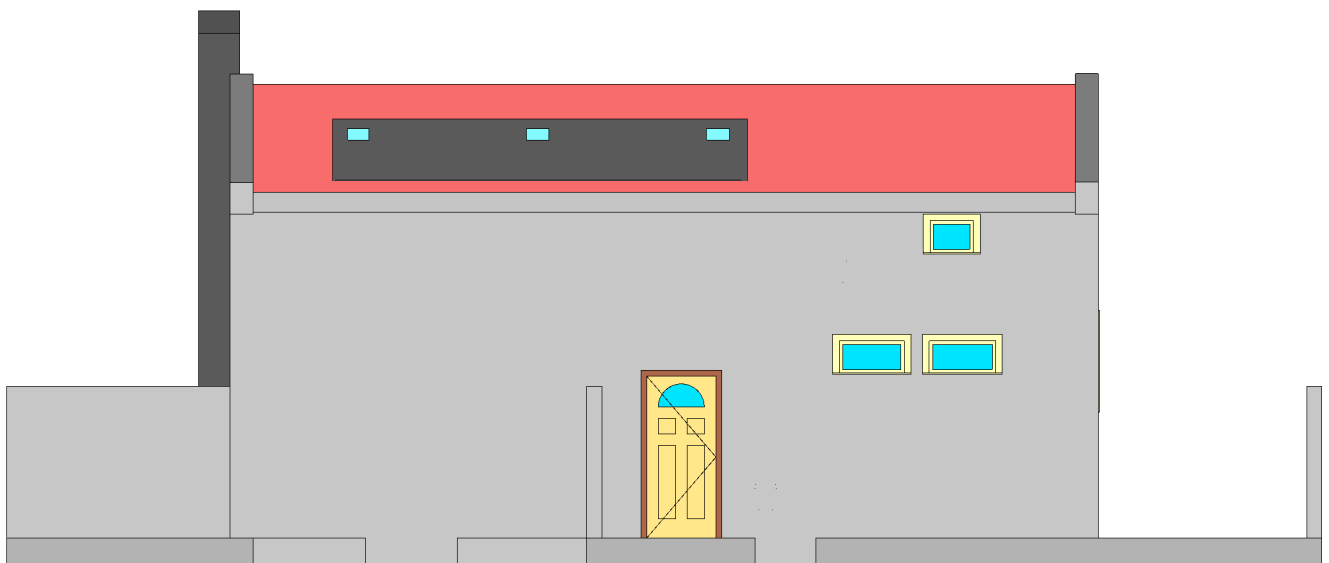
Moradia Solar Passiva Madeira	Vista 3D	
	Data	02/10/2010
	Desenhador	Rúben Gomes
	A101	
	Escala	



Fachada Sul

1

1 : 100



Fachada Norte

2

1 : 100

Morada Solar
Passiva
Madeira

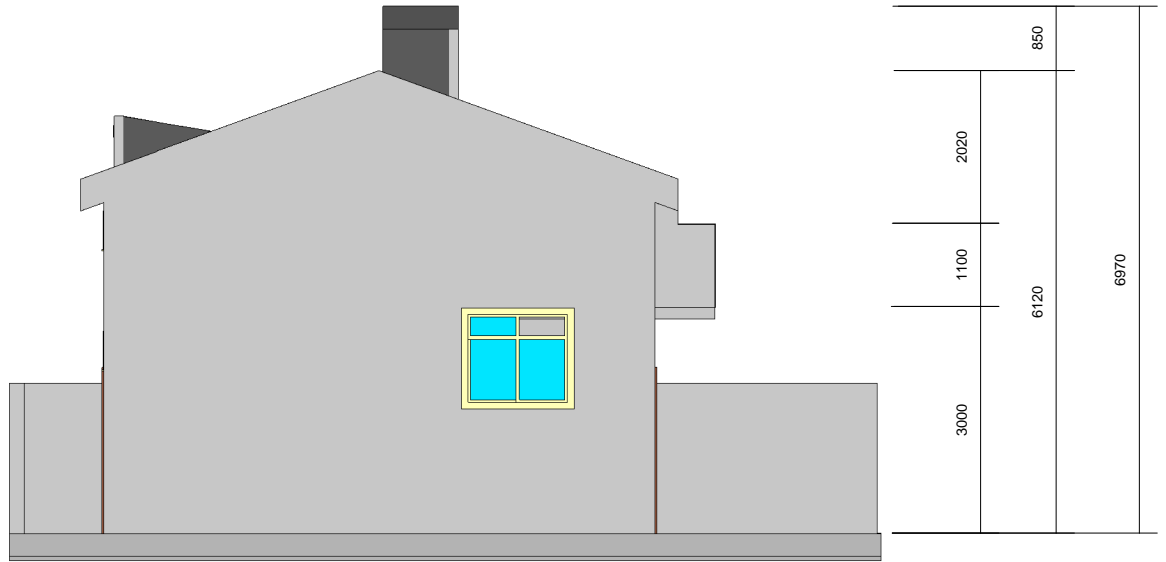
Fachadas Norte e Sul

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A102

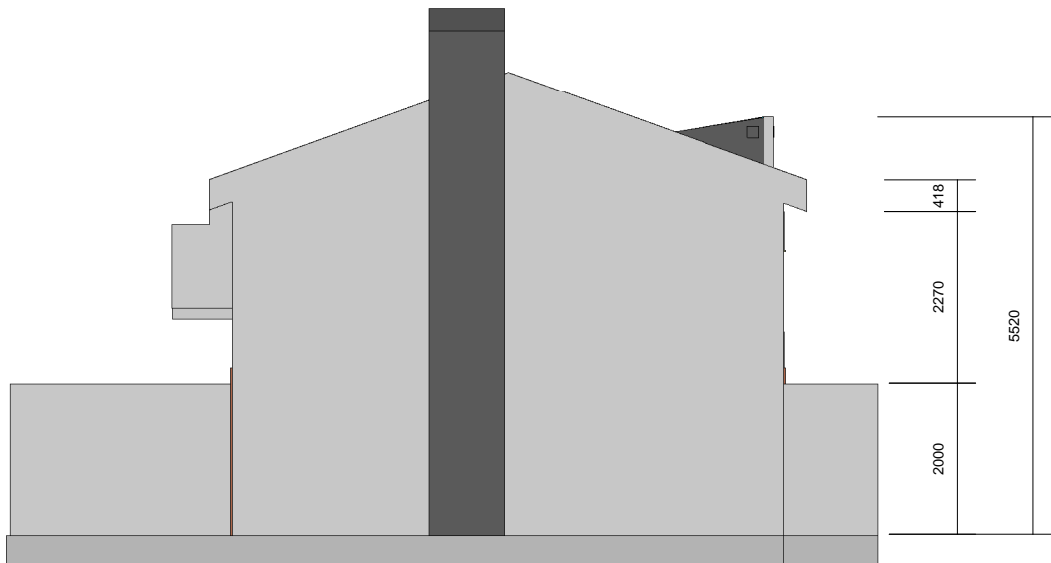
Escala 1 : 100



1

Fachada Oeste

1 : 100



2

Fachada Este

1 : 100

Morada Solar
Passiva
Madeira

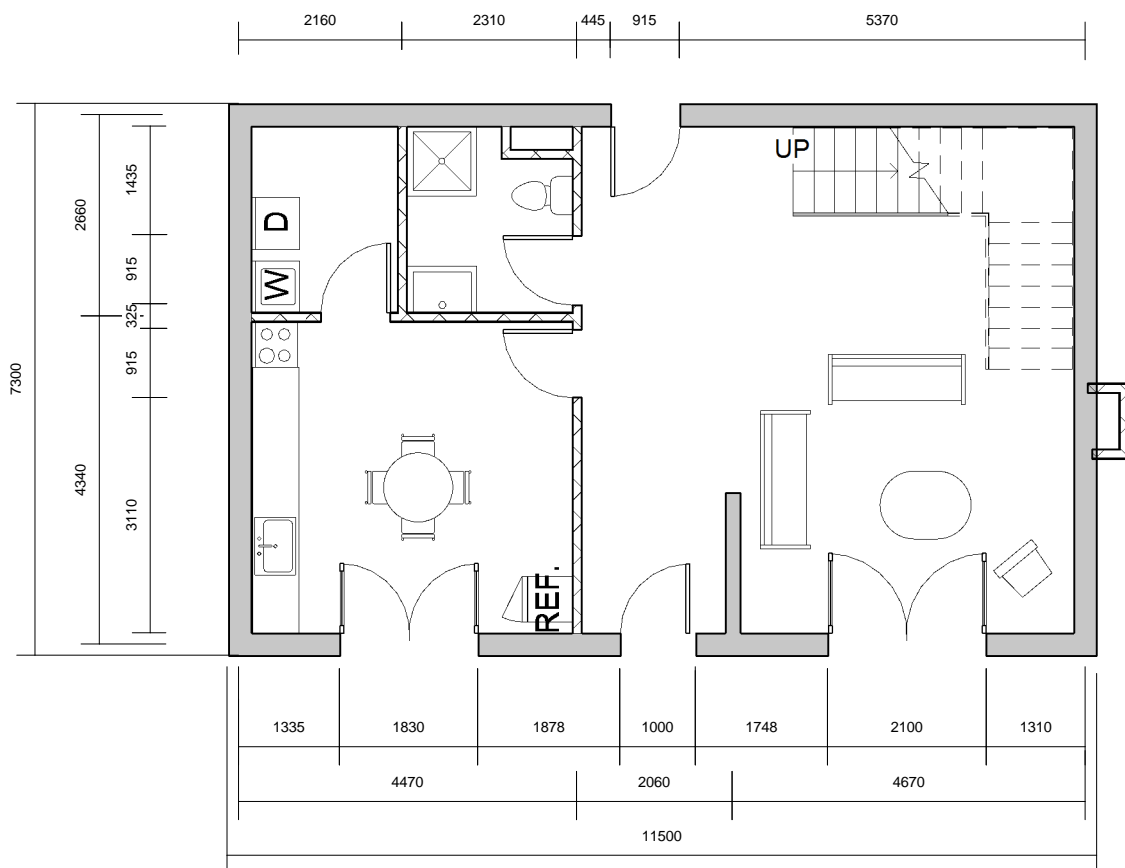
Fachadas Laterais

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A103

Escala 1 : 100

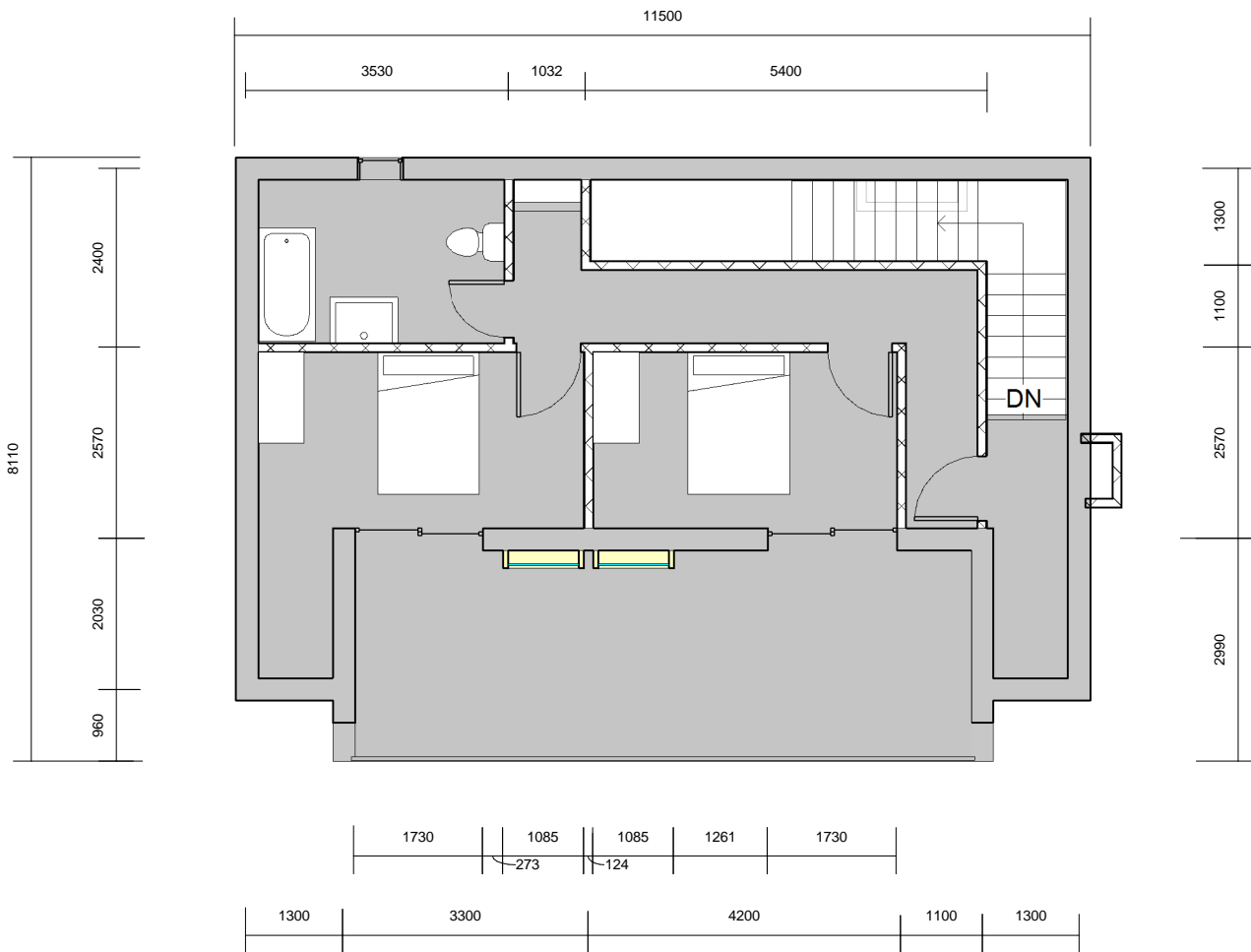


1

rés-do-chão

1 : 100

Morada Solar Passiva Madeira	Rés-do-Chão	
	Data	02/10/2010
	Desenhador	Rúben Gomes
		A104
		Escala 1 : 100

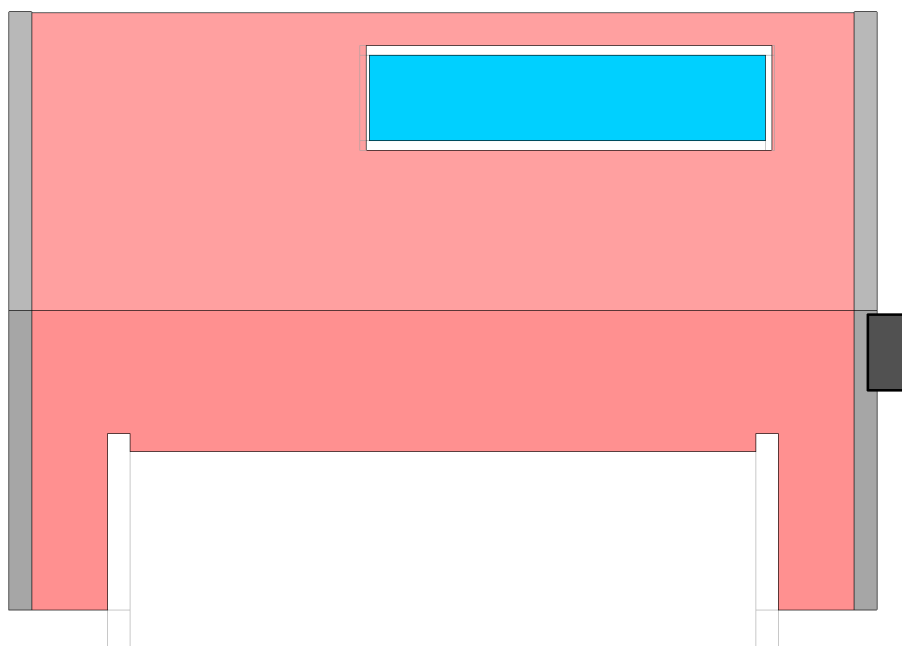


1

1o piso

1 : 100

Morada Solar Passiva Madeira	1º Piso	
	Data	02/10/2010
	Desenhador	Rúben Gomes
		A105
		Escala 1 : 100



1

Planta da Cobertura

1 : 100

**Morada Solar
Passiva
Madeira**

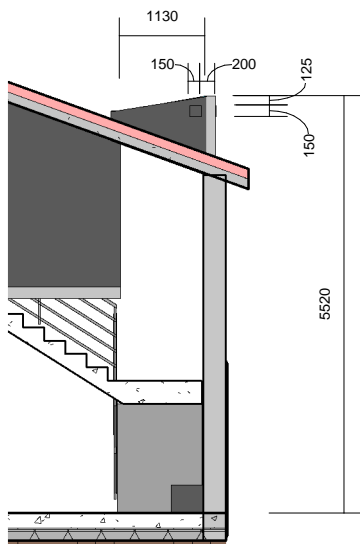
Planta da Cobertura

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A106

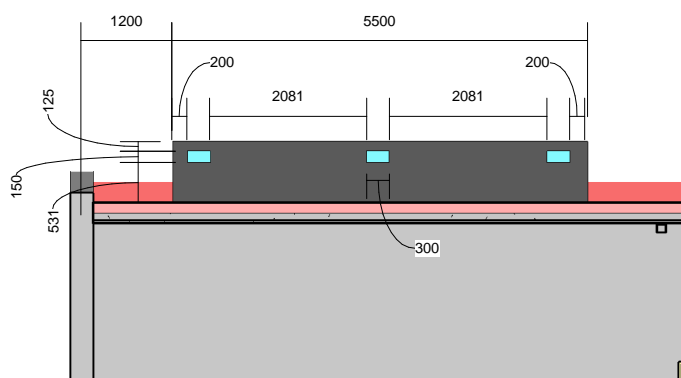
Escala 1 : 100



Pormenor 1 Clarabóia

1

1 : 100



Pormenor 2 clarabóia

2

1 : 100

Morada Solar
Passiva
Madeira

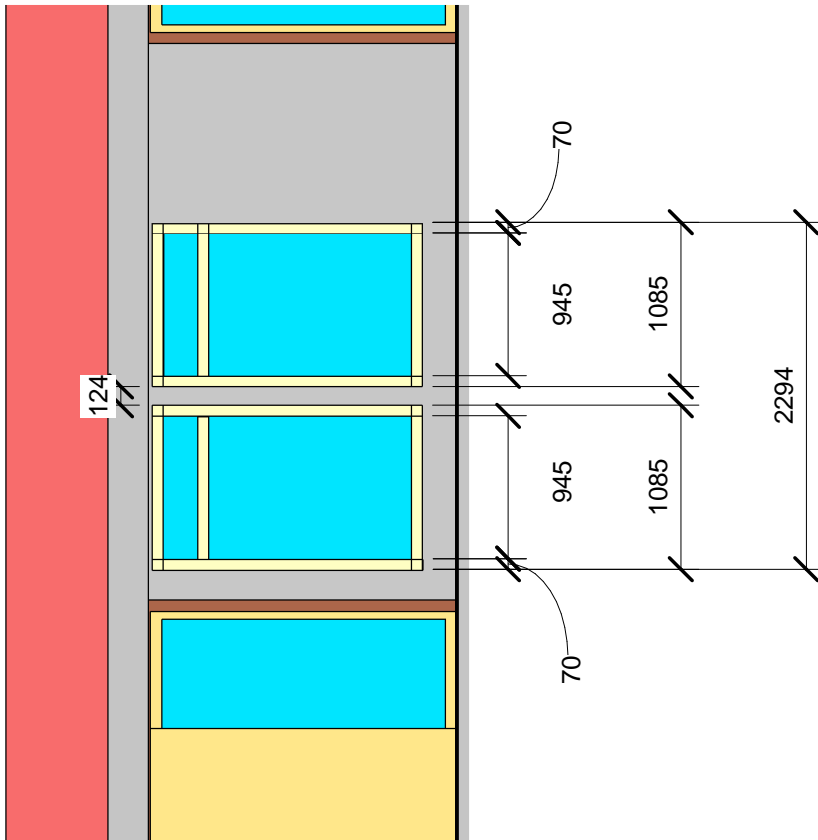
Pormenores da Claraboia

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A107

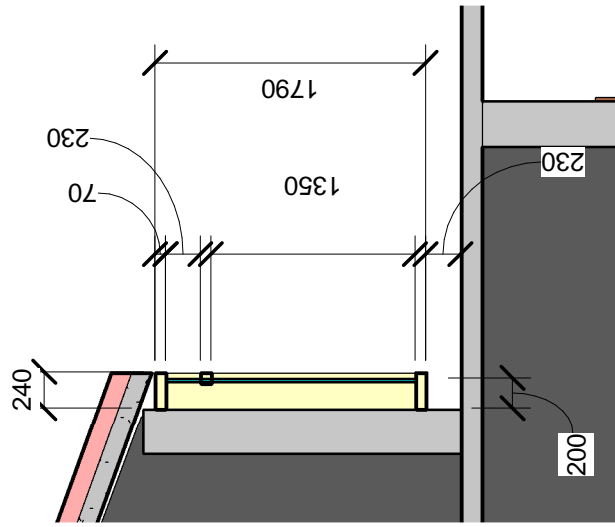
Escala 1 : 100



Pormenor 1

1 : 50

2



Corte Transversal

1 : 50

1

**Morada Solar
Passiva
Madeira**

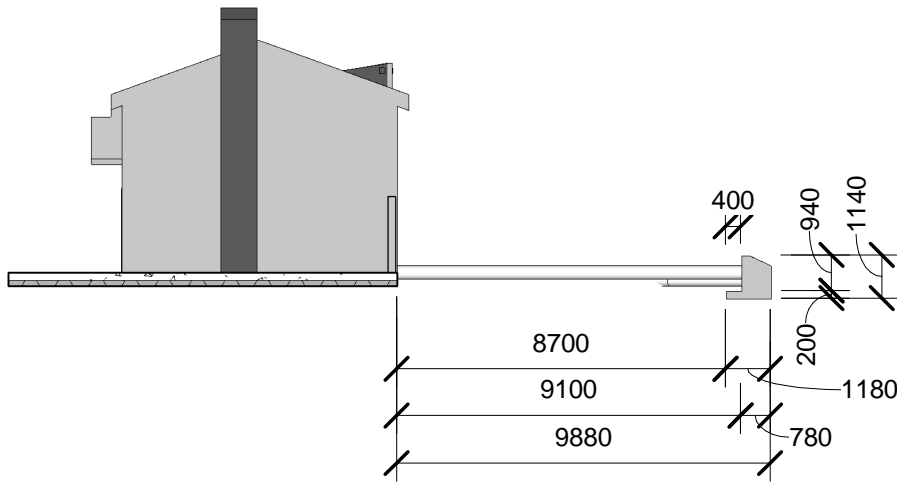
Pormenores das Paredes de
Prombe

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A108

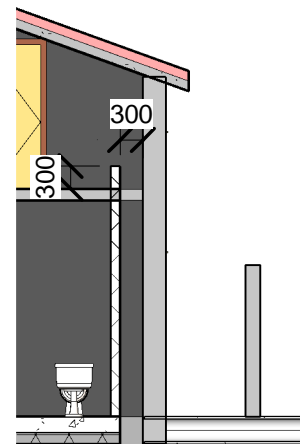
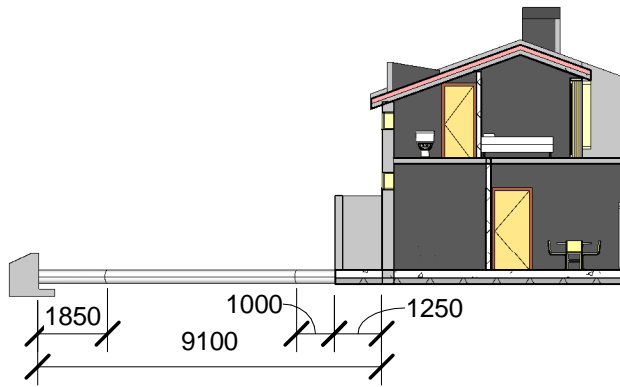
Escala 1 : 50



1

Pormenor tubos 1 (sala R/C)

1 : 200



2

Pormenor tubos enterrados

(1º piso)
1 : 200

3

Saida tubos para caixa de ar

(1º andar)
1 : 100

Morada Solar
Passiva
Madeira

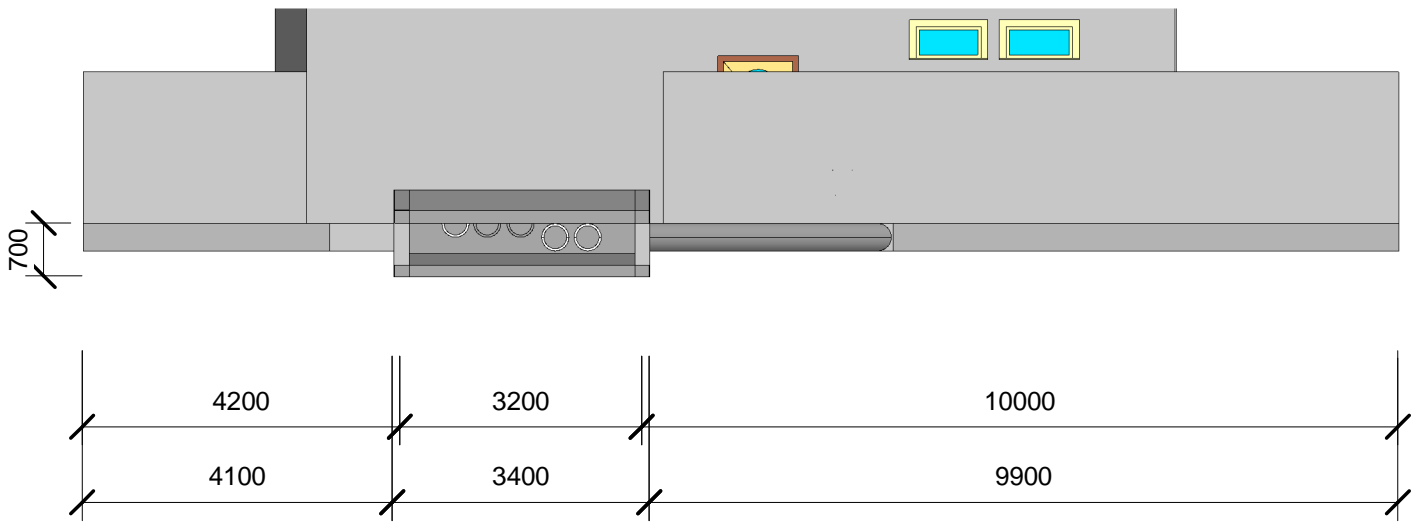
Pormenores Tubos Enterrados

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A109

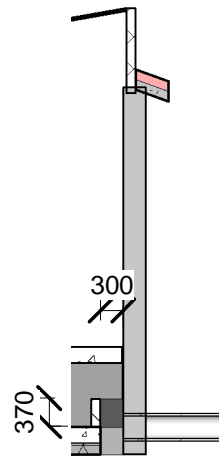
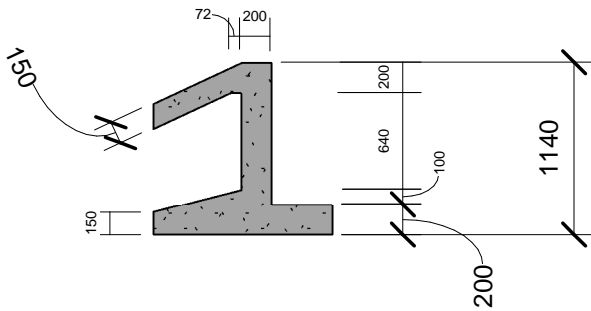
Escala As indicated



1

Caixa de admissão de ar 1

1 : 100



2

corte transversal da caixa de admissão de ar

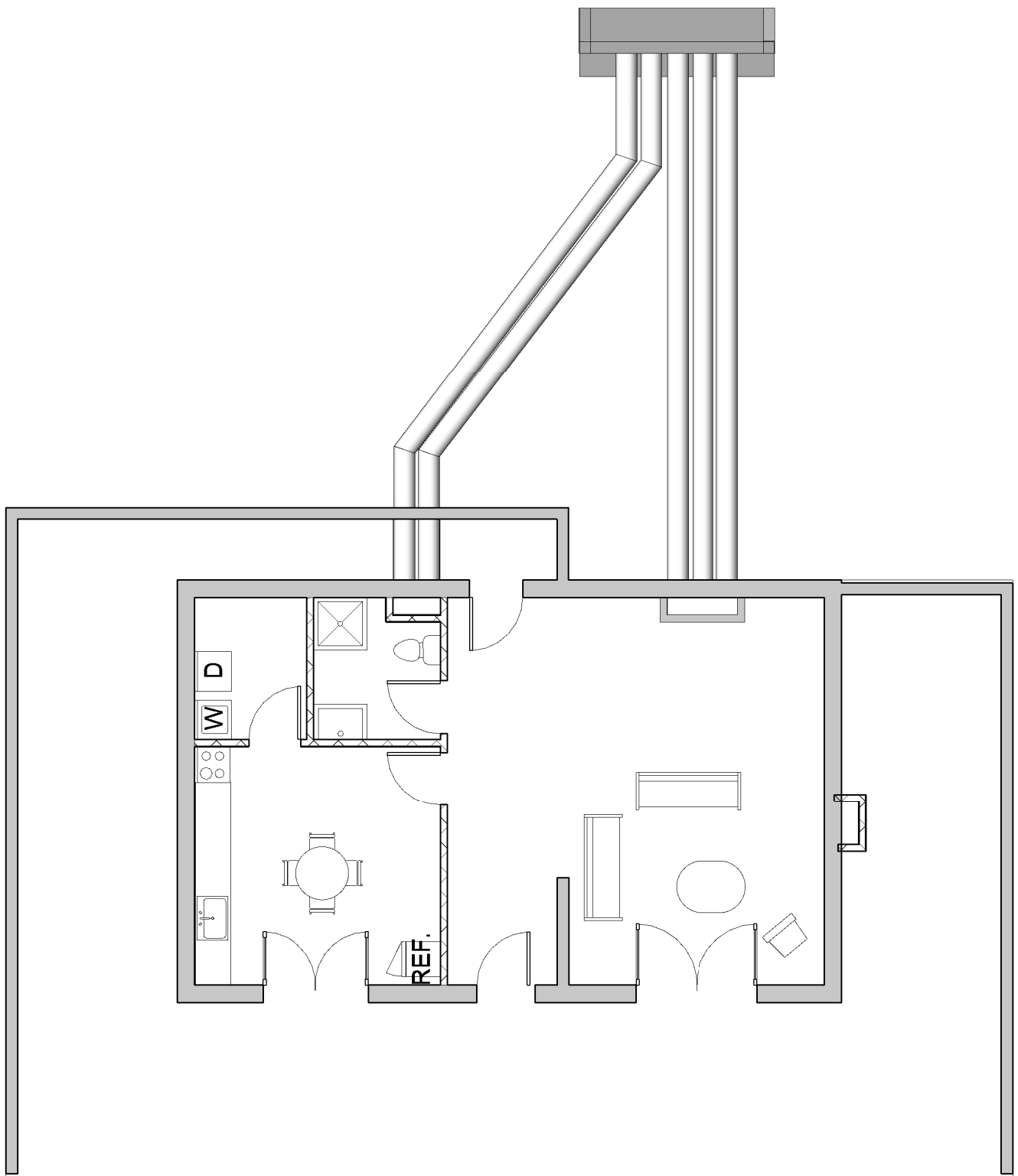
1 : 50

3

Saida tubos de ar (sala)

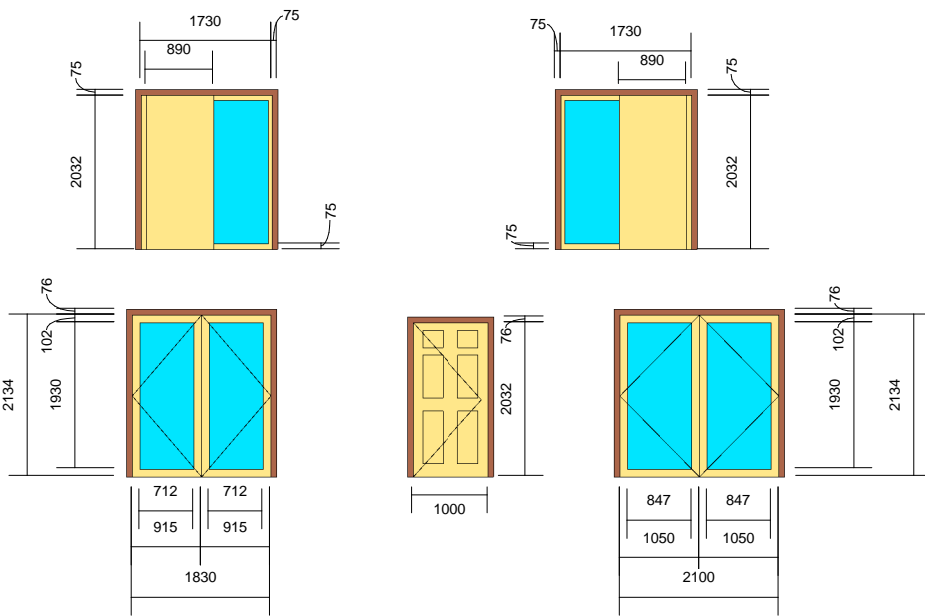
1 : 100

Morada Solar Passiva Madeira	Pormenores tubos enterrados	
	Data	02/10/2010
	Desenhador	Rúben Gomes
		A110
		Escala As indicated



1 Vista em planta dos Tubos enterrados
1 : 100

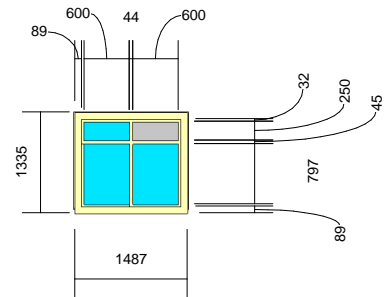
Morada Solar Passiva Madeira	Pormenores Tubos enterrados	
	Data 02/10/2010	A111
	Desenhador Rúben Gomes	



Janelas e portas da Fachada Sul

1

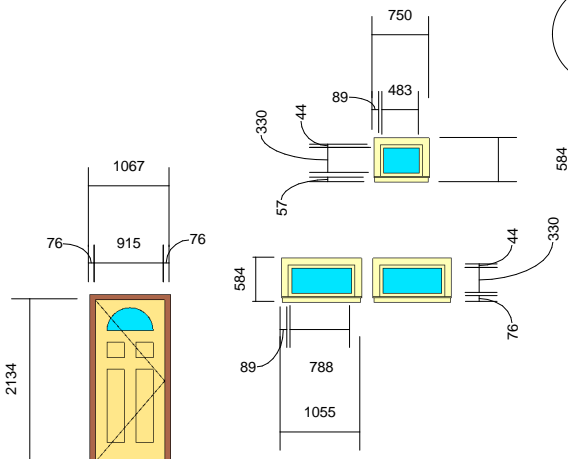
Sul
1 : 100



2

Janelas da Fachada Oeste

1 : 100



Janelas e portas da Fachada Norte

3

Norte
1 : 100

Morada Solar
Passiva
Madeira

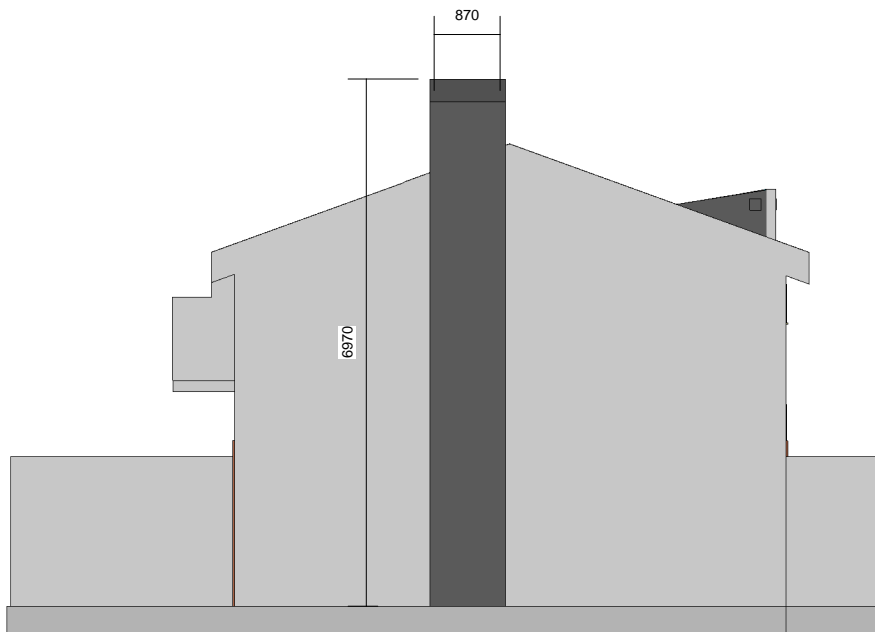
Janelas e portas (exterior)

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A112

Escala 1 : 100



Chaminé (Este)

1

1 : 100



Dimensões da chaminé (Sul)

2

1 : 100

Morada Solar
Passiva
Madeira

Chaminé

Data 02/10/2010

Desenhador Rúben Gomes

A113

Escala 1 : 100