

CRIAÇÃO DE NOVA INTERFACE PARA O PROGRAMA HUMIVENT E DESENVOLVIMENTO DE MANUAL DE UTILIZAÇÃO

NUNO MACHADO DE MATOS RIBEIRINHO SOARES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães
Teixeira

JUNHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais e à minha irmã Francisca.

“Ganhar é bom, mas não há nada melhor do que competir para ganhar” – Enzo Ferrari

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação, desde a sua conjectura e delineamento inicial até à sua finalização e entrega, deve-se, em grande parte, às inúmeras contribuições técnicas mas, fundamentalmente, às contribuições de amigos e parceiros de aventuras de vida que fazem esta vida valer a pena. Destaco a amiga que, de uma maneira ou de outra, esteve sempre presente e se revelou especial durante os meses de entrega a este trabalho. Por motivos pessoais, guardo para mim o seu nome, convicto de que, caso ela venha a ler estas palavras, saiba que é dela que falo. Que esta amizade nunca acabe e que continue sempre por perto...

Referindo-me às contribuições técnicas, faço questão de expressar os mais sinceros agradecimentos àqueles que, devido à sua opinião ou transmissão de conhecimentos, me ajudaram e incentivaram a concluir esta Dissertação.

- À Sra. Professora Doutora Engenheira Ana Sofia Guimarães, pela orientação e atenção que me deu. Desde a proposta do tema até à data de entrega, revelou sempre dedicação, disponibilidade incondicional para que o trabalho seguisse o rumo mais acertado. O meu profundo agradecimento por ter aceitado orientar este meu trabalho, permitindo-me aprender mais, com alguém que considero uma das pessoas mais dedicada à engenharia e perfeccionistas no trabalho que realiza.

- Ao Sr. Doutor Engenheiro João Delgado, Laboratório de Física das Construções, pela disponibilidade de me ter facultado a base de dados dos parâmetros de temperatura e humidades relativas das cidades de Porto e Lisboa, necessárias ao desenvolvimento da nova interface do programa.

- Ao João Carlos Santos, finalista do curso Mestrado Integrado em Engenharia Informática e de Computação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pelo apoio técnico de programação informática prestado. A paciência e a disponibilidade em atender, perentoriamente, às dúvidas que foram surgindo na execução da nova interface do programa, nunca serão esquecidas.

Finalmente, mas não menos importante, um agradecimento muito especial aos meus pais e à minha irmã, não só pelo consolo, ânimo e encorajamento dado nos momentos de menos confiança que foram surgindo mas, fundamentalmente, por toda a cumplicidade e amizade com que têm marcado a minha vida! À Francisca, minha irmã, minha parceira de vida e minha amiga incondicional por estar sempre cá!

RESUMO

A humidade ascensional tem-se revelado ao longo dos tempos, um interveniente ativo na degradação do património edificado. De forma a combater a humidade que ascende aos edifícios por fenómenos de capilaridade, têm vindo a ser desenvolvidas e aperfeiçoadas técnicas, com maiores ou menores graus de eficácia, das quais, se destaca a mais recente, a ventilação da base das paredes. Desenvolvida pelo Laboratório de Física das Construções, LFC, o combate à humidade ascensional, recorrendo à ventilação da base das paredes, é conseguida através da implementação de um sistema de ventilação higro regulável denominado HUMIVENT.

Validada a eficácia do sistema, foi-lhe desenvolvido um programa de pré dimensionamento, HUMIVENT Predim. Aperfeiçoado e testado o programa de pré dimensionamento, surge a necessidade de criar um manual de utilização que permita uma correta aplicação do programa por forma a garantir uma correta aplicação da técnica.

Este trabalho tem como principal objetivo a elaboração desse manual/Tutorial onde é apresentado de forma minuciosa todo o programa HUMIVENT Predim bem como toda a informação relativa às variáveis envolvidas.

Complementarmente é desenvolvida uma nova versão HUMIVENT Predim, onde se introduzem algumas melhorias face ao programa original. Esta nova versão apresentada será acompanhada por sua vez, também pelo respetivo tutorial.

Palavras-Chave: Humidade Ascensional, Ventilação da base das paredes, Tutorial, HUMIVENT, HUMIVENT Predim, Pré dimensionamento.

ABSTRACT

Rising damp has been proving to be an active intervenient in the degradation of buildings through ages. In order to fight rising damp coming up from the ground, owing to capillarity phenomenons, some techniques have been developing and improving a higher or lower degree of efficiency, from which we can distinguish the most recent one, the so called “Wall base ventilation system”. Developed by the Building Physics Laboratory, LFC, fighting rising damp by using wall base ventilation is successfully thanks to implementing a hygro regulated ventilation system named HUMIVENT.

Once the efficiency of the system was validated, a program of pre-dimension has been developed, HUMIVENT Predim. After the program has been tested and improved, there is a need to create a manual allowing a correct use of the program in order to guarantee a correct application of that technique.

The main purpose of this work is how to elaborate that manual/Tutorial, where the whole program HUMIVENT Predim is presented down to the smallest detail, as well as all the information regarding the variables involved in it.

As a complement, a new version of HUMIVENT Predim is developed in which some improvements are being introduced, considering the original program. This new presented version will be also accompanied by its respective tutorial.

KEYWORDS: Rising Damp, Wall Base Ventilation, Tutorial, HUMIVENT, HUMIVENT Predim, Pre-Dimension.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
INTRODUÇÃO	1
1.1.Problemática.....	1
1.2.Enquadramento	2
1.3.Objetivos	2
1.4.Metodologia	3
1.5.Estrutura	3
VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES COMO TÉCNICA DE TRATAMENTO DA HUMIDADE ASCENSIONAL	5
2.1.Considerações iniciais.....	5
2.2.Origem e evolução da técnica.....	9
2.3.Processos de ventilação	9
2.3.1. Ventilação Natural	11
2.3.2. Ventilação Mecânica (Com recurso a ventilador higro regulável).....	13
2.4.Validação Experimental da técnica Ventilação da Base das Paredes	17
2.4.1. Validação experimental da eficácia da ventilação mecânica.....	17
2.4.2. Validação in situ da ventilação mecânica higro regulável.....	18
2.4.3. Influência da geometria do sistema no processo de evaporação	22
2.4.4. Novo critério de funcionamento do sistema como forma de prevenir a ocorrência de efeitos indesejados	27
PROGRAMA HUMIVENT – MODELAÇÃO MATEMÁTICA	31
3.1.Princípio de funcionamento do sistema	31
3.2.Absorção vs. Evaporação (Modelo Sharp Front)	31
3.2.1. Absorção	33
3.2.2. Evaporação	37
3.3.Evaporação devido a condições ambientais.....	37
3.3.1. Pelo pano de parede exterior acima do pavimento	37
3.3.1. 1. Formulação de Penman-Monteith.....	38
3.3.1.2. Formulação de Oudin, L.....	39
3.3.2. Pelo pano de parede interior acima do pavimento	41
3.3.2.1. Ar parado.....	42
3.3.2.2. Ar em movimento	43
3.4.Parede com ventilação junto da base	43
MANUAL DE UTILIZAÇÃO – PROGRAMA HUMIVENT PREDIM	47
4.1. Considerações iniciais.....	47
4.2. Organização do programa.....	48
4.3. Descrição individual das Folhas de cálculo	50
4.3.1. Folha de cálculo 1 – Humivent Predim	50
4.3.1.1. Funcionalidade/ Potencialidades da folha de cálculo	50

4.3.1.2. Descrição/Disposição gráfica da folha de cálculo	51
4.3.1.3. Considerações importantes	59
4.3.2. Folha de cálculo 2 - Taxa de evaporação	60
4.3.2.1. Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo	60
4.3.2.2. Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo	61
4.3.2.Folha de cálculo 3 – Sorptividade “S”	65
4.3.2.1.Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo	65
4.3.2.2.Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo	65
4.3.3.Folha de cálculo 4 - Concentrações “C*, C0”	66
4.3.3.1.Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo	66
4.3.3.2.Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo	67
4.3.4.Folha de cálculo 5 – Testes.....	68
4.3.4.1.Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo	68
4.3.4.2.Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo	69
4.3.5.Folha de cálculo 6 - Hmáximo	69
4.3.5.1.Funcionalidade/ Potencialidade da folha de cálculo	69
4.3.5.2.Descrição/Disposição gráfica da folha de cálculo	70
4.3.6.Folha de cálculo 7 - Variação de S, b, e	74
4.3.6.1.Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo	74
4.3.6.2.Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo	74
4.4. Metodologia para obtenção do pré dimensionamento	76
4.5. Organização dos parâmetros que influenciam o dimensionamento	78
4.5.1. Ficha de individual de cada parâmetro	78
4.5.2. Índice de parâmetros	80
4.5.3. Fichas de parâmetros - Descrição e desenvolvimento individual dos parâmetros que influenciam o pré-dimensionamento.....	81
HUMIVENT PREDIM – Novo Layout	113
5.1. Considerações iniciais	113
5.2. Organização do programa	113
5.3. O programa	114
5.3.1. Separador Input de dados	117
5.3.2. Otimização da Solução.....	132
5.3.3. Manual	134
Síntese dos conhecimentos e conclusões	135
6.1. Conclusões	135
6.2. Melhoramentos futuros	136
ANEXO A	I
Tabela de valores médios de Temperatura e Humidade Relativa para as cidades de Porto e Lisboa	i
ANEXO B	V
Valores tabelados para a massa volúmica da água (ρ_w) para diferentes valores de temperatura	v
ANEXO C	IX
Determinação dos valores de temperatura de ponto de orvalho	ix
ANEXO D	XIII
Texto informativo presente no separador “Sobre” da nova versão do programa HUMIVENT Predim	xiii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Variação da altura da frente húmida com a espessura do elemento [7].	6
Figura 2 - Influência da impermeabilização na altura da frente húmida [8].	6
Figura 3 - Efeito da radiação solar na secagem da parede [9].	7
Figura 4 - Princípio de funcionamento da ventilação da base das paredes [1].	10
Figura 5 - Geometria do canal de ventilação [10].	11
Figura 6 – Pormenor do sistema exterior de ventilação natural da base das paredes [5].	13
Figura 7 - Pormenor da grelha de admissão e extração de ar para a ventilação natural.	13
Figura 8 - Planta do edifício a tratar; Canal de ventilação de um sistema mecânico higro regulável [11].	14
Figura 9 - Instalação de um sistema mecânico higro regulável pelo interior da parede [3].	15
Figura 10 - Protótipo HUMIVENT [10].	16
Figura 11 - Ventilação mecânica higro regulável; Pormenor dos componentes do sistema HUMIVENT.	16
Figura 12 - Configurações ensaiadas e respetivas variações de humidade relativa a uma altura de 61,5 cm de parede [9].	17
Figura 13 - Variação da humidade relativa ao longo do tempo, para a seção a 61,5 cm da base da parede [5] [10].	18
Figura 14 - Fachada do edifício [8].	19
Figura 15 - Estado de conservação das paredes do edifício antes do início do tratamento [8].	19
Figura 16 - Planta do edifício; Subsistema Norte e Subsistema Sul [10] [11].	20
Figura 17 - Pressão de vapor à entrada e à saída do sistema; Períodos de funcionamento [9].	21
Figura 18 - Diferenças de pressão de vapor de água entre a saída e a entrada [9].	21
Figura 19 - Esquema do procedimento experimental [13].	22
Figura 20 - Posição das sondas [9].	24
Figura 21 - Ocorrência de condensações durante os ensaios [9].	25
Figura 22 - Quantidade de água retirada pelo sistema de ventilação [9].	26
Figura 23 - Princípio de funcionamento do sistema mecânico higro regulável (Primeiro critério de funcionamento) [9].	27
Figura 24 - Pressões de vapor de água à entrada e à saída do sistema [9].	28
Figura 25 - Diferenças de pressão de vapor à entrada e à saída do sistema [9].	28
Figura 26 - Valores de humidade relativa, diferenças de pressão e períodos de funcionamento do sistema [9].	29
Figura 27 - Princípio de funcionamento do sistema mecânico higro regulável (Segundo critério de funcionamento) [9].	30

Figura 28 - Relação entre absorção e evaporação. [6]	34
Figura 29 - Evaporação pelo pano exterior de parede acima do pavimento.	38
Figura 30 - Evaporação pelo pano interior de parede acima do pavimento.	41
Figura 31 - Variação da altura da frente húmida com a implementação da ventilação mecânica.....	43
Figura 32 - Taxa de evaporação total; Evaporação pela parede e pelo sistema.....	44
Figura 33 – Altura da frente húmida situada abaixo da parte superior do sistema, provocando uma evaporação pelo pano de parede nula.	45
Figura 34 - Quadro síntese do modelo ACE.	46
Figura 35 - Folha de cálculo número um.....	51
Figura 36 - Esquema da troca de humidade entre a parede e o sistema de ventilação.....	52
Figura 37 - Fórmula matemática do pré dimensionamento.....	52
Figura 38 - Tabela de introdução de dados necessários ao pré dimensionamento.	53
Figura 39 - Esquema resumo dos parâmetros necessários para obter o pré dimensionamento.	55
Figura 40 - Introdução do valor da altura máxima atingida pela humidade na parede.	55
Figura 41 - Apresentação dos valores de pré dimensionamento; Velocidade de circulação do ar vs. Altura do sistema.	56
Figura 42 - Solução inicial de pré dimensionamento.	56
Figura 43 - Taxa de evaporação com ar exterior.	62
Figura 44 - Resultados dos valores da taxa de evaporação recorrendo ao ar exterior.	62
Figura 45 - Valores médios anuais da taxa de evaporação com ar exterior.	63
Figura 46 -Taxa de evaporação com ar interior.	64
Figura 47 - Valores médios anuais da taxa de evaporação com ar interior.	65
Figura 48 - Base de dados do parâmetro Sorptividade.....	66
Figura 49 - Folha de cálculo responsável pela determinação das concentrações de vapor de água. .	67
Figura 50 - Dados Input para o cálculo das concentrações de vapor de água.....	68
Figura 51 - Folha de cálculo " Testes".....	69
Figura 52 - Folha de cálculo "Hmáximo".	71
Figura 53 - Introdução dos dados de entrada.	71
Figura 54 - Tabelas e gráficos que traduzem a viabilidade prática da solução de dimensionamento. 72	
Figura 55 - Otimização do sistema redimensionando a altura do sistema.	73
Figura 56 - Otimização do sistema redimensionando a velocidade de circulação do ar.	74
Figura 57 - Folha de cálculo "b, S, e".....	75
Figura 58 - Imagem apresentada ao executar o programa.....	114
Figura 59 - Página principal do programa.	115
Figura 60 - Potencialidades do comando "Ficheiro".	116
Figura 61 – Comando "O Programa".....	116
Figura 62 – Documento informativo sobre a técnica HUMIVENT e o programa HUMIVENT Predim.117	
Figura 63 – Separadores principais do programa.	117
Figura 64 - Separador principal.	118

Figura 65 – Acesso rápido à informação do parâmetro.....	119
Figura 66 - Input de dados Geométricos.....	119
Figura 67 - Mensagem de erro apresentada pelo programa ao ser introduzido um valor errado para a altura da frente húmida.	120
Figura 68 - Input de Propriedades dos Materiais.	121
Figura 69 – Listagem de materiais constituintes da parede.	121
Figura 70 – Seleção do material e preenchimento automático da respectiva Sorptividade.....	122
Figura 71 – Prenchimento manual do valor da Sorptividade.....	122
Figura 72 – Input de Dados Climáticos.	123
Figura 73 – Determinação da taxa de evaporação pelo pano interior da parede acima do pavimento_ Ar Parado.	125
Figura 74 – Pormenor da escolha da cidade e mês.	126
Figura 75 – Pormenor da inserção manual dos valores de temperatura e humidade relativa do ar..	126
Figura 76 – Valor da taxa de evaporação pela parede, método Ar parado.	126
Figura 77 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano interior da parede acima do pavimento_ Ar Movimento.	127
Figura 78 – Introdução do valor da velocidade do ar dentro do edifício.	127
Figura 79 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano exterior da parede acima do solo_ Penman-Monteith.	128
Figura 80 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano exterior da parede acima do solo_ Oudin,L.....	129
Figura 81 – Preenchimento automático dos valores da taxa de evaporação na página principal.	129
Figura 82 – Propriedades do ar responsável pela ventilação dentro do sistema.	130
Figura 83 – Dados de saída_ Solução de pré dimensionamento do sistema.	131
Figura 84 – Alteração da solução de pré dimensionamento original.	132
Figura 85 – Otimização da solução de pré dimensionamento.....	133
Figura 86 – Velocidade vs. Altura da frente húmida máxima, impondo uma dada altura para o sistema.	133
Figura 87 – Altura do sistema vs. Altura da frente húmida máxima, impondo uma dada velocidade de circulação do ar.	134
Figura 88 – Pormenor do manual incorporado no programa.....	134

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das principais técnicas de tratamento da humidade ascensional [Adaptado de 4].	8
Tabela 2 - Resumos das características das três configurações ensaiadas [9].	23
Tabela 3 - Expressões matemáticas que permitem determinar a pressão de vapor bem como a quantidade de água retirada à parede [9].	24
Tabela 4 - Variação da velocidade com a duração dos ensaios [Adaptado de 9].	25
Tabela 5 – Absorção de água pelo elemento construtivo.	37
Tabela 6 - Organização do manual.	48
Tabela 7 - Resumo das sete folhas de cálculo que compõem o programa [10].	49
Tabela 8 - Parcelas que compõem a equação de pré dimensionamento.	53
Tabela 9 - Alterar a solução de pré dimensionamento correlacionando a velocidade e a altura do sistema.	57
Tabela 10 - Solução de pré dimensionamento.	57
Tabela 11 - Alteração da solução de pré dimensionamento por imposição da velocidade do ar.	58
Tabela 12 - Alteração da solução de pré dimensionamento por imposição da altura do sistema.	59
Tabela 13 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano de parede acima do pavimento.	61
Tabela 14 - Ficha individual "Altura do sistema".	81
Tabela 15 - Ficha individual "Altura do terreno adjacente à parede".	82
Tabela 16 - Ficha individual "Altura máxima atingida pela frente húmida".	83
Tabela 17 - Ficha individual "Calor específico do ar".	84
Tabela 18 - Ficha individual "Calor latente de vaporização".	85
Tabela 19 - Ficha individual "Coeficiente de absorção de água".	86
Tabela 20 - Ficha individual "Coeficiente de difusão molecular".	87
Tabela 21 - Ficha individual "Comprimento da parede".	88
Tabela 22 - Ficha individual "Comprimento do sistema".	89
Tabela 23 - Ficha individual "Concentração de vapor de água".	90
Tabela 24 - Ficha individual "Constante de gases ideais".	91
Tabela 25 - Ficha individual "Espessura da parede".	92
Tabela 26 - Ficha individual "Humidade relativa do ar".	93
Tabela 27 - Ficha individual "Massa molecular de vapor de água".	94
Tabela 28 - Ficha individual "Massa volúmica da água".	95
Tabela 29 - Ficha individual "Massa Volumica do ar".	96
Tabela 30 - Ficha individual "Número de Reynolds".	97
Tabela 31 - Ficha individual " Número de Schmidt".	98
Tabela 32 - Ficha individual "Pressão de saturação".	99
Tabela 33 - Ficha individual "Pressão de vapor de água".	100

Tabela 34 - Ficha individual "Pressão de vapor de água".....	101
Tabela 35 - Ficha individual "Radiação solar livre".	102
Tabela 36 - Ficha individual "Sorptividade".	103
Tabela 37 - Ficha individual "Taxa de evaporação interior".	104
Tabela 38 - Ficha individual "Taxa de evaporação exterior".	105
Tabela 39 - Ficha individual "taxa de variação da humidade com a temperatura do ar".	106
Tabela 40 - Ficha individual "Temperatura".	107
Tabela 41 - Ficha individual "Temperatura ponto de orvalho".	108
Tabela 42 - Ficha individual "Teor de humidade volúmico".	109
Tabela 43 - Ficha individual "Velocidade".	110
Tabela 44 - Ficha individual "Viscosidade cinemática".	111
Tabela 45 - Ficha individual "Viscosidade dinâmica".	112
Tabela 46 - Síntese dos parâmetros geométricos.	119
Tabela 47: Síntese dos parâmetros Climáticos.....	123
Tabela 48 - Taxa de evaporação.....	124

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

b	Espessura da parede	[m]
S	Sorptividade do material	[m/s ^{1/2}]
w	Teor de humidade volúmico	[m ³ /m ³]
h_{max2}	Altura máxima atingida pela frente húmida	[m]
e	Taxa de evaporação	[m/s]
h_a	Altura do terreno adjacente à parede	[m]
h_s	Altura do sistema	[m]
ρ_w	Massa volúmica da água	[kg/m ³]
u	Velocidade de circulação do ar	[m/s]
v^*	Concentração/pressão de vapor de água, parede	[kg/m ³]
v_0	Concentração/pressão de vapor de água, entrada	[kg/m ³]
L	Comprimento do sistema	[m]
D_m	Coefficiente de difusão molecular	[m ² /s]
h_v	Calor latente de vaporização	[J/kg]
Δ	Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar	[kPa/°C]
H_{sn}	Radiação solar livre	[W/m ²]
ρ_a	Massa volúmica do ar	[kg/m ³]
cp	Calor específico do ar	[J/kg°C]
p^{sat}	Pressão de saturação	[kPa]
p^{tpo}	Pressão parcial de vapor de água	[kPa]
ra	Resistência aerodinâmica	[s/m]
Y	Constante	[kPa/°C]
r_s	Resistência superficial	[s/m]
T_a	Temperatura ambiente	[°C]
ϕ	Humidade relativa	[%]
T_{po}	Temperatura ponto orvalho	[°C]

u_2	Velocidade do vento (d=2m)	[m/s]
He	Radiação	[W/m ²]
M	Massa molecular vapor água	[g/mol]
R	Constante gases ideais	[J/molK]
T	Temperatura do ar	[°C]
T^*	Temperatura parede	[°C]
ϕ^a	Humidade relativa ar	[-]
ϕ^*	Humidade relativa parede	[-]
p^a	Pressão vapor água ar	[kg/m ³]
Re	Número de Reynolds	[-]
Sc	Número de Schmidt	[-]
μ	Viscosidade dinâmica fluido	[kg/m.s]
u	Velocidade do ar	[m/s]

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LFC – Laboratório de Física das Construções

1

INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

Na construção civil a humidade é considerada uma das maiores responsáveis pelas anomalias presentes nos edifícios. Componente indispensável para a grande maioria das obras de construção, a água está presente na génese de praticamente todo o património existente e, ironicamente, ao longo da vida útil dos edifícios, revela-se uma forte ameaça à sua conservação.

De entre inúmeras patologias associadas à humidade nos edifícios, a humidade ascensional é responsável por grande parte da degradação do património edificado, tronando-se desta forma, necessário e urgente incidir a atenção e o desenvolvimento de novos métodos mais eficazes e de custo controlado que permitam controlar a humidade que ascende aos edifícios por fenómenos de capilaridade.

Conhecidas diversas metodologias de tratamento para este tipo de patologias, dos quais se destacam, a execução de corte hídrico, a redução da secção absorvente, introdução de tubos de arejamento, electro osmose ou, em casos extremos, a ocultação da anomalia, e refletindo sobre o resultado final das suas aplicações no terreno, conclui-se que a eficácia destas soluções nem sempre é a que se pretende. Associadas a estas técnicas está não só associada a incerteza da resolução do problema mas também os montantes elevados das suas aplicações. [1]

Edifícios com problemas de humidade sempre existiram e continuam a existir. Paradoxalmente, apesar dos avanços notórios da engenharia civil, dada a cada vez maior complexidade das soluções e dos edifícios, nos dias de hoje a água continua a ser responsável pela degradação dos edifícios. Apesar da consciência de que a água não escolhe edifícios para degradar, torna-se urgente atender aos edifícios mais antigos, de carácter histórico e cultural do país. Edifícios antigos e de construção muito particular, construídos em épocas onde não se falava de isolamento térmico ou impermeabilização, construídos na sua maioria com recurso a blocos de pedra e paredes de elevada espessura. Como exemplo, tem-se praticamente todo o património histórico português edificado, como igrejas, catedrais e inúmeros

palacetes espalhados pelo país que outrora espaços de habitação e, atualmente abrem as portas como museus.

Criada e desenvolvida para dar resposta à humidade ascensional, surge uma nova técnica, a ventilação da base das paredes. Desenvolvida pelo laboratório de física das construções da faculdade de engenharia da universidade do porto, esta nova técnica recorre ao ar que envolve o edifício a tratar e fá-lo circular junto da base das paredes dentro de condutas de modo a, evaporar parte da água que se encontra no elemento de construção, tendo ascendido por fenómenos de capilaridade. A evolução da técnica tal como é conhecida hoje, recorre a um ventilador higro regulável para controlar a circulação do ar responsável pela evaporação dentro do sistema, tendo sido patenteada como HUMIVENT.

A ventilação da base das paredes, como forma de tratamento da humidade ascensional em paredes, tem vindo a ser desenvolvida e testada nos últimos anos, tendo revelado resultados positivos, não só pela sua eficiência mas também pelos custos baixos que tem associados. Esta técnica revela-se particularmente interessante para paredes monolíticas e de elevada espessura.

1.2. ENQUADRAMENTO

Ao longo do desenvolvimento desta técnica o processo foi evoluindo tendo chegado a uma fase em que, de acordo com a metodologia e os princípios considerados, o processo de tratamento das paredes provocava efeitos secundários, comprometendo a eficácia da técnica. Desta forma, surge a necessidade de criar um programa de cálculo que permitisse dimensionar e programar o sistema de modo a evitar os efeitos secundários verificados. Surge o HUMIVENT Predim.

HUMIVENT como técnica de tratamento da humidade ascensional em paredes e, HUMIVENT Predim, como programa de pré dimensionamento do sistema que materializa a técnica.

Criado e desenvolvido o programa, surge a necessidade de elaborar um manual de utilização do programa.

A presente dissertação terá como objetivo principal a elaboração desse manual de modo a permitir a qualquer utilizador possa manipular o programa da melhor maneira não ficando com quaisquer dúvidas sobre a correta forma de o utilizar.

1.3. OBJETIVOS

Ao iniciar este trabalho foram estipuladas duas metas a atingir. A primeira, elaborar um manual de apoio ao Programa HUMIVENT Predim, identificando as funcionalidades e potencialidades de cada uma das folhas de cálculo que compõem o programa, descrevendo cada uma delas de um ponto de vista gráfico e elaborando um conjunto de fichas individuais para cada um dos parâmetros referidos ao longo do programa.

Segunda meta a atingir embora de igual relevância, desenvolver uma nova interface do Programa HUMIVENT Predim. A nova interface foi criada de modo a tornar a utilização do programa visualmente mais apelativa e facilitada, tendo sido incorporadas, entre outras, duas bases de dados de Temperatura e

Humidade Relativa médias mensais e anuais para as cidades de Porto e Lisboa. O programa original foi ainda melhorado, sendo possível com a nova interface pré dimensionar o sistema HUMIVENT para ambos os paramentos de uma parede em simultâneo. À semelhança do que foi feito para o programa HUMIVENT Predim em formato Excel, foi desenvolvido também um manual de apoio a esta nova interface.

1.4. METODOLOGIA

O carácter inovador da técnica de tratar a humidade ascensional ventilando a base das paredes tornou o desenvolvimento da presente dissertação um pouco mais moroso do que o previsto inicialmente. Pelo facto de ser algo criado e desenvolvido unicamente pelo LFC de FEUP, e dado que ainda se encontra em aperfeiçoamento, a informação disponibilizada sobre o tema é ainda escassa. Relativamente ao programa HUMIVENT Predim, as circunstâncias são semelhantes. [2]

Desta forma, o presente trabalho pode-se dividir em três partes fundamentais. A primeira respeitante à pesquisa de toda a informação existente sobre a teoria que sustenta a técnica de ventilar a base das paredes, a segunda à análise, interpretação e experimentação do programa que está na origem do manual desenvolvido. Nesta segunda fase, além de toda a experimentação do programa, foi ainda lida na íntegra toda a tese de doutoramento e dissertação de mestrado que estão na base da criação do HUMIVENT e do HUMIVENT Predim de modo a serem compreendidos todos os princípios, simplificações e pressupostos considerados. A terceira parte, respeitante às melhorias e complementos que poderiam ser feitos para melhorar o programa HUMIVENT Predim. Desta forma, foi criada uma nova interface que dará forma ao quinto capítulo da presente dissertação.

1.5. ESTRUTURA

O segundo capítulo deste trabalho aborda âmbitos e clarifica conceitos técnicos relacionados com a problemática estudada e, indispensáveis à realização desta dissertação. Aqui é exposta toda a teoria que sustenta a técnica de ventilação da base das paredes bem como a sua evolução até ser criado o programa de pré dimensionamento HUMIVENT Predim.

No terceiro capítulo desta dissertação é abordado a modelação matemática do programa HUMIVENT Predim, expondo todas as simplificações, métodos de dimensionamento e de cálculo que permitem alcançar o pré dimensionamento.

O quarto capítulo, considerado o cerne desta dissertação, consiste no manual de utilização do programa. Neste capítulo será apresentado o programa na íntegra, permitindo ao utilizador a sua correta manipulação.

No quinto capítulo, é apresentado um programa que teve na sua base o HUMIVENT Predim e que autor considerou interessante desenvolver. É apresentada uma nova interface com algumas modificações complementares ao programa original.

No sexto e último capítulo, são apresentadas as conclusões alcançadas bem como as perspectivas de evolução e outros comentários considerados pertinentes.

No final da presente dissertação é acoplado um CD que contém o programa apresentado no capítulo 5, de forma que, o leitor o possa consultar e manusear.

2

VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES COMO TÉCNICA DE TRATAMENTO DA HUMIDADE ASCENSIONAL

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A humidade é por si só uma das maiores responsáveis pela degradação e mau estado de conservação dos edifícios. Particularmente, a humidade ascensional, água proveniente do solo que por capilaridade migra através dos materiais porosos que constituem as paredes e pavimentos dos edifícios, é uma das patologias que mais edifícios degrada.

“Degradation in walls of historical building with rising damp is a complex problem to solve, due to the thickness and heterogeneity of those walls. The traditionally treatment techniques used (Such as watertight barriers, injection of hydrofuge products, etc.) show, sometimes, to be ineffective or too expensive, justifying the need to find a new approach.” [3]

A água ascende através dos materiais de construção permeáveis progredindo até que se verifique um equilíbrio entre a água que entra no elemento (absorção) e a água que sai (evaporação).

Dos diversos fatores que condicionam o processo de troca de humidade, destacam-se: [4] [5] [6]

- Quantidade de água em contacto com o elemento construtivo;
- Condições de evaporação à superfície;
- Porosidade do material;
- Espessura do elemento construtivo;
- Orientação;
- Presença de sais;

Relacionando a variação da frente húmida com os fatores enunciados, podem estabelecer-se algumas relevantes relações de causa/ efeito.

Relativamente espessura do elemento construtivo, pode-se constatar que a quanto maior o seu valor maior será a altura atingida pela frente húmida na parede. Quanto maior a espessura, mais material de parede está disponível para absorver água e, conseqüentemente, fazer subir a frente húmida (Figura 1).

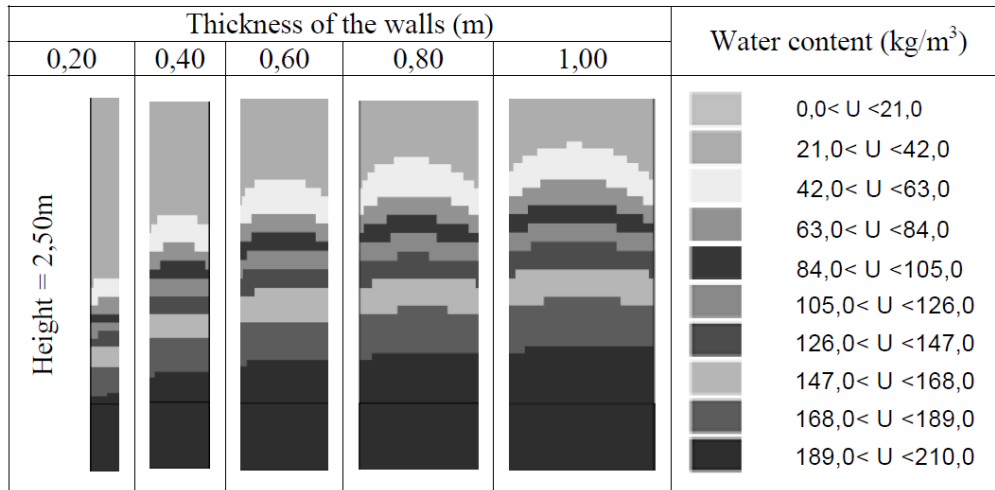


Figura 1 - Variação da altura da frente húmida com a espessura do elemento [7].

Relativamente à impermeabilização, quanto mais impermeabilizado se apresentar o elemento construtivo, menor será a capacidade de evaporar a humidade que contém, promovendo um acréscimo da altura atingida pela frente húmida (Figura 2).

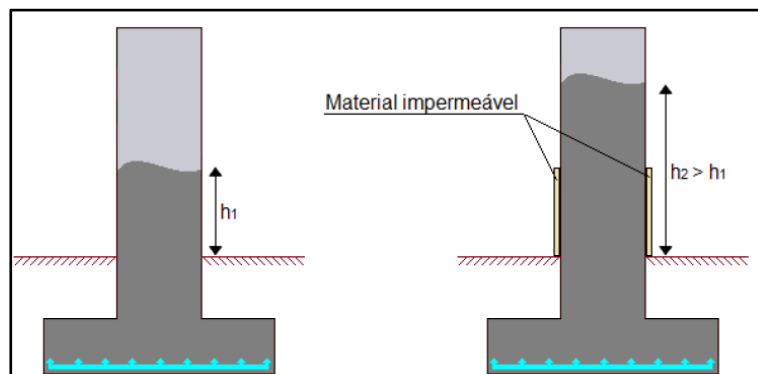


Figura 2 - Influência da impermeabilização na altura da frente húmida [8].

A radiação solar apresenta um papel relevante na evaporação da água contida no elemento de construção. Quanto menor a radiação incidente no paramento, menor será a evaporação da humidade da parede,

condicionando o comportamento das fachadas com exposições solares diferentes, variando o processo de secagem (Figura 3) [1] [9].

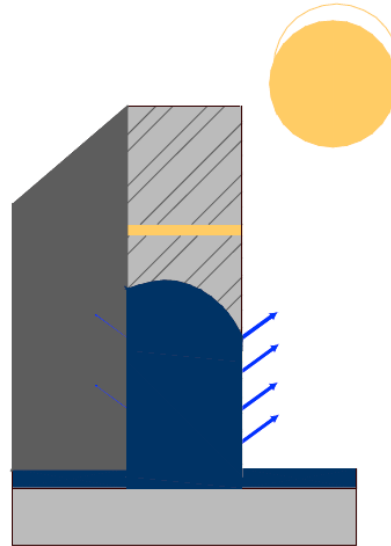


Figura 3 - Efeito da radiação solar na secagem da parede [9].

A quantidade de água no elemento construtivo faz também variar a altura da frente húmida na medida em que quanto maior a humidade relativa do elemento, mais difícil será o processo de secagem.

Relativamente à porosidade, quanto mais abertos forem os espaços vazios do elemento, mais fácil será absorver água uma vez que os poros comunicam entre si [1].

Por último é ainda possível estabelecer uma relação entre a frente húmida e a presença de sais. Estando presentes no terreno ou no elemento construtivo tendem a ascender pelo elemento, dissolvidos na água que este absorve, cristalizando e depositando-se à superfície do elemento. Desta forma, reduzem a permeabilidade ao vapor e originam um aumento de ascensão capilar, aumentando o nível atingido pela frente húmida [9].

Fenómenos de humidade ascensional só se verificam caso haja contacto direto entre o elemento de construção e o terreno húmido. Caso tal aconteça e, não houver um corte hídrico que impeça a subida da água, é necessário tomar medidas, não de prevenção, mas sim, de tratamento.

Existem diversas técnicas que permitem tratar este fenómeno, apresentando-se de seguida, de forma resumida, algumas das técnicas mais utilizadas. A Tabela 1 é dividida em quatro colunas sendo na Técnica d intervenção primeira indicado o nome da técnica, na segunda o princípio de intervenção, na terceira a eficácia do tratamento e na quarta e última coluna, é comentada de forma sucinta a adequabilidade da técnica.

Tabela 1 - Resumo das principais técnicas de tratamento da humidade ascensional [Adaptado de 4].

TÉCNICA DE INTERVENÇÃO	PRINCÍPIO DE INTERVENÇÃO	EFICÁCIA DE TRATAMENTO	OBSERVAÇÕES
Drenagens periféricas	Impedir o acesso da água nas paredes	Média	Método mais adequado para a prevenção de humidades ascensionais. Deve ser complementado com um bloqueio horizontal de humidade ascensional.
Tubos de arejamento	Retirar a água em excesso das paredes	Baixa	Problemas de ordem estéticos da parede. Quando na presença de sais pode danificar o tubo.
Electro osmose		Média/ Má	Pouco utilizado. Quando a resistência da terra é elevada é inconveniente.
Impulso eletrónico		Média	Pouco utilizado. Pouca eficácia para edifícios com grandes manifestações de humidade.
Barreiras físicas	Impedir a ascensão da água	Boa	Difícilmente aplicável em paredes espessas, degradadas, com juntas irregulares. Vibrações. Instabilidade.
Barreiras químicas		Muito boa	Difícilmente aplicável em paredes espessas, e com heterogeneidade da parede. Dificuldade dos tapa poros na migração do fluido.
Redução da secção absorvente		Má	Problemas arquitetónicos e pode causar instabilidade da estrutura.
Ventilação da base das paredes		Muito boa	Apenas executável quando acima do nível freático e a envolvente permite.
Aplicação de revestimento	Ocultar as anomalias	Média	Possível manutenção por aparecimento posterior de eflorescências.
Aplicação de forra interior separada por um espaço de ar		Boa	Quando não ventilado o espaço de ar não apresenta resultados esperados. Diminuição de área útil e possível reorganização de instalações elétricas.

A necessidade de encontrar técnicas que permitam combater, de uma forma eficiente, a humidade que migra pelos elementos de construção por capilaridade, permitiu o desenvolvimento de uma nova técnica, designada por ventilação da base das paredes [1] [5].

Apesar de ser aplicável em diversos tipos de parede, esta técnica foi desenvolvida para tratar elementos heterogêneos e de espessura elevada. Como exemplos de aplicação, destacam-se igrejas e edifícios antigos de valor patrimonial cujo material predominante é a pedra e o tijolo (Materiais porosos). A simplicidade desta técnica aliada ao controlado investimento financeiro necessário torna-a uma alternativa interessante e aliciante [9].

2.2. ORIGEM E EVOLUÇÃO DA TÉCNICA

A ventilação da base das paredes como técnica de tratamento de humidade ascensional surge no princípio dos anos 2000, tendo vindo a ser desenvolvida e melhorada até aos dias de hoje [5] [9] [10]

Aproximadamente há quinze anos atrás, o Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, sob a orientação de Professor Doutor Freitas, V.P. desenvolveu vários estudos laboratoriais e numéricos, com o objetivo de avaliar a eficiência da técnica [2].

Numa primeira fase, todo o processo foi pensado para ser baseado na ventilação exclusivamente natural embora, muito rapidamente se tenha optado por desenvolver a técnica recorrendo a processos mecânicos de ventilação.

Em 2002, foram realizados os primeiros ensaios práticos *in situ*, numa Igreja. Passado pouco tempo, o sistema foi implementado em vários edifícios em diferentes zonas do país.

Em 2005, estudos de laboratório procuram avaliar não só, a importância da variação da geometria do sistema mas também, a importância da velocidade de circulação do ar e as características do ar no interior do sistema [9].

Em 2007, avaliada a eficiência do sistema no que respeitava à diminuição da altura da frente húmida atingida pela água na parede, foi pensado um sistema não só mecânico mas também capaz funcionar sob critérios pré impostos, isto é, um sistema higró regulável. Esta melhoria surge na sequência da observação (pontual) de fenómenos de condensações no inteiro do sistema [9].

Em 2008, em âmbito de tese de Doutoramento, Guimarães, A. S. desenvolve um modelo de dimensionamento de forma a por em prática o sistema Higró regulável [10].

Em 2009, com base no modelo criado, o sistema higró regulável *in situ* é implantado na Igreja, tendo sido otimizado e monitorizado.

Desde então, os sistemas continuam a funcionar em diversos pontos do país, geralmente implementados em edifícios de carácter religioso, tendo os seus resultados práticos vindo a comprovar a eficácia da técnica.

2.3. PROCESSOS DE VENTILAÇÃO

O processo de ventilação da base das paredes tem como princípio de funcionamento a circulação de uma massa de ar junto da base de parede que se pretende tratar, seja esta admitida de uma forma natural ou de uma forma mecânica (Figura 4).

Junto da base da parede, é instalada uma conduta de geometria regular, habitualmente de seção retangular, continua em toda a sua extensão, apenas com uma abertura a montante e outra a jusante (Figura 4 e Figura 5). A conduta terá três faces sendo aplicada de modo a a quarta face seja a superfície da parede a tratar [10] [11].

A abertura a montante será responsável pela admissão do ar responsável pela ventilação e a abertura a jusante, permitirá a saída do ar sujeito ao processo de ventilação. O tratamento do elemento construtivo pode ser realizado pelo pano interior ou pelo pano exterior da parede.

Relativamente ao processo de ventilação, este pode ser efetuado com recurso a ar admitido pelo interior do edifício ou com recurso a ar proveniente do exterior do edifício.

Referida a geometria do sistema, falta explicar como se processa a troca de humidade entre a parede e o ar que circula dentro do sistema.

A superfície da parede a tratar encontra-se com uma humidade relativa de praticamente cem por cento, isto é, encontra-se saturada e a uma dada temperatura. Por outro lado, a massa de ar que é admitida, seja proveniente do exterior ou do interior do edifício, encontra-se com uma menor humidade relativa e a uma dada temperatura. Ao ser admitida a massa de ar no sistema, a sua humidade relativa será inferior à da superfície da parede de modo a que, a parede ao ser tocada pela massa de ar irá “fornecer” água ao sistema. Desta forma, o ar que circula dentro do sistema vai retirando humidade à parede, aumentando por sua vez a humidade relativa aproximando-se da saturação quando mais afastado estiver do ponto de admissão de ar do sistema. Idealmente, o sistema deve ter um comprimento tal, de modo a que a saturação do ar não se dê dentro do sistema, uma vez que, a partir desse ponto, poderão ocorrer condensações indesejáveis e o sistema deixa de ser eficiente.

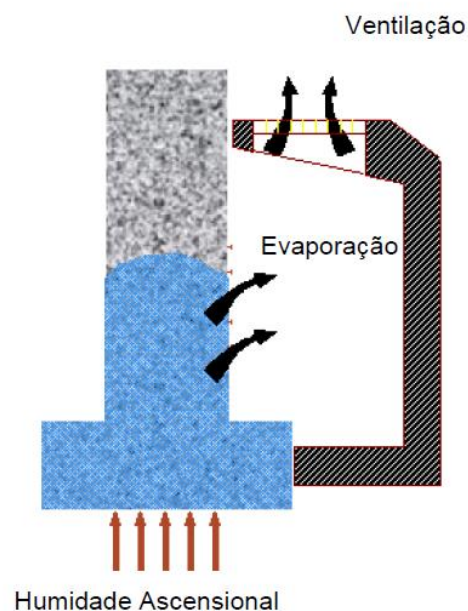


Figura 4 - Princípio de funcionamento da ventilação da base das paredes [1].

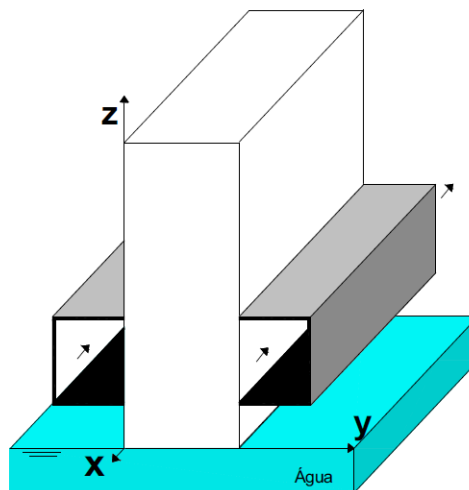


Figura 5 - Geometria do canal de ventilação [10].

2.3.1. VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação da base das paredes sem recorrer a qualquer dispositivo mecânico que controle o fluxo de ar é a forma mais simples de implementar esta técnica de tratamento da umidade ascensional. A ventilação natural consiste em fazer circular ar sem que a velocidade deste seja manipulada, isto é, o ar circula com maior ou menor velocidade junto da base da parede ou, em caso extremo, não há circulação.

Na ventilação natural, tendo em conta que não existem métodos auxiliares de circulação do ar, esta é influenciada apenas pelas condições do ar admitido. Assim sendo, a capacidade do ar circular dentro do sistema é condicionado unicamente pelos valores de temperatura e pressão do ar que admitido e do ar que se encontra dentro das condutas. Sabendo-se que as massas de ar se movimentam das pressões mais elevadas para as pressões mais baixas, a velocidade de circulação de ar será tanto mais elevada quando o diferencial de pressão entre as massas de ar.

Estando a pressão atmosférica diretamente relacionada com a temperatura do ar, a partir do momento em que a massa de ar que se encontra dentro do sistema e a massa de ar que é admitida têm valores de temperatura e humidade relativa praticamente iguais, a circulação de ar não será por efeito do diferencial de pressão mas sim por uma colocação estratégica das grelhas de admissão e extração de ar de modo a conseguir tirar partido do vento que possa existir [4] [9].

A ventilação natural pode ser implementada quer para tratar o pano exterior de uma parede quer para tratar o pano interior, apesar da vertente natural seja mais associada a tratamento de panos exteriores.

Sendo o objetivo evaporar a água presente nas paredes, será de todo o interesse fazer circular uma massa de ar com uma temperatura superior à da parede, isto é, um ar mais seco capaz de absorver mais

humidade. Deste modo, o ar responsável pela ventilação será preferível vir do exterior do edifício pois em grande parte do tempo estará a uma temperatura superior do que o interior do edifício. Sendo os alvos desta técnica os edifícios antigos, de paredes espessas de pedra e sem qualquer aquecimento interior, a diferença de temperatura do ar interior e da superfície interior das paredes é muito reduzida e a humidade relativa interior próxima da saturação, originando um fluxo de secagem próximo de zero. O canal de ventilação permite a circulação do ar vindo do exterior com uma humidade relativa superior ao do ar presente no interior do edifício embora a uma temperatura mais elevada. O ar quente húmido terá tendência a subir ao longo dos pilares e das paredes que, ao entrar em contacto com este, mais frios, condensa. Desta forma a instalação da ventilação natural dentro dos edifícios não é aconselhável. [1]

O facto de a técnica ter sofrido rapidamente grande avanço no que respeita à vertente mecânica, tendo-se obtido melhorias significativas, levou igualmente a que a validação no terreno tenha passado a ser com recurso a ventilação mecânica.

No caso do tratamento dos panos exteriores, as idênticas características climáticas das massas de ar tornam esta vertente da ventilação da base das paredes interessante do ponto de vista das condensações superficiais, pois a possibilidade de ocorrência de condensações é praticamente nula. Por outro lado, analisando do ponto de vista da eficiência da técnica, o mesmo não se pode dizer. A dependência total das condições ambientais compromete todo o sucesso da técnica, verificando-se a necessidade de desenvolver a vertente mecânica da ventilação.

Do ponto de vista físico, a ventilação natural, implica um canal, que estará instalado junto da base da parede. (Figura 6) Os canais são constituídos habitualmente por elementos de betão pré fabricados, possuindo uma caleira para recolha e condução das águas pluviais, encontrando-se na parte superior impermeabilizados e cobertos por uma camada de godo. Relativamente à superfície da parede por onde será feita a evaporação, o seu revestimento deve ser retirado, permitindo uma maior retirada de água [10].

A conduta será uma só peça, existindo nas suas extremidades, duas grelhas responsáveis pela admissão e saída de ar, a montante e a jusante respetivamente (Figura 7).

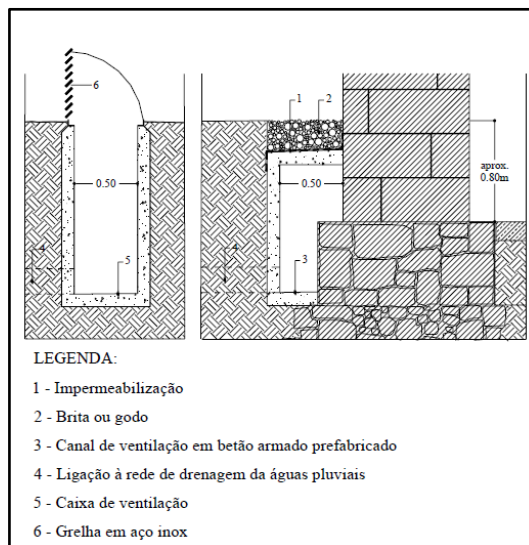


Figura 6 – Pormenor do sistema exterior de ventilação natural da base das paredes [5].



Figura 7 - Pormenor da grelha de admissão e extração de ar para a ventilação natural presente no exterior do Mosteiro de Vilar de Frades.

2.3.2. VENTILAÇÃO MECÂNICA (COM RECURSO A VENTILADOR HIGRO REGULÁVEL)

Tal como foi referido no subcapítulo 2.1, a ventilação da base das paredes foi, ao longo do seu período de estudo e desenvolvimento, sofrendo alterações. A ventilação mecânica pode ser implementada unicamente recorrendo a um motor de ventilação, que, por intermédio de um regulador eletrónico monofásico, permite alterar manualmente a velocidade de circulação do ar. Atualmente a técnica sofreu avanços, e é implementada recorrendo a um ventilador higro regulável [4].

Associada a esta técnica existem dois efeitos secundários fundamentais, tal como vai ser detalhadamente abordado mais à frente. O primeiro relativo a condensações superficiais e o segundo a cristalização de sais à superfície da parede. A necessidade de um mecanismo que controlasse a entrada de ar, por forma a evitar estes dois fenómenos, conduziu à implementação de um ventilador higro regulável no sistema.

Um sistema higrorregulável, quando comparado com um sistema de ventilação natural ou com um sistema de ventilação mecânica permanente, é mais eficiente retirando água e evitando vários problemas. A execução de um sistema higrorregulável de ventilação da base das paredes no interior permite criar melhores condições de secagem das paredes com o aumento da evaporação. Como desvantagem face à ventilação natural, existem os custos associados à instalação e à manutenção durante o tratamento [10] [12].

É admitida uma massa de ar que, ao circular de montante para jusante dentro da conduta, proporciona trocas de humidade entre a própria massa de ar e a superfície da parede (Figura 8).

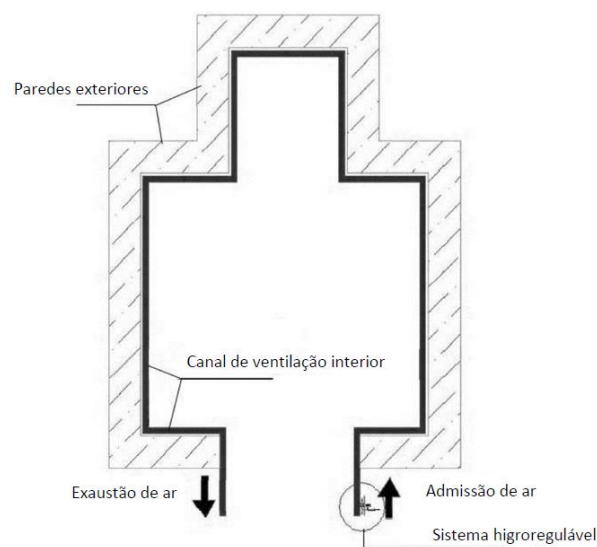


Figura 8 - Planta do edifício a tratar; Canal de ventilação de um sistema mecânico higrorregulável [11].

O sistema tem uma grelha de admissão e uma grelha de extração de ar, unidas por uma só peça, a conduta de circulação do ar. Esta conduta não é mais do que um canal prismático, perfil U, de seção regular e constante. O canal fica enterrado junto à base da parede, colocado de forma que a face aberta do canal fique voltada para a superfície da parede, de modo a ser possível o ar que nele circula, entre em contacto com a superfície da parede, permitindo a evaporação. Na Figura 9 apresenta-se um exemplo deste sistema embora, a conduta de circulação do ar corresponda a uma versão mais antiga da técnica, ainda de forma circular.

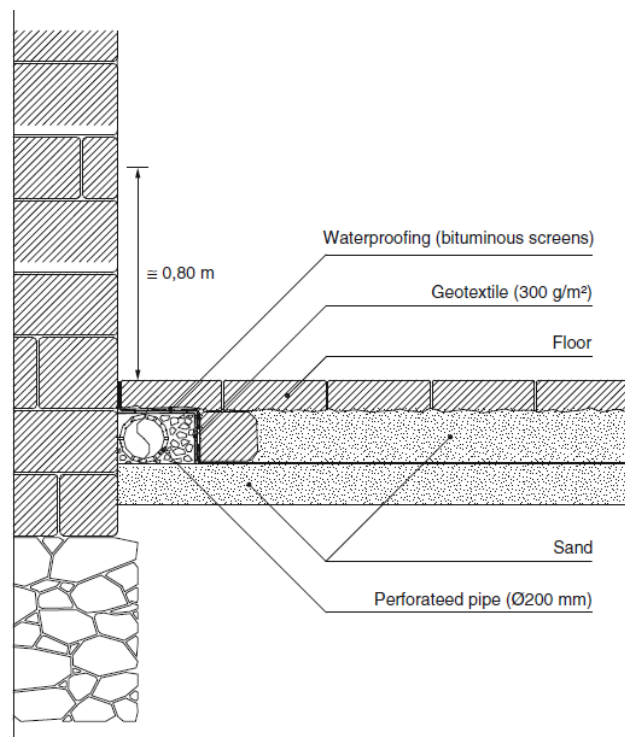


Figura 9 - Instalação de um sistema mecânico higrorregulável pelo interior da parede [3].

O sistema é ainda composto por um ventilador e sondas de temperatura e humidade relativa que permitem programar a entrada de ar com uma maior ou menor velocidade de circulação. As duas sondas de humidade relativa e temperatura medem, à entrada e à saída do canal, a temperatura e a humidade relativa. Os transmissores comunicam os valores, retirados das sondas, ao módulo de controlo que calcula a pressão de vapor entre a entrada e saída do canal recorrendo à psicrometria. O módulo de controlo calcula o diferencial de pressão de vapor entre a entrada e a saída. O sistema vai entrar em funcionamento sempre que a pressão de vapor à saída seja inferior à pressão de vapor à entrada [4] [10].

O conjunto de toda a eletrónica associada à ventilação, isto é, ventilador higrorregulável, data Logger que permite a comunicação entre o ventilador e as sondas, sondas de temperatura e de humidade relativa, é designado HUMIVENT (Figura 10 e Figura 11) [10].



Figura 10 - Protótipo HUMIVENT [10].

Observando a Figura 11, podem identificar-se os vários componentes que compõem a ventilação mecânica higró regulável [10].

Legendados de 1 a 8, representado pelo número 1 estão as sondas de temperatura. Pelo número 2, as sondas de humidade relativa. Pelos números 3 e 4 estão representados os transmissores de temperatura e humidade relativa, respetivamente. O módulo de controlo, denominado também de programador, é o número 5. Representado pelo número 6 está o Data Logger seguido do número 6 e 7, legendando a conduta de circulação do ar e o ventilador, respetivamente.

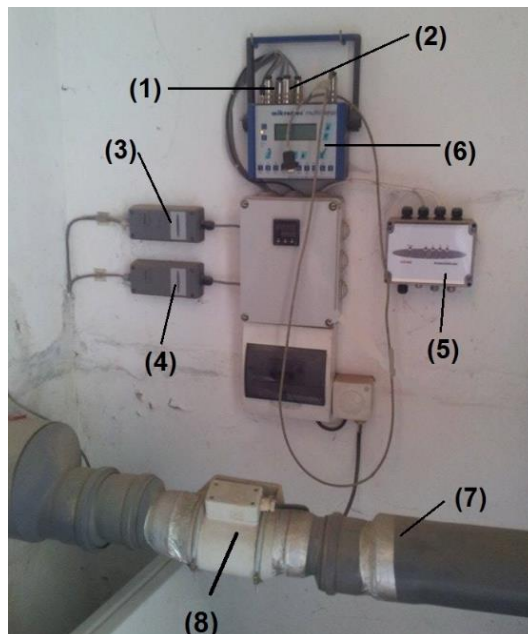


Figura 11 - Ventilação mecânica higró regulável; Pormenor dos componentes do sistema HUMIVENT.

2.4. VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DA TÉCNICA VENTILAÇÃO DA BASE DAS PAREDES

2.4.1. VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DA EFICÁCIA DA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Para validar a eficiência da ventilação mecânica foram desenvolvidos estudos experimentais por forma a avaliar a altura atingida pela frente húmida. Numa primeira configuração de ensaio, a parede não tinha ventilação junto das suas bases embora, numa segunda configuração, tenha sido aplicada uma ventilação mecânica. (Nesta fase a ventilação mecânica era implementada apenas com recurso a um regulador eletrónico que permitia uma velocidade constante e permanente de circulação de ar [5] [7] [10].

Na primeira configuração, sem recurso a ventilação, foi estudada uma parede, ladeada por areia até 45 cm de altura (ambos os lados da parede). Na configuração 2, tudo se manteve, com exceção da ventilação mecânica, que foi introduzida. Os valores de humidade relativa são registados com recurso a sondas instalados a diferentes alturas da parede (Figura 12) [10].

Tendo a validação sido realizada experimentalmente, foi assegurado que as condições de humidade e temperatura do ar responsável pela ventilação seriam semelhantes às do ar do interior do laboratório, tendo o sistema estado a funcionar permanentemente durante a realização da totalidade dos ensaios. O valor médio da temperatura rondava os 20 °C e a humidade relativa atingia valores médios de 60% [10].

Os valores de humidade apresentados na figura 13 correspondem a uma altura, em ambas as paredes, de 61,5 cm, a contar da base da parede.

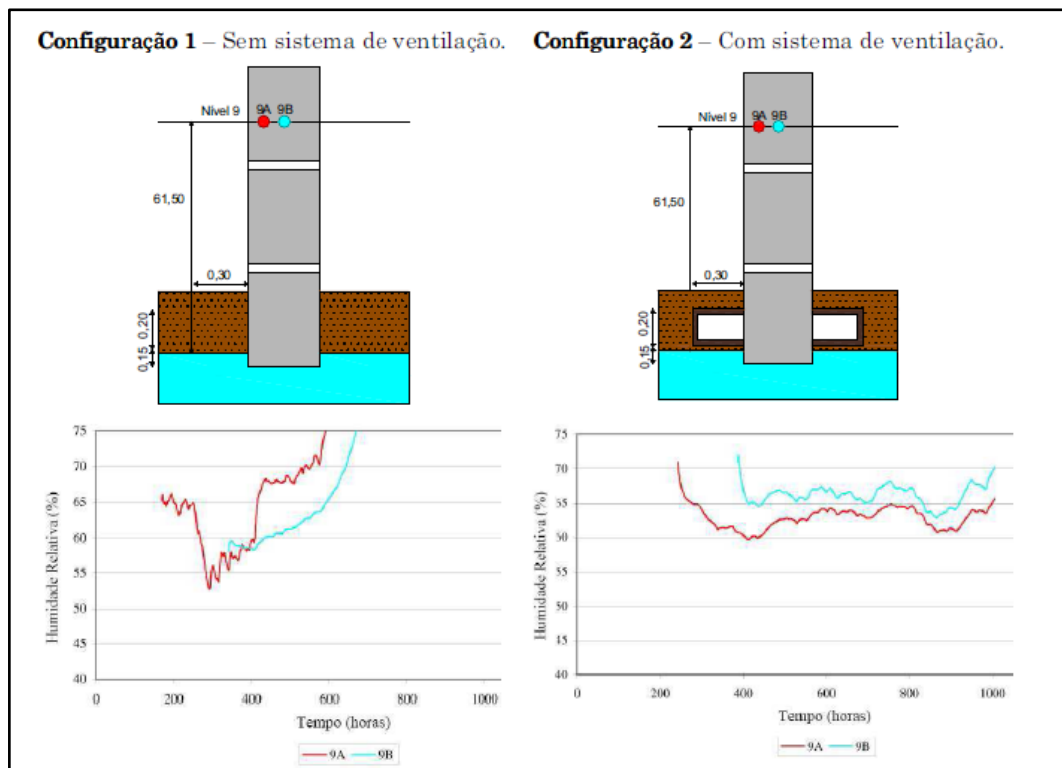


Figura 12 - Configurações ensaiadas e respetivas variações de humidade relativa a uma altura de 61,5 cm de parede [9].

Na configuração 1, a 61,5 cm de altura, a humidade relativa atingia valores de 75% ao fim de 600 horas, apresentando um rápido crescimento. Ao fim de 800 horas, a secção encontrava-se saturada.

Na configuração 2, a mesma secção atinge apenas 60% de humidade relativa ao fim das mesmas 600 horas, verificando-se um crescimento muito mais lento. Ao fim de 1000 horas, a humidade relativa permanecia constante, estimando-se a estabilização da frente húmida a esta altura (Figura 13).

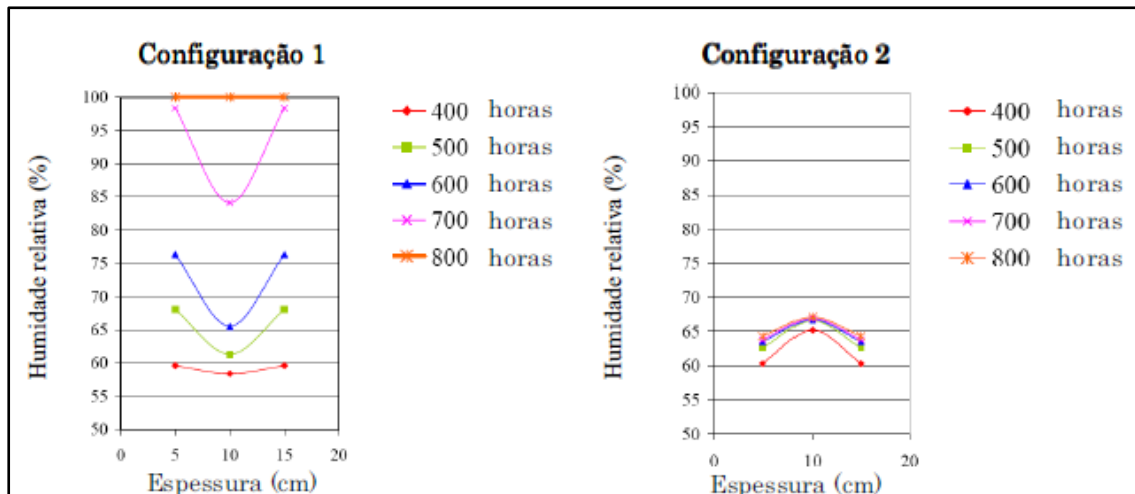


Figura 13 - Variação da humidade relativa ao longo do tempo, para a secção a 61,5 cm da base da parede [5] [10].

Os resultados obtidos experimentalmente confirmam a eficácia da ventilação mecânica da base das paredes.

Desta experiência foi possível retirar as seguintes elações [7] [9] [10]:

- Os níveis de frente húmida devido a fenómenos de ascensão capilar são tanto menores quanto maior for a evaporação e menor for a absorção da parede;
- Na configuração 2, a ascensão capilar foi mais lenta, atingindo uma altura máxima de frente húmida menor do que a configuração, sem ventilação;

2.4.2. VALIDAÇÃO *IN SITU* DA VENTILAÇÃO MECÂNICA HIGRO REGULÁVEL

Na sequência do estudo experimental anterior, procedeu-se a uma segunda validação, agora *in situ*, instalando, num edifício histórico no Norte do país (Figura 14), um sistema higro regulável de ventilação (Figura 11).



Figura 14 - Fachada do edifício [8].

Edifício patrimonial, constituído na sua quase totalidade por blocos de pedra maciça de elevada espessura unidos por material que se assemelha a uma argamassa e que é responsável pela ligação dos blocos. No interior, o pavimento é constituído por lajeado de granito. Relativamente às condições higro térmicas do local, dentro do edifício não se verificava qualquer tipo de aquecimento, existindo permanentemente um ar húmido. As fachadas viradas a Norte e Nascente do edifício manifestavam a presença de fungos e humidade e, o pavimento em algumas zonas do interior, apresentava cor escura e, humidade elevada, tal como pode ser observado pela Figura 15.



Figura 15 - Estado de conservação das paredes do edifício antes do início do tratamento [8].

A implementação do sistema de ventilação higro regulável no edifício foi dividida em duas partes. Uma primeira parte, subsistema Norte e uma segunda, subsistema Sul. O subsistema Norte admite ar proveniente do exterior do edifício e o subsistema Sul, admite ar do interior. Relativamente a este último, a admissão é realizada através de grelhas no pavimento interior e a extração efetua-se para o exterior (Figura 16).

Como primeiro critério de funcionamento do sistema, as extrações ocorriam unicamente se a humidade relativa à saída da conduta, fosse pelo menos 5% superior à humidade relativa à entrada da conduta [10].

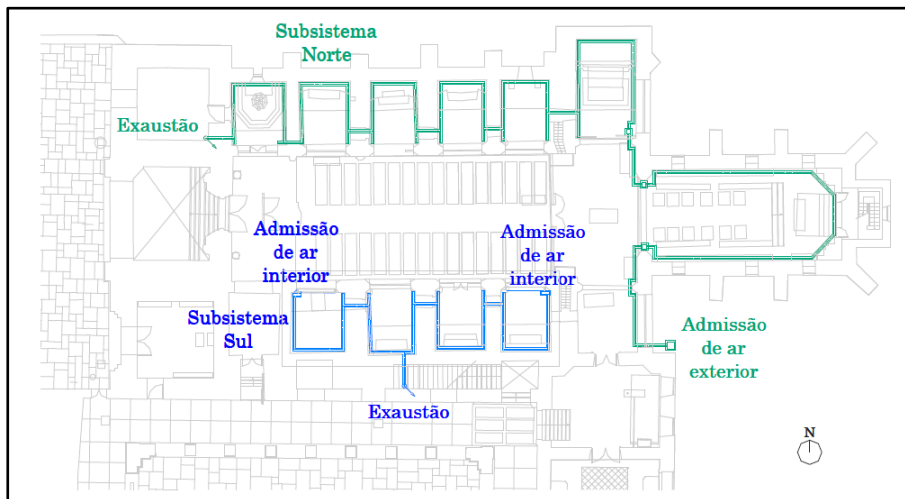


Figura 16 - Planta do edifício; Subsistema Norte e Subsistema Sul [10] [11].

Em ambos os subsistemas, Norte e Sul, a ventilação interior era realizada por admissão de ar controlada por um sistema semelhante ao apresentado na Figura 11.

Uma primeira sonda instalada à entrada do sistema de modo a avaliar as condições do ar admitido. Da mesma forma, no interior da conduta estava instalada uma segunda. A comunicação entre as sondas e o módulo de controlo é realizada através de transmissores de humidade relativa. Tendo em conta o critério imposto, o módulo de controlo liga ou desliga o dispositivo de ventilação. Todos os valores medidos são registados informaticamente de modo a ser possível uma posterior interpretação dos resultados.

De seguida apresentar-se-á os resultado da experiencia embora, apenas correspondente a um subsistema dos dois inicialmente instalados. Por motivos de avaria técnica apenas se puderam estudar os dados resultantes do funcionamento do subsistema sul.

Observando a Figura 17 onde estão apresentados os valores de pressão de vapor de água à entrada e à saída do sistema medidos durante aproximadamente seis meses, constata-se que o sistema esteve desligado durante alguns períodos de tempo embora tenha sido verificado na prática uma boa secagem das paredes. Nesta fase, o sistema funciona somente quando as diferenças de humidade relativa interior e exterior forem superiores a 5%. Este critério garante somente o funcionamento em períodos onde o ar à entrada se apresentasse suficientemente seco para secar a parede. A verde observam-se as alturas em que o ventilador esteve desligado.

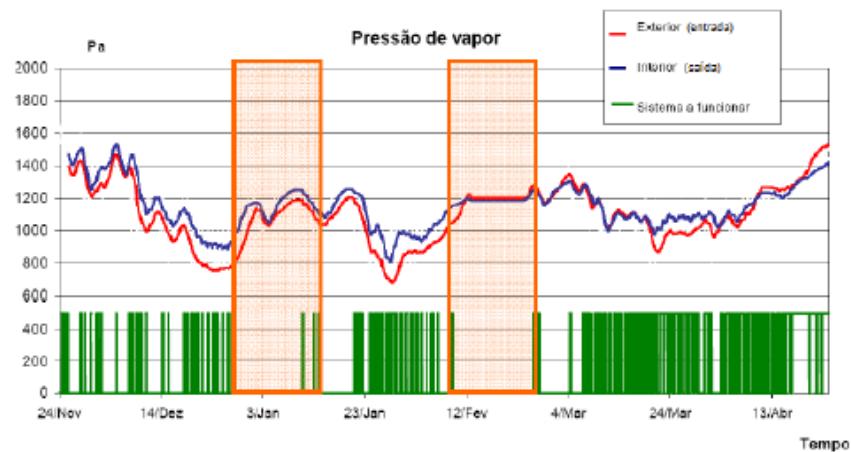


Figura 17 - Pressão de vapor à entrada e à saída do sistema; Períodos de funcionamento [9].

Observando a Figura 18, que traduz as diferenças de pressão entre a saída e a entrada, podem ser identificadas alturas onde essas diferenças de pressão são negativas, anunciando a possibilidade de ocorrência de condensações no interior do sistema.

Verifica-se que o processo de ventilação foi interrompido em várias alturas e, de igual modo, enquanto esteve em funcionamento, nem sempre se verificou a secagem da parede, o que acabou por acontecer devido à existência de condensações.

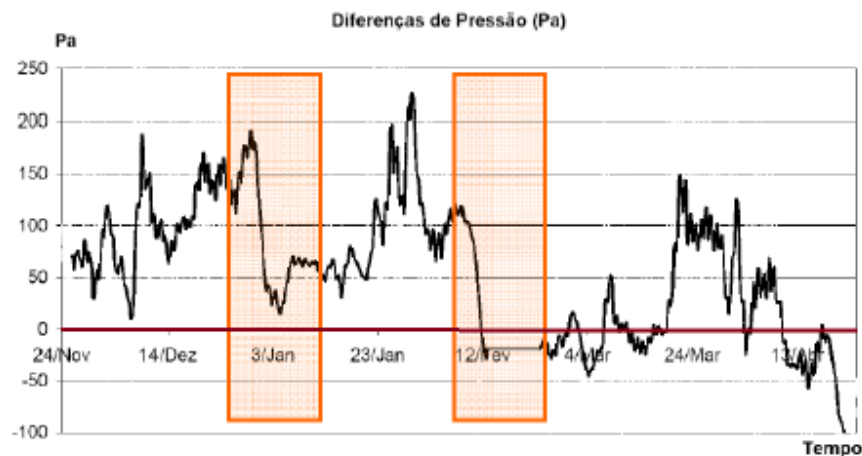


Figura 18 - Diferenças de pressão de vapor de água entre a saída e a entrada [9].

Pela análise e interpretação dos dados recolhidos durante esta validação *in situ* da técnica da ventilação da base das paredes com ventilador higró regulável, conclui-se que o sistema tal como foi testado, é uma

mais-valia para o controle da humidade ascensional embora, tenha limitações que são necessárias eliminar através da reformulação do critério de funcionamento do sistema.

Será necessário programar o sistema para funcionar em função das diferenças de pressão de vapor de água e dos valores de humidade relativa do ar e não, unicamente, em função deste último.

2.4.3. INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO SISTEMA NO PROCESSO DE EVAPORAÇÃO

Em âmbito laboratorial foi desenvolvido um novo estudo de forma a analisar a influência da configuração/geometria do sistema.

O procedimento experimental consistia em analisar a variação da frente húmida e da humidade em três configurações diferentes de impermeabilização de três paredes, com uma ventilação mecânica junto das suas bases (Figura 19) [9].

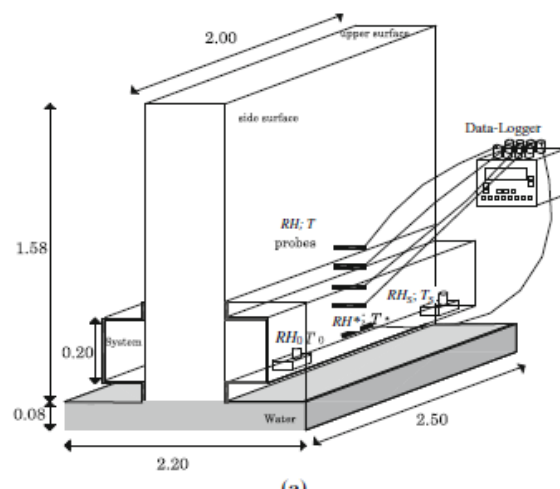
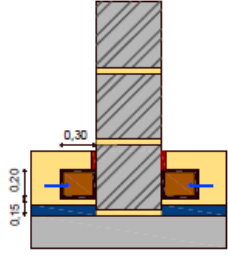
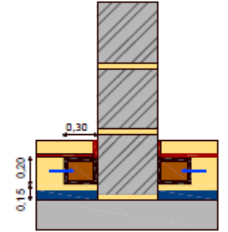
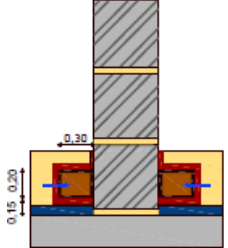


Figura 19 - Esquema do procedimento experimental [13].

As três configurações diferenciavam-se entre si somente na impermeabilização apresentada.

A configuração 2A não apresenta o sistema impermeabilizado, estando o sistema em pleno contacto com a areia que ladeava a parede. Relativamente à configuração 2B, o sistema estava impermeabilizado na parte superior, ao nível do pavimento. Finalmente na configuração 2C, o sistema estava totalmente impermeabilizado, não havendo contacto direto entre o sistema e a areia (terreno). Na tabela 1, são apresentadas as três configurações e respetivos cortes esquemáticos.

Tabela 2 - Resumos das características das três configurações ensaiadas [9].

CONFIGURAÇÃO	DESCRIÇÃO	CORTE ESQUEMÁTICO
2A	<ul style="list-style-type: none"> • Contacto direto entre o sistema e a areia; 	
2B	<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilização superior do sistema (ao nível do pavimento); 	
2C	<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilização do sistema, exceto na face em contacto com a parede; 	

Por forma a registar os valores, foi utilizado uma sonda à entrada do sistema de ventilação que era responsável pela medição de temperatura e humidade relativa.

Foram ainda instaladas três sondas fixas em cada configuração de ensaio. A primeira, responsável por medir a temperatura e a humidade relativa dentro do sistema, a meio comprimento da conduta de circulação do ar. A segunda, colocada exatamente na mesma secção do sistema embora medisse os valores de temperatura e humidade relativa na superfície da parede. Por fim a terceira sonda registava os valores de temperatura e humidade relativa à saída do sistema (Figura 20).

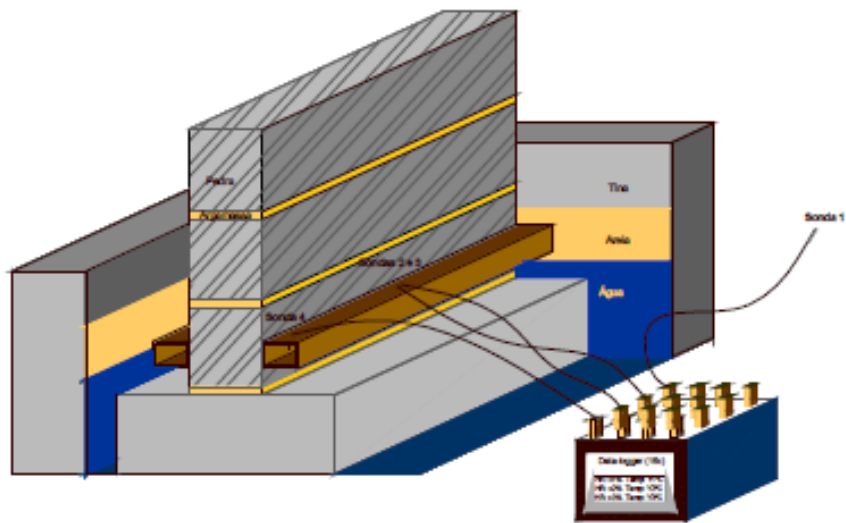


Figura 20 - Posição das sondas [9].

Durante seis meses as paredes ensaiadas estiveram em contacto com água, permitindo que a saturação se desse ao fim desse tempo. Após saturação, as paredes encontravam-se prontas para serem ensaiadas.

De quinze em quinze dias, a velocidade de circulação do ar era alterada manualmente, sendo realizadas registos de temperatura e humidade relativa através de um Data Logger instalado (Tabela 4).

Através dos valores de temperatura e humidade relativa, foram estimados, recorrendo às expressões apresentadas na Tabela 3, os valores de pressão de vapor e posteriormente determinadas as quantidades de água retiradas.

Tabela 3 - Expressões matemáticas que permitem determinar a pressão de vapor bem como a quantidade de água retirada à parede [9].

(I)	(II)	(III)
$P = e^{\frac{17.08 \cdot \theta}{234.18 + \theta}} * RH$	$w = 0.002167 * P / \theta$	$W = (w_{exit} - w_{entrance}) * Q * \Delta t$
P – Vapour pressure (Pa); θ – Temperature (°C); RH – Relative Humidity (%).	w – Absolute air humidity (kg/m ³); P – Vapour pressure (Pa); θ – Air temperature (K).	W – Quantity of water removed (kg); w_{exit} – Absolute air humidity at exit of system (kg/m ³); $w_{entrance}$ – Absolute air humidity at entrance of system (kg/m ³); Q – Ventilation flow (m ³ /s); Δt – Time interval (s).

Tabela 4 - Variação da velocidade com a duração dos ensaios [Adaptado de 9].

	DURAÇÃO DOS ENSAIOS									
DIAS	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
VELOCIDADE (M/S)	0,286	0,256	0,195	0,130	0,08	0,474	0,537	0,599	0,611	0,631

Nas configurações 2A e 2B foi possível identificar a ocorrência de condensações superficiais dentro do sistema. Os valores de pressão de vapor encontram-se mais baixos à saída do que à entrada do sistema. Na configuração 2A, o intervalo de tempo onde ocorrem condensações é bastante superior do que na configuração 2B (Figura 21). Analisando a configuração 2C, não se verifica a ocorrência de condensações.

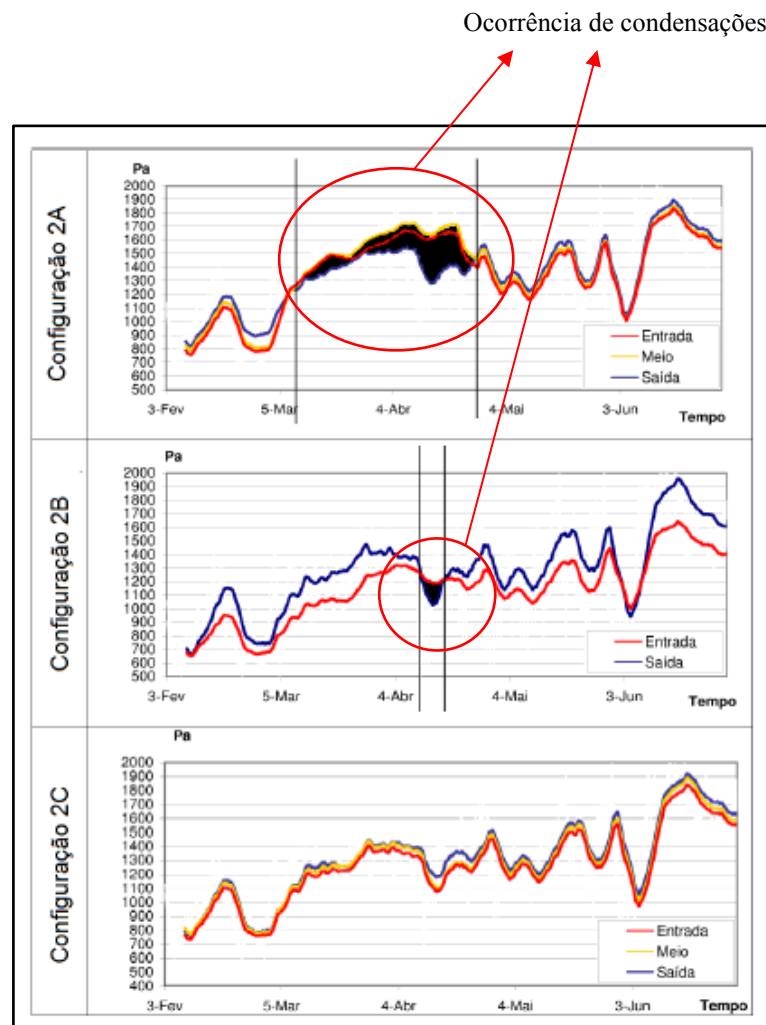


Figura 21 - Ocorrência de condensações durante os ensaios [9].

Analisando a quantidade de água retirada pelo sistema, pode-se concluir que a configuração 2B é a que retira mais água, embora, tal facto se possa dever à menor impermeabilização que apresenta, permitindo deste modo que parte da água retirada provenha do terreno e não da parede (Figura 22).

O constante declive da curva da configuração 2B leva a concluir que esta configuração estará diretamente condicionada pela variação das condições ambientais, mais concretamente pela variação da humidade relativa do ar [8] [9].

A configuração 2A é a responsável pela menor quantidade de de água retirada.

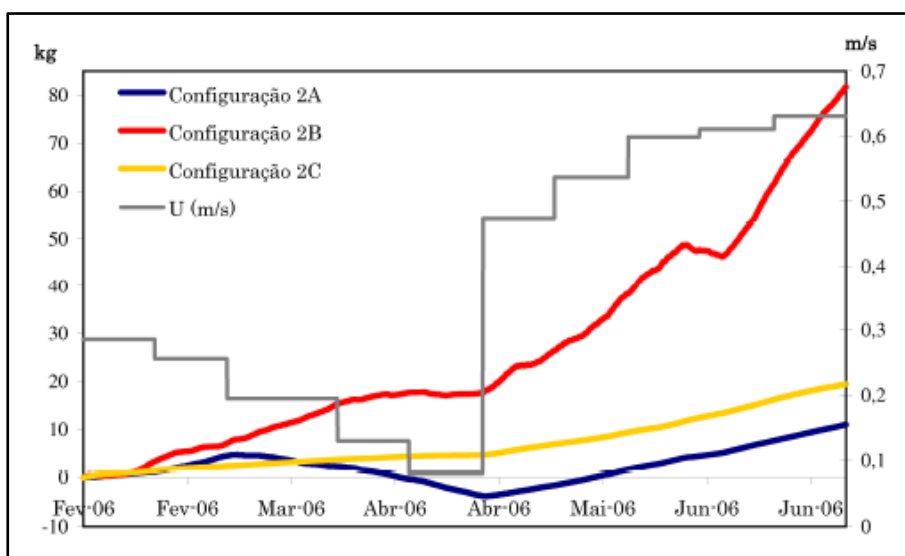


Figura 22 - Quantidade de água retirada pelo sistema de ventilação [9].

Das três configurações testadas, a configuração 2C revela-se a mais indicada e eficaz, assegurando que toda a água retirada provém da parede.

Relativamente à velocidade de circulação do ar pode-se concluir que esta não terá um papel fundamental na eficácia do sistema, sendo necessário apenas um pequeno ventilador que permita a extração do ar a baixas velocidades (com vantagens económicas e acústicas).

Tendo em conta a presença de água resultante de condensações superficiais junto à saída do sistema, pode-se concluir que o comprimento do canal de ventilação terá um papel preponderante na eficácia do sistema.

Como forma de minimizar a presença de condensações, será necessário implementar um ventilador higro regulável que permita programar os períodos de funcionamento mais favoráveis à secagem e ainda, limitar o valor da humidade relativa por forma a evitar a cristalização/dissolução de sais e à superfície das paredes.

2.4.4. NOVO CRITÉRIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA COMO FORMA DE PREVENIR A OCORRÊNCIA DE EFEITOS INDESEJADOS

Como última fase do desenvolvimento do sistema higrorregulável da ventilação da base das paredes, foi instalado no mesmo edifício, estudado em 2.4.2., um ventilador higrorregulável, mas com diferentes critérios de funcionamento.

Na primeira fase, o processo era controlado apenas pela humidade relativa. O ar era admitido no canal e a humidade relativa era medida e registada à entrada e à saída do sistema. O ventilador era acionado automaticamente sempre que a humidade relativa à saída fosse 5% mais alta face ao correspondente valor medido à entrada (Figura 23).

Nesta fase, não era tida em conta a variação da temperatura pelo que nunca se calculou, a variação da pressão de vapor. Era apenas registado o valor da humidade relativa e da temperatura à entrada e à saída embora, o sistema apenas operasse com base nos valores do primeiro [9].

Era portanto feito circular ar mais seco do que o ar que existia dentro do sistema sem ventilação.

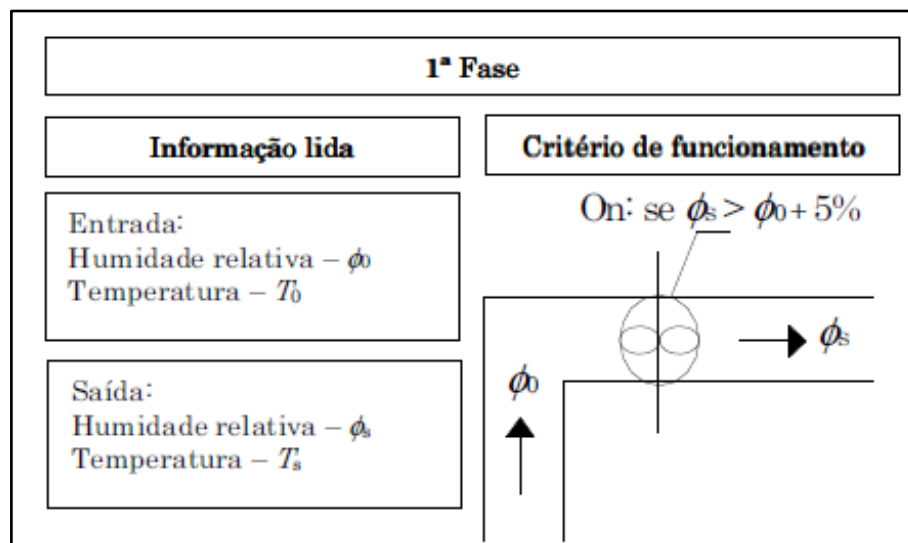


Figura 23 - Princípio de funcionamento do sistema mecânico higrorregulável (Primeiro critério de funcionamento) [9].

Tal como se pode observar nas Figuras 24 e 25, este critério não é o mais adequado uma vez que, o sistema se encontra em funcionamento em alturas onde ocorrem condensação no interior do sistema.

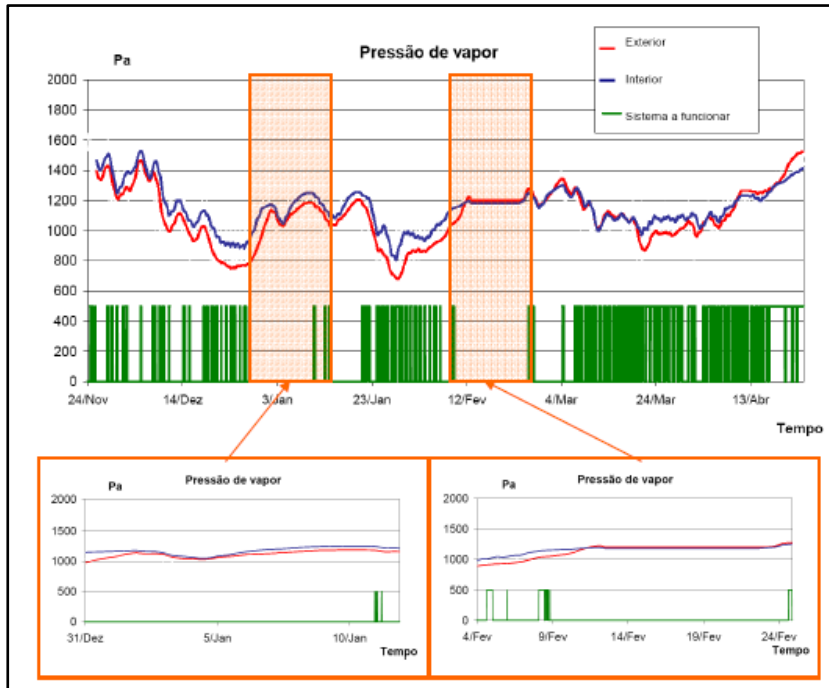


Figura 24 - Pressões de vapor de água à entrada e à saída do sistema [9].

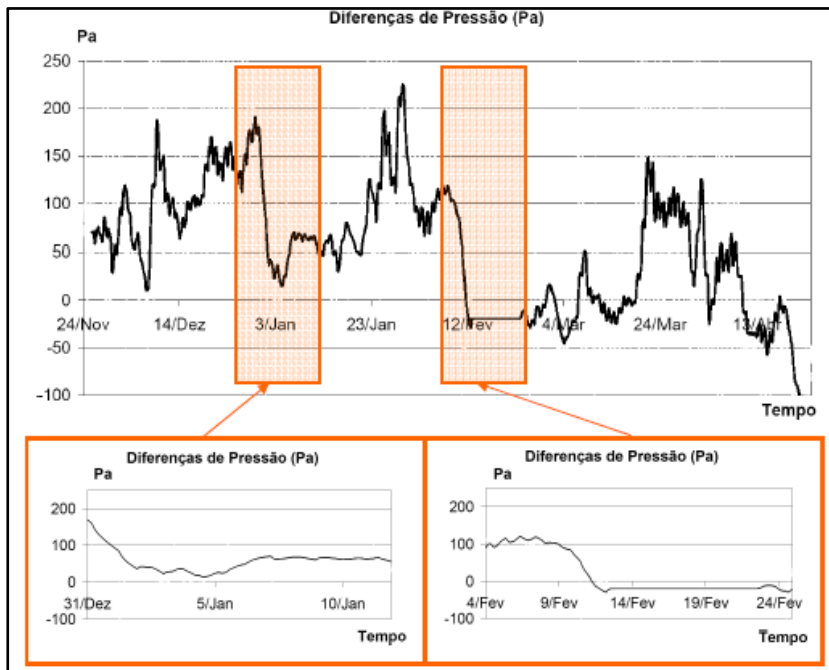


Figura 25 - Diferenças de pressão de vapor à entrada e à saída do sistema [9].

O critério mais adequado de acordo com estes resultados, deverá basear-se, não a humidade relativa, mas sim as diferenças de pressão de vapor. Deste modo, a uma diferença negativa de pressão entre a saída e a entrada, deve corresponder uma paragem do sistema. A humidade relativa deverá ser

considerada no processo de funcionamento embora não de uma forma única. O ar pode ter uma humidade relativa elevada e uma temperatura baixa, conduzindo a uma baixa pressão de vapor, favorável ao funcionamento do sistema [9].

Considera-se que a diferença de pressão de vapor entre a saída e a entrada será o critério que melhor assegurará a eficiência do processo de evaporação, prevenindo a ocorrência de condensações. Da Figura 26, é possível constatar que o sistema deverá funcionar segundo este novo critério.

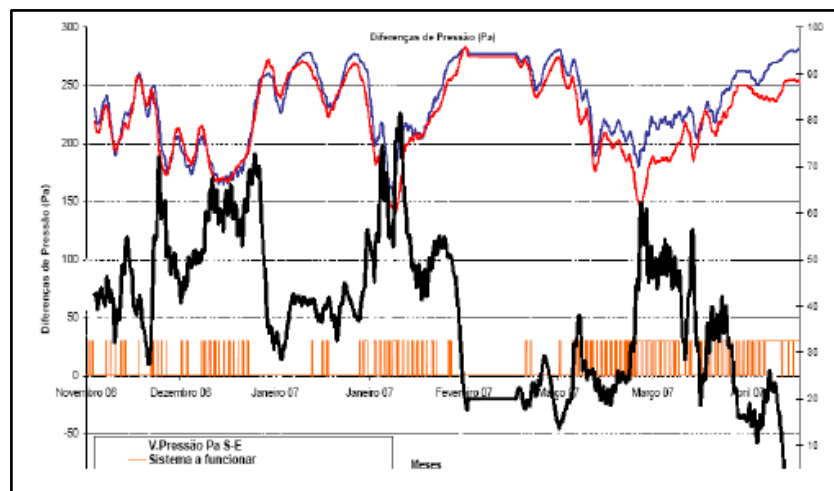


Figura 26 - Valores de humidade relativa, diferenças de pressão e períodos de funcionamento do sistema [9].

A partir do momento em que o processo de ventilação passa a depender do parâmetro variação de pressão, a programação do ventilador dá-se em duas etapas distintas:

- O ventilador entra em funcionamento em períodos onde ocorrem condensações, entenda-se diferenças de pressão negativas, e desliga-se quando o sistema não transporta humidade; As condensações são evitadas se P_s maior ou igual a P_e ; O ventilador funciona sempre que as diferenças de pressão saída/entrada sejam positivas e, desliga quando há risco de condensações (Figura 27);
- A cristalização/dissolução de sais é evitada caso a altura do sistema seja superior à altura mínima;

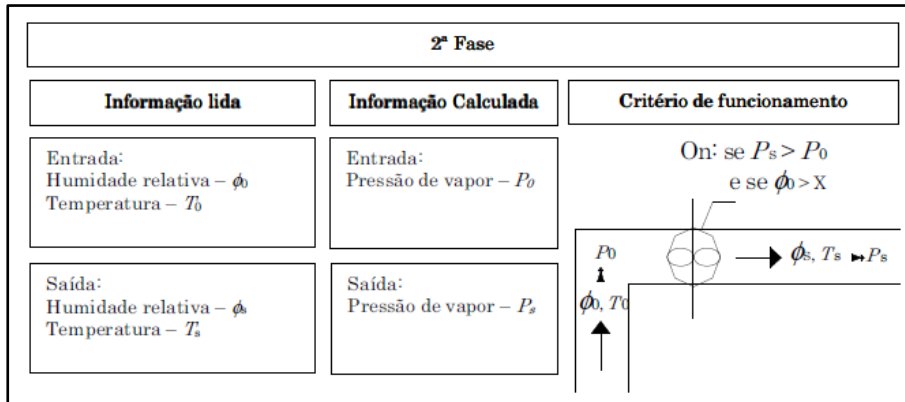


Figura 27 - Princípio de funcionamento do sistema mecânico higro regulável (Segundo critério de funcionamento) [9].

3

PROGRAMA HUMIVENT – MODELAÇÃO MATEMÁTICA

3.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

No capítulo dois, foi efetuada uma descrição física e funcional do sistema higro regulável de ventilação da base das paredes, enquanto técnica de tratamento/ Controlo da humidade ascensional em edifícios.

Do ponto de vista funcional e físico trata-se de um sistema de simples entendimento. Do ponto de vista matemático, torna-se um pouco mais complexo, sendo que neste capítulo, analisar-se-á o funcionamento do programa do ponto de vista numérico e matemático, tentando perceber os modelos, os métodos e as simplificações que estiveram na base do programa de pré dimensionamento.

De uma forma genérica, trata-se de um programa cuja principal preocupação e objetivo se centram em controlar a altura da frente húmida, isto é, a altura atingida pela humidade no interior do elemento de construção.

A altura da frente líquida irá depender da relação entre a água absorvida pela base da parede, da massa de água armazenada no interior da parede, da capacidade de evaporação da parede bem como da capacidade de evaporação do sistema de ventilação, dependendo cada um destes parâmetros, por si só, de outros parâmetros.

Neste capítulo abordar-se-á o processo de absorção do elemento de construção, explicitando e analisando os métodos e simplificações de todo o processo. De igual forma, numa fase posterior, a atenção recairá sobre o processo de evaporação por parte do elemento de construção. O desenvolvimento do processo de evaporação considerando a existência um sistema mecânico encerrará o capítulo.

3.2. ABSORÇÃO VS. EVAPORAÇÃO (MODELO SHARP FRONT)

A definição da altura atingida pela frente húmida implica o conhecimento de dois fenómenos, a absorção e a evaporação, centrando-se em dar resposta à relação entre as características da parede e a capacidade de evaporação tanto da própria parede como do sistema de ventilação.

Relativamente à absorção, esta tem um papel preponderante no processo. Sendo os materiais utilizados com mais frequência em engenharia civil, bastante porosos, a ascensão capilar nos elementos de construção apresenta um papel muito relevante nestas trocas de humidade. A sua análise baseia-se em métodos e conceitos que assentam na teoria de fluxos para meios não saturados [14] [15].

Tendo presente a complexidade do processo e da necessidade de recorrer a simulações numéricas para analisar o fenómeno em casa caso, recorre-se a um modelo simplificado que permitirá definir o fenómeno de ascensão capilar de uma forma mais simples e perceptível – modelo *Sharp Front* [10].

O modelo *Sharp Front*:

- Não considera forças de gravidade
- Não considera limite difuso entre regiões secas e húmidas (limite fixo entre regiões)
- Considera evaporação
- Considera parede em contacto com solo húmido
- Considera espessura da parede constante
- Considera uma altura de parede indefinida
- Considera parede constituída por materiais porosos

Este modelo revela-se uma boa aproximação e um bom ponto de partida para analisar o processo de absorção capilar embora, tenha sido necessário efetuar algumas simplificações. Foram consideradas as seguintes questões:

- **Sorptividade**

Tal como foi referido anteriormente, a sorptividade traduz a capacidade do material de absorver a água por capilaridade. Durante o desenvolvimento do modelo “ACE”, este parâmetro foi considerado fixo, o que em boa verdade não corresponde à realidade dado que a parede possui juntas entre os blocos cujo material será diferente do material predominante. A capacidade de absorção do material presente nas juntas poderia ser semelhante ao do material dos blocos de parede, situação ideal, mas, tal não se verifica certamente. Desta forma, a simplificação pode sobrevalorizar a capacidade de absorção ao longo da parede ou, por outro lado, subvalorizar, caso o material das juntas fosse muito absorvente.

“A interface entre camadas atrasa o processo de embebição de uma forma tanto mais acentuada quanto menor for o fluxo máximo transmitido. Esse fluxo traduz a resistência hídrica do contacto entre camadas.” [16].

- **Absorção pelas laterais da parede**

A absorção de água pela parede dá-se não só pela base como também pelas laterais da parede. Simplificadamente, ao longo do desenvolvimento do modelo foram desprezadas essas componentes da absorção. Caso se verifique impermeabilização das laterais da parede, o cenário simplificado aproxima-se da realidade não se verificando um desajuste da realidade. Por outro lado, caso não haja qualquer impermeabilização nas laterais da parede, a parcela da absorção fica subdimensionada, e a altura de frente húmida real será superior à da estimada pelo modelo [9].

- **Forças gravitacionais não consideradas**

Em estado estacionário, as moléculas de água estão sujeitas a forças gravíticas, contrárias às forças capilares. Sendo estas últimas muito superiores às gravitacionais, ao longo do modelo foram desprezadas. Desta forma, o modelo incorre numa sobrevalorização da altura da frente húmida dado que não considera forças que a ela se opõem. A não consideração das forças gravitacionais permite estabelecer cenários conservadores, ainda que embora as forças gravitacionais sejam muito pouco expressivas. Refere-se a experiência realizada em âmbito de Doutoramento por Freitas, V.P., onde foram realizados ensaios de absorção vertical e horizontal, tendo sido obtidos resultados muito próximos para ambos os casos, permitindo concluir que as forças gravitacionais são desprezíveis no que respeita à absorção. [17].

“O processo de capilaridade e ascensão capilar deve ser interpretado como fluxo em meio não saturado. Isto porque na grande maioria das vezes, os materiais não estão saturados. Caso contrário as forças capilares deixariam de ter significado... a água só poderia circular em resposta a forças externas, como a gravidade.” [10].

- **Limite difuso**

Não se considera um limite difuso entre regiões secas e húmidas. Substitui-se esse limite por uma fronteira nítida fictícia. Passa assim a ser possível calcular o fluxo de absorção de água pela parede e ainda, possível determinar a evaporação para o exterior [10].

- **Redistribuição de humidade nos poros de menor dimensão**

A teoria de Krus M. e Kunzel, H.M., onde a penetração de água nos poros de menor dimensão afeta o transporte de água nos poros capilares maiores, não é tida em linha de conta nesta análise. Não se considera a redistribuição de humidade nos poros de menor dimensão. Do ponto de experimental, os valores dos resultados permanecem quase inalteráveis e o grau de complexidade, efetuada a referida simplificação, é reduzido.

3.2.1. ABSORÇÃO

Considerando o modelo *Sharp Front* para estabelecer a relação entre a absorção e evaporação, o elemento construtivo admita-se uma parede sem ventilação pela sua base (Figura 28).

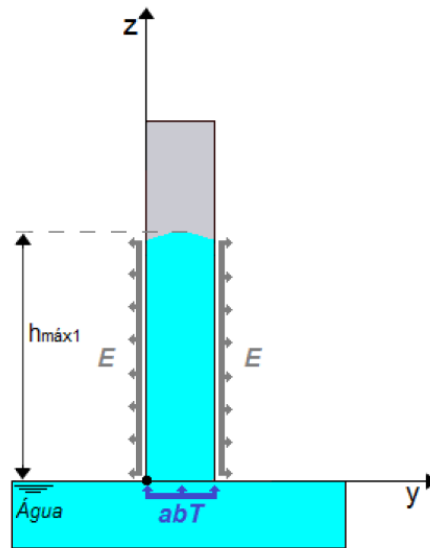


Figura 28 - Relação entre absorção e evaporação. [6]

Denominado por “ abT ”, a absorção de água pelo material dá-se até ao ponto em que se verifica uma estabilização da frente húmida na parede. Da mesma forma que o material absorve a água, também tem a capacidade de a libertar por evaporação. Representada pela letra “ e ”, a evaporação pelas superfícies laterais da parede a dada altura iguala o potencial de absorção, atingindo-se o estado de equilíbrio, querendo dizer que a altura da frente húmida estabiliza num valor de equilíbrio máximo (equação 1) [10] [18] [19].

$$abT = e \quad (\text{equação 1})$$

Estabilizada a altura máxima atingida pela frente húmida, a parede encontra-se num estado de equilíbrio, não estático, mas dinâmico, onde a água absorvida é equilibrada pela água evaporada verificando-se um fluxo constante de água na parede.

Desta forma, é possível estabelecer relações que traduzem não só a quantidade de água retida no interior da parede, como também a quantidade de água armazenada pela parede.

Relativamente à quantidade de água armazenada, esta pode ser estimada através da relação entre o teor de humidade volúmico da parede, da sua espessura e da altura atingida pela frente húmida atingido o equilíbrio. Observando a equação 2, é possível verificar que o volume total de água armazenada por metro de parede varia na razão direta do teor de humidade, da espessura e da frente húmida. O volume de água armazenado não é mais do que o produto do teor de humidade (w) da parede pelo volume de parede (afetado pela água). Efetuando a análise por metro de comprimento de parede, o comprimento de parede toma o valor unitário, obtendo-se a relação presente na expressão seguinte.

$$Q_t = w \cdot b \cdot h_{m\grave{a}x} \quad (\text{equação 2})$$

A quantidade de água absorvida iguala à água evaporada, sendo possível estimar o fluxo de água que percorre a parede.

Observando a equação 3, representado pela letra F, o fluxo de água é razão entre a capacidade de evaporação da parede, da altura de frente húmida e do número de panos de parede por onde é efetuada a evaporação. Sendo a evaporação considerada por unidade de área de superfície molhada, ao ser multiplicada pelo número de panos e pela altura de frente húmida, traduzirá a área de seção por metro de comprimento de parede através da qual é feita a evaporação.

$$F_{eq} = N \cdot e \cdot h_m \cdot \alpha \quad (\text{equação 3})$$

Conhecida a quantidade de água que permanece na parede bem como a quantidade de água que é retirada à parede (por evaporação), por unidade de tempo, é possível estimar o intervalo temporal que a água demora a percorrer a parede desde a sua base até ao exterior. Dividindo a quantidade de de água (Q_t) pelo fluxo atingido em estado dinâmico (F_{eq}), obtém-se o tempo (T) durante o qual a água permanece no interior da parede (equação 4).

$$T = \frac{Q_t}{F_{eq}} \quad (\text{equação 4})$$

Ainda relativamente à capacidade de absorção de água, a generalidade dos materiais, rege-se por uma lei que relaciona o tempo que a água permanece no interior do elemento construtivo e a sorptividade do material. (equação 5) [20].

$$i = S \cdot t^{\frac{1}{2}} \quad (\text{equação 5})$$

Este último parâmetro traduz a capacidade de absorção do material que constitui a parede e determina-se através do quociente entre o coeficiente de absorção de água e a massa volúmica da água (equação 6).

$$S = \frac{A}{\rho_w} \quad (\text{equação 6})$$

Observando a equação 2 que traduz a quantidade de água armazenada na parede, é possível constatar que esta depende fundamentalmente do teor de humidade de volúmico, tal como já foi referido em cima.

Por outro lado, a equação 5, permite constatar que o volume acumulado de água depende fundamentalmente da sorptividade do material. Igualando as duas equações e substituindo o tempo que água percorre na parede pela equação 4, obtém-se a seguinte relação (Equação 7) [10] [21].

$$h_{m\grave{a}x} = S \cdot \sqrt{\frac{b}{2ew}} \quad (\text{equação 7})$$

Conhecida a altura máxima atingida pela frente húmida, falta estimar a taxa total de absorção pela base da parede. Para tal, basta apenas determinar o volume acumulado de água absorvida (equação 5) por unidade de tempo. Derivando a expressão 5 em ordem ao tempo, obtém-se a seguinte relação (equação 8) [10] [14].

$$abT = \frac{b \cdot S^2}{2 \cdot i} \quad (\text{equação 8})$$

Sendo o volume acumulado de água absorvida por unidade de área de superfície de absorção (i) igual à quantidade de água retida na parede (Qt), obtém-se a relação que pode ser obtida na equação 9 e que, substituída na equação 8, permite calcular a taxa total de absorção de água ao longo da superfície de absorção (equação 9) [10].

$$abT = \frac{b \cdot S^2}{2 \cdot w \cdot h_{m\grave{a}x}} \quad (\text{equação 9})$$

De acordo com a expressão anterior, a parcela correspondente à absorção de água, varia diretamente com a espessura da parede e com o quadrado da sorptividade e, na razão inversa, do teor de humidade volúmico e da altura da frente húmida.

Apresenta-se na tabela 5 um resumo das expressões que estão na base da determinação da absorção de água pelo elemento construtivo.

Tabela 5 – Absorção de água pelo elemento construtivo.

EXPRESSÃO	LEGENDA
$abT = e$	Estado equilíbrio dinâmico
$Q_t = w \cdot b \cdot h_{m\grave{a}x}$	Quantidade água armazenada por unidade de comprimento de parede
$F_{eq} = N \cdot e \cdot h_{m\grave{a}x}$	Fluxo de água em estado dinâmico
$T = \frac{Q_t}{F_{eq}}$	Tempo de percurso da água dentro da parede
$i = S \cdot t^{\frac{1}{2}}$	Capacidade de absorção de água de material seco
$abT = \frac{b \cdot S^2}{2 \cdot w \cdot h_{m\grave{a}x}}$	Taxa total de absorção de água

3.2.2. EVAPORAÇÃO

Relativamente à taxa de evaporação por unidade de superfície de parede, esta pode ser determinada através de uma relação entre a altura da frente húmida e o potencial de evaporação (equação 10) [10] [22].

$$E = e \cdot h_{m\grave{a}x} \quad (\text{equação 10})$$

3.3. EVAPORAÇÃO DEVIDO A CONDIÇÕES AMBIENTAIS

3.3.1. PELO PANO DE PAREDE EXTERIOR ACIMA DO PAVIMENTO

De forma a estimar a capacidade de evaporação da parede em contacto com o ambiente exterior (Figura 29), habitualmente paredes exteriores do edifício, foram considerados dois métodos de cálculo. O primeiro, formulação de Penman-Monteith e o segundo, formulação de Oudin, L.

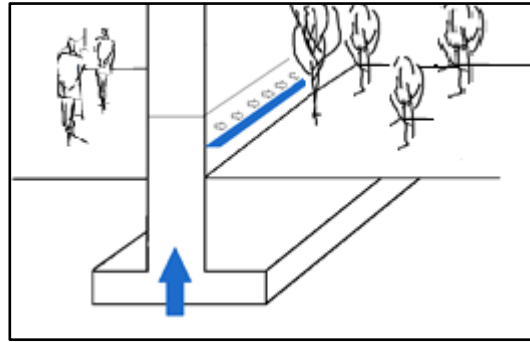


Figura 29 - Evaporação pelo pano exterior de parede acima do pavimento.

3.3.1.1. FORMULAÇÃO DE PENMAN-MONTEITH

De graus de complexidade diferentes, abordar-se-á de seguida a formulação de Penman-Monteith, mais complexa e com mais parâmetros envolvidos a condicionar o processo de evaporação (equação 11) [23] [24].

Dos doze parâmetros associados a esta formulação, seis são grandezas universais, sendo apresentado os valores de cada uma das variáveis bem como as fórmulas matemáticas de todas as outras variáveis [10].

$$e_{pm} = \left(\frac{1}{h_v \cdot \rho_w} \right) * \frac{\Delta H s n + \left(\frac{\rho_a \cdot c_p \cdot ((p_{sat}) - (p))}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \left(\frac{r_s}{r_a} \right) \right)} \quad (\text{equação 11})$$

Os valores apresentados para as grandezas universais, são determinados para uma temperatura média de 21,1 °C e uma pressão barométrica de 101,325 kPa [16].

Relativamente à massa volúmica do ar (ρ_a), o valor desta grandeza, varia com a temperatura e com a altitude embora, seja aceitável considerar o valor de 1,201 Kg/m³.

Relativamente ao calor específico do, deve ser considerado 1013 J/ (Kg.K).

O calor latente de vaporização é legítimo considerar o valor de 2,5 E106 J/ Kg.

Relativamente à massa volúmica agora da água, o seu valor é de uma tonelada por metro cubico (1000 Kg/m³).

Como grandezas universais faltam referir a constante psicrométrica e a resistência superficial, sendo os seus valores de referência 0,066 kPa/K e 70 s/m respetivamente.

Referidas as grandezas universais, falta agora explicitar os parâmetros necessário calcular com recurso a formulação matemática.

A Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar (equação 12) depende da temperatura do ar e da pressão de saturação do ar.

$$\Delta = \frac{(17,27 * 237,3 * p_{sat})}{(T_a + 237,3)^2} \quad (\text{equação 12})$$

No que diz respeito à radiação solar livre, este parâmetro depende da radiação solar incidente e do coeficiente de reflexão da superfície da parede (equação 13).

$$H_{sn} = (1 - \rho) * H_s \quad (\text{equação 13})$$

A pressão de saturação dependerá unicamente do valor da temperatura ambiente (equação 14).

$$p_{sat} = 0,611 * e^{\frac{17,27 * T_a}{237,3 + T_a}} \quad (\text{equação 14})$$

A pressão parcial de vapor de água (equação 15) dependerá apenas da temperatura de ponto de orvalho.

$$p(T_{p0}) = 0,611 * e^{\frac{17,27 * T_{p0}}{237,3 + T_{p0}}} \quad (\text{equação 15})$$

A última variável associada a esta formulação é a resistência aerodinâmica e vai depender unicamente da velocidade do vento, neste caso, medida a dois metros da superfície da parede (equação 16).

$$r_a = \left(\frac{8208}{u_2} \right) \quad (\text{equação 16})$$

3.3.1.2. FORMULAÇÃO DE OUDIN, L.

Como alternativa de determinação do potencial de evaporação, menos complexa, considerou-se como possibilidade de cálculo a formulação de Oudin, L. [25] [26].

Dependendo apenas da radiação solar e da temperatura ambiente como grandezas não universais, esta formulação revela-se de mais fácil aplicação. Apesar da temperatura ambiente não ser uma grandeza universal, não depende de qualquer fórmula matemática para ser determinada, tendo apenas que ser introduzido o seu valor.

Relativamente às grandezas universais que condicionam o processo de evaporação, identificam-se o calor latente de vaporização e a massa volúmica da água, cujos valores já foram apresentados no ponto anterior.

De seguida, apresenta-se a formulação matemática de *Oudin, L.* (equação 17).

$$e_0 = \left(\frac{He}{h_v * \rho_w} \right) * \left(\frac{T_a + 5}{100} \right) \text{ se } (T_a + 5) > 0; \text{ Senão} = 0 \quad (\text{equação 17})$$

Contrariamente ao que se verifica na formulação de Penman-Montheith, a determinação da radiação que incide na parede é um pouco mais complexa, sendo necessário recorrer a diversas fórmulas matemáticas para estimar o seu valor (equação 18).

$$H_e = \left(24 * \frac{60}{\pi} \right) * 0,082 * d_r * (w_s * \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(w_s)) \quad (\text{equação 18})$$

Para determinação do valor da radiação, esta formulação requer a introdução de quatro grandezas que por sua vez, necessitam de recurso a uma fórmula matemática para serem determinados. De seguida, apresenta-se individualmente a forma de determinação de cada um dos parâmetros que condicionam o valor da radiação solar.

Interpretando a equação 18 da esquerda para a direita, surge o primeiro parâmetro a de calcular, a distância relativa terra sol (d_r) (equação 19), que depende apenas do número de dias de calendário do ano em questão.

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * N_{dias}\right) \quad (\text{equação 19})$$

De seguida, surge o parâmetro ângulo solar do por do sol (w_s). Na equação 20, apresenta-se a fórmula de cálculo que dependerá apenas do valor da latitude (φ) e do valor da inclinação do sol (δ), bem como as fórmulas de cálculo destes dois ângulos (equação 21 e 22).

$$w_s = \cos^{-1} - \tan(\varphi) * \tan(\delta) \quad (\text{equação 20})$$

Desta forma, será necessário determinar o valor dos dois ângulos presentes na equação anterior, latitude e inclinação solar.

No que respeita à latitude, esta depende apenas do valor do angulo em graus, ocupando-se a fórmula de o converter para radianos (Equação 21).

$$\varphi = \frac{\pi}{180} * (Graus) \quad (\text{equação 21})$$

A inclinação solar depende apenas do número de dias do ano (N_{dias}), tal como se pode confirmar pela equação 22.

$$\delta = 0,409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365} * N_{dias} - 1,39\right) \quad (\text{equação 22})$$

3.3.2. PELO PANO DE PAREDE INTERIOR ACIMA DO PAVIMENTO

Analisando agora a capacidade de evaporação do pano de parede acima do pavimento contactando com o ar interior ao edifício, foram consideradas duas metodologias possíveis (Figura 30).

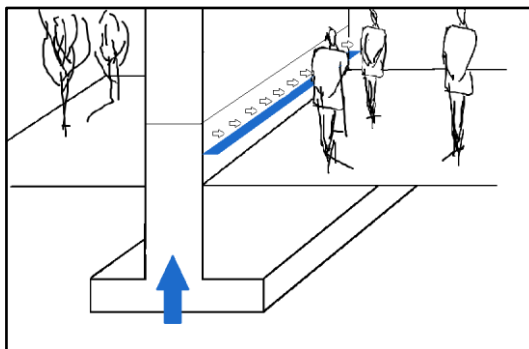


Figura 30 - Evaporação pelo pano interior de parede acima do pavimento.

De uma forma mais simplificada, um primeiro método que não considera qualquer movimento do ar interior, quer isto dizer, que o ar é considerado com velocidade nula.

De uma forma mais real, surge uma segunda interpretação. Esta não despreza o movimento do ar, apesar de este ser muito reduzido comparativamente ao vento numa fachada exterior.

3.3.2.1. AR PARADO

Considerando o ar parado, tal como o nome sugere não é considerado velocidade do ar no interior do edifício. A sua formulação recorre a duas variáveis universais e três parâmetros variáveis (equação 23) [10] [14].

$$e = \frac{D_m^*(v^* - V_0)}{\rho_w^* L} \quad (\text{equação 23})$$

Relativamente às grandezas universais, são elas o coeficiente de difusão molecular e a massa volúmica da água. Relativamente ao coeficiente de difusão molecular o seu valor é $2,5E10^{-5}$ m²/s. A massa volúmica da água é de 1000 Kg/ m³ [10].

Relativamente ao comprimento do sistema (L), um dos condicionantes da taxa de evaporação caso seja determinado por este método e não tem associado qualquer fórmula matemática.

As duas últimas variáveis que influenciam o processo são as concentrações de vapor de água quer à entrada do sistema quer à superfície da parede. Para determinar estas duas variáveis, considera-se a equação 24 [10]:

$$v = \left(\frac{M}{R * \theta} \right) * c * HR \quad (\text{equação 24})$$

Relativamente à Massa molecular de vapor de água (M), esta é uma grandeza universal assumindo o valor de 18g/ mol.

Representada pela letra R, encontra-se a constante de gases ideais e, tal como a variável anterior, também é uma grandeza universal e vale 0,082 J/ mol.K.

O valor temperatura e humidade relativa são parâmetros cujo valor tem de ser atribuído por determinação

A equação 24 acima apresentada, permite determinar o valor das concentrações quer à entrada quer na superfície da parede. A única diferença associada ao cálculo destas duas variáveis é o valor da humidade relativa que, ao se considerar a superfície da parede, este toma o valor quase de 100% dado que a parede se encontrará praticamente saturada.

3.3.2.2. AR EM MOVIMENTO

Considerando a velocidade interior do ar, a fórmula para determinar o valor da taxa de evaporação passa a ser (equação 25) [10] [14].

$$v = \left(\frac{M}{R \cdot \theta} \right) * (v * -v_0) * Dm * \frac{0,646 * Sc^{\frac{1}{3}} * Re^{\frac{1}{2}}}{L * \rho_w} \quad (\text{equação 25})$$

Relativamente ao método anterior, as únicas diferenças recaem sobre os dois parâmetros número de Schmidt e número de Reynolds. A velocidade do ar entra na determinação deste último.

Dependendo da viscosidade dinâmica da água, do coeficiente de difusão molecular e da massa volúmica da água, apresenta-se de seguida a expressão que permite determinar o número de Schmidt (equação 26).

$$Sc = \left(\frac{\mu}{\rho * Dm} \right) \quad (\text{equação 26})$$

Considerando a velocidade do ar interior, o número de Reynolds calcula-se através da equação 27.

$$Re = \left(\frac{\rho * u * L}{\mu} \right) \quad (\text{equação 27})$$

3.4. PAREDE COM VENTILAÇÃO JUNTO DA BASE

Considerando a ventilação pelo sistema, a componente de evaporação não será apenas pela parede acima do pavimento mas também pela ventilação forçada junto da base da parede (Figura 31) [10].

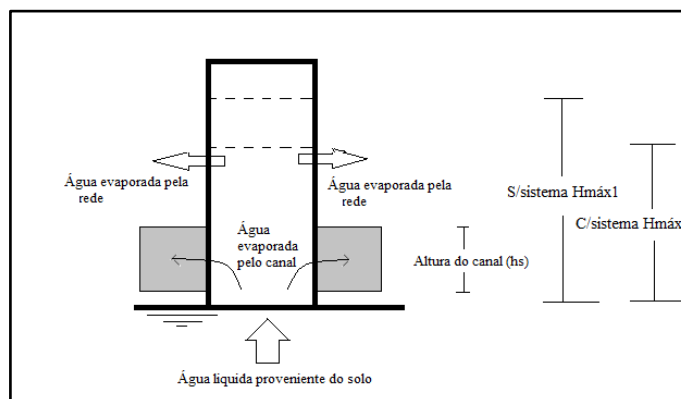


Figura 31 - Variação da altura da frente húmida com a implementação da ventilação mecânica.

Com a introdução do sistema de ventilação, surge um potencial de evaporação no interior do sistema, e_s , que, juntamente com a evaporação promovida pelas condições ambientais, “ e ”, irão igualar a componente de absorção (Figura 32).

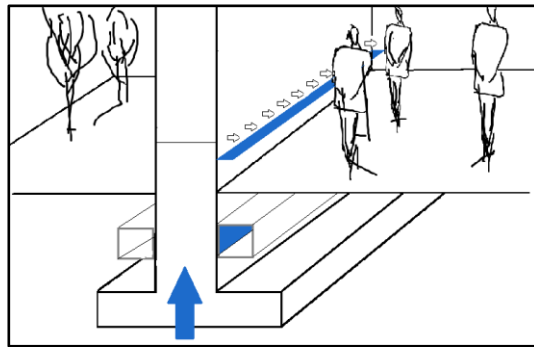


Figura 32 - Taxa de evaporação total; Evaporação pela parede e pelo sistema.

A altura máxima atingida pela frente húmida, denominada agora como $h_{m\grave{a}x2}$, será menor do que a primeira.

Tendo em conta que as condições de absorção em nada se alteram com a ventilação forçada do sistema, a expressão 9 continua válida, designando-se agora a altura atingida pela frente húmida por $h_{m\grave{a}x2}$ (equação 28) [10] [19].

$$abT = \frac{b \cdot S^2}{2 \cdot w \cdot h_{m\grave{a}x2}} \quad (\text{equação 28})$$

Relembrando a equação 3, fluxo de água na parede, era afetado pela altura da frente húmida e pela capacidade evaporativa da parede. Admitindo agora a que a evaporação se dá apenas por um pano de parede e considerando a evaporação pelo sistema, a taxa por evaporação passa a ter não só, uma parcela relativa à parede mas também, uma parcela referente à evaporação pelo sistema de ventilação junto à base. Observe-se a equação 29 [10].

$$E = e \cdot (h_{m\grave{a}x} - h_s) + (e_s \cdot h_s) \quad (\text{equação 29})$$

Observando a primeira parcela da equação, existe uma diferença face à equação 3. Na equação 3, a altura de parede por onde se efetuava a evaporação era a altura máxima da frente húmida, o que neste caso, não se verifica dado que parte dessa altura foi ocupada pelo sistema de ventilação.

Sendo o principal objetivo do modelo desenvolvido, determinar as condições de modo a ser possível cumprir o limite de frente húmida estabelecido inicialmente, basta determinar o fluxo constante de água através da parede para a altura de frente húmida que se pretende obter. Retomando a equação 29, basta apenas multiplicar ambas as parcelas por dois para que a evaporação se dê por ambos os panos de parede (equação 30).

$$E = 2 * e. (h_{m\grave{a}x} - h_s) + 2 * (e_s \cdot h_s) \quad (\text{equação 30})$$

Ao se atingir o equilíbrio absorção/ evaporação, $abT=E$, (equação 27 e 29), pode-se estabelecer a seguinte relação através da equação 31 [10]:

$$e. (h_{m\grave{a}x} - h_s) + (e_s \cdot h_s) = \frac{b \cdot S^2}{2 \cdot w \cdot h_{m\grave{a}x}^2} \quad (\text{equação 31})$$

Até ao momento, todo o raciocínio pressupôs que a altura da frente húmida fosse superior à altura do sistema, pois só dessa forma é que se verificava evaporação pela parede e pelo sistema de ventilação.

Caso a frente húmida esteja abaixo da altura do terreno/ Pavimento, não há qualquer evaporação pela superfície da parede, passando a ser o sistema de ventilação o único responsável pela evaporação da água da parede [10].

Desta forma, a altura do sistema pode ser determinada através da equação 33.

$$h_s = S \cdot \sqrt{\frac{b}{2 \cdot e_s \cdot w}} \quad (\text{equação 32})$$

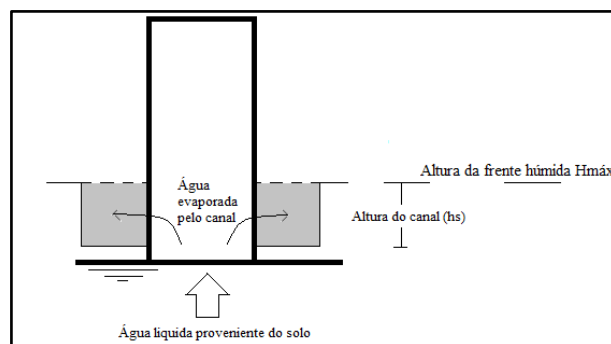


Figura 33 – Altura da frente húmida situada abaixo da parte superior do sistema, provocando uma evaporação pelo pano de parede nua.

Apresenta-se de seguida uma síntese das várias fases do modelo desenvolvido, modelo ACE [10].

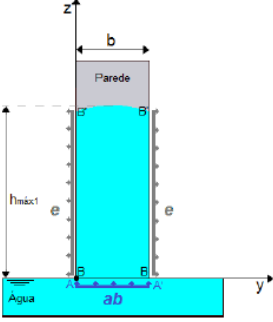
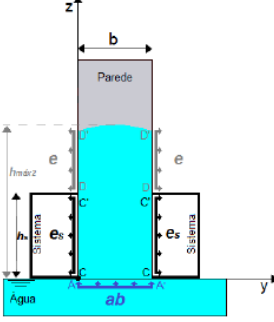
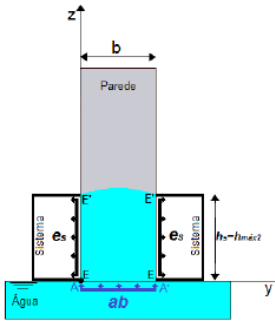
Parede sem sistema – evaporação para o exterior	Parede com sistema – evaporação para o sistema e para o exterior	Parede com sistema – evaporação para o sistema
		
Altura máxima atingida pela frente húmida – $h_{máx1}$	Altura máxima atingida pela frente húmida – $h_{máx2} < h_{máx1}$	Altura máxima atingida pela frente húmida – $h_{máx2} = h_s$
(11) $abT = \frac{bS^2}{2wh_{máx1}}$	(41) $\frac{bS^2}{2wh_{máx2}} = e(h_{máx2} - h_s) + e_s h_s$	(44) $\frac{bS^2}{2wh_{máx2}} = e_s h_s$
(12) $E = eh_{máx1}$		
(8) $h_{máx1} = S \sqrt{\frac{b}{2ew}}$	(42) $h_{máx2} = \sqrt{\frac{(e_s - e)^2 h_s^2}{e^2} + \frac{bS^2}{2ew} - \frac{(e_s - e) h_s}{e}}$	(45) $h_s = S \sqrt{\frac{b}{2e_s w}}$

Figura 34 - Quadro síntese do modelo ACE.

4

MANUAL DE UTILIZAÇÃO – PROGRAMA HUMIVENT PREDIM

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na sequência do desenvolvimento da técnica da ventilação da base das paredes, demonstrou-se haver necessidade de encontrar uma forma de dimensionar o sistema.

Para além de existir HUMIVENT como técnica de tratamento de humidade ascensional com recurso a um sistema de ventilação forçada implementado na base das paredes, surge então o HUMIVENT Predim, como programa de pré-dimensionamento desse mesmo sistema.

O programa é apresentado em formato Excel, composto por sete folhas de cálculo, devidamente programadas de modo a ser possível correlacionar os vários parâmetros envolvidos no dimensionamento, permitindo ainda que sejam feitos estudos de sensibilidade com vista à otimização da solução.

O presente capítulo consistirá, deste modo, num manual de utilização do HUMIVENT Predim onde será apresentado o programa de cálculo bem como a metodologia de utilização.

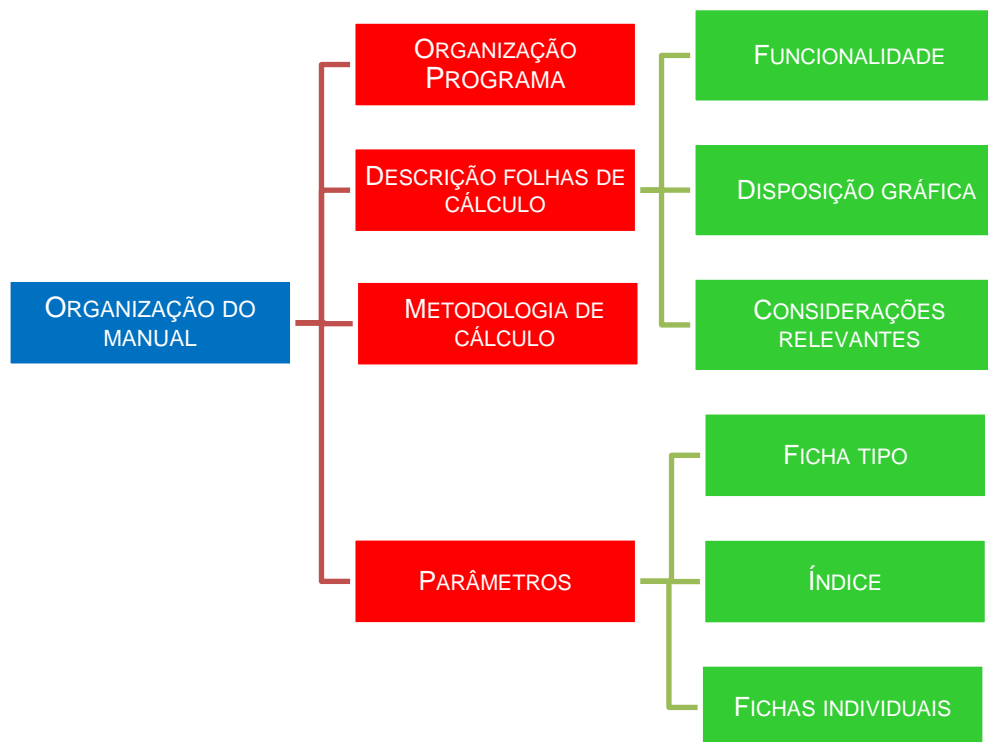
Neste manual, será apresentado inicialmente uma tabela síntese composta por três colunas - nome, função e ilustração gráfica de cada folha de cálculo que compõe o programa, respetivamente.

De seguida, será apresentada e desenvolvida de forma exaustiva, individualmente, cada uma das sete folhas de cálculo. Finalmente, estará disponível ao leitor deste manual, um conjunto de fichas individuais de todos parâmetros que estão envolvidos em todo o processo de pré dimensionamento.

Na tabela 6, resume-se a organização do manual. Apresenta em tom azul, a célula organização do manual subdivide-se em quatro células. Em tom vermelho, encontram-se os tópicos principais que dão forma a este quinto capítulo. Em tom verde, apresentam-se os subtópicos de cada um dos tópicos principais. Apresentados de cima para baixo, respeitando a sequência do texto, encontra-se a organização do programa como primeiro tópico a ser desenvolvido. Posteriormente é feita a descrição das várias folhas de cálculo onde é analisada a funcionalidade de cada folha de cálculo bem como interpretada a sua

disposição gráfica. Ainda dentro deste tópico, são incluídas algumas considerações importantes e relevantes a transmitir ao utilizador. De seguida é apresentada a metodologia de cálculo, isto é, a sequência ideal de consulta e introdução de dados no manuseamento do programa. A encerrar a organização do manual encontra-se o tópico parâmetros que por sua vez se encontra subdividido em três subtópicos – Ficha tipo, índice de parâmetros e conjunto de fichas individuais.

Tabela 6 - Organização do manual.



Refere-se a existência de um outro trabalho, realizado por Neiva, F., na sua dissertação de Mestrado, onde está presente uma síntese do funcionamento do programa HUMIVENT Predim [8].

4.2. ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA

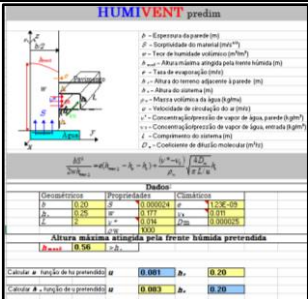
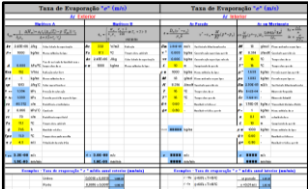
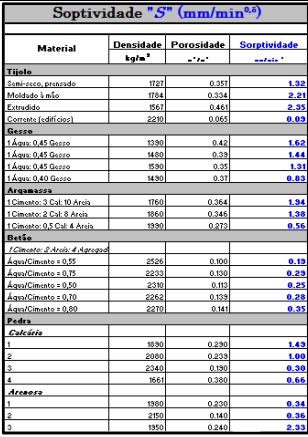
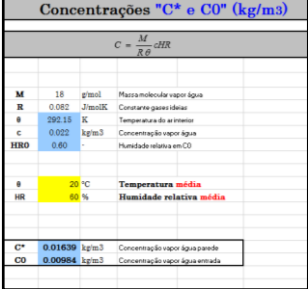
O programa consiste num conjunto de folhas de cálculo, em formato Excel, que, de uma forma automática, permitem ao utilizador pré dimensionar de uma forma rápida um sistema de ventilação da base das paredes.

Este programa pode ser dividido em três partes. Uma primeira referente à determinação dos parâmetros a introduzir seja, por consulta direta ou por cálculo automático, uma segunda parte referente à introdução de dados e obtenção da solução e uma terceira e última parte referente a estudos de sensibilidade de variáveis e otimização de resultados.

Não sendo a solução obtida através de processos iterativos (importante realçar o carácter analítico e não iterativo deste programa), esta não é mais do que uma aproximação ou estimativa da solução real. Desta forma, o programa apresentado é de pré dimensionamento e não de dimensionamento.

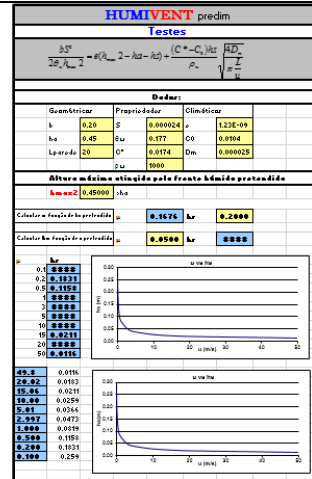
De seguida apresenta-se uma tabela resumo das várias folhas de cálculo que compõem o programa, na qual é feita uma breve descrição do propósito de cada uma.

Tabela 7 - Resumo das sete folhas de cálculo que compõem o programa [10].

Legenda	Funcionalidade	Folha de cálculo
HUMIVENT Predim	O utilizador obtém o valor da velocidade de circulação do ar e da altura do sistema de acordo com os valores introduzidos inicialmente. Havendo a necessidade de impor um determinado valor para uma das variáveis que compõem a solução de pré dimensionamento, o programa permite ainda recalcular uma nova solução.	
e (m/s)	Permite ao utilizador, calcular o valor da taxa de evaporação pela parede.	
S (m/s ^{1/2})	O utilizador poderá consultar valores tabelados do parâmetro Sorptividade. Complementarmente, permite a consulta dos valores de densidade e porosidade dos diversos materiais.	
C, C* (Kg/m ³)	Permite a determinação, por cálculo direto, do valor da concentração de vapor de água quer na parede quer à entrada do sistema.	

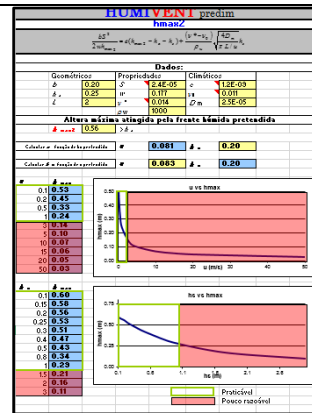
Testes

Após o pré dimensionamento do sistema estar concluído, esta folha de cálculo permite correlacionar os parâmetros velocidade de circulação do ar e altura do sistema de modo a testar a solução encontrada.



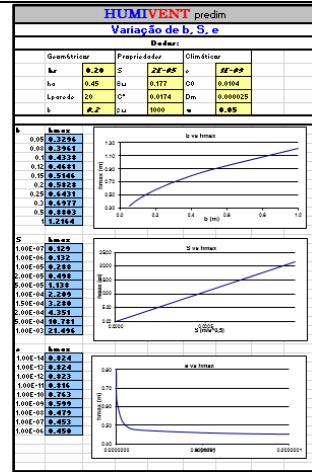
h máximo (m)

Após introdução de valores dos parâmetros que influenciam diretamente o pré dimensionamento, o utilizador pode otimizar o sistema de modo a obter valores de parâmetros viáveis do ponto da implantação prática do sistema no terreno.



b, S, e

Possibilidade de correlacionar a altura da frente húmida com três dos parâmetros – espessura da parede, sorptividade e taxa de evaporação pela parede.



4.3. DESCRIÇÃO INDIVIDUAL DAS FOLHAS DE CÁLCULO

4.3.1. FOLHA DE CÁLCULO 1 – HUMIVENT PREDIM

4.3.1.1. Funcionalidade/ Potencialidades da folha de cálculo

A presente folha de cálculo, primeira imagem e principal folha do programa, é responsável pelo pré dimensionamento do sistema de ventilação. Após a introdução dos valores dos parâmetros solicitados é

calculado um par de valores que, não são mais do que a velocidade de circulação do ar responsável pela ventilação e a altura do sistema, isto é, dos canais prismáticos por onde circulará o ar ventilado.

Após o programa pré dimensionar o sistema, o utilizador terá à sua disposição a possibilidade de, mantendo os valores dos parâmetros introduzidos inicialmente, alterar o valor obtido para a altura do sistema e obter uma nova velocidade de circulação bem como pelo contrário, alterar a velocidade de circulação e obter nova altura do sistema. Esta última função disponibilizada tem como grande objetivo permitir reequacionar a solução obtida caso haja alguma condicionante do ponto de vista prático da implementação da solução no terreno.

4.3.1.2. Descrição/Disposição gráfica da folha de cálculo

A folha de cálculo é composta por três campos principais. Na parte superior de folha, com um carácter meramente informativo dos parâmetros que entrarão no pré dimensionamento bem como da formulação matemática que está na base de todo o processo, surge o primeiro campo.

Um segundo campo destinado à introdução de dados e por último, um campo destinado à apresentação e à correlação dos parâmetros que compõem a solução de pré dimensionamento.

O primeiro campo encontra-se subdividido em duas partes. Numa primeira parte é apresentada a imagem que traduz todo o processo de troca de humidade entre a parede e o sistema mecânico. De seguida, surge a forma numérica de traduzir o processo, isto é, a formulação matemática com vista ao pré dimensionamento.

Relativamente à introdução de dados, o programa subdivide os dados em climáticos, geométricos, propriedades do material e por ultimo, altura máxima atingida pela frente húmida na parede.

Introduzidos os dados no programa, falta apenas obter a solução. Presente na parte inferior da folha de cálculo surge, desta forma, o campo destinado ao par de valores que compõem a solução.

Em seguida, apresenta-se a folha de cálculo com cada um dos campos referidos em cima, devidamente explicados e legendados.

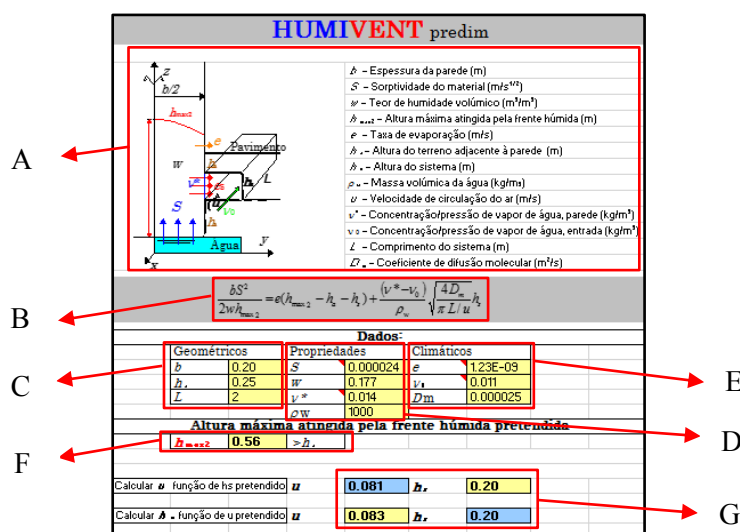


Figura 35 - Folha de cálculo número um.

Analisando a folha de cálculo de cima para baixo, começa por ser apresentado ao utilizador a figura esquemática, devidamente legendada e representada pela letra A, que traduz o movimento da água ao longo da parede bem como o processo de absorção e evaporação, isto é, as trocas de humidade entre a parede e o sistema de ventilação. Ao consultar a figura 2, poderá ser observada de forma mais evidente o fenómeno de absorção/ evaporação de água líquida que está a ser absorvida pela base da parede e, parte dela sobe estado gasoso, a ser evaporada e transportada para o exterior através dos canais de ventilação que compõem o sistema (Figura 36).

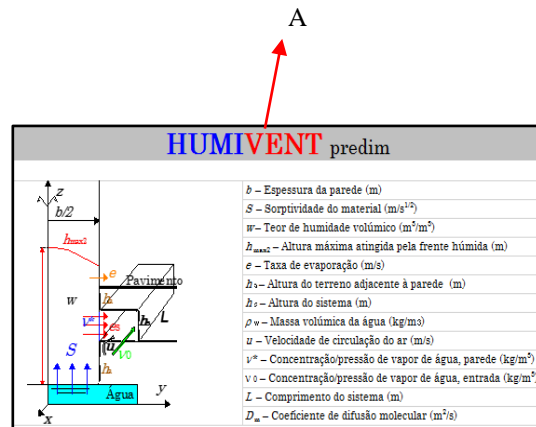


Figura 36 - Esquema da troca de humidade entre a parede e o sistema de ventilação.

Ainda nesta folha de cálculo e representada pela letra B, é apresentada a equação matemática responsável pelo pré dimensionamento do sistema (Figura 37).

Nesta equação, surgem duas incógnitas – a velocidade de circulação do ar e a altura do sistema, que correspondem aos valores que se pretendem pré dimensionar.

B

$$\frac{bS^2}{2wh_{max2}} = e(h_{max2} - h_a - h_s) + \frac{(v^* - v_0)}{\rho_w} \sqrt{\frac{4D_m}{\pi L/u} h_s}$$

Figura 37 - Fórmula matemática do pré dimensionamento.

Tal como foi analisado no capítulo três, o princípio teórico de funcionamento deste sistema de tratamento de humidade em paredes, recorrendo à ventilação forçada pela base, consiste numa troca de humidade entre a base da parede, a superfície da própria parede e o sistema mecânico implementado.

De forma simples, todo o processo se resume a uma relação controlada entre absorção e evaporação de água.

Tabela 8 - Parcelas que compõem a equação de pré dimensionamento.

FÓRMULA	LEGENDA
$\frac{bS2}{2whmax2}$	Parcela relativa à absorção de água líquida pela base da parede
$e(h_{max2} - h_a - h_s)$	Parcela relativa evaporação pela parede acima do pavimento
$\left(\frac{\theta^* - \theta^0}{\rho_w}\right) * \sqrt{\frac{4Dm}{\pi L}} * h_s$	Parcela relativa evaporação pelo sistema mecânico (Higro regulável)

Feita já referência ao processo matemático do pré dimensionamento, falta agora introduzir os dados requisitados pelo programa. Para tal e, ainda na mesma folha, é apresentado um quadro de dados, subdividido em três categorias – geométricos, propriedades e climáticos -, estando representados pelas letras C, D e E, respetivamente.

Nesta tabela o utilizador deverá introduzir os valores correspondentes aos parâmetros pedidos nas células a tom de amarelo.

Dados:					
Geométricos		Propriedades		Climáticos	
<i>b</i>	0.25	<i>S</i>	0.000303	<i>e</i>	2.7E-08
<i>h_s</i>	0.40	<i>w</i>	0.2	<i>v₀</i>	0.776
<i>L</i>	3	<i>v*</i>	0.828	<i>Dm</i>	0.000025
		<i>ρ_w</i>	1000		

Figura 38 - Tabela de introdução de dados necessários ao pré dimensionamento.

Relativamente aos dados geométricos, são pedidos três parâmetros que serão impostos diretamente pelo utilizador, sendo eles, a espessura da parede a tratar, a altura do terreno adjacente à parede e o comprimento total do canal por onde circulará o ar responsável pela ventilação.

Relativamente às propriedades do material da parede, o utilizador terá que introduzir o valor da sorptividade do material constituinte da parede, teor de humidade volúmico, concentração de vapor de água na parede e a massa volúmica do fluido, neste caso, a água.

No que respeita ao valor da sorptividade, este resulta do quociente entre o coeficiente de absorção de água e a massa volúmica da água, que, na prática traduz a maior ou menor capacidade da água ascender pela parede por capilaridade. Mais adiante será apresentada uma outra folha de cálculo deste programa que consiste numa base de dados de valores para a sorptividade de vários materiais.

De qualquer modo aconselha-se a leitura da ficha individual deste parâmetro para uma informação mais detalhada, ficha essa que está em anexo a este documento.

A segunda propriedade do material, pedida pelo programa, teor de humidade volúmico, representa em média a quantidade de água por unidade de volume do material, ao longo da região molhada da parede. O valor deste parâmetro pode ser determinado experimentalmente por medição direta do teor de humidade ou, caso não seja possível, estimado através da seguinte relação com a porosidade do material (equação 33):

$$W = 0,85 * \varepsilon \quad (\text{equação 33})$$

Para facilitar a determinação deste parâmetro é disponibiliza, na terceira folha de cálculo do programa, uma listagem de valores de porosidade para diversos materiais.

O valor do parâmetro teor de concentração/ pressão de vapor de água na parede pode ser determinado através da quarta folha de cálculo do programa com a introdução de temperatura e humidade relativa médias do ar ambiente.

Relativamente aos dados climáticos, a taxa de evaporação terá uma folha de cálculo que lhe é destinada na medida em que, a evaporação pode ser realizada quer por ar proveniente do exterior do edifício quer por ar proveniente do interior. Para cada uma destas situações, existem dois modos de cálculo, havendo portanto quatro valores possíveis para a taxa de evaporação. Mais à frente será analisado com mais detalhe a determinação deste parâmetro quando for apresentada a folha de cálculo número dois.

À semelhança do que foi referido para a concentração/pressão de vapor de água na parede, a concentração/ pressão de vapor de água à entrada do sistema é calculada na folha de cálculo número quatro em simultâneo com a determinação do valor do parâmetro na parede.

Como último parâmetro climático pedido, o coeficiente de difusão molecular, não terá um cálculo auxiliado pelo próprio programa, tendo este que ser determinado totalmente pelo utilizador através da equação (34), onde T é o valor da temperatura ambiente em graus Celcius (°C):

$$Dm = 2,23 * 10^{(-5)} * \left(\frac{T+273,15}{273,15} \right)^{1,5} \quad (\text{equação 34})$$

Na figura 5, apresenta-se um resumo do procedimento apresentado para uma mais rápida perceção dos parâmetros necessários a fornecer ao programa com vista ao dimensionamento do sistema.

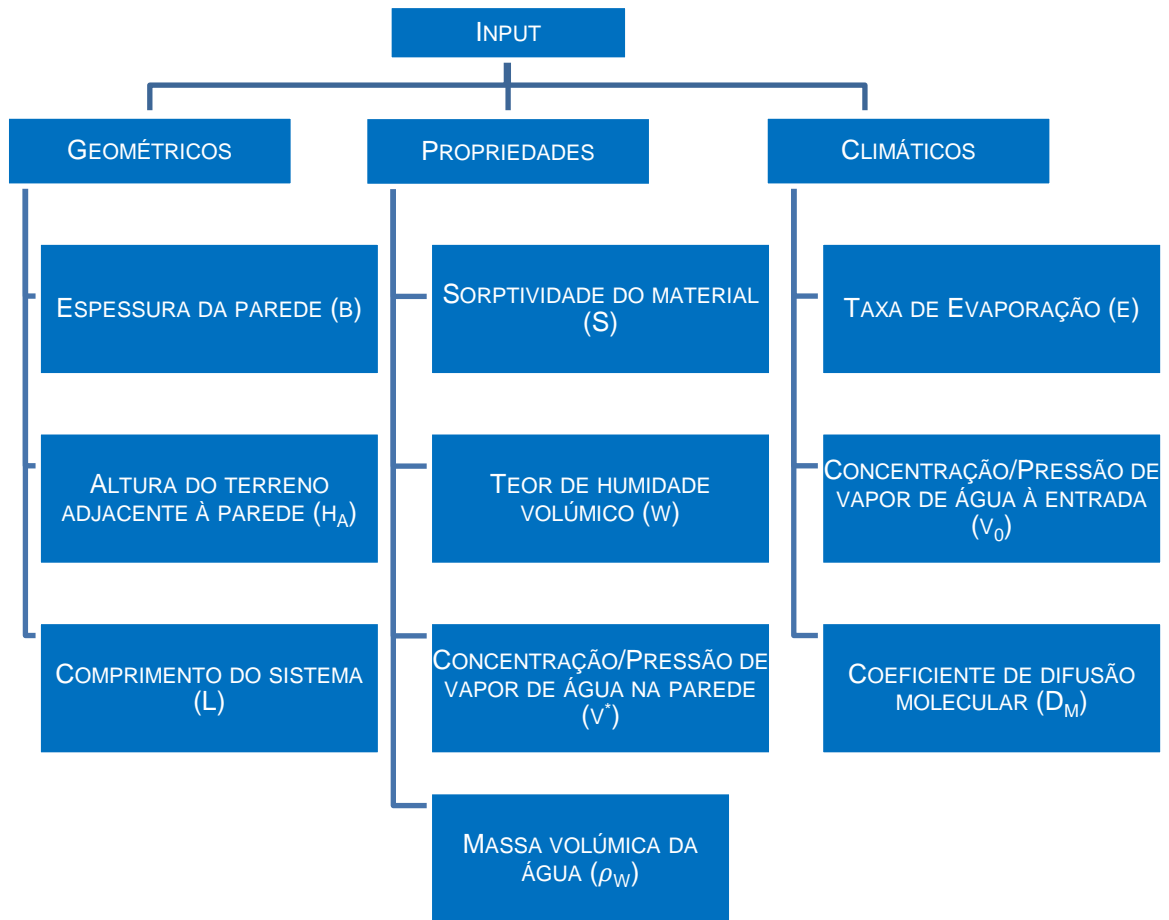


Figura 39 - Esquema resumo dos parâmetros necessários para obter o pré dimensionamento.

Separado do quadro dos dados de entrada do programa, isto é, dos dez parâmetros que foram apresentados anteriormente, encontra-se representado pela letra F, imediatamente antes dos dados de saída do pré dimensionamento, um parâmetro cujo valor é necessário que o utilizador defina e consiste na altura máxima da frente húmida.

Nesta célula a amarelo, o utilizador deverá atribuir o valor que pretender acima do qual não haverá água líquida na parede. Corresponde à altura máxima aceitável para a frente húmida.

Note-se que o valor atribuído tem de ser superior a altura do terreno adjacente. Para evitar erros na introdução dos dados, o programa identifica a condição na célula de fundo branco, à direita da célula a amarelo onde irá ser introduzido o valor.


F

Altura máxima atingida pela frente húmida pretendida			
h_{max2}	0.56	$> h_s$	

Figura 40 - Introdução do valor da altura máxima atingida pela humidade na parede.

Na sequência da introdução dos dados *input* do programa obtém-se a solução de dimensionamento e interpretar os resultados obtidos. Para encerrar a folha de cálculo número um, o programa usa a parte inferior da folha identificada pela letra G, para apresentar os dados do pré dimensionamento. Relativamente à segunda funcionalidade associada a esta folha de cálculo, o utilizador poderá, mantendo os parâmetros introduzidos inicialmente, impor novos valores de velocidade do ar e obter a altura do sistema correspondente e vice-versa.

G



Calcular u função de h_s pretendido	u	0.142	h_s	0.20
Calcular h_s função de u pretendido	u	0.083	h_s	0.33

Figura 41 - Apresentação dos valores de pré dimensionamento; Velocidade de circulação do ar vs. Altura do sistema.

O programa apresenta a solução tendo em conta os valores que o utilizador introduziu inicialmente. A solução de pré dimensionamento do sistema de ventilação consiste assim num par de valores: velocidade de circulação do ar de ventilação e altura do canal por onde circulará esse mesmo ar. Importante esclarecer que a solução do pré dimensionamento é composta por duas variáveis não sendo por isso possível, determinar apenas uma solução. Existem tantas soluções quantas as que o utilizador quiser. Para cada valor de velocidade existe uma altura do sistema e vice-versa. Deste modo, o programa apresenta duas soluções possíveis, o par de valores 0,142 e 0,20 e o par 0,083 e 0,33, apresentados na figura seguinte rodeados a vermelho.

Calcular u função de h_s pretendido	u	0.142	h_s	0.20
Calcular h_s função de u pretendido	u	0.083	h_s	0.33

Figura 42 - Solução inicial de pré dimensionamento.

Ao serem analisados os resultados obtidos, tais valores podem não ser compatíveis com os objetivos do utilizador, destacando-se por exemplo, a impossível implementação da solução no terreno.

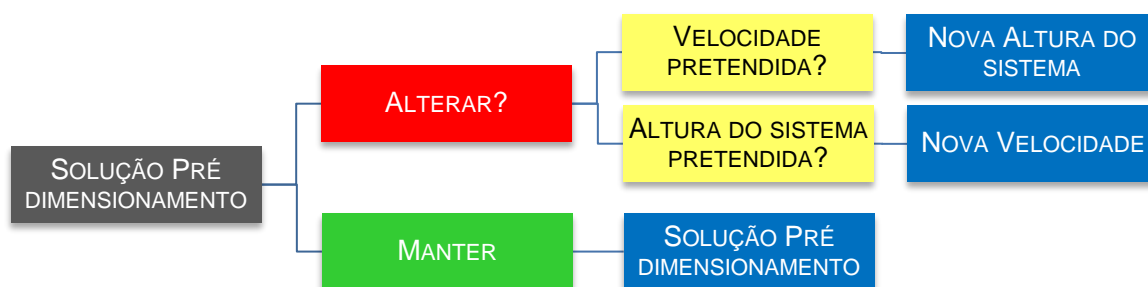
Deste modo, o utilizador dispõe de uma ferramenta que lhe permite, tal como já foi referido ao serem evidenciadas as funções e potencialidades desta folha de cálculo, correlacionar a velocidade de circulação do ar e a altura do sistema.

De seguida é apresentada uma tabela resumo que permitirá ao utilizador ter uma perspetiva mais concreta desta ultima funcionalidade.

A tabela deve ser analisada de cima para baixo e da esquerda para a direita, estando as cores de em concordância com o campo G da folha de cálculo 1.

Após analisar a solução, o utilizador pode manter os valores apresentados pelo programa para a velocidade do ar e a altura do sistema, hipótese representada a verde pela coluna da esquerda na tabela 4. Observando agora a vermelho, coluna da direita, a alteração da solução do pré dimensionamento pode efetuar-se de duas formas, impondo um valor para a velocidade ou impondo uma altura para o sistema. Quer se verifique a primeira ou a segunda hipótese, o valor da outra variável que compõe a solução, será recalculado em função do valor introduzido.

Tabela 9 - Alterar a solução de pré dimensionamento correlacionando a velocidade e a altura do sistema.



- Redimensionar a velocidade de circulação do ar

Mantendo os valores introduzidos inicialmente no campo “Introdução de dados”, o utilizador irá impor um novo valor para a velocidade e obter uma nova altura para o sistema. Naturalmente, se aumenta a velocidade de circulação do ar, o sistema reduzirá a altura para o mesmo nível atingido pela frente húmida. De igual forma, se o novo valor introduzido para a velocidade se verificar mais baixo do que o valor inicial lançado pelo programa, a altura do sistema terá de compensar essa diferença, assumindo um valor mais elevado.

De seguida, apresentar-se-á um exemplo prático que permitirá ao leitor ter uma maior perceção desta funcionalidade.

Ao introduzir todos os dados necessários, o programa apresenta uma solução de pré dimensionamento com os seguintes valores nas células a de azul.

Tabela 10 - Solução de pré dimensionamento.

SOLUÇÃO INICIAL DE PRÉ DIMENSIONAMENTO LANÇADA PELO PROGRAMA				
Calcular u função de h_s pretendido	u	0.095	h_s	0.20
Calcular h_s função de u pretendido	u	0.150	h_s	0.13

Ao analisar os valores apresentados, o utilizador considera ser possível, tendo em conta as características físicas do edifício a tratar e das condições climáticas do local onde este está edificado, fazer circular o ar a uma velocidade superior.

Deste modo, será alterado a célula a amarelo relativa ao parâmetro velocidade e, corre-se o programa obtendo um novo valor para a altura do sistema, apresentado na célula à direita a azul.

Tabela 11 - Alteração da solução de pré dimensionamento por imposição da velocidade do ar.

REDIMENSIONAMENTO DA VELOCIDADE DE CIRCULAÇÃO DO AR				
Calcular u função de h_s pretendido	u	0.095	h_s	0.20
Calcular h_s função de u pretendido	u	0.300	h_s	0.08

INTRODUÇÃO DO NOVO VALOR DA VELOCIDADE

Por determinadas razões, o utilizador decide que a velocidade de circulação deve de ser, por exemplo, 0,30 e não 0,15 m/s.

Para o novo valor de velocidade (0.3 m/s), o utilizador obtém uma nova altura do sistema de 0.08m em vez dos 0.13 m da solução inicial.

Nota: Aumentou a velocidade, diminui a altura do sistema.

- Redimensionar a Altura do sistema

De forma análoga, todo o raciocínio anterior relativamente à velocidade de circulação do ar pode ser aplicado no redimensionamento da altura do sistema.

Recorrendo ao exemplo prático usado no redimensionamento da velocidade, o utilizador pretenderá agora impor não um novo valor para a velocidade mas sim, um novo valor para a altura do sistema. Deste modo, após introduzir o novo valor da altura do sistema na célula a amarelo, o programa apresentará à sua esquerda na célula a azul, o novo valor da velocidade.

Tabela 12 - Alteração da solução de pré dimensionamento por imposição da altura do sistema.

REDIMENSIONAMENTO DA ALTURA DO SISTEMA				
Calcular u função de h_s pretendido	u	0.053	h_s	0.40
Calcular h_s função de u pretendido	u	0.150	h_s	0.13

Para o novo valor da altura do sistema (0.4 m), o utilizador obtém uma nova velocidade de circulação do ar de 0.053 m/s em vez dos 0.095 m/s da solução inicial.

Nota: Aumentou a altura do sistema, diminui a velocidade de circulação do ar.

INTRODUÇÃO DO NOVO VALOR DA ALTURA DO SISTEMA

Por determinadas razões, o utilizador decide que a altura do sistema deve de ser 0,40 e não 0,13 m.

4.3.1.3. Considerações importantes

No preenchimento desta primeira folha de cálculo, o utilizador é forçado a introduzir, tal como foi apresentado no ponto 4.3.1.2., entre outros, os valores de sorptividade (S), comprimento do sistema (L) e altura máxima atingida pela frente húmida ($h_{máx}$).

Torna-se pertinente realçar algumas particularidades associadas a estes três parâmetros:

- No que diz respeito ao comprimento do sistema (L), se o valor que o utilizador pretender testar for elevado, é aconselhável subdividir o sistema de modo a diminuir a sua extensão. Tal explica-se pelo facto do sistema quanto maior for, maior será o percurso que o ar responsável pela evaporação terá de percorrer dentro do canal. Tal como foi desenvolvido no capítulo três, o ar que circula dentro do canal irá, partindo do princípio que a sua humidade relativa será inferior à da parede, absorver humidade presente na parede até atingir o estado de saturação, provocando fenómenos de condensações. Quanto menor o comprimento do canal, menor a probabilidade do ar circulado atingir a saturação e, conseqüentemente, evitam-se condensações dentro do sistema;
- Relativamente ao parâmetro sorptividade (S), é de extrema relevância referir que, a base de dados fornecida pelo programa na terceira folha de cálculo contém valores médios e não valores exatos. Igualmente referido no capítulo três, as paredes alvo de estudo na sua grande maioria, terão juntas de ligação entre os blocos que formam a parede. Devido ao desconhecimento dos materiais que constituem essas mesmas juntas, não é possível determinar a sua capacidade de absorver a água líquida. Deste modo, foi feita uma simplificação e os valores tabelados dizem respeito a paredes monolíticas constituídas pelos diversos materiais apresentados na base de dados, podendo assim, o valor da sorptividade consultado ser sub ou sobrevalorizado caso a capacidade de absorção de água do material presente nas juntas seja maior ou menor, respetivamente, em relação à dos blocos da parede;

- Finalmente, relativamente à altura máxima atingida pela frente húmida ($h_{m\acute{a}x}$), o valor atribuído tem de ser sempre superior à altura do terreno adjacente à parede. Esta imposição prende-se com o facto de que, se tal não se verificar, a água líquida fica abaixo do canal de ventilação, não fazendo qualquer sentido o pré dimensionamento. Deste modo, a parcela relativa à taxa de evaporação pelo sistema mecânico seria nula.

4.3.2. FOLHA DE CÁLCULO 2 - TAXA DE EVAPORAÇÃO

4.3.2.1. Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo

Tal como foi abordado e explicado nos capítulos anteriores, o processo de evaporação da humidade presente na parede dá-se por duas vias, pelo próprio sistema e pela parede acima do pavimento. Deste modo, a quantidade de água retirada pela parede somente por contacto desta com o ar ambiente não pode ser desprezada.

Para tal, o programa destina a sua segunda folha de cálculo para os valores da taxa de evaporação pelo pano de parede. Este valor que se pretende determinar diz respeito somente à parcela da evaporação feita através do pano da parede, não havendo qualquer relação e interferência com a parcela da evaporação do sistema mecânico.

Na determinação do valor da taxa de evaporação pela parede, o utilizador encontrará à sua disposição duas hipóteses de cálculo, cada uma com dois métodos de determinação.

Numa primeira hipótese, a taxa de evaporação pode ser determinada através do contacto da parede acima do pavimento com o ar de um ambiente exterior. Para esta primeira hipótese, o programa disponibiliza dois métodos para determinação do valor da evaporação - Penman-Monteith e Oudin,L..

Como segunda possibilidade de cálculo, o utilizador poderá determinar a taxa de evaporação pelo contacto da parede com o ar de um espaço interior. De forma análoga, são disponibilizados ao utilizador duas alternativas para o cálculo – ar com ou sem velocidade de circulação.

De outra forma, pode-se dizer que se objectivo for pré dimensionar um sistema de ventilação da base das paredes para implementar junto do pano interior da parede, dever-se-à utilizar para o cálculo a hipótese evaporação com ar interior. Por outro lado, caso o objetivo seja implementar o mesmo sistema do lado exterior do edifício, o valor da evaporação a utilizar será naturalmente o obtido com ar exterior.

Caso o dimensionamento do sistema seja feito para os dois panos da parede, isto é, lado exterior e interior do edifício, a determinação da taxa de evaporação pode ser realizada em simultâneo, obtendo o utilizador um par de valores.

De seguida apresenta-se na tabela 8 um resumo das várias hipóteses de obtenção da taxa de evaporação pelo pano de parede acima do pavimento.

Tabela 13 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano de parede acima do pavimento.

TAXA DE EVAPORAÇÃO PELA PAREDE ACIMA DO PAVIMENTO			
AR EXTERIOR		AR INTERIOR	
PENMAN-MONTEITH	LOUDIN, L.	VELOCIDADE DO AR NULA	VELOCIDADE DO AR NÃO NULA

4.3.2.2. Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo

Tal como foi referido no ponto anterior, existem duas possibilidades de calcular a taxa de evaporação pela parede e estas, surgem ambas na mesma folha de cálculo. Tal como pode ser observado na figura 10, o lado esquerdo destina-se à hipótese em que pano de parede está em contacto com o ar ambiente exterior destinando-se o lado direito unicamente ao caso em que o pano de parede está em contacto com o ar interior.

No final da presente folha de cálculo, estão disponíveis valores tabelados médios anuais para quatro cidades do país – Lisboa, Porto, Bragança e Beja - que permitem ter um valor de referência de uma forma mais rápida embora menos exata.

De seguida abordar-se-à individualmente as duas variantes disponibilizadas para o cálculo da taxa de evaporação.

- Taxa de evaporação recorrendo a ar proveniente do exterior

Recorrendo ao ar proveniente do exterior para evaporar parte da humidade que está contida na parede, o utilizador dispõe de dois métodos de cálculo distintos, sendo necessário apenas o preenchimento de uma das hipóteses para o pré dimensionamento, ficando ao critério do utilizador qual utilizar.

Apresentada na folha de cálculo como Hipótese A, surge a formulação de Penman-Monteith e como Hipótese B, a formulação de Oudin,L.

Taxa de Evaporação "e" (m/s)			
Ar Exterior			
Hipótese A		Hipótese B	
$e_{pm} = \frac{1}{h_{e,pm}} \frac{\Delta(H_{v,pm}) + \rho_a c_p (P_{a,s}(T_{a,s}) - P) (T_{a,s}) / T_a}{\Delta + \gamma (1 + T_a / T_a)}$		$e_o = \begin{cases} \frac{H_e}{h_e} \frac{T_a + 5}{100} & \text{se } T_a + 5 > 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$	
A	$H_{v,pm}$ 2.45E+06 J/kg	D	H_e 392 W/m ²
	ρ_a 1000 kg/m ³	E	T_a 17.1 °C
B	Δ 0.088 kPa/°C		$H_{v,pm}$ 2.45E+06 J/kg
	$H_{s,e}$ 152 W/m ²		ρ_a 1000 kg/m ³
	ρ_a 1 kg/m ³		
	c_p 1013 J/kg°C		
	$P_{a,s}$ 1.394 kPa		
	$P_{a,s}$ 1.093 kPa		
	r_a 48.372 s/m		
	γ 0.066 kPa/°C		
	r_a 70 s/m		
	T_a 17.1 °C		
	ϕ 71.6 %		
	$T_{p,0}$ 11.3 °C		
	u 4.3 m/s		
C	e_{pm} 3.2E-08 m/s	F	e_o 3.0E-08 m/s
	1.9E-03 mm/min	G	1.8E-03 mm/min
Exemplos - Taxa de evaporação "e" média anual exterior (mm/min)			
	Lisboa	0,0018 a 0,0019	1,88E-03
	Porto	0,0016 a 0,0017	1,68E-03
	Bragança	0,0014 a 0,0018	1,48E-03
	Beja	0,0017 a 0,0020	1,78E-03

Figura 43 - Taxa de evaporação com ar exterior.

Na parte superior da folha de cálculo o utilizador pode começar por observar as formulações matemáticas que estão por de trás dos dois métodos, letras A e D, formulação de Penman-Monteith e formulação de Oudin,L, respetivamente.

Imediatamente abaixo das duas equações, estão dispostos os parâmetros que irão condicionar o cálculo da taxa de evaporação, letras B e E. As células a branco representam parâmetros previamente definidos, não tendo o utilizador que inserir nenhum valor. Contrariamente a amarelo, o utilizador terá de garantir o seu preenchimento.

Por fim restam as células a azul que correspondem a células programadas e cujo preenchimento o utilizador não terá de efetuar.

Após o preenchimento das células necessárias, o programa apresenta a solução para o valor da taxa de evaporação nos campos apresentados com as letras C e F. No lado esquerdo da figura 44, a taxa de evaporação segundo a formulação de Penman-Monteith e, do lado direito, segundo a formulação de Oudin,L.

e_{pm}	3.2E-08	m/s	e_o	3.0E-08	m/s
	1.9E-03	mm/min		1.8E-03	mm/min

Figura 44 - Resultados dos valores da taxa de evaporação recorrendo ao ar exterior.

Tal como já foi referido, o programa disponibiliza uma curta base de dados para a taxa de evaporação com ar exterior para quatro zonas distintas do país que se apresenta de seguida na figura 12. Estes valores são uma alternativa pouco rigorosa face ao preenchimento da presente folha na medida em que os valores tabelados das quatro regiões referem-se a médias anuais de taxas de evaporação.

Exemplos - Taxa de evaporação "e" média anual exterior (mm/min)			
	Lisboa	0,0018 a 0,0019	1.80E-03
	Porto	0,0016 a 0,0017	1.60E-03
	Bragança	0,0014 a 0,0018	1.40E-03
	Beja	0,0017 a 0,0020	1.70E-03

Figura 45 - Valores médios anuais da taxa de evaporação com ar exterior.

- Taxa de evaporação recorrendo a ar interior

Relativamente à determinação da taxa de evaporação pelo pano interior da parede, a folha de cálculo apresenta igualmente duas possibilidades de cálculo.

Relembrando o que foi abordado no capítulo três, no que à evaporação diz respeito, numa fase inicial o sistema foi pensado considerando que o ar interior do edifício não tinha qualquer movimento, isto é, apresentava uma velocidade de circulação nula. Posteriormente foi constatado que realmente tal não era totalmente verdade. De forma clara, e de fácil intuição, a velocidade interior do edifício terá uma componente muito mais reduzida no que à evaporação da parede diz respeito face à velocidade do vento nas fachadas exteriores do mesmo elemento de construção. Certo é que, em boa verdade, o ar interior tem velocidade ainda que reduzida, razão pela qual deve entrar no cálculo.

Desta forma, o programa permite ao utilizador, calcular esta mesma taxa das duas formas, com e sem velocidade do ar interior.

Observando a figura 46, na primeira coluna (Ar parado), o cálculo é feito considerando velocidade de circulação do ar interior nula. Na coluna da direita (Ar em movimento), por raciocínio análogo, o cálculo é feito tendo em conta a reduzida, mas ainda assim existente, velocidade do ar interior.

Taxa de Evaporação "e" (m/s)			
Ar Interior			
Ar Parado		Ar em Movimento	
$e = \frac{D_m (v^* - v_a)}{\rho_a L}$		$e = \frac{M}{RT} (p^* - p_a) D_m \frac{0,646 Sc^{1/4}}{L \rho_a} \quad Sc = \frac{\mu}{\rho D_m}$	
D_m 2.50E-05 m ² /s	Coefficiente de difusão molecular	M 18 g/mol	Massa molecular vapor água
v[*] 0.009 kg/m ³	Concentração vapor água parada	R 8.314 J/molK	Constante universal
v_a 0.006 kg/m ³	Concentração vapor água exterior	T 16 °C	Temperatura do ar
L 10 m	Comprimento da parede	T[*] 16 °C	Temperatura parada
ρ 1000 kg/m ³	Massa volúmica da água	p[*] 1.633 kg/m ³	Pressão vapor água parada
M 18 g/mol	Massa molecular vapor água	p_a 1.033 kg/m ³	Pressão vapor água ar
R 8.314 J/molK	Constante universal	D_m 2.50E-05 m ² /s	Coefficiente de difusão molecular
T 16 °C	Temperatura do ar	R_c 5.62E+04	Número de Rayleigh
T[*] 16 °C	Temperatura parada	Sc 7.12E+01	Número de Schmidt
p_a 0.60	Humidade relativa ar	μ 1.78E-05 kg/m.s	Viscosidade dinâmica fluida
φ[*] 0.90	Humidade relativa parada	ρ_a 1 kg/m ³	Massa volúmica do ar
##### kg/m ³		v 0.1 m/s	velocidade do ar
		L 10 m	Comprimento da parede
		ρ 1000 kg/m ³	Massa volúmica da água
		φ_a 0.60	Humidade relativa ar
		φ[*] 0.90	Humidade relativa parada
e ##### m/s		e ##### m/s	
##### mm/min		##### mm/min	
Exemplos - Taxa de evaporação "e" média anual interior (mm/min)			
l - 10	φ=60% e T=16°C	ar parado	4.5E-07
l - 2a	φ=60% e T=16°C	v = 0,01 m/s	5.3E-05
l - 2b	φ=60% e T=16°C	v = 0,1 m/s	1.3E-04
l - 10a	φ=60% e T=16°C	v = 0,1 m/s	1.4E-05

Figura 46 -Taxa de evaporação com ar interior.

À semelhança da taxa de evaporação com ar proveniente do exterior, neste caso, na parte superior da folha de cálculo o utilizador pode começar igualmente por observar as formulações matemáticas que estão por de trás dos dois métodos, letras A e D.

Da mesma forma, abaixo das duas equações e representados pelas letras B e E, encontram-se dispostos os parâmetros que irão condicionar o cálculo da taxa de evaporação. As células a branco representam parâmetros previamente definidos, não tendo o utilizador que introduzir quaisquer tipo de valores. Contrariamente a amarelo, o utilizador terá que garantir o seu preenchimento.

Por fim restam as células a azul que correspondem a células programadas e cujo preenchimento o utilizador não terá de efetuar, correspondendo a dados de saída.

A solução é assim apresentada nos campos representados pelas letras C e F, ar parado e ar em movimento respetivamente.

Para a determinação da taxa de evaporação com ar interior, o utilizador dispõe também de uma pequena base de dados para determinados valores de temperatura e humidade relativa médias, representada desta forma pela letra G (Figura 47).

Exemplos - Taxa de evaporação "e" média anual interior (mm/min)			
$z = 10m$	$\phi=60\%$ e $T=16^{\circ}C$	ar parado	4.5E-07
$z = 2m$	$\phi=60\%$ e $T=16^{\circ}C$	$u=0,01$ m/s	5.9E-05
$z = 2m$	$\phi=60\%$ e $T=16^{\circ}C$	$u=0,1$ m/s	1.9E-04
$z = 10m$	$\phi=60\%$ e $T=16^{\circ}C$	$u=0,1$ m/s	8.4E-05

Figura 47 - Valores médios anuais da taxa de evaporação com ar interior.

4.3.2. FOLHA DE CÁLCULO 3 – SORPTIVIDADE “S”

4.3.2.1. Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo

Com o objetivo de consulta, esta terceira folha de cálculo disponibiliza ao utilizador uma base de dados do parâmetro sorptividade para diversos materiais habituais e possíveis de constituírem a parede que o utilizador pretenda tratar.

Na mesma tabela são ainda apresentados, para além do parâmetro sorptividade, os respetivos valores de densidade e porosidade necessários ao cálculo de alguns parâmetros que condicionam o pré dimensionamento.

4.3.2.2. Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo

Nesta folha de cálculo, são apresentados cinco materiais possíveis. A tabela apresentada é constituída por quatro colunas. Na primeira coluna, é feita uma listagem de algumas combinações possíveis com os cinco materiais apresentados. Para cada um deles, são apresentados três valores. Sendo o objetivo principal desta folha de cálculo a consulta do valor da sorptividade, naturalmente o valor principal será o presente na última coluna, legendado com a letra C. São ainda apresentados os valores de densidade e porosidade para cada material, coluna A e B respetivamente.

A presença da listagem da densidade justifica-se, tal como já foi referido durante a apresentação da primeira folha de cálculo, o valor da sorptividade pode ser estimado através da relação entre o coeficiente de absorção de água do material e a respetiva densidade ou massa volúmica. Por outro lado, o valor da porosidade encontra-se igualmente presente na tabela uma vez que, permite determinar de forma estimada o valor do teor de humidade volúmico através da relação matemática enunciada na primeira folha de cálculo.

Na figura 48 apresenta-se a folha de cálculo legendada.

A B C

↑ ↑ ↑

Soptividade "S" (mm/min^{0,5})			
Material	Densidade kg/m ³	Porosidade m ³ /m ³	Soptividade mm/min ^{0,5}
Tijolo			
Semi-seco, prensado	1727	0,357	1.32
Moldado à mão	1784	0,334	2.21
Extrudido	1567	0,461	2.35
Corrente (edifícios)	2210	0,065	0.09
Gesso			
1 Água: 0,45 Gesso	1330	0,42	1.62
1 Água: 0,45 Gesso	1480	0,38	1.44
1 Água: 0,45 Gesso	1530	0,35	1.31
1 Água: 0,40 Gesso	1430	0,37	0.83
Argamassa			
1 Cimento: 3 Cal: 10 Areia	1760	0,364	1.34
1 Cimento: 2 Cal: 8 Areia	1860	0,346	1.38
1 Cimento: 0,5 Cal: 4 Areia	1930	0,273	0.56
Betão			
1 Cimento: 2 Areia: 4 Agregado			
Água/Cimento = 0,55	2526	0,100	0.19
Água/Cimento = 0,75	2233	0,130	0.29
Água/Cimento = 0,50	2310	0,113	0.25
Água/Cimento = 0,70	2262	0,133	0.28
Água/Cimento = 0,80	2270	0,141	0.35
Pedra			
Calcária			
1	1830	0,230	1.43
2	2080	0,238	1.00
3	2340	0,190	0.30
4	1661	0,380	0.66
Areosa			
1	1980	0,230	0.34
2	2150	0,140	0.36
3	1950	0,240	2.33
4	2120	0,170	0.16

Figura 48 - Base de dados do parâmetro Sorptividade.

O utilizador deverá escolher o material que compõem a parede a tratar e posteriormente, retira os três valores que se encontram na linha do correspondente à do material escolhido. O valor da sorptividade corresponderá ao valor presente na última coluna desta folha de cálculo e deverá ser reintroduzido na célula "S", folha de cálculo número um.

4.3.3. FOLHA DE CÁLCULO 4 - CONCENTRAÇÕES "C*", C₀"

4.3.3.1. Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo

A folha de cálculo número quatro tem como objetivo permitir determinar os valores da concentração de vapor de água à entrada do sistema bem como na parede.

Tal como já foi referido para a folha de cálculo responsável pelo *input* de dados, dois desses valores a introduzir, correspondem às concentrações na superfície da parede e na entrada do sistema. Para tal, o programa destina a presente folha de cálculo para a determinação desses mesmos valores para que, posteriormente, o utilizador os possa reintroduzir na folha de cálculo HUMIVENT Predim, no campo de introdução de dados de entrada.

4.3.3.2. Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo

Para a determinação dos valores das concentrações à entrada do sistema e na superfície da parede, o utilizador terá que introduzir somente dois valores, temperatura e humidade relativa do ar. Estes valores devem ser introduzidos nas células a amarelo, representadas na figura abaixo pelas letras G e H respetivamente.

Os restantes valores dividem-se em dois tons de cores. A azul encontram-se os parâmetros calculados automaticamente pelo programa. Estão ainda presentes dois parâmetros a branco que correspondem a grandezas universais e bem conhecidas pelo que estarão previamente inseridos no programa ainda que o utilizador tenha possibilidade de os alterar se assim o entender (Figura 49).

Concentrações "C* e C0" (kg/m ³)			
$C = \frac{M}{R\theta} cHR$			
B	M	18 g/mol	Massa molecular vapor água
C	R	0.082 J/molK	Constante gases ideias
D	θ	292.15 K	Temperatura do ar interior
E	c	0.022 kg/m ³	Concentração vapor água
F	HRO	0.60	Humidade relativa em CO
	θ	20 °C	Temperatura média
	HR	60 %	Humidade relativa média
	C*	0.016393 kg/m ³	Concentração vapor água parede
	C0	0.009836 kg/m ³	Concentração vapor água entrada

Figura 49 - Folha de cálculo responsável pela determinação das concentrações de vapor de água.

Introduzidos os dois parâmetros pedidos, o programa irá calcular os dois valores para as concentrações, sendo posteriormente apresentados nos campos representados pela letra I. Estes dois valores são calculados pelo programa com recurso à equação matemática presente no topo da folha de cálculo, representada pela letra A. Para tal, o programa converte os dois valores introduzidos pelo utilizador em unidades coerentes com a equação matemática. No campo representado pela letra G, o utilizador insere o valor da temperatura em graus Celcius, sendo posteriormente convertido automaticamente em graus kelvin e apresentado o valor na célula denominada por D. O que diz respeito à humidade relativa o raciocínio é análogo. O utilizador introduz o valor em percentagem na célula H e o programa converte em valor absoluto e apresenta-o na célula F. A massa molecular de vapor de água e a constante de gases ideais, células B e C respetivamente, são preenchidas por defeito pelo programa na medida em que os valores destes dois parâmetros são conhecidos e universais. De qualquer modo, o utilizador tem a possibilidade de os alterar. Relativamente ao valor da concentração do vapor de água, célula representada pela letra E, o programa calcula de forma automática e estima através de uma relação matemática recorrendo ao parâmetro humidade relativa do ar.

A introdução dos valores de humidade relativa e temperatura vão depender da procedência do ar responsável pelo processo de ventilação. Se o ar que irá circular dentro das condutas for admitido do exterior do edifício, os valores da humidade relativa e da temperatura do ar corresponderão aos valores medidos do ar exterior ao edifício. Por outro lado, se a ventilação se efetuar com ar proveniente do

interior do edifício, os valores da humidade relativa e da temperatura já serão os valores do ar que circula no interior do edifício.

θ	20 °C	Temperatura média
HR	60 %	Humidade relativa média

Figura 50 - Dados Input para o cálculo das concentrações de vapor de água.

De seguida apresentar-se à uma breve introdução aos dois parâmetros universais presentes na folha de cálculo.

Relativamente ao valor da massa molecular do vapor de água, este é conhecido e assume o valor de 18 gramas por mol.

No que diz respeito à constante de gases ideais, este valor foi determinado experimentalmente e, tal como o nome sugere, é uma constante e portanto não dependerá das condições de pressão e temperatura a que se encontre o gás. Quando a pressão é expressa em atm, o volume em dm^3 e a temperatura em Kelvin, a constante dos gases ideais (R) assume o valor de $0,082 \text{ atm} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Por outro lado, quando a pressão é expressa em Pascal, o volume em m^3 e a temperatura em K (Kelvin) a constante dos gases ideais (R) deve assumir o valor $8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Sendo a unidade de medida presente no programa $\text{J/mol} \cdot \text{K}$, o valor a ser introduzido para a constante de gases ideais deverá ser 8,314.

Finalmente, com todos os campos preenchidos, o programa apresenta o par de valores na zona inferior da folha de cálculo. O utilizador ficará assim a conhecer o valor quer da concentração de vapor de água na parede como à entrada do sistema.

Estando estes dois valores a ser calculados pela mesma equação matemática, a única diferença verificada será no valor da humidade relativa na superfície da parede em relação ao do ar admitido.

Para a concentração à entrada do sistema, o valor considerado pelo programa será o valor da humidade relativa introduzido pelo utilizador dividido por cem, isto é, um valor entre zero e um mas em princípio nunca igual à unidade uma vez que significaria que o ar estaria saturado logo à entrada do sistema. Já no que respeita à determinação do valor da concentração de vapor de água na parede, o cálculo é realizado considerando a humidade relativa de 100%, uma vez que a parede se encontra saturada.

4.3.4. FOLHA DE CÁLCULO 5 – TESTES

4.3.4.1. Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo

Devidamente preenchidos os campos presentes no topo da folha de cálculo, o programa apresenta, tal como já foi desenvolvido em pontos anteriores, uma solução de pré dimensionamento do sistema, isto é, um par de valores de velocidade e altura do sistema.

Após conhecidos os valores do pré dimensionamento, o programa apresenta de imediato um par de gráficos que traduzem a relação entre a velocidade de circulação do ar e a altura do sistema.

4.3.4.2. Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo

Na figura seguinte apresenta-se a folha de cálculo.

O utilizador encontra logo de início os campos destinados à inserção dos valores dos parâmetros necessários ao pré dimensionamento. À semelhança da primeira folha de cálculo, os valores da solução são apresentados nas células seguintes a de azul. A amarelo encontram-se os campos possíveis de serem alterados por parte do utilizador caso pretenda uma nova solução impondo ou um novo valor de velocidade ou de altura para o sistema. Os dois gráficos seguintes acompanham sempre as alterações feitas nos campos anteriores, permitindo ao utilizador ter permanentemente uma perceção da relação entre a altura do sistema e da velocidade de circulação do ar (Figura 18).

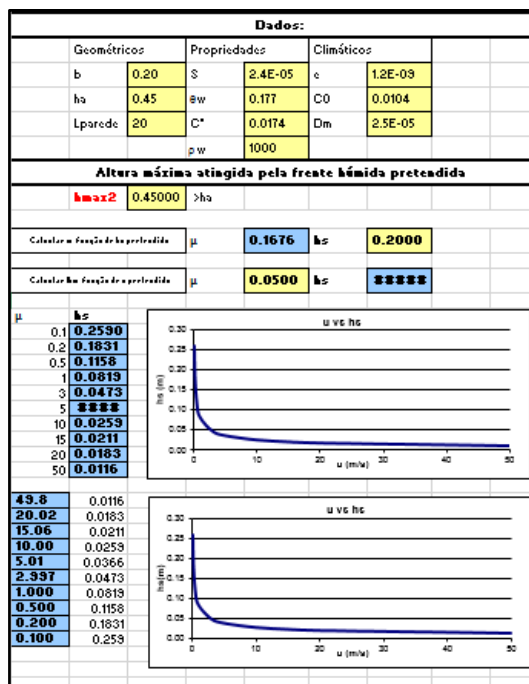


Figura 51 - Folha de cálculo " Testes".

4.3.5. FOLHA DE CÁLCULO 6 - HMÁXIMO

4.3.5.1. Funcionalidade/ Potencialidade da folha de cálculo

A principal função do programa HUMIVENT Predim passa por efetuar o pré dimensionamento do sistema de ventilação das paredes. Cumprida essa função, disponibiliza ao utilizador a possibilidade de efetuar estudos de sensibilidade numa perspetiva de otimizar a solução de pré dimensionamento.

Através destas análises de correlação de parâmetros, poder-se-á adaptar uma solução correta do ponto de vista teórico embora, do ponto de vista prático e de implementação da solução no terreno, pouco viável ou até mesmo, impossível de concretizar.

Observe-se as seguintes situações. Ao preencher todos os campos necessários, o programa apresenta uma determinada solução para a velocidade e para a altura do sistema. Confrontado com estes valores, o utilizador entende tratar-se de um valor demasiado elevado para velocidade de circulação do ar ou, por outro lado, o valor da velocidade encontra-se aparentemente possível embora a altura do sistema

possa ser demasiado elevada. Caso não existisse a folha de cálculo número seis, o utilizador teria que, por tentativas recorrer à folha de cálculo número um e ir atribuindo valores, para a primeira situação, ao parâmetro velocidade e obtinha novos valores para a altura do sistema ou, para a segunda situação, atribuiria valores à altura do sistema e obtinha novos valores para a velocidade.

Através da presente folha de cálculo, estas situações têm uma nova forma de serem resolvidas. O utilizador será capaz de determinar:

- O valor mínimo para a velocidade de circulação do ar (u), a partir do qual a altura máxima atingida pela frente húmida ($h_{máx2}$) não poderá ser menor.
- O valor mínimo para a altura do sistema (h_s), a partir do qual a altura máxima atingida pela frente húmida ($h_{máx2}$) não poderá ser menor.

A determinação destes valores ótimos consegue-se através de dois gráficos presentes na folha de cálculo. O primeiro, velocidade versos altura máxima da frente húmida, e o segundo, altura do sistema versos altura máxima da frente húmida. A tabela que acompanha cada um dos gráficos permite identificar o conjunto de valores viáveis de implementar no terreno. Esses valores são identificados através da cor verde. A cor vermelha são apresentados os valores que não devem fazer parte da solução.

Estes estudos que permitem otimizar a solução têm sempre uma variável comum, a altura máxima atingida pela frente húmida. Naturalmente, tender-se-á a tentar encontrar soluções de dimensionamento que provoquem uma cada vez menor altura atingida pela água na parede.

4.3.5.2. Descrição/Disposição gráfica da folha de cálculo

A folha de cálculo é novamente apresentada ao utilizador não só a equação matemática que dita o pré dimensionamento como também o quadro de valores de entrada necessários introduzir no programa.

O utilizador tem assim à sua disposição a possibilidade de alterar os valores de entrada, havendo um ajuste automático dos gráficos a esses mesmos valores (Figura 52).

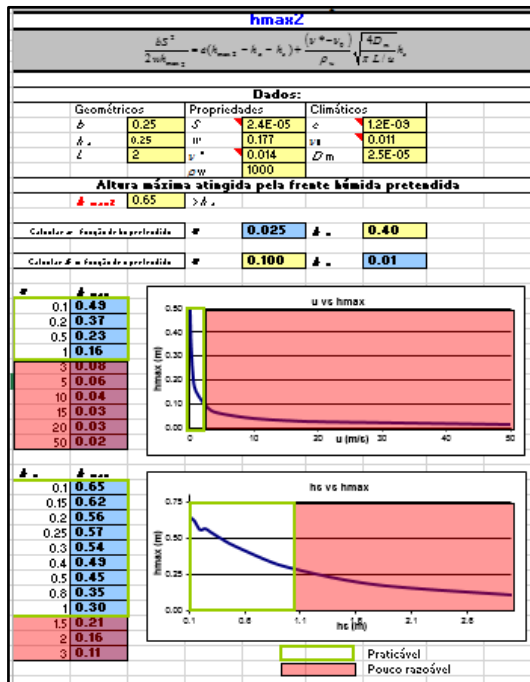


Figura 52 - Folha de cálculo “Hmáximo”.

Para uma melhor perceção do modo como funciona esta folha de cálculo, observe-se o seguinte exemplo prático de uma possível solução e respetiva otimização do resultado.

O utilizador começará por introduzir os dados geométricos, propriedades e climáticos pedidos pelo programa bem como a altura da frente húmida que pretende (Figura 53).

Dados:					
Geométricos		Propriedades		Climáticos	
b	0.25	S	0.000024	e	1.23E-09
h _s	0.25	W	0.177	W _m	0.011
L	2	v*	0.014	D _m	0.000025
		ρ _w	1000		
Altura máxima atingida pela frente húmida pretendida					
h_{max}	0.65	> h _s			

Figura 53 - Introdução dos dados de entrada.

Introduzidos os dados, surgirá um par de tabelas acompanhadas cada uma de um gráfico (Figura 54).

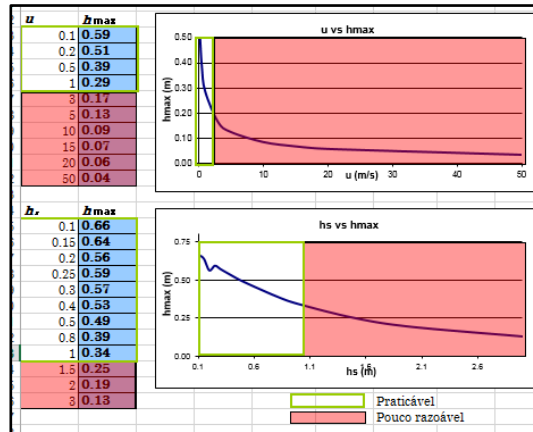


Figura 54 - Tabelas e gráficos que traduzem a viabilidade prática da solução de dimensionamento.

Na tabela u vs. $h_{\text{máx}}$ são apresentados possíveis pares de valores para velocidade e altura da frente húmida para um determinado valor de altura do sistema que o programa pré dimensionará.

A verde, tal como explica a legenda, apresentam-se as relações possíveis/admissíveis. A vermelho, surgem as soluções inviáveis de implementar.

Na tabela h_s vs. $h_{\text{máx}}$, tudo se verifica como à semelhança da tabela de cima, embora com a única diferença de os valores que se encontram na tabela serem pares da valores de altura do sistema e altura da frente húmida para determinado valor de velocidade do ar.

Tal como no preenchimento da folha de cálculo número um, a solução de pré dimensionamento vinha apresentada em duas células a de azul acompanhadas e outras duas a amarelo que permitia ao utilizador alterar a solução apresentada inicialmente pelo programa.

Na presente folha, o mesmo acontece. Tendo em conta os valores apresentados pelo programa o utilizador pode entender ser necessário ter um limite máximo ou para a velocidade ou para a altura do sistema. Desta forma, terá que introduzir ou um novo valor para a velocidade ou para a altura do sistema consoante for um ou outro o parâmetro que se encontra inadequado.

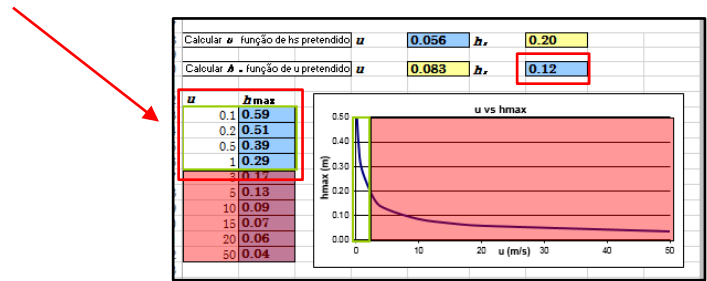
Ao introduzir um novo valor para uma das variáveis do pré dimensionamento, automaticamente é alterado o respetivo gráfico e tabela que traduz a relação entre a variável e a altura máxima da frente húmida.

De seguida abordar-se-ão estas duas hipóteses individualmente (Figura 55 e Figura 56).

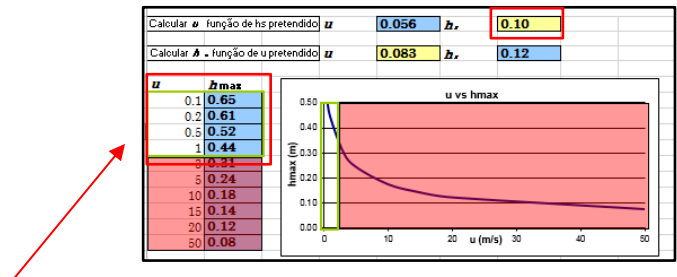
OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA
REDIMENSIONAR A ALTURA DO SISTEMA

A solução inicial de pré dimensionamento atribuiu um valor a altura do sistema de 12 cm.

De acordo com esse valor, a velocidade de circulação só seria viável entre valores de 0.1 e 1 m/s, acompanhada de valores de altura da frente húmida entre 29 e 59 cm.



Sendo por razões do utilizador necessário impor, por exemplo, a altura do sistema em 10 cm, obtém-se a seguinte solução:



Observando os novos valores, constata-se que o sistema ao ser implementado com a altura máxima de 10 cm, não consegue atingir valores da frente húmida menores do que o intervalo entre 34 e 66 cm.

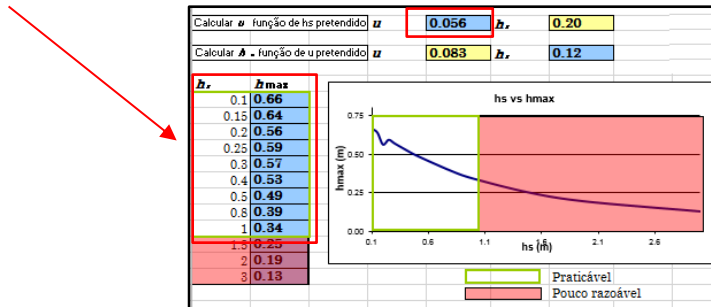
Figura 55 - Otimização do sistema redimensionando a altura do sistema.

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA

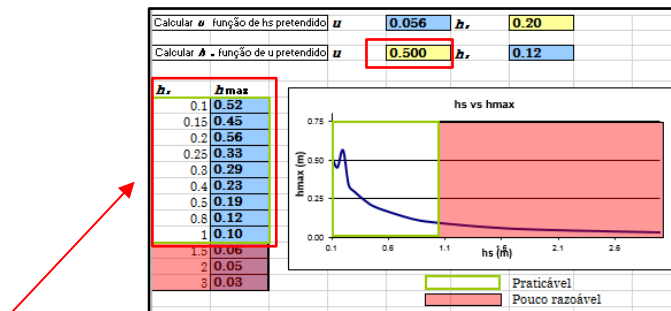
REDIMENSIONAR A VELOCIDADE DE CIRCULAÇÃO DO AR

A solução inicial de pré dimensionamento atribuiu um valor à velocidade de 0.056 m/s.

De acordo com esse valor, a altura do sistema só seria viável entre valores de 10 cm e 1 m acompanhada de valores de altura da frente húmida entre 34 e 66 cm.



Sendo por razões do utilizador necessário impor, por exemplo, a velocidade em 0.5m/s, obtém-se a seguinte solução:



Observando os novos valores, constata-se que o sistema ao ser implementado com a velocidade máxima de 0.5 m/s, consegue atingir valores de frente húmida menores do que a solução inicial, ficando dentro do intervalo entre 10 e 52 cm.

Figura 56 - Otimização do sistema redimensionando a velocidade de circulação do ar.

4.3.6. FOLHA DE CÁLCULO 7 - VARIAÇÃO DE S, B, E

4.3.6.1. Funcionalidade/Potencialidade da folha de cálculo

Preenchido o topo da folha de cálculo, campo representado pela letra A, o programa permite observar e interpretar graficamente a relação dos parâmetros espessura da parede, sorptividade e taxa de evaporação em função da altura máxima atingida pela frente húmida.

Todas as relações estabelecidas são efetuadas de forma isolada, isto é, quando se faz variar um determinado parâmetro, todos os outros permanecem constantes e inalterados.

4.3.6.2. Descrição/ Disposição gráfica da folha de cálculo

Após introduzir os valores dos parâmetros nas células a amarelo, o programa apresenta os três gráficos presentes na figura 57.

No primeiro gráfico, representado pela letra B, é possível observar a variação da altura máxima atingida pela água na parede para os vários valores de espessura, mantendo os restantes parâmetros constantes, isto é, sorptividade e taxa de evaporação.

De forma análoga, no gráfico seguinte, letra C, é possível observar as alturas atingidas pela água na parede variando agora o valor da sorptividade do material.

Por ultimo, no gráfico legendado com a letra D, o utilizador poderá avaliar como varia a altura da frente húmida para diferentes valores de taxas de evaporação.

No exemplo apresentado, pode observar-se que, para valores de espessura da parede a variar entre cinco centímetros e um metro, obtém-se alturas de frente húmida entre aproximadamente treze centímetros e um metro e vinte de altura.

Relativamente à sorptividade, variando este parâmetro entre $1E10^{-7}$ e $1E10^{-3}$ obtém-se valores de altura de frente húmida máximos entre zero, e quarenta e oito metros.

Por último, para uma taxa de evaporação, que varie entre $1E10^{-14}$ e $1E10^{-6}$, obtém-se valores de frente húmida entre, aproximadamente, um metro, e trina e cinco centímetros respetivamente.

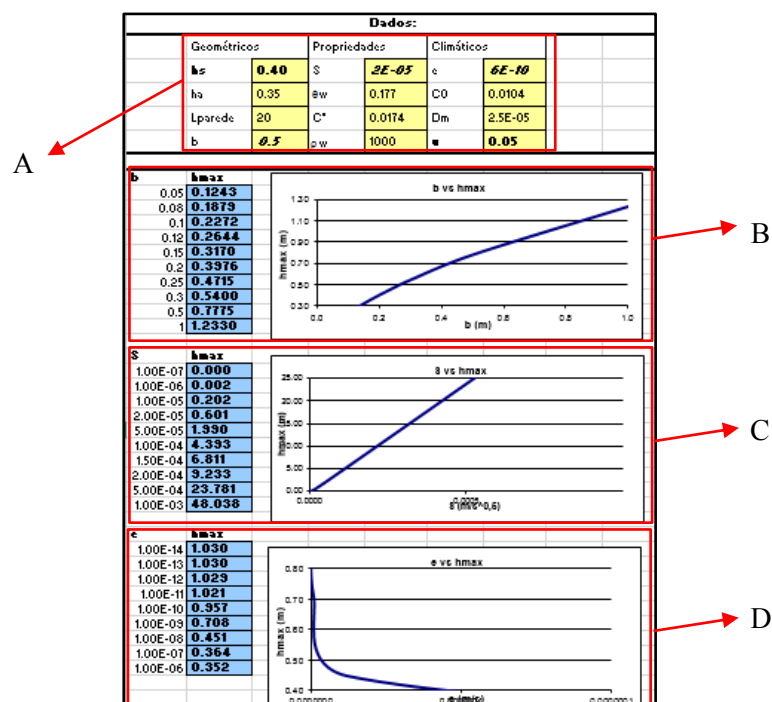


Figura 57 - Folha de cálculo "b, S, e".

Após a análise destes valores e dos respetivos gráficos, pode-se concluir que:

- Quanto maior a espessura da parede, maior será a altura alcançada pela frente húmida;
- Quanto menor a sorptividade, menor a altura atingida pela frente húmida;
- Quanto menor a taxa de evaporação, maior a altura atingida pela frente húmida;

4.4. METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO PRÉ DIMENSIONAMENTO

Descrito e analisado o programa bem como todas as suas funções e potencialidades, falta agora apresentar a melhor forma de o abordar numa perspetiva de obtenção do pré dimensionamento.

Até aqui o utilizador terá conhecimento das várias folhas de cálculo que compõem o programa, os campos, células e parâmetros associadas a cada uma delas. De seguida, apresentar-se-á uma tabela que compõem as várias hipóteses de pré dimensionamento bem como a sequência de operações ideal para se obter a solução.


As hipóteses de pré dimensionamento variam segundo dois critérios.

O primeiro critério, a origem do ar admitido, isto é, o ar responsável pela ventilação da base das paredes que pode ser proveniente do exterior do edifício ou proveniente do interior do edifício.

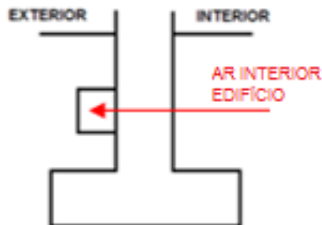
Como segundo critério, o tipo de parede, isto é, que o programa está preparado para tratar panos de parede em contacto com o ambiente exterior, paredes exteriores, bem como panos interiores de parede. Para este último caso, estão contemplados não só as paredes interiores do edifício mas também o pano interior de paredes exteriores.

Na tabela 9, apresentar-se-ão os diversos casos bem como todas as etapas de cálculo até chegar à solução do pré dimensionamento.

Tabela 9 - Resumo da metodologia de inserção de valores no programa, para as diferentes possibilidades de ventilação.

PAREDE EXTERIOR	
PARAMENTO EXTERIOR	
VENTILAÇÃO COM AR DO EXTERIOR DO EDIFÍCIO	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Folha de cálculo “e” <ul style="list-style-type: none"> • Determinação da taxa de evaporação pela parede, <u>Ar Exterior, método A ou B.</u> 2. Folha de cálculo “S” <ul style="list-style-type: none"> • Consulta do valor da sorptividade e da porosidade do material que constitui a parede 3. Folha de cálculo “C” <ul style="list-style-type: none"> • Determinação das concentrações de vapor de água à entrada do sistema e na superfície da parede, <u>introduzindo os valores de temperatura e HR do ar exterior ao edifício.</u> 4. Folha de cálculo “HUMIVENT Predim” <ul style="list-style-type: none"> • Cálculo do teor de humidade volúmico, (página 8), através do valor consultado da porosidade • Preencher os dados climáticos, geométricos e propriedades do material • Atribuir um valor máximo para a frente húmida

VENTILAÇÃO COM AR DO INTERIOR DO EDIFÍCIO



1. Folha de cálculo “e”
 - Determinação da taxa de evaporação pela parede, Ar Exterior, método A ou B.
2. Folha de cálculo “S”
 - Consulta do valor da sorptividade e da porosidade do material que constitui a parede
3. Folha de cálculo “C”
 - Determinação das concentrações de vapor de água à entrada do sistema e na superfície da parede, introduzindo os valores de temperatura e HR do ar interior do edifício.
4. Folha de cálculo “HUMIVENT Predim”
 - Cálculo do teor de humidade volúmico, (página 8), através do valor consultado da porosidade
 - Preencher os dados climáticos, geométricos e propriedades do material
 - Atribuir um valor máximo para a frente húmida

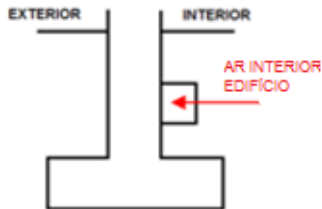
PARAMENTO INTERIOR

VENTILAÇÃO COM AR DO EXTERIOR DO EDIFÍCIO



1. Folha de cálculo “e”
 - Determinação da taxa de evaporação pela parede, Ar Interior, Ar parado ou Ar em movimento
2. Folha de cálculo “S”
 - Consulta do valor da sorptividade e da porosidade do material que constitui a parede
3. Folha de cálculo “C”
 - Determinação das concentrações de vapor de água à entrada do sistema e na superfície da parede, introduzindo os valores de temperatura e HR do ar exterior ao edifício.
4. Folha de cálculo “HUMIVENT Predim”
 - Cálculo do teor de humidade volúmico, (página 8), através do valor consultado da porosidade
 - Preencher os dados climáticos, geométricos e propriedades do material
 - Atribuir um valor máximo para a frente húmida

VENTILAÇÃO COM AR DO INTERIOR DO EDIFÍCIO



1. Folha de cálculo “e”
 - Determinação da taxa de evaporação pela parede, Ar Interior, Ar parado ou Ar em movimento
2. Folha de cálculo “S”
 - Consulta do valor da sorptividade e da porosidade do material que constitui a parede
3. Folha de cálculo “C”
 - Determinação das concentrações de vapor de água à entrada do sistema e na superfície da parede, introduzindo os valores de temperatura e HR do ar interior do edifício.
4. Folha de cálculo “HUMIVENT Predim”
 - Cálculo do teor de humidade volúmico, (página 8), através do valor consultado da porosidade
 - Preencher os dados climáticos, geométricos e propriedades do material
 - Atribuir um valor máximo para a frente húmida

Observação: Caso se pretenda proceder ao tratamento de humidade numa parede interior, o raciocínio será análogo ao apresentado em cima, para o paramento interior de uma parede exterior.

4.5. ORGANIZAÇÃO DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O DIMENSIONAMENTO

4.5.1. FICHA DE INDIVIDUAL DE CADA PARÂMETRO

O manual de apoio ao programa está organizado por ordem alfabética de parâmetros que influenciam direta ou indiretamente o pré-dimensionamento do sistema.

Numa fase inicial é apresentado um índice de todos os parâmetros ordenados por ordem alfabética e posteriormente cada um deles é analisado e desenvolvido de modo a não existir dúvida no funcionamento do programa Humivent Predim.

Cada parâmetro será apresentado com recurso a uma ficha tipo de forma a sistematizar toda a informação de forma clara e de rápida simples interpretação. A acompanhar cada uma das fichas, será anexado uma página com informação relevante e relacionada com o respetivo parâmetro.

Para cada ficha individual, será apresentada a seguinte informação:

- Nome do parâmetro
- Natureza do parâmetro (Geométrico, ambiental ou propriedade de material)
- Notação do parâmetro
- Definição do parâmetro
- Formula matemática de cálculo
- Unidade de medida S.I
- Ensaio práticos associados

- Figura ilustrativa
- Observações
- Informação extra aconselhada a consultar

De seguida apresenta-se um exemplo da ficha individual, evidenciando cada um dos campos em cima mencionados bem como as três cores que preenchem o canto superior direito de cada ficha, informando a natureza do parâmetro. Caso o parâmetro em causa não se enquadre em nenhuma das três categorias apresentadas, o canto superior direito estará com a cor branca.

Geométrico

REDE

capão?

br

tema:

Climático

o?

Propriedade do material

io?

com a água, em função

“X”

<i>Nome do parâmetro</i>	<i>Notação</i>
<i>O que é</i>	
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>	
<i>Unidade de medida</i>	
<i>Ensaio práticos associados</i>	
<i>Figura ilustrativa</i>	
<i>Observações</i>	
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>	

4.5.2. ÍNDICE DE PARÂMETROS

1. Altura do sistema
2. Altura do terreno adjacente à parede
3. Altura máxima atingida pela frente húmida
4. Calor específico do ar
5. Calor latente de vaporização
6. Coeficiente de absorção de água
7. Coeficiente de difusão molecular
8. Comprimento da parede
9. Comprimento do sistema
10. Concentração de vapor de água à entrada/ Parede
11. Constante gases ideais
12. Espessura da parede
13. Humidade relativa do ar
14. Massa molecular vapor água
15. Massa volúmica da água
16. Massa volúmica do ar
17. Número de Reynolds
18. Número de Schmidt
19. Pressão de saturação
20. Pressão de vapor de água à entrada/ Parede
21. Pressão parcial de vapor de água
22. Radiação solar livre
23. Sorptividade
24. Taxa de evaporação (com ar interior)
25. Taxa de evaporação (com ar exterior)
26. Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar
27. Temperatura do ar/ Parede
28. Temperatura ponto orvalho
29. Teor de humidade volúmico
30. Velocidade do ar/ Vento
31. Viscosidade cinemática do fluido
32. Viscosidade dinâmica fluido

4.5.3. FICHAS DE PARÂMETROS - DESCRIÇÃO E DESENVOLVIMENTO INDIVIDUAL DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Tabela 14 - Ficha individual "Altura do sistema".

1.	ALTURA DO SISTEMA	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Altura do sistema		h_s
<i>O que é</i>		
Medida da altura do canal prismático, por onde circula o ar admitido pelo sistema de ventilação.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
-		-
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Metro (m)		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
<i>Observações</i>		
-		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 15 - Ficha individual "Altura do terreno adjacente à parede".

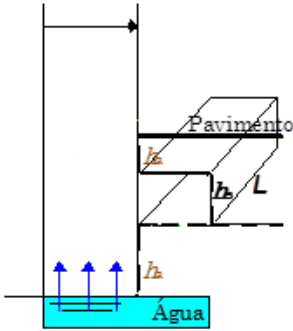
2.	ALTURA DO TERRENO ADJACENTE À PAREDE	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Altura do terreno adjacente à parede		h_a
<i>O que é</i>		
Distância, medida na vertical, entre a base da sapata e o pavimento, subtraída da altura do sistema.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
-		-
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Metro (m)		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
		
$\Sigma(h_a) = h_{\text{Pavimento}} - h_s$		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Através da figura ilustrativa, pode ser observada que a a altura do terreno adjacente à parede traduz a área, por metro de comprimento de conduta, através da qual a parede pode efetuar trocas de humidade com o solo que envolve a base da parede. De modo a que só haja trocas pela base, toda esta área se encontra impermeabilizada, impedindo que haja quaisquer trocas de humidade pela lateral da parede desde a base até ao pavimento. 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
<i>Ficha individual nº 1 (Altura do sistema)</i>		

Tabela 16 - Ficha individual "Altura máxima atingida pela frente húmida".

3.	ALTURA MÁXIMA ATINGIDA PELA FRENTE HÚMIDA	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Altura máxima atingida pela frente húmida		$h_{máx2}$
<i>O que é</i>		
Altura, medida na vertical a partir da base da parede, a que a água consegue ascender por fenómenos de capilaridade.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
-		
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Metro (m)		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Simplificação na programação de HUMIVENT predim: <p>À medida que o ar responsável pela evaporação de parte da água contida na parede percorre o canal de montante para jusante, a sua capacidade de absorver moléculas de água reduz pois o ar tende a aproximar-se da saturação, provocando um gradual aumento da frente húmida. A simplificação passa por interpretar a frente húmida como constante ao longo de todo o canal [10].</p> 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 17 - Ficha individual "Calor específico do ar".

4.	CALOR ESPECÍFICO DO AR		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Calor específico do ar		c_p	
<i>O que é</i>			
Quantidade de calor necessária para fazer variar a temperatura da unidade de massa de ar a pressão constante, em 1°C [26].			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$c_p = c_{pa} + (w * c_{pv})$		c_p - Calor específico do ar c_{pa} - Calor específico do ar seco w - Humidade específica ar seco c_{pv} - Calor específico do vapor da água	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
J/Kg.K			
<i>Ensaios práticos de determinação</i>			
ASTM C 351-92 B			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> · No programa HUMIVENT predim, o valor apresentado para o calor específico do ar corresponde ao calor específico do ar seco, assumindo o valor de 1013J/KgK. · A unidade de medida apresentada neste parâmetro ao longo do programa é J/Kg°C embora, o valor de 1013, corresponda à unidade de J/Kg.K. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 18 - Ficha individual "Calor latente de vaporização".

5.	CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Calor latente de vaporização		h_v	
<i>O que é</i>			
Quantidade de calor/ energia que uma unidade de massa de ar deve receber ou ceder para mudar de fase, isto é, quantidade de energia necessária para que 1 grama da amostra mude de fase líquida para a fase gasosa. Valores positivos indicam que a substância recebe calor, valores negativos indicam cedência de calor.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$h_v = \frac{Q}{m}$		h_v - Calor latente de vaporização m - Massa de substância Q - Calor cedido ou recebido pela massa de substância	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
KJ/Kg			
<i>Ensaio prático de determinação</i>			
-			
<i>De que depende</i>			
-			
<i>Parâmetros que vai condicionar</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> No programa HUMIVENT predim esta variável toma o valor de 2,45E3 KJ/Kg. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 19 - Ficha individual "Coeficiente de absorção de água".

6.	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Coeficiente de absorção de água		A	
<i>O que é</i>			
Representa a massa de água absorvida por área do material em contacto com a água, em função do tempo.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
-		-	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Kg/ (m ² .√t)			
<i>Ensaio práticos de determinação</i>			
<ul style="list-style-type: none"> · NP EN 1925 · EN ISO 15148: 2002 			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
-			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 20 - Ficha individual "Coeficiente de difusão molecular".

7.	COEFICIENTE DE DIFUSÃO MOLECULAR		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Coeficiente de Difusão Molecular		D_m	
<i>O que é</i>			
Facilidade com que cada soluto se move num determinado solvente.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$D_m = 2,23 * 10^{(-5)} * \left(\frac{T + 273,15}{273,15}\right)^{1,5}$		D_m – COEFICIENTE DE DIFUSÃO MOLECULAR	
		T – TEMPERATURA DO AR AMBIENTE	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
m ² /s			
<i>Ensaio prático de determinação</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • Método do corpo húmido [27] • Método do corpo seco [27] • Método do corpo seco modificado [27] • Método da dupla câmara [27] • Método da microbalança [27] • Método da porosidade [27] 			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • O valor considerado para o coeficiente de difusão molecular para o programa HUMIVENT predim é de 2,5E(-5) m²/s, resultando de se considerando um potencial de evaporação em laboratório de 7,39E10-5 mm/min [13]. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 21 - Ficha individual "Comprimento da parede".

8.	COMPRIMENTO DA PAREDE	
<i>Nome do parâmetro</i>	<i>Notação</i>	
Comprimento da parede	<i>L</i>	
<i>O que é</i>		
Extensão longitudinal entre os dois pontos que delimitam a parede a tratar.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
-	-	
<i>Unidade de medida S.I</i>		
METRO (M)		
<i>Ensaios práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apesar do comprimento da parede poder ser diferente do comprimento do sistema, ao longo do programa, o valor destas duas variáveis coincide, querendo-se sempre referir o comprimento do sistema sempre que apareça a letra <i>L</i>. 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 22 - Ficha individual "Comprimento do sistema".

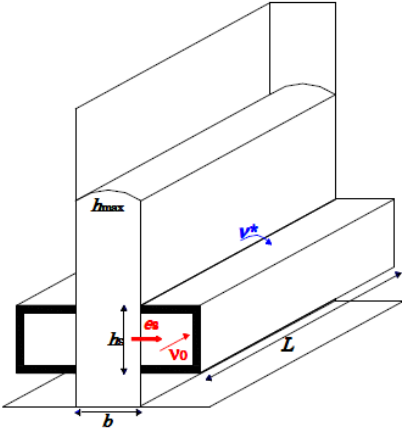
9.	COMPRIMENTO DO SISTEMA	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Comprimento do sistema		<i>L</i>
<i>O que é</i>		
Perímetro total do canal de ventilação por onde circula o ar.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
-		-
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Metro (m)		
<i>Ensaio prático de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Habitualmente o comprimento do sistema coincide, por questões práticas com o desenvolvimento total da parede do edifício a tratar. Nos casos em que "L" seja muito elevado é aconselhável subdividir em subsistemas, permitindo obter troços de conduta de menor secção e com velocidades mais reduzidas. 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 23 - Ficha individual "Concentração de vapor de água".

10.	CONCENTRAÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA À ENTRADA/ PAREDE	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Concentração de vapor de água		$(C^*; C_0)$ ou $(v^*; v_0)$
<i>O que é</i>		
Massa de água contida num metro cúbico de ar.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$v = \left(\frac{M}{R \cdot \theta} \right) * (1767000^{\frac{5320}{\theta}}) * HR$		M – Massa molecular de vapor de água (18g/mol)
		R – Constantes de gases ideias (0.082 J/mol.K)
		θ - Temperatura do ar ambiente (K)
		HR – Humidade relativa em co
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Kg / m ³		
<i>Ensaios práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> O valor da concentração na parede difere do valor da concentração no ar apenas pela humidade relativa. Na parede, a humidade relativa toma o valor 1 pois esta encontra-se perto da saturação. 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
Folha de cálculo "C"_ programa Humivent Predim		

Tabela 24 - Ficha individual "Constante de gases ideais".

11.	CONSTANTE DE GASES IDEAIS
<i>Nome do parâmetro</i>	<i>Notação</i>
Constante de gases ideais	R
<i>O que é</i>	
Grandeza física que relaciona o número de moléculas que constituem um gás com a temperatura e pressão a que se encontra esse mesmo gás.	
$R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$	
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>	
-	-
<i>Unidade de medida S.I</i>	
$\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$	
<i>Ensaio práticos de determinação</i>	
-	
<i>Figura ilustrativa</i>	
-	
<i>Observações</i>	
Nos gases ideais, a relação de pressão, volume e temperatura é descrita pela equação de gases ideais:	
$PV=nRT$	P - Pressão da amostra gasosa (atm) V - Volume da amostra gasosa (dm ³ ou L) n - Número de moles da amostra gasosa (mol) R - Constantes dos gases ideais (atm dm ³ mol ⁻¹ K ⁻¹ ou J mol ⁻¹ K ⁻¹) T - Temperatura absoluta (K)
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>	
-	

Tabela 25 - Ficha individual "Espessura da parede".

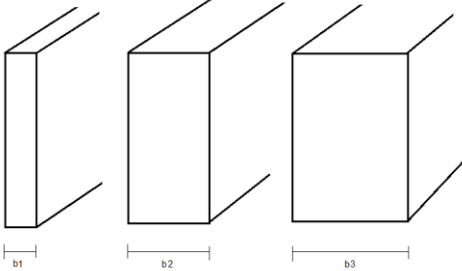
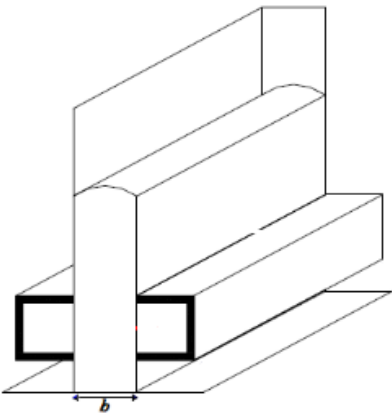
12.	ESPESSURA DA PAREDE		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Espessura da parede		B	
<i>O que é</i>			
<p>Das três dimensões da parede (comprimento, espessura, altura), a espessura (b) será a menor das três.</p>			
			
Espessura b1 < Espessura b2 < Espessura b3			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
-			
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Metro (m)			
<i>Ensaio prático de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
			
<i>Observações</i>			
-			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 26 - Ficha individual "Humidade relativa do ar".

13.	HUMIDADE RELATIVA DO AR	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Humidade relativa do ar		<i>HR</i>
<i>O que é</i>		
Relação entre a massa de vapor contida no elemento e a quantidade máxima de vapor que o elemento pode conter (saturação), a uma determinada temperatura.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$HR = \left(\frac{m_v}{m_{vs+}} \right) * 100$		<i>HR</i> - Humidade relativa <i>m_v</i> - Massa de vapor de água <i>m_{vs}</i> - Massa de vapor de água de saturação
<i>Unidade de medida S.I</i>		
%		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Considerando o ar um gás perfeito, este valor também pode ser obtido através da relação entre a pressão parcial de vapor de água e a pressão de saturação: 		
$HR = \frac{P}{P_s} * 100$		<i>HR</i> - Humidade relativa do ar <i>P</i> - Pressão parcial de vapor de água <i>P_s</i> - Pressão de saturação
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
Anexo A		

Tabela 27 - Ficha individual "Massa molecular de vapor de água".

14.	MASSA MOLECULAR DE VAPOR DE ÁGUA		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Massa molecular de vapor de água		<i>M</i>	
<i>O que é</i>			
A massa molar de um elemento químico ou de uma substância é numericamente igual à massa atômica desse elemento ou do total das massas atômicas componentes da substância em unidades de massa atômica.			
Exemplo: a massa atômica total da substância água, H ₂ O = 18 <i>u.m.a.</i> , logo <i>M</i> = 18 g/mol - massa de 6,022 x 10 ²³ moléculas de água, do total de seus átomos.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
-		-	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
<i>g/mol</i>			
<i>Ensaio prático de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • O valor da massa molecular de vapor de água é de 18 g/mol. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 28 - Ficha individual "Massa volúmica da água".

15.	MASSA VOLÚMICA DA ÁGUA		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Massa volúmica da água		ρ_w	
<i>O que é</i>			
Massa da unidade de volume da própria substancia. Corresponde á massa de 1m ³ de volume de água.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$\rho = \frac{m}{V}$		<p>ρ - Massa volúmica (Kg/m³)</p> <p>m - Peso do material seco (Kg)</p> <p>V - Volume aparente (m³)</p>	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Kg/m ³			
<i>Ensaios práticos de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • Este parâmetro é influenciado pela pressão e pela temperatura. • Para o valor de temperatura de 4° C e pressão atmosférica, a massa volúmica da água toma o seu valor máximo, 1000 Kg/m³. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
Anexo E			

Tabela 29 - Ficha individual "Massa Volumica do ar".

16.	MASSA VOLÚMICA DO AR		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Massa Volúmica do ar		ρ_A	
<i>O que é?</i>			
Massa de ar contida num 1 m ³ desse mesmo ar.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$\rho = \frac{m}{V}$		<p>ρ - Massa volúmica (Kg/m³)</p> <p>m - Peso do material seco (Kg)</p> <p>V - Volume aparente (m³)</p>	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Kg/m ³			
<i>Ensaio práticos de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> · O valor da massa volúmica do ar corresponde a 0,001 Kg/m³. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 30 - Ficha individual "Número de Reynolds".

17.	NÚMERO DE REYNOLDS	
	<i>Nome do parâmetro</i>	<i>Notação</i>
	Número de Reynolds	Re
<i>O que é?</i>		
Número Adimensional usado no cálculo do regime de escoamento de determinado fluido sobre uma superfície. Traduz a relação entre forças de inércia e forças de viscosidade, permitindo avaliar o tipo de escoamento/estabilidade do fluxo – laminar ou turbulento.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$Re = D * \left(\frac{\rho}{\mu}\right) * V_m$	<p>Re - Número de Reynolds</p> <p>D – Longitude característica do fluido</p> <p>ρ - Densidade ou massa específica do fluido</p> <p>μ – Viscosidade dinâmica do fluido</p> <p>V_m - Velocidade média do escoamento</p>	
<i>Unidade de medida S.I</i>		
(Adimensional)		
<i>Ensaio prático de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> No programa HUMIVENT predim, o valor da longitude do fluido corresponde ao comprimento do sistema e a velocidade do escoamento, corresponde á velocidade do ar que circula dentro do edifício. 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 31 - Ficha individual " Número de Schmidt".

18.	NÚMERO DE SCHMIDT	
	<i>Nome do parâmetro</i>	<i>Notação</i>
	Número de Schmidt	Sc
<i>O que é</i>		
Número Adimensional que traduz a razão de difusividade de momento (viscosidade) e difusividade de massa. Caracteriza fluxos nos quais existem simultaneamente processos de difusão de momento e de massa.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$Sc = \frac{v}{(\mu * \rho a)}$	Sc - Número de Schmidt v - Viscosidade cinemática (m ² /s) μ - Viscosidade dinâmica do fluido ρa - Massa volúmica do ar	
<i>Unidade de medida S.I</i>		
(Adimensional)		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
-		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 32 - Ficha individual "Pressão de saturação".

19.	PRESSÃO DE SATURAÇÃO	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Pressão de saturação		<i>p_{sat}</i>
<i>O que é</i>		
Pressão parcial máxima que pode atingir o vapor de água no ar para determinadas condições de temperatura e pressão atmosférica. Pressão de vapor quando a humidade relativa é de 100%.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$p_{sat} = 6,1078 * 10^{\frac{7,5*T}{T+237,3}}$		<i>p_{sat}</i> – PRESSÃO DE SATURAÇÃO T – TEMPERATURA AMBIENTE
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Pascal (Pa)		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> No programa HUMIVENT predim, a unidade de medida apresentada para a pressão de saturação é KPa pois o valor da temperatura é introduzido em °C. 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 33 - Ficha individual "Pressão de vapor de água".

20.	PRESSÃO DE VAPOR DE ÁGUA À ENTRADA/ PAREDE	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Pressão de vapor de água		P^* ; P_0
<i>O que é</i>		
Pressão que o vapor de água teria se ocupasse individualmente o volume ocupado pela mistura de ar considerada a uma temperatura igual à ambiente.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$P = e^{\frac{(17.08 \cdot \theta)}{(234.18 + \theta)}} * (HR)$		<p>P – Pressão de vapor de água</p> <p>θ - Temperatura do ar</p> <p>HR- Humidade relativa à entrada do sistema</p>
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Pascal (Pa)		
<i>Ensaio prático de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> · No programa HUMIVENT predim, o valor da pressão é apresentado em Kg/m³. · O valor da temperatura é introduzido em (°C) e a humidade relativa em valor numérico. 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 34 - Ficha individual "Pressão de vapor de água".

21.	<u>PRESSÃO PARCIAL DE VAPOR DE ÁGUA</u>		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Pressão parcial de vapor de água		P_{TPO}	
<i>O que é</i>			
Pressão que o vapor de água exerceria se ocupasse individualmente o volume ocupado pela mistura de ar considerada, a uma temperatura igual á de ponto de orvalho.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$p_{tp0} = 6,1078 * 10^{\frac{7,5 * T_{po}}{T_{po} + 237,3}}$		<p>P_{sat} – PRESSÃO DE SATURAÇÃO</p> <p>T_{PO} – TEMPERATURA PONTO DE ORVALHO</p>	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Pascal (P_a)			
<i>Ensaio práticos de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> No programa HUMIVENT predim, a unidade de medida apresentada para a pressão parcial de vapor de água é KPa pois o valor da temperatura é introduzido em °C. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 35 - Ficha individual "Radiação solar livre".

22.	RADIAÇÃO SOLAR LIVRE		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Radiação solar livre		H_{SN}	
<i>O que é</i>			
Energia resultante da incidência solar na fachada de parede, por metro quadrado de superfície.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$H_{sn} = (1 - \rho) \times H_s$		ρ - Coeficiente de reflexão H_s - radiação solar incidente (W/m ²)	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
W/M ²			
<i>Ensaio prático de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
-			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 36 - Ficha individual "Sorptividade".

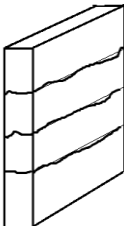

23.	SORPTIVIDADE	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Sorptividade		S
<i>O que é</i>		
Quociente entre o coeficiente de absorção de água (A) dos diversos materiais constituintes da parede e a massa volúmica da água (ρ_w).		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$S = \frac{A}{\rho_w}$	<p>S – Sorptividade</p> <p>A - Coeficiente de absorção de água</p> <p>ρ_w - Massa volúmica da água</p>	
<i>Unidade de medida S.I</i>		
m/ (s) ^(1/2)		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> A heterogeneidade da parede bem como o desconhecimento do material que compõe as juntas funcionar como ponte ou como corte hídrico, impede de se obter um valor exato para este parâmetro. Não deve ser usado o valor médio dos vários materiais pela erro associado mas sim o valor mais conservativo, isto é, considerar uma parede monolítica constituída pelo material predominante. 		
 <p>Parede com juntas</p>	 <p>Parede monolítica s/ juntas</p>	
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
Capítulo 3 (3.2) Folha de cálculo "S" _ HUMIVENT predim		

Tabela 37 - Ficha individual "Taxa de evaporação interior".

24.	TAXA DE EVAPORAÇÃO C/ AR INTERIOR	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Taxa de evaporação local		e
<i>O que é</i>		
<p>Água retirada, por unidade de tempo, pelo pano interior da parede. A ventilação recorre à circulação do ar ambiente contido no interior do edifício. Este valor pode ser determinado considerando a velocidade do ar dentro do edifício ou não.</p>		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
<p>(velocidade do ar =0)</p> $e = \frac{D_m * (v_* - v_a)}{\rho_w * L}$	<p>D_m - Coeficiente de difusão molecular v_* - Concentração de vapor de água na parede v_a - Concentração de vapor de água à entrada L - Comprimento da parede ρ_w - Massa volúmica da água</p>	
<p>(velocidade do ar \neq 0)</p> $e = \frac{M}{R * T} * (p_* - p_a) * D_m * \frac{(0.646(S_c)^{\frac{1}{3}} * (R_e)^{\frac{1}{2}})}{L * \rho_w}$	<p>M - Massa molecular vapor de água R - Constante de gases ideais T - Temperatura do ar p_* - Pressão de vapor de água parede p_a - Pressão de vapor de água no ar D_m - Coeficiente de difusão molecular R_e - Número de Reynolds S_c - Número de Schmidt L - Comprimento da parede ρ_w - Massa volúmica da água</p>	
<i>Unidade de medida S.I</i>		
Metro/s		
<i>Ensaio prático de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
-		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
<p>Folha de cálculo "e - Ar interior" _HUMIVENT predim Capítulo 3 (3.2.2)</p>		

Tabela 38 - Ficha individual "Taxa de evaporação exterior".

25.	TAXA DE EVAPORAÇÃO C/ AR EXTERIOR																	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>																
Taxa de evaporação local		e_{pm} ; e_o																
<i>O que é</i>																		
Água retirada, por unidade de tempo, pelo pano exterior da parede. A ventilação recorre à circulação do ar ambiente exterior. Este valor pode ser determinado considerando dois métodos distintos, Penman-Monteith (e_{pm}) e Oudin, L. (e_o).																		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>																		
<ul style="list-style-type: none"> Penman-Monteith (e_{pm}) $e_{pm} = \left(\frac{1}{h_v * \rho_w} \right) * \left(\frac{(\Delta * H_{sn}) + (\rho_a * c_p) * \left(\frac{(p_{sat} * T_a) - (p * T_{p0})}{r_a} \right)}{\Delta + \left(\gamma \left(1 + \left(\frac{r_s}{r_a} \right) \right) \right)} \right)$ <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">h_v - Calor latente de vaporização</td> <td style="width: 50%; border: none;">r_a - Resistência aerodinâmica</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">ρ_w - Massa volúmica da água</td> <td style="border: none;">γ - Constante</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Δ - Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar</td> <td style="border: none;">r_s - Resistência superficial</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">H_{sn} - Radiação solar livre</td> <td style="border: none;">T_a - Temperatura ambiente exterior</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">c_p - Calor específico do ar</td> <td style="border: none;">ϕ - Humidade relativa exterior</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">p_{sat} - Pressão de saturação</td> <td style="border: none;">T_{p0} - Temperatura ponto de orvalho</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">p_{tpo} - Pressão parcial de vapor de água</td> <td style="border: none;">u_2 - Velocidade do vento</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">ρ_a - Massa volúmica do ar</td> </tr> </table>			h_v - Calor latente de vaporização	r_a - Resistência aerodinâmica	ρ_w - Massa volúmica da água	γ - Constante	Δ - Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar	r_s - Resistência superficial	H_{sn} - Radiação solar livre	T_a - Temperatura ambiente exterior	c_p - Calor específico do ar	ϕ - Humidade relativa exterior	p_{sat} - Pressão de saturação	T_{p0} - Temperatura ponto de orvalho	p_{tpo} - Pressão parcial de vapor de água	u_2 - Velocidade do vento		ρ_a - Massa volúmica do ar
h_v - Calor latente de vaporização	r_a - Resistência aerodinâmica																	
ρ_w - Massa volúmica da água	γ - Constante																	
Δ - Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar	r_s - Resistência superficial																	
H_{sn} - Radiação solar livre	T_a - Temperatura ambiente exterior																	
c_p - Calor específico do ar	ϕ - Humidade relativa exterior																	
p_{sat} - Pressão de saturação	T_{p0} - Temperatura ponto de orvalho																	
p_{tpo} - Pressão parcial de vapor de água	u_2 - Velocidade do vento																	
	ρ_a - Massa volúmica do ar																	
<ul style="list-style-type: none"> Oudin, L. (e_o) $e_o = \begin{cases} \frac{H_e}{h_v \rho_w} \frac{T_a + 5}{100} & \text{se } T_a + 5 > 0 \\ 0 & \text{restantes} \end{cases}$ <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">H_e - Radiação</td> <td style="width: 50%; border: none;">T_a - Temperatura ambiente</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">h_v - Calor latente de vaporização</td> <td style="border: none;">ρ_w - Massa volúmica da água</td> </tr> </table>			H_e - Radiação	T_a - Temperatura ambiente	h_v - Calor latente de vaporização	ρ_w - Massa volúmica da água												
H_e - Radiação	T_a - Temperatura ambiente																	
h_v - Calor latente de vaporização	ρ_w - Massa volúmica da água																	
<i>Unidade de medida S.I</i>																		
Metro/ s																		
<i>Ensaios práticos de determinação</i>																		
<i>Figura ilustrativa</i>																		
-																		
<i>Observações</i>																		
-																		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>																		
Folha de cálculo "e - Ar exterior" _HUMIVENT predim																		
Capitulo 3 (3.2.1)																		

Tabela 39 - Ficha individual "taxa de variação da humidade com a temperatura do ar".

26.	TAXA DE VARIAÇÃO DA HUMIDADE COM A TEMPERATURA DO AR	
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>
Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar		Δ
<i>O que é</i>		
Parâmetro que traduz a variação da humidade relativa do ar com a sua temperatura. O valor deste parâmetro corresponde ao declive da curva de pressão de vapor.		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$\Delta = \frac{(17,27 * 237,3 * p_{sat})}{(Ta + 237,3)^2}$		Δ – Taxa de variação da humidade com a temperatura do ar Ta – temperatura ambiente P_{sat} – Pressão de saturação
<i>Unidade de medida S.I</i>		
KPA/ °C		
<i>Ensaio prático de determinação</i>		
-		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
-		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
-		

Tabela 40 - Ficha individual "Temperatura".

27.	TEMPERATURA DO AR/ PAREDE		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Temperatura do ar		<i>T; T_A; T*</i>	
<i>O que é</i>			
Medida estatística do nível de agitação entre moléculas, relacionado com o deslocamento de energia cinética de um átomo ou molécula.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
-		-	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Graus Kelvin (K)			
<i>Ensaio práticos de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
Expressões para conversão de temperatura:			
Fahrenheit em Celcius	$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(\text{F}) - 32}{1,8}$		
Celcius em Kelvin	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$		
Fahrenheit em Kelvin	$T(\text{K}) = \frac{T(\text{F}) + 459,67}{1,8}$		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 41 - Ficha individual "Temperatura ponto de orvalho".

28.	TEMPERATURA PONTO DE ORVALHO		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Temperatura ponto de orvalho		T_{PO}	
<i>O que é</i>			
Temperatura abaixo da qual se verifica a condensação do vapor de água contido no ar, ou seja, a temperatura que, para uma determinada quantidade de vapor de água do ar, se verifique 100% de humidade relativa.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
-		-	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Graus Kelvin (K)			
<i>Ensaio prático de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> A temperatura ponto de orvalho toma importância acrescida quando o utilizador se refere a condensações superficiais. Para determinado valor de humidade relativa do ar, temperatura ambiente, existe um único valor, máximo, para as superfícies da envolvente de modo a que, fenómenos de condensações nas suas superfícies sejam evitados. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
<i>Anexo C</i>			

Tabela 42 - Ficha individual "Teor de humidade volúmico".

29.	TEOR DE HUMIDADE VOLÚMICO	
	<i>Nome do parâmetro</i>	<i>Notação</i>
	Teor de humidade volúmico	W
<i>O que é</i>		
Relação entre o volume de água contido no material (V_e) e o volume aparente do mesmo material no estado seco (V_s).		
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>		
$W = \frac{V_e}{V_s}$	V_e - Volume de água contido no material V_s - Volume aparente do mesmo material no estado seco	
<i>Unidade de medida S.I</i>		
m ³ /m ³		
<i>Ensaio práticos de determinação</i>		
EN 1097 -5 (LNEC)		
EN ISO 12570 – Determinação do Teor de Humidade		
<i>Figura ilustrativa</i>		
-		
<i>Observações</i>		
<ul style="list-style-type: none"> O teor de humidade da região molhada da parede, w, pode ser obtido por medição direta do teor de humidade na parede. Nos casos em que não se dispõe de medições diretas, uma vez que o teor de humidade capilar raramente é inferior a cerca de $0,7\varepsilon$, considera-se $w = 0,85\varepsilon$, sendo ε a porosidade do material ($\varepsilon = 1 - (\text{massa volúmica aparente do material}) / (\text{massa volúmica do material sólido})$). 		
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>		
Folha de cálculo "S" _ HUMIVENT predim		

Tabela 43 - Ficha individual "Velocidade".

30.	VELOCIDADE DO AR/ VENTO		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Velocidade do ar/ vento		<i>u</i>	
<i>O que é</i>			
Distancia percorrida por unidade de tempo de ar contra a superfície de parede.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$u = \frac{D}{t}$		<i>u</i> – VELOCIDADE <i>D</i> – DISTANCIA PERCORRIDA PELO AR <i>t</i> – TEMPO QUE DEMORA A PERCORRER A DISTANCIA	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
METRO/S			
<i>Ensaio práticos de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade do ar refere-se ao ar do interior do edifício, sendo que a velocidade do vento está associada ao ar exterior. 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

Tabela 44 - Ficha individual "Viscosidade cinemática".

31.	VISCOSIDADE CINEMÁTICA DO FLUIDO		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Viscosidade cinemática do fluido		ν	
<i>O que é</i>			
A viscosidade cinemática corresponde á viscosidade dinâmica dividida pela massa volúmica do fluido.			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$\nu = \frac{\mu}{\rho}$		ν – Viscosidade cinemática μ - Viscosidade dinâmica ρ – Densidade do fluido	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Metro ² /s			
<i>Ensaio práticos de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
-			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
Ficha 37 – Viscosidade dinâmica do fluido.			

Tabela 45 - Ficha individual "Viscosidade dinâmica".

32.	VISCOSIDADE DINÂMICA DO FLUIDO		
<i>Nome do parâmetro</i>		<i>Notação</i>	
Viscosidade dinâmica do fluido (viscosidade absoluta)		μ	
<i>O que é</i>			
<p>A viscosidade dinâmica é a propriedade que um fluido tem de apresentar resistência às tensões de cisalhamento.</p> <p>A viscosidade pode ser interpretada como a resistência que o fluido oferece ao movimento, isto é, o atrito interno resultante do movimento de uma camada de fluido em relação a outra.</p> <p>Sendo a água um fluido Newtoniano, a viscosidade é independente da velocidade e a taxa de deformação é proporcional à tensão de cisalhamento.</p>			
<i>Fórmula matemática de cálculo</i>			
$\frac{F}{A} = \mu * \frac{V}{d}$		$\frac{F}{A}$ - Tensão de cisalhamento μ - Viscosidade dinâmica $\frac{V}{d}$ - Taxa de deformação	
<i>Unidade de medida S.I</i>			
Kg/ m.s			
<i>Ensaio prático de determinação</i>			
-			
<i>Figura ilustrativa</i>			
-			
<i>Observações</i>			
<ul style="list-style-type: none"> No programa HUMIVENT predim, o valor atribuído a esta variável é de 1,78E(-5) Kg/ m.s 			
<i>Informação extra aconselhada a consultar</i>			
-			

5

HUMIVENT PREDIM – NOVO LAYOUT

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com o principal objetivo desta dissertação, a elaboração de um manual de utilização para o programa no seu formato original, foi apresentado no capítulo quatro. Desta forma, o utilizador terá à sua disposição um capítulo integralmente destinado a esclarecer qualquer dúvida relativamente ao programa.

Ainda assim, foi proposto o desenvolvimento de uma nova apresentação gráfica do programa original. À semelhança do que foi feito para o programa original, por forma a complementar esta nova interface foi desenvolvido, um manual de utilização para a então nova interface do programa HUMIVENT PREDIM.

Para tal, foi acrescentado um quinto capítulo onde irá ser apresentada a nova interface do programa bem como toda a informação necessária para o seu correto manuseamento.

5.2. ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA

Ao desenvolver esta nova interface, foi tido como critério fundamental, a elaboração de algo intuitivo, graficamente apelativo e sintético por forma a tornar a utilização do programa o mais fácil possível para o utilizador.

Deste modo, o programa foi dividido em três separadores principais – Input de dados, Otimização do sistema e Manual de utilização.

No separador Input de dados, serão introduzidos pelo utilizador os valores dos parâmetros necessários ao funcionamento do programa, sendo o resultado final do pré dimensionamento apresentado de imediato no mesmo separador.

Relativamente à otimização do sistema será num segundo separador, que o utilizador poderá encontrar valores ideias para a velocidade de circulação do ar bem como da altura do sistema, tudo isto, em função da altura máxima atingida pela frente húmida.

Finalmente, o último separador consiste num manual de utilização para o programa, deste modo incorporado no próprio programa para uma mais rápida e eficiente consulta. O manual será deste modo, uma adaptação deste quinto capítulo realizada de uma forma mais resumida visto que será apenas um meio de consulta complementar.

O programa disponibiliza ainda funções básicas como a possibilidade de gravar internamente ou imprimir cada caso estudado.

É ainda disponibilizado, um pequeno resumo da informação que estará por detrás de todo este programa bem como o sistema de ventilação da base das paredes de modo a enquadrar o utilizador antes de utilizar o programa.

De seguida apresentar-se-á de forma detalhada os três separadores bem como todas as funcionalidades associadas.

5.3. O PROGRAMA

Ao iniciar o programa, o utilizador depara-se imediatamente com a imagem de capa que aparece no ecrã indicando o nome do programa que está a ser executado. (Figura 58)

Programada para desaparecer ao fim de alguns segundos, esta primeira imagem dá lugar ao programa propriamente dito, isto é, passam a estar disponíveis as funções do programa.

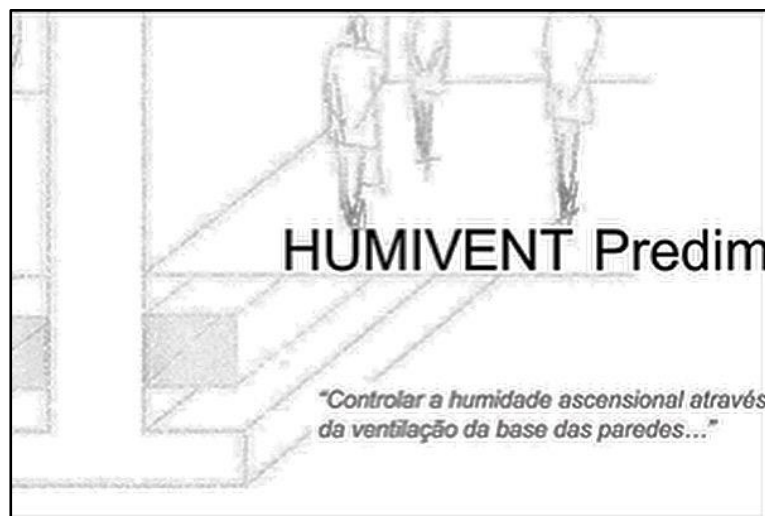


Figura 58 - Imagem apresentada ao executar o programa.

Correndo o programa, a imagem anteriormente apresentada desaparece e dá lugar à página principal do programa na qual serão introduzidos os parâmetros necessários e onde também será apresentada a solução do pré dimensionamento.

Observando a Figura 59 apresentada de seguida, podem ser identificados os três separadores principais, - Input de dados, Otimizar sistema e Manual -, bem como dois campos denominados “Ficheiro” e “Sobre”.

The screenshot displays the main interface of the HUMIVENT program, organized into several panels and tabs. At the top, there are menu options: 'Ficheiro', 'Sobre', 'Input de Dados', 'Otimizar Sistema', and 'Manual do Utilizador'. The interface is divided into three main columns:

- Dados Geométricos:** Contains input fields for 'Espessura da parede - b (?)' (0.3), 'Comprimento do sistema - L (?)' (5), 'Altura Máxima atingida pela frente húmida na parede - hmax (?)' (0.6), and 'Altura do terreno adjacente à parede - ha (?)' (0.35).
- Dados Climáticos:** Contains input fields for 'Taxa de evaporação do pano interior - e (?)' (1.1E-8), 'Taxa de evaporação do pano exterior - e (?)' (23E-12), and 'Coeficiente de difusão molecular - Dm (?)' (0.000025). It also features two 'Calcular Taxa de Evaporação' buttons.
- Propriedades dos Materiais:** Includes a dropdown for 'Material da Parede' (Titiolo Semi-seco, prensado), and input fields for 'Sorptividade - S (?)' (0.0000170411267), 'Teor de humidade volúmico - w (?)' (0.3034), and 'Massa volúmica da água - pw (?)' (1000).
- Propriedades do Ar de Ventilação:** Divided into 'Pano Interior' and 'Pano Exterior'. Interior values: 'Temperatura do ar - T (?)' (12), 'Humidade relativa do ar - Φa' (0.75). Exterior values: 'Temperatura do ar - T (?)' (9), 'Humidade relativa do ar - Φa' (0.60).
- Dados de Saída - Pano Interior:** Shows calculated results under 'Calcular u função de hs pretendido' (Altura do sistema - hs (?) 0.2, Velocidade ótima de circulação do ar - u 0.0612004795957028) and 'Calcular hs função de u pretendido' (Velocidade de circulação do ar - u 0.083, Altura ótima do sistema - hs (?) 0.273177017783631).
- Dados de Saída - Pano Exterior:** Shows calculated results under 'Calcular u função de hs pretendido' (Altura do sistema - hs (?) 0.2, Velocidade ótima de circulação do ar - u 0.0205003964970273) and 'Calcular hs função de u pretendido' (Velocidade de circulação do ar - u 0.083, Altura ótima do sistema - hs (?) 0.0984215735052861).

Figura 59 - Página principal do programa.

Analisando os dois campos apresentados na barra superior, no primeiro campo denominado Ficheiro, o utilizador encontra as opções básicas de gestão do programa, mais especificamente, do caso prático que estará a estudar ou dos casos que já estudou através do programa. Na figura 60, é possível observar as várias opções associadas a este comando que são postas à disposição do utilizador.

Contrariamente ao programa original, torna-se agora possível abrir ficheiros, outrora utilizados ou gravar novos casos que estão a ser estudados.

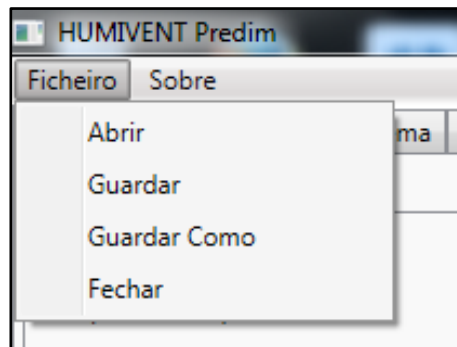


Figura 60 - Potencialidades do comando "Ficheiro".

Relativamente à segunda opção ou campo, com o nome “Sobre”, o utilizador terá acesso a um documento que permitirá um enquadramento teórico e prático de toda a informação que sustenta o programa. Aqui é efetuada uma pequena descrição da técnica da ventilação da base das paredes como forma de tratar a humidade ascensional em paredes e, ainda, uma descrição da evolução dessa mesma técnica até se chegar ao programa de pré dimensionamento. O presente documento estará presente em anexo (ANEXO B), para uma mais detalhada consulta.

Ao clicar sobre o comando, aparecerá uma célula com o nome “ Programa” e que, ao ser clicada, dará lugar a uma nova janela que conterà o documento acima referido. As Figuras 61 e 62 apresentam a ilustração gráfica desta sequência de passos.

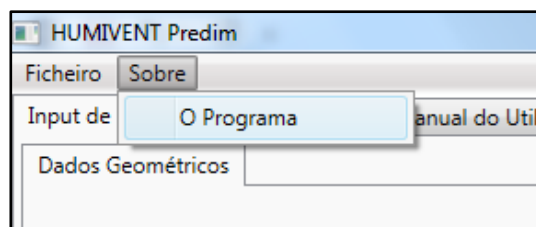


Figura 61 – Comando “O Programa”.

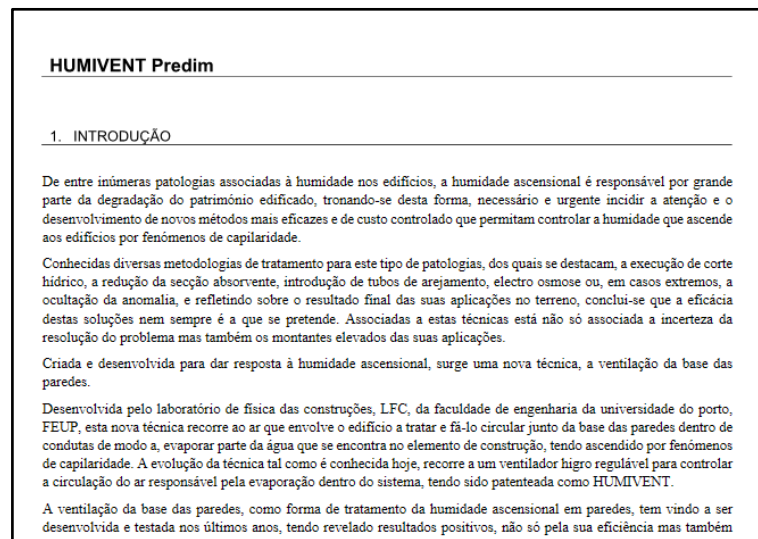


Figura 62 – Documento informativo sobre a técnica HUMIVENT e o programa HUMIVENT Predim.

Apresentados e analisados os dois campos fornecidos nesta nova versão do programa, analisar-se-á agora os três separadores referidos anteriormente e representados na Figura 63.

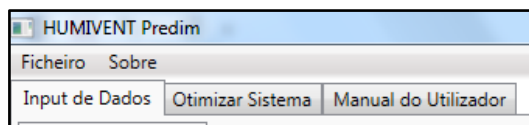


Figura 63 – Separadores principais do programa.

5.3.1. SEPARADOR INPUT DE DADOS

O primeiro separador coincide com a página principal do programa, isto é, por defeito o programa inicia-se no separador de Input de dados.

Contrariamente ao programa em formato Excel, este concentra toda a introdução de dados num só separador, ficando desta forma a presente página responsável por receber todos os valores introduzidos pelo utilizador. À semelhança do programa original, os dados a introduzir estão organizados em geométricos, propriedades, climáticos e a solução de pré dimensionamento que será apresentada pelo programa neste mesmo separador.

Contrariamente ao programa original, aqui o utilizador encontra uma zona destinada somente à introdução das condições de temperatura e humidade relativa do ar que irá ser admitido pelo sistema para proceder à ventilação.

Na Figura 64, observa-se o separador bem como os diversos campos que o compõem. De forma a simplificar toda a introdução de valores, esta nova versão do programa contempla um maior grau de

programação, garantindo o preenchimento e cálculo automático de diversos parâmetros, permitindo assim ao utilizador concentrar-se apenas nos parâmetros essenciais e de mais fácil determinação.

The image shows a software interface with six main sections, each outlined in red and labeled with a letter from A to F. Red arrows point from the labels to the corresponding sections.

- A: Dados Geométricos**
 - Espeçura da parede - b (?): 0.3
 - Comprimento do sistema - L (?): 5
 - Altura Máxima atingida pela frente húmida na parede - hmax (?): 0.6
 - Altura do terreno adjacente à parede - ha (?): 0.35
- B: Propriedades dos Materiais**
 - Material da Parede: Titiolo Semi-seco. prensado
 - Sorptividade - S (?): 0.0000170411267
 - Teor de humidade volúmico - w (?): 0.3034
 - Massa volúmica da água - pw (?): 1000
- C: Dados Climáticos**
 - Taxa de evaporação do pano interior - e (?): 1.1E-8 (Calcular Taxa de Evaporação)
 - Taxa de evaporação do pano exterior - e (?): 23E-12 (Calcular Taxa de Evaporação)
 - Coefficiente de difusão molecular - Dm (?): 0.000025
- D: Propriedades do Ar de Ventilação**
 - Pano Interior**
 - Temperatura do ar - T (?): 12
 - Humidade relativa do ar - Φ_a : 0.75
 - Pano Exterior**
 - Temperatura do ar - T (?): 9
 - Humidade relativa do ar - Φ_a : 0.60
- E: Dados de Saída - Pano Interior**
 - Calcular u função de hs pretendido
 - Altura do sistema - hs (?): 0.2
 - Velocidade ótima de circulação do ar - u: 0.0612004795957028
 - Calcular hs função de u pretendido
 - Velocidade de circulação do ar - u: 0.083
 - Altura ótima do sistema - hs (?): 0.273177017783631
- F: Dados de Saída - Pano Exterior**
 - Calcular u função de hs pretendido
 - Altura do sistema - hs (?): 0.2
 - Velocidade ótima de circulação do ar - u: 0.0205003964970273
 - Calcular hs função de u pretendido
 - Velocidade de circulação do ar - u: 0.083
 - Altura ótima do sistema - hs (?): 0.0984215735052861

Figura 64 - Separador principal.

Observando a figura 64, é possível identificar os seis campos que dividem a página identificados por letras. De A a F, Dados Geométricos, Propriedades, dados climáticos, características do ar de ventilação, dados de saída pano interior e dados de saída pano exterior, identificados pelas letras A, B, C, D, E e F respetivamente. Analisando-se com mais detalhe este separador, será efetuada uma descrição pormenorizada de cada um dos campos que a compõem.

Observando a página principal do programa, o utilizador verificará que grande parte dos parâmetros presentes vêm acompanhados do símbolo de interrogação, (?). Ao colocar o cursor sobre o símbolo, o utilizador terá uma breve descrição sobre o parâmetro em questão, nomeadamente, definição e unidade de medida em que se encontra programado.

Na Figura 65, a título de exemplo, apresenta-se o parâmetro comprimento do sistema.

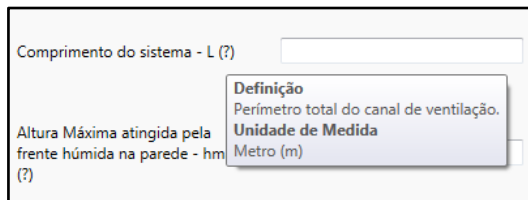


Figura 65 – Acesso rápido à informação do parâmetro.

Atente-se agora no campo dos dados geométricos, designado pela letra A e representado na Figura 66.

The image shows a form titled 'Dados Geométricos' with four input fields: 'Espessura da parede - b (?)', 'Comprimento do sistema - L (?)', 'Altura Máxima atingida pela frente húmida na parede - hmax (?)', and 'Altura do terreno adjacente à parede - ha (?)'.

Figura 66 - Input de dados Geométricos.

Nesta fase, o utilizador terá que introduzir os quatro valores dos parâmetros pedidos. Tal como se pode observar na figura anterior, serão necessários os valores da espessura da parede, o comprimento do sistema, a altura máxima atingida pela frente húmida e a altura do terreno adjacente à parede.

Na tabela 46 estão sintetizados os parâmetros geométricos necessários introduzir.

Tabela 46 - Síntese dos parâmetros geométricos.

DADOS GEOMÉTRICOS			
ESPESSURA PAREDE	COMPRIMENTO SISTEMA	ALTURA MÁXIMA FRENTE HUMIDA	ALTURA TERRENO ADJACENTE À PAREDE

Relativamente à espessura da parede, o valor introduzido na célula deverá coincidir com o projeto de arquitetura ou, caso não seja possível consultar, deverá ser determinado através de uma medição no local.

O comprimento do sistema deverá ser arbitrado pelo utilizador tendo em conta a geometria do espaço e das paredes a tratar. Caso o valor a testar se apresentar elevado, é aconselhável subdividir o sistema de modo a diminuir o seu desenvolvimento. Como já foi referido no capítulo três e ainda no capítulo quatro, tal justifica-se pelo facto do sistema quanto maior for, maior será o percurso que o ar responsável pela evaporação terá de percorrer dentro do canal. Tal como foi referido no capítulo três, o ar que circula dentro do canal irá, partindo do princípio que a sua humidade relativa será inferior à da parede, absorver humidade presente na parede até atingir o estado de saturação, podendo ocorrer fenómenos de condensação. Quanto menor for o comprimento do canal, menor será a probabilidade do ar atingir a saturação e, conseqüentemente, evitem-se condensações dentro do sistema.

Introduzidos os valores para estes parâmetros, surge de seguida o valor para a altura máxima atingida pela frente húmida. O valor atribuído tem de ser sempre superior à altura do terreno adjacente à parede. Esta imposição prende-se pelo facto de que, se tal não se verificar, a água líquida ficará abaixo do canal de ventilação, não fazendo qualquer sentido o pré dimensionamento. Deste modo, a parcela relativa à taxa de evaporação pelo sistema mecânico seria nula.

Relembrando o programa em formato Excel, esta necessidade era dada a conhecer ao utilizador por uma condição junto da célula a ser preenchida pelo valor do parâmetro. Aqui, caso o utilizador atribua um valor errado à altura da frente húmida, ao ser mandado correr o programa, será emitido uma janela de alerta como a que está representada na Figura 67.

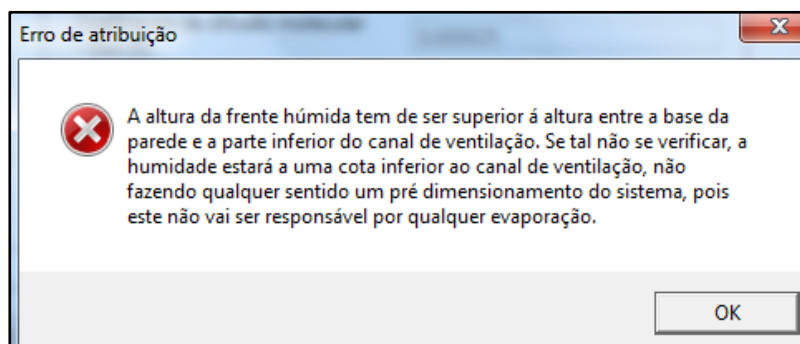


Figura 67 - Mensagem de erro apresentada pelo programa ao ser introduzido um valor errado para a altura da frente húmida.

A encerrar os dados climáticos, surge o parâmetro altura do terreno adjacente à parede, cujo valor deverá corresponder à distância entre a base da parede e o pavimento, subtraída da altura do canal arbitrada pelo utilizador.

Finalizada a introdução dos dados geométricos, analisar-se-á de seguida o campo destinado às propriedades do material que constitui a parede. Apresentada pela letra B, o presente campo é constituído por quatro células, das quais, apenas três são da responsabilidade do utilizador (Figura 68).

Tal como pode ser observado na figura seguinte, o programa pede ao utilizador o material que compõe a parede, o valor da respetiva sorptividade, o teor de humidade volúmico e a massa volúmica da água.

Figura 68 - Input de Propriedades dos Materiais.

Invocando novamente o programa original, este apresentava numa das suas sete folhas de cálculo, uma lista dos materiais mais comuns que possa constituir a parede. Retomando à nova versão do programa, o utilizador ao clicar no campo “Material”, poderá escolher o material que entender, ficando automaticamente preenchido o respetivo valor de sorptividade. Observe-se a Figura 69.

Figura 69 – Listagem de materiais constituintes da parede.

A base de dados apresentada é a mesma base de dados do original em formato Excel.

Relativamente ao parâmetro Sorptividade, o valor deste parâmetro fica automaticamente preenchido, em $m/s^{(1/2)}$, ao ser seleccionado o tipo de material que compõe a parede. Embora o programa contemple esta facilidade, o utilizador terá a possibilidade de introduzir o valor da sorptividade que entender, não

estando condicionado pelo tipo de material da parede, servindo apenas para auxiliar a determinação do parâmetro sorptividade. Atente-se no exemplo seguinte (Figura 70 e 71).

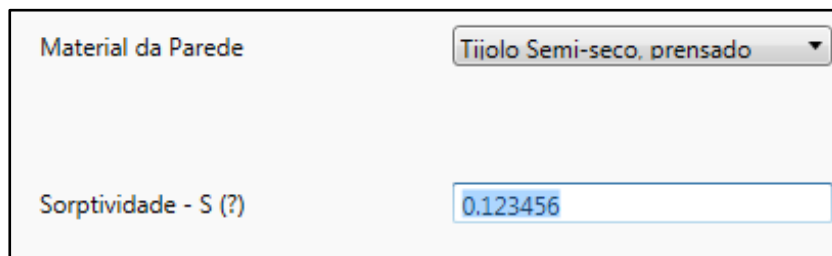
Caso o utilizador opte por uma parede de tijolo moldado à mão, obterá um valor de sorptividade de 0.000285309773 m/s^(1/2) (Figura 70).



The screenshot shows a software interface with two main components. On the left, the text 'Material da Parede' is displayed. To its right is a dropdown menu with the selected option 'Tijolo Moldado à mão'. Below this, the text 'Sorptividade - S (?)' is shown next to a text input field containing the value '0.000285309773'.

Figura 70 – Seleção do material e preenchimento automático da respectiva Sorptividade.

Se porventura, o programa não contemplar na sua base de dados um material que o utilizador tenha na sua parede, o valor da sorptividade do respetivo material pode ser inserido manualmente no respetivo campo. Na figura 71, é possível observar a introdução manual do valor da sorptividade, por exemplo 0,123456 m/s^(1/2).



The screenshot shows the same software interface as in Figure 70. The dropdown menu now shows 'Tijolo Semi-seco, prensado'. The text input field for 'Sorptividade - S (?)' now contains the manually entered value '0.123456'.

Figura 71 – Preenchimento manual do valor da Sorptividade.

Seguindo a ordem de parâmetros presente no programa, segue-se o teor de humidade volúmico.

Aqui o utilizador terá que introduzir manualmente o valor correspondente ao material que compõe a parede. Não existindo nenhuma base de dados através da qual se consiga obter diretamente este parâmetro, o utilizador terá que o determinar através da relação já apresentada no capítulo quatro e que se apresentará de seguida. O valor deste parâmetro pode ser determinado experimentalmente por medição direta do teor de humidade ou, caso não seja possível, estimado através da seguinte relação com a porosidade do material:

$$W = 0,85 * \epsilon$$

Para facilitar a determinação deste parâmetro, e à semelhança do programa original, é apresentado na parte final deste manual, na folha individual deste parâmetro, uma listagem de valores de porosidade para os diversos materiais que estão contemplados no campo “ material da parede”.

Ainda no campo das propriedades do material, surge o valor da massa volúmica da água. Por ser um valor universal, este parâmetro encontra-se previamente preenchido pelo programa.

Representado pela letra B na legenda da página principal, seguem-se os dados climáticos.

Tal como se pode observar pela figura seguinte, este campo é apenas composto por três parâmetros, estando um deles automaticamente preenchido, à semelhança do parâmetro massa volúmica da água apresentado no ponto anterior, por se tratar de uma grandeza universal.

Figura 72 – Input de Dados Climáticos.

Desta forma encontram-se dois parâmetros necessário preencher. Taxas de evaporação interior e exterior que se encontram na folha de cálculo “e” no programa original.

Na Tabela 47, sintetiza-se os dados climáticos necessário introduzir. Os três parâmetros estão preenchidos a vermelho e a verde. As taxas de evaporação encontram-se a vermelho por terem de ser calculadas, ainda auxiliadas pelo programa. A verde encontra-se o coeficiente de difusão molecular por estar previamente preenchido pelo programa, não tendo o utilizador que lhe atribuir um valor dado que o parâmetro é uma grandeza universal.

Tabela 47: Síntese dos parâmetros Climáticos.

DADOS CLIMÁTICOS		
TAXA EVAPORAÇÃO PANO INTERIOR	TAXA EVAPORAÇÃO PANO EXTERIOR	COEFICIENTE DIFUSÃO MOLECULAR

À semelhança do programa em formato Excel é possível determinar os valores para ambas as taxas de evaporação, isto é, quer pelo pano inteiro de parede quer pelo pano exterior. Obtidos os dois valores, a nova versão do programa regista-os automaticamente, permitindo mais à frente, pré dimensionar em simultâneo um sistema de ventilação mecânica para ambos os panos de parede. Esta funcionalidade não estava disponível no programa original tendo dessa forma que se pré dimensionar individualmente a ventilação mecânica pelos dois panos de parede.

Respeitando a programação e o método de cálculo do programa original, o cálculo das taxas de evaporação, quer pelo pano interior, quer pelo pano exterior, podem ser determinadas por dois métodos distintos, tendo naturalmente cada um deles a sua formulação matemática.

Na tabela 48, resumem-se as várias hipóteses de determinação das taxas de evaporação.

Tabela 48 - Taxa de evaporação.

TAXA DE EVAPORAÇÃO			
PANO INTERIOR		PANO EXTERIOR	
MÉTODO DO AR PARADO	MÉTODO DO AR MOVIMENTO	MÉTODO A (OUDIN, L.)	MÉTODO B (PENMAN-MONTEITH)

Analisando a taxa de evaporação pelo pano interior, o utilizador terá apenas que, no campo dos dados climáticos, clicar sobre a célula da taxa de evaporação pano interior e, de forma automática, será apresentada uma nova janela que permitirá calcular o valor dessa mesma taxa, tal como se pode observar na Figura 73.

The screenshot shows a software window titled 'Evapor' with two tabs: 'Ar Parado' (selected) and 'Ar Em Movimento'. The interface contains several input fields and labels:

- Coefficiente de difusão molecular - D_m (?): 2.50E-05
- Constante de gases ideais - R (?): 8.314
- Concentração de vapor de água na parede - u^* : [Empty]
- Cidade: Radio buttons for Lisboa and Porto (Lisboa is selected).
- Mês: [Dropdown menu]
- Concentração de vapor de água na entrada - u_0 : [Empty]
- Temperatura do ar - T (?): [Empty]
- Comprimento da parede - L (?): [Empty]
- Humidade relativa do ar - Φ_a : [Empty]
- Temperatura da parede - T^* : [Empty]
- Massa volúmica da água - ρ_w (?): 1000
- Humidade relativa - Φ^* (?): [Empty]
- Massa molecular do vapor de água - M (?): 18
- Resultado - e (?): [Empty]
- Buttons: 'Concluir' and 'Concluir'.

Figura 73 – Determinação da taxa de evaporação pelo pano interior da parede acima do pavimento_ Ar Parado.

A taxa de evaporação pelo pano interior também pode ser determinada por dois métodos distintos, tal como se pode constatar pelo canto superior da figura – Ar parado e Ar em Movimento.

A escolha de um ou de outro método para determinar a taxa de evaporação fica ao critério do utilizador.

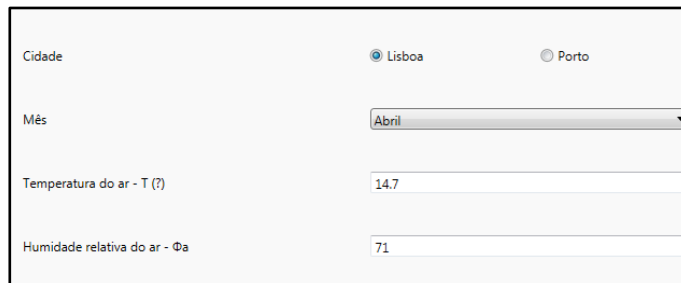
Caso seja vontade do utilizador determinar a taxa de evaporação do pano interior, desprezando o movimento do ar contra a parede no interior do edifício, deve optar pela janela “Ar parado”, apresentando-se catorze campos de preenchimento.

Relativamente ao coeficiente de difusão molecular, constante de gases ideais, massa molecular de valor de água e massa volúmica da água, estes encontram-se automaticamente preenchidos uma vez que se tratam de grandezas universais e não irão variar. Desta forma, os catorze campos a preencher resumem-se apenas a dez.

Quando o utilizador pretende ventilar a base da parede, pode fazê-lo admitindo ar vindo do exterior ou do interior do edifício. Desta forma, esta nova versão do programa disponibiliza ao utilizador uma base de dados de temperaturas e humidades relativas das cidades Porto e Lisboa, tendo sido estes valores determinados por médias mensais registadas pelo Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do porto, nos últimos dez anos consecutivos. [2]

Complementarmente ao programa, é apresentado em anexo (ANEXO A), a listagem das médias mensais referidas anteriormente, temperatura e humidade relativa, bem como das médias anuais para ambas as cidades, caso o utilizador pretenda consultar e, hipoteticamente pré dimensionar com esses valores. Neste caso, os valores devem ser introduzidos tal como será explicado de seguida e como está demonstrado na Figura 74.

Se o utilizador pretender ventilar com ar exterior, tem apenas que seleccionar a cidade e o mês que pretende e os valores de humidades relativas e temperaturas ficam automaticamente preenchidos. A título de exemplo, observe-se a Figura 35 caso se pretendesse a cidade de Lisboa no mês de Abril.



The screenshot shows a form with four rows. The first row is labeled 'Cidade' and has two radio buttons: 'Lisboa' (selected) and 'Porto'. The second row is labeled 'Mês' and has a dropdown menu with 'Abril' selected. The third row is labeled 'Temperatura do ar - T (?)' and has a text input field containing '14.7'. The fourth row is labeled 'Humidade relativa do ar - Φ_a ' and has a text input field containing '71'.

Figura 74 – Pormenor da escolha da cidade e mês.

Paralelamente a esta função, o utilizador terá sempre a possibilidade de ignorar o campo “Mês” e “Cidade” e introduzir manualmente os valores de temperatura e Humidade relativa do ar que será responsável pelo processo de evaporação. Por exemplo, observando a figura seguinte caso se pretenda uma humidade relativa de 45% e uma temperatura de 22 °C. Desta forma, os campos cidade e mês deixam de ter qualquer tipo de influência no pré dimensionamento.



The screenshot shows the same form as Figure 74. The 'Cidade' row has 'Lisboa' selected. The 'Mês' row has 'Abril' selected. The 'Temperatura do ar - T (?)' row has a text input field containing '22'. The 'Humidade relativa do ar - Φ_a ' row has a text input field containing '45'.

Figura 75 – Pormenor da inserção manual dos valores de temperatura e humidade relativa do ar.

Preenchidos estes quatro campos, restam apenas o comprimento do sistema, temperatura e humidade relativa da superfície da parede.

Estando todos os valores e campos devidamente preenchidos, o programa lança de imediato o valor da taxa de evaporação pelo pano interior da parede, tal como se pode observar na Figura 76.



The screenshot shows a single row with a label 'Resultado - e (?)' followed by a text input field containing the value '1.19428138197327E-08'. To the right of the input field is a button labeled 'Concluir'.

Figura 76 – Valor da taxa de evaporação pela parede, método Ar parado.

Considerando agora o interesse do utilizador considerar o movimento do ar dentro do interior do edifício, analisar-se-á de seguida a determinação da taxa de evaporação pelo pano interior pelo método Ar em movimento.

Ao clicar no canto superior esquerdo em “Ar movimento”, o programa automaticamente passa para a janela que se apresenta na Figura 77.

The screenshot shows the 'Evapor' software window with the 'Ar Em Movimento' tab selected. The interface includes the following fields and controls:

- Massa molecular do vapor de água - M (?)**: 18
- Coefficiente de difusão molecular - Dm (?)**: 2.50E-05
- Comprimento da parede - L (?)**: 3
- Constante de gases ideais - R (?)**: 8.314
- Número de Reynolds - Re (?)**: 337078.651685393
- Massa Volúmica da água - pw (?)**: 1000
- Cidade**: Radio buttons for Lisboa and Porto (Porto is selected).
- Mês**: Dropdown menu showing 'Março'.
- Número de Schmidt - Sc (?)**: 0.712
- Temperatura da parede - T***: 23
- Temperatura do ar - T (?)**: 12.275
- Humidade relativa do ar - Φa**: 69.5
- Viscosidade dinâmica de um fluido - μ (?)**: 1.78E-05
- Humidade relativa da parede - Φ***: 56
- Pressão do vapor de água na parede - p***: 157.619491139998
- Massa volúmica do ar - pa**: 1
- Velocidade do ar - u**: 2
- Pressão do vapor de água no ar - pa**: 99.4205893211122
- Concentração de vapor de água na parede - u***: 0.739656281146395
- Concentração de vapor de água na entrada - u0**: 0.58895989740671
- Resultado - e (?)**: 1.24442908403423E-4
- Concluir**: Button

Figura 77 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano interior da parede acima do pavimento_ Ar Movimento.

À semelhança do método “ Ar parado”, aqui o utilizador dispõe também da hipótese de escolher a temperatura e a humidade relativa do ar através da seleção da cidade e do mês em que se encontra. Por outro lado pode igualmente introduzir os valores manualmente. Comparativamente ao método anterior, o utilizador terá apenas que introduzir mais um parâmetro, a velocidade do ar que circula dentro do edifício (Figura 78).

The image shows a close-up of the input field for 'Velocidade do ar - u'. The text 'Velocidade do ar - u' is displayed on the left, and an empty text input box is on the right.

Figura 78 – Introdução do valor da velocidade do ar dentro do edifício.

Preenchidos todos os campos necessários, o programa apresenta a solução da taxa de evaporação, tendo apenas o utilizador que clicar em “concluir” de modo a que o valor passe automaticamente para a página principal e seja incluído no cálculo do pré dimensionamento.

Definida a taxa de evaporação pelo pano interior da parede, falta agora analisar pelo pano exterior da parede.

Tal como já foi referido, existem também dois métodos de determinação. Apresentada como Hipótese A, surge a formulação de Penman-Monteith e como Hipótese B, a formulação de Oudin,L.

Observe-se a Figura 79 seguinte onde é apresentada a página destinada à determinação da taxa de evaporação pela formulação de Penman-Monteith.

Figura 79 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano exterior da parede acima do solo_ Penman-Monteith.

Aqui o utilizador terá apenas que introduzir o valor da radiação que incidirá no pano exterior da parede e naturalmente contribuirá para a evaporação. Terá igualmente que preencher o valor da velocidade do vento, humidade relativa e temperatura ambiente. Estes dois últimos parâmetros, tal como se pode observar na Figura 40, podem ser determinados escolhendo a cidade e o mês pretendidos.

Relativamente à hipótese B, baseado na formulação de Oudin,L., o utilizador apenas terá que introduzir o valor da radiação solar e da temperatura ambiente (Figura 80).

The screenshot shows a software window titled 'Evapor' with two tabs: 'Ar Exterior Método A' and 'Ar Exterior Método B'. The window contains several input fields and a 'Concluir' button. The fields are:

- Radiação - He: [Empty text box]
- Cidade: Radio buttons for 'Lisboa' (selected) and 'Porto'.
- Mês: [Dropdown menu]
- Temperatura ambiente - Ta: [Empty text box]
- Calor latente de vaporização - hv (?): [Text box containing '2.45E+06']
- Massa volúmica da água - pw (?): [Text box containing '1000']
- Resultado - e (?): [Empty text box]
- Concluir: [Button]

Figura 80 - Determinação da taxa de evaporação pelo pano exterior da parede acima do solo_ Oudin,L..

Preenchidos os dois campos destinados à determinação da taxa de evaporação pela parede (Figura 81), os valores são automaticamente passados para a página principal e memorizados para o cálculo do pré dimensionamento.

The screenshot shows a software window titled 'Dados Climáticos' with three rows of data:

- Taxa de evaporação do pano interior - e (?): [Text box containing '-3.13745505257213E-09'] with a 'Calcular Taxa de Evaporação' button above it.
- Taxa de evaporação do pano exterior - e (?): [Text box containing '2.77213374888365E-08'] with a 'Calcular Taxa de Evaporação' button above it.
- Coefficiente de difusão molecular - Dm (?): [Text box containing '0.000025']

Figura 81 – Preenchimento automático dos valores da taxa de evaporação na página principal.

Descrito o campo destinado aos dados climáticos, seguem-se as propriedades do ar de ventilação. Observe-se a figura seguinte (Figura 82).

Propriedades do Ar	
Pano Interior	
Temperatura do ar - T (?)	<input type="text"/>
Humidade relativa do ar - Φ_a	<input type="text"/>
Pano Exterior	
Temperatura do ar - T (?)	<input type="text"/>
Humidade relativa do ar - Φ_a	<input type="text"/>

Figura 82 – Propriedades do ar responsável pela ventilação dentro do sistema.

Preenchidos os restantes campos do programa, restam estas quatro células por completar. É aqui que o utilizador irá confirmar a proveniência do ar que ventilará a base das paredes, quer pelo exterior da parede, quer pelo interior.

Importante referir que esta nova versão do programa permite, contrariamente ao que acontece no programa original, pré dimensionar em simultâneo um sistema que será instalado do exterior da parede e outro que será instalado no interior. Parede exterior onde existe um pano em contacto com o exterior e um segundo pano em contacto com o interior. Se o utilizador pretender tratar uma parede interior do edifício, apenas terá que duplicar a solução apresentada pelo programa para o pano interior da parede.

No campo representado pela letra A, o utilizador introduzirá os valores de temperatura e humidade relativa do ar que será admitido pelo sistema que ficará instalado no pano interior da parede. Representado pela letra B, analogamente, serão introduzidos os valores que caracterizam o ar que circulará dentro do sistema que será instalado junto do pano exterior da parede.

O preenchimento destes valores servirá apenas para determinar o valor das concentrações à entrada do sistema e na superfície da parede, valores esses que entrarão na fórmula de cálculo, presente no programa original, do pré dimensionamento do sistema.

Preenchidos todos os campos referidos até então, o programa apresenta a solução de pré dimensionamento nos dois campos da página principal, legendados com as letras E e F.

O par de valores representados pela letra A, na Figura 83, correspondem à solução de pré dimensionamento do sistema que ficará responsável por tratar a parede junto do pano interior. De forma análoga, representado pela letra B, estará a solução de pré dimensionamento do sistema que tratará a parede pelo lado exterior.

No exemplo que se segue (Figura 83), obteve-se uma solução de pré dimensionamento para o sistema instalado pelo pano exterior de 9,58 cm para a altura do sistema e uma velocidade de circulação de 0,02 m/s. Observando-se os campos destinados ao sistema instalado pelo pano interior, os valores são aproximadamente 27 cm e 0,06 m/s para altura do sistema e velocidade de circulação, respetivamente.

The image shows a software interface with two sections: 'Dados de Saída - Pano Interior' and 'Dados de Saída - Pano Exterior'. Each section has a 'Calcular u função de hs pretendido' and 'Calcular hs função de u pretendido' sub-section. The 'Pano Interior' section has a system height of 0.2 and an optimal air velocity of 0.0612004795957028. The 'Pano Exterior' section has a system height of 0.2 and an optimal air velocity of 0.0205003964970273. Red boxes highlight the optimal air velocity and optimal system height fields in both sections. Red arrows point from the highlighted air velocity fields to a box labeled 'A' and from the highlighted system height fields to a box labeled 'B'.

Panel	Calcular u função de hs pretendido	Calcular hs função de u pretendido
Dados de Saída - Pano Interior	Altura do sistema - hs (7): 0.2 Velocidade ótima de circulação do ar - u: 0.0612004795957028	Velocidade de circulação do ar - u: 0.083 Altura ótima do sistema - hs (7): 0.273177017783631
Dados de Saída - Pano Exterior	Altura do sistema - hs (7): 0.2 Velocidade ótima de circulação do ar - u: 0.0205003964970273	Velocidade de circulação do ar - u: 0.083 Altura ótima do sistema - hs (7): 0.0984215735052861

Figura 83 – Dados de saída_ Solução de pré dimensionamento do sistema.

Obtida a solução do pré dimensionamento, o atual programa permite, tal como o programa original, alterar a solução apresentada pelo programa, impondo um novo valor de velocidade e obtendo um novo valor de altura de sistema ou vice-versa.

Caso o utilizador pretenda impor um novo valor para a altura do sistema, deve introduzi-lo no campo legendado pela letra A. De forma automática, o novo valor da velocidade de circulação aparecerá no campo representado pela letra B (Figura 84).

De forma semelhante, se o utilizador quiser impor um novo valor para a velocidade de circulação introduzirá o valor pretendido no campo representado pela letra C e o novo valor da altura do sistema será calculado de imediato e apresentado no campo D.

Todo este processo pode ser, naturalmente, aplicado a ambos os panos da parede, tendo apenas sido efetuado para o pano interior, uma vez que, o processo é exatamente igual para o pano exterior.

Figura 84 – Alteração da solução de pré dimensionamento original.

5.3.2. OTIMIZAÇÃO DA SOLUÇÃO

Obtida a solução de pré dimensionamento, o programa disponibiliza ao utilizador uma função de otimização da solução obtida. O princípio matemático e teórico que sustenta esta função é equivalente ao do programa original.

Na tabela u vs. $h_{m\acute{a}x}$, são apresentados possíveis pares de valores para a velocidade e para a altura máxima atingida pela frente húmida para um determinado valor de altura do sistema que o programa pré dimensionará.

A verde, tal como explica a legenda, apresentam-se as relações que se consideram exequíveis no terreno. A vermelho, surgem soluções que se consideram inadmissíveis ou impraticáveis.

Tendo em conta os valores apresentados pelo programa o utilizador pode entender ser necessário considerar um limite máximo ou para a velocidade ou para a altura do sistema. Desta forma, terá que introduzir ou um novo valor para a velocidade ou para a altura do sistema consoante se considerar um ou outro o parâmetro que se encontra incompatível com a implementação do sistema.

Ao introduzir um novo valor para uma das variáveis de pré dimensionamento, automaticamente se alterará o respetivo gráfico e tabela que traduzirá a relação entre a variável e a altura máxima da frente húmida que se consegue obter.

Para que melhor se entendam estas questões, serão apresentadas estas duas hipóteses. A apresentação será efetuada apenas para o pano interior na medida em que o procedimento é igual para o pano exterior.

Na Figura 85, o utilizador pode obter uma relação entre a velocidade de circulação do ar e a altura máxima atingida pela frente húmida.

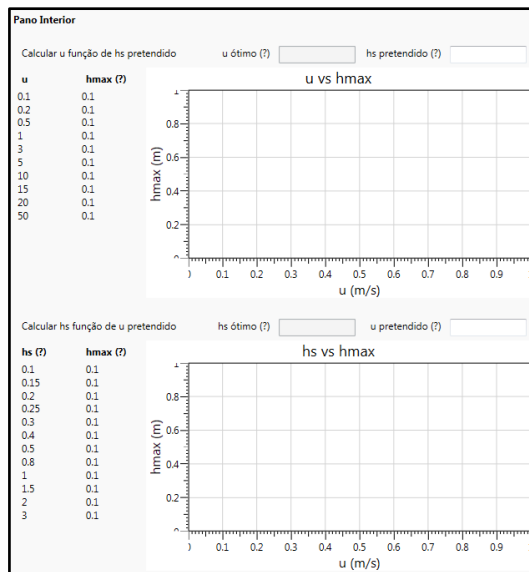


Figura 85 – Otimização da solução de pré dimensionamento.

Observando a Figura 86, o utilizador poderá impor um novo valor para a altura do sistema, preenchendo o campo legendado pela letra A, e posteriormente terá acesso aos valores mínimos de frente húmida que conseguirá implantar tendo em conta o valor de altura do sistema imposto. Estes valores de frente húmida mínimos e respetivos valores de velocidade de circulação do ar são apresentados na presente página através da letra B.

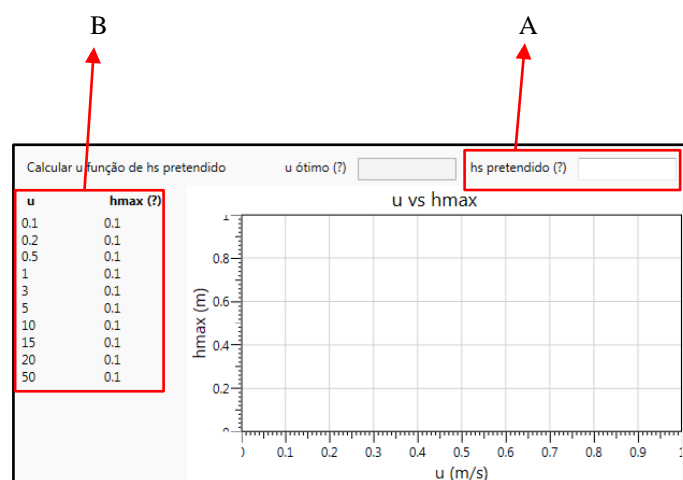


Figura 86 – Velocidade vs. Altura da frente húmida máxima, impondo uma dada altura para o sistema.

De forma semelhante, caso se pretenda impor um dado valor de velocidade de circulação do ar, também é possível determinar valores mínimos de frente húmida capazes de serem implementados tendo em conta a altura do sistema. Na Figura 87, no campo representado pela letra C, o utilizador introduzirá o

novo valor da velocidade e , através da tabela representada pela letra D, obterá os valores limite para a frente húmida.

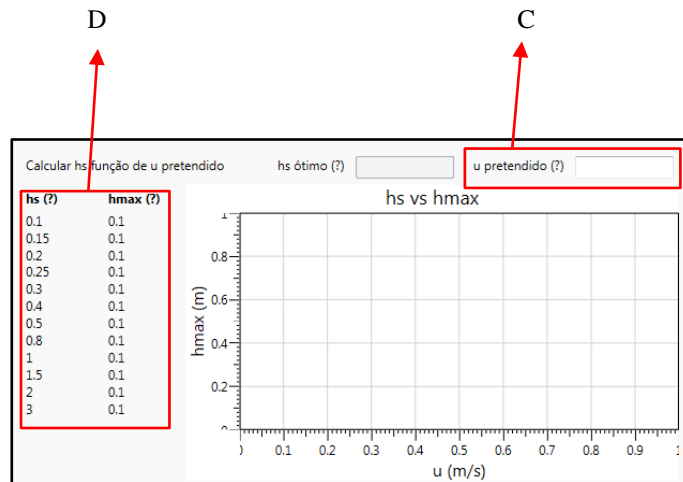


Figura 87 – Altura do sistema vs. Altura da frente húmida máxima, impondo uma dada velocidade de circulação do ar.

5.3.3. MANUAL

Como funcionalidade adicional, esta nova versão do programa permite a consulta de uma manual de utilização, semelhante ao que foi apresentado no capítulo quatro, incluindo um conjunto de fichas individuais de todos os parâmetros envolvidos no pré dimensionamento. Esse manual está disponível na terceira página do programa, no separador “ Manual?”. Ao clicar nesse separador, surgirá uma nova página que permitirá ao utilizador esclarecer quaisquer dúvidas referentes a esta nova versão do programa HUMIVENT Predim (Figura 88).

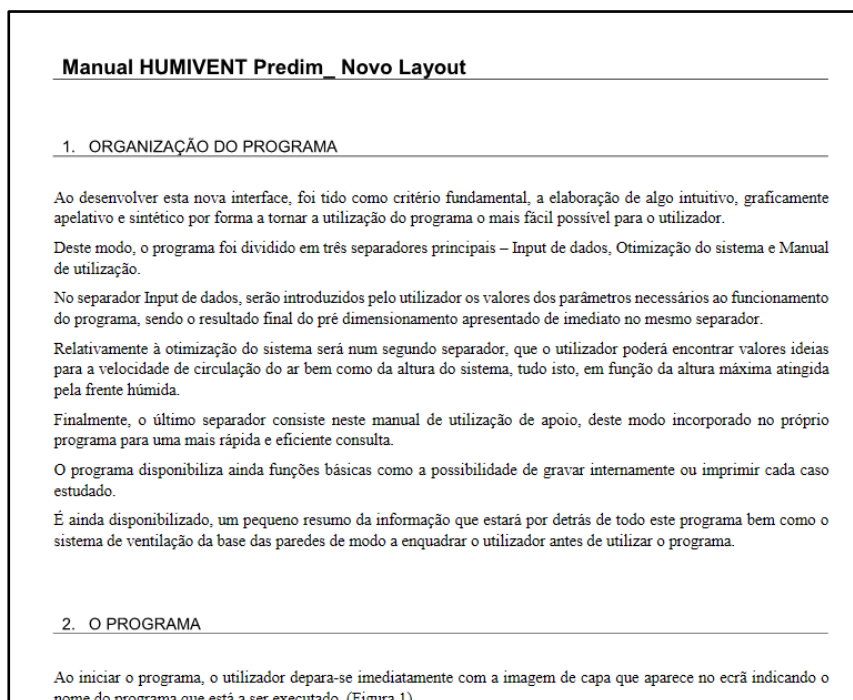


Figura 88 – Pormenor do manual incorporado no programa.

6

SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS E CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES

A elaboração do presente trabalho pressupõe o cumprimento de duas tarefas fundamentais. A primeira, objetivo fulcral e cerne desta dissertação, consistia na elaboração de um manual de utilização/tutorial que servisse de apoio ao programa, já existente, HUMIVENT Predim, por forma a existir um mecanismo de consulta e pesquisa de informação sobre a melhor forma de utilizar o programa.

A segunda, realizada em segundo plano, mas não menos relevante, consistia no melhoramento do programa HUMIVENT Predim. Nesta nova versão do programa desenvolvido, tinha-se como metas a atingir não só, a mudança de interface do programa original, permitindo uma visão do programa mais facilitada e organizada aos olhos do futuro utilizador, mas também, a implementação de alguns comandos que permitissem facilitar a introdução de dados e obter de uma forma mais intuitiva e rápida a solução de pré dimensionamento.

Relativamente ao primeiro objetivo, considera-se ter sido cumprido. O tutorial foi desenvolvido enunciando todo o seu conteúdo. Paralelamente à descrição e interpretação das várias folhas de cálculo que dão forma ao programa, foram ainda desenvolvida um conjunto de fichas individuais para todos os parâmetros envolvidos no pré dimensionamento.

Embora consciente de que a elaboração do Programa HUMIVENT Predim tenha tido como principal foco o carácter técnico e científico, não fazendo parte dos objetivos a preocupação com a parte gráfica/

visual, considera-se pertinente referir algumas das dificuldades que foram surgindo na utilização do Programa:

- Conjunto de folhas de cálculo tornam a utilização do programa pouco intuitiva, na medida em que não se verifica uma lógica clara entre as sete folhas
- Otimização da solução e correlação de parâmetros pouco perceptível revelou-se pouco perceptível
- Algumas variáveis possuem a mesma nomenclatura e simbologia, originando, por vezes, dúvidas na introdução dos parâmetros
- Limitação do programa a casos em que a altura máxima de frente húmida se encontra acima do pavimento

Contudo, o Programa HUMIVENT Predim introduziu um avanço significativo no tratamento da humidade ascensional em paredes, revelando resultados promissores durante os vários casos de validação

Cumprida a primeira tarefa, inicia-se o processo de mudança de interface do programa. Igualmente cumprida, o presente trabalho inclui uma nova versão HUMIVENT Predim, complementar ao programa original. A nova versão foi desenvolvida, tendo sido apresentada no quinto capítulo. É feito acompanhar cada exemplar desta dissertação de um CD que, incluiu o *software* do programa, de modo a ser possível a sua experimentação. O cumprimento deste segundo objetivo só ficaria integralmente cumprido se fosse possível acompanhar a nova versão do programa com o seu respetivo tutorial. Desta forma, elaborou-se e incluiu-se no *software* do programa, o respetivo manual de utilização.

6.2. MELHORAMENTOS FUTUROS

No que ao programa HUMIVENT Predim diz respeito, a nova versão poderá ser complementada da seguinte maneira:

- Relativamente às bases de dados dos parâmetros climáticos Temperatura do ar e humidade relativa do ar, o programa apenas disponibiliza valores para as cidades de Porto e Lisboa. Da mesma forma que os dados foram tratados para estas duas cidades ao longo deste trabalho, sugere-se o alargamento das bases de dados para as restantes áreas principais do país.
- A solução de pré dimensionamento calculada pelo programa é determinada considerando, no momento do cálculo, um valor média de temperatura e humidade relativa do ar. Cedido este par de valores, o programa apresenta uma altura do sistema e uma velocidade de circulação. Considerando que se introduzem valores médios anuais, o sistema funcionará mensalmente baseado em valores pouco exatos, pois existe uma forte variabilidade dos valores de temperatura e humidade relativa ao longo do ano de um mês para outro, especialmente em algumas cidades do país. O mesmo se verifica

caso os valores introduzidos sejam médias mensais, pois não faz sentido programar o sistema para funcionar em agosto, programado para funcionar com valores de Fevereiro.

- Sugere-se a programação de modo a que, através de um dado valor de temperatura e humidade relativa médio mensal, a respetiva solução de pré dimensionamento calcule doze valores de velocidade de circulação do ar, um para valor de humidade relativa média mensal do ano, mantendo a altura do sistema e da frente húmida fixa. Desta forma, o responsável pela programação do ventilador terá á sua disposição doze valores de velocidade de circulação do ar que, para os quais terá que programar o ventilador higro regulável de forma a todo o sistema trabalhar mensalmente de acordo com os valores médios de cada mês.
- Por vezes a existência de tantos parâmetros a condicionar o processo de pré dimensionamento, seria proveitoso reformular a imagem de alguns parâmetros, de forma evitar trabalhar com variáveis representadas pela mesma simbologia.
- De carácter um pouco mais teórico, seria interessante melhorar o programa de forma a ser possível aplicar o programa HUMIVENT Predim a casos práticos em que a altura da frente húmida no elemento de construção estivesse abaixo do pavimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Peixoto Freitas, V., Isabel Torres, M., Sofia Guimarães, A. *Humidade Ascensional*. FEUP Edições, Porto, 2008
- [2] <http://www.fe.up.pt/~lfc-scc>. Consultado em 12/05/2015
- [3] Guimarães, A. S., Freitas, V.P., Delgado, J. M. *Degradation Control of Walls with Rising Damp Problems*. Defect and Diffusion Forum, 13/2/2013, 31-36, Trans Tech Publications, Switzerland
- [4] De Freitas, R. *Técnicas de Tratamento/ Controlo de Humidade Ascensional*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2014
- [5] Torres, M. I. M. *Humidade Ascensional em Paredes de Construções Históricas*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra – FCTUC, 2004.
- [6] Torres, M. I. M., Freitas, V. P. *Humidades Ascensionais*. FEUP – Departamento de Engenharia Civil, Porto, 1998
- [7] Freitas, V.P., Torres, M. I. *MATERIALS OF THE WALLS AFFECTING THE BASE VENTILATION*. Journal for Housing Science. 2010, 163-174, USA
- [8] Valente Neiva, F. *Manual de pré-Dimensionamento de Sistemas HUMIVENT para o Tratamento/Controlo da Humidade Ascensional em Paredes*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2015.
- [9] Guimarães, A. *Caracterização experimental do funcionamento de sistemas de ventilação da base das paredes para o tratamento da humidade ascensional*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2007.
- [10] Guimarães, A.S., *Dimensionamento de Sistemas de Ventilação da Base das paredes para o Tratamento da Humidade Ascensional*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2011
- [11] Silva, R. *Humidade Ascensional – Dimensionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2012.
- [12] Gaspar, A. *Tratamento da Humidade Ascensional em Igrejas – Estudo de Caso*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2012.
- [13] Freitas, V.P. and Delgado, J. M. *Hygrothermal Behaviors, Building Pathology and Durabil*, DOI: 10.1007/978-3-642-31158-1_6, Ó Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013
- [14] Hall, C., Hoff, W. D. *Water transport in brick, stone and concrete*. CRC Press: Taylor & Francis, London, ISBN: 0-419-221890-X, 2002.
- [15] Hall, C. *Anomalous diffusion in unsaturated flow: fact or fiction?*. Cement and Concrete Research, Volume 37, 2007, pg 378–385.
- [16] <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/CLIMATIZACAO/apostila/2PROPRIEDADES%20%20AR%20ATMOSFERICO.pdf>. Consultado em 10 Maio 2016

- [17] Freitas, V. P. *Transferência de humidade em paredes de edifícios – Análise do fenómeno de interface*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 1992.
- [18] Vos, B. H. *Suction of groundwater. Studies in Conservation*, Volume 16, 1971, pg. 129–144.
- [19] Anson, S. J., Hoff, W. D. *Water movement in porous building materials – VIII. Effects of evaporative drying on height of capillary rise equilibrium in walls*. *Building and Environment*, Volume 21, 1986, pg. 195–200.
- [20] Hanzic, L., Ilic, R. *Relationship between liquid sorptivity and capillarity in concrete*. *Cement and Concrete Research*, Volume 33, Number 9, 2003, pg. 1385–1388.
- [21] Hall, C., Hamilton, A., Hoff, W. D., Heather, A. V., Julie, A. E. *Moisture dynamics in walls: Response to micro-environment and climate change*. 2010.
- [22] Hall, C. *Water movement in porous building materials - I. Unsaturated flow theory and its applications*. *Building and Environment*, Volume 12, Number 2, 1977, pg. 117-125.
- [23] Monteith, J. L., *Evaporation and environment*. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology, University Press, 1965, pg. 205-234, Cambridge.
- [24] Monteith, J. L., <http://en.wikipedia.org/wiki/Penman-Monteith>. Consultado em 10/05/2015.
- [25] Oudin, L., Michel, H., Frederic, C., Perrin, C., Andreassian, V., Anctil, F., Loumagne, C. *Which potencial evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2 – Towards a simple and efficient potencial evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling*. *Journal of Hydrology*, Volume 303, Number 1-4, 2005, pg. 290-306.
- [26] Oudin, L. *Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global*. PhD Thesis Sciences de l'eau, ENGREF, 2004.

ÍNDICE DE ANEXOS

- A. Tabela de valores médios de Temperatura e Humidade Relativa para as cidades de Porto e Lisboa

- B. Valores tabelados para a massa volúmica da água (para diferentes valores de temperatura)

- C. Determinação dos valores de temperatura de ponto de orvalho

- D. Texto informativo presente no separador “Sobre” da nova versão do Programa HUMIVENT Predim

ANEXO A

TABELA DE VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA PARA AS CIDADES DE PORTO E LISBOA

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DA CIDADE DE LISBOA (°C)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2003	11.5	11.7	14.0	14.6	17.6	20.1	20.8	23.6	21.4	16.8	14.3	11.0
2004	12.7	11.2	12.2	14.1	16.8	22.0	22.0	21.6	20.7	17.2	13.5	11.1
2005	10.0	9.7	14.0	14.7	17.3	21.1	21.8	23.4	20.6	18.3	13.1	11.4
2006	9.4	10.5	13.5	15.5	18.3	20.0	23.0	23.0	20.6	19.0	16.1	10.8
2007	10.5	13.0	13.4	14.7	15.9	18.6	20.9	21.6	20.8	18.3	13.9	11.0
2008	13.1	13.0	13.2	15.3	16.1	20.6	21.4	20.9	19.9	17.3	12.7	11.2
2009	11.1	11.8	14.5	13.3	17.5	21.0	21.0	22.7	21.0	20.0	15.3	13.0
2010	12.0	11.1	13.1	15.9	16.9	19.1	23.7	24.3	20.7	17.2	13.8	11.7
2011	10.8	12.2	13.1	17.6	19.4	20.4	20.1	21.3	21.1	19.6	14.0	12.1
2012	10.9	10.3	14.5	13.1	17.4	20.0	20.4	21.7	21.9	17.7	13.2	12.4

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DOS 10 ANOS

11.0	11.5	13.5	14.7	17.4	20.3	21.2	22.2	20.8	18.0	13.9	11.3
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

TEMPERATURA MÉDIA ANUAL DOS 10 ANOS

16.0

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DA CIDADE DE PORTO (°C)

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	10	10	13.1	13.5	15.6	17.85	18.25	20.2	19.1	14.9	13.5	10.6
2004	11.75	10.1	11.3	12.7	15.6	19	18.7	19.4	18.8	14.9	11.9	9.5
2005	8.6	7.8	13.2	13.3	15.9	18.7	19.8	20.15	18	16.7	11.8	10.6
2006	8.3	9.25	11.9	14	16.1	18.5	20.25	21.2	17.75	18.1	15.3	10.4
2007	10	12.1	12.05	13.6	14.8	17.25	18.3	19.7	19.2	15.8	12	9.7
2008	11.7	13	11.8	13.8	14.9	17.2	18.9	18.4	17.8	14.5	10.5	10
2009	9.9	9.8	12.7	11.7	14.1	19.45	18.2	19	18.6	18	13.4	11.15
2010	9.2	10.4	11.6	15.1	15.4	17.4	19.7	20.3	18.75	15.8	12.4	10.4
2011	11	10.9	12.5	16.6	17.9	18.15	17.9	18.8	18.7	18.5	13.3	11.2
2012	9.7	9.1	13.3	12.2	15.4	17.8	17.7	19.3	19.8	16.3	12	12.1

TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DOS 10 ANOS

9.95	10.05	12.275	13.55	15.5	18	18.5	19.55	18.725	16.05	12.2	10.5
------	-------	--------	-------	------	----	------	-------	--------	-------	------	------

TEMPERATURA MÉDIA ANUAL DOS 10 ANOS

14.5

HUMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL DA CIDADE DE LISBOA (%)												
ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	73	82	78	77	63	69	71	68	68	81	83	84
2004	87	83	74	66	69	66	59	74	67	81	75	74
2005	75	64	73	71	68	64	67	58	58.5	80	80	75
2006	78	75	82	75	63	72	63	59	72	82	88	78
2007	86	86	68	72	75	74	67	64	70	65	57	79
2008	83	79	71	69.5	74	60	64	67	66	64	68	79
2009	80	72	62	71	62	68	66	60	61	73	83	84
2010	84	84	76	69	66	69	57	53	70	78	76	86
2011	85.5	78	73	67	70	61	67	70	76	56	81	78
2012	73	56	58	73	67	68	63	66	62	79	79	87
HUMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL DOS 10 ANOS												
	81.5	78.5	73	71	67.5	68	65	65	67.5	78.5	79.5	79
HUMIDADE RELATIVA MÉDIA ANUAL DOS 10 ANOS												

72

HUMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL DA CIDADE DE PORTO (%)												
ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2003	76	83	78	76	71	77	82	79	75	79	82	80.5
2004	87	74	71	69	72	77	75	81	76	83	70	74
2005	70	63	68	77	72	75	73	68	76	77	76	69
2006	71.5	69	83	73	69	76	74	65	88.5	84	83	78
2007	87	86	67	73	78	78	76.5	67	65.5	67	56	74
2008	81	66.5	73	73	79	68.5	77	84	76	78	81	80
2009	89	74	62	80	72	74	85	80	68	83	86	80
2010	76	77	72	69	72	78	73	67	77	78	80	77.5
2011	81	80.5	68	68	72	66	73	79	77	52	78	77
2012	72	60	61	71	76	75	76	78	76	78	75	80
HUMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL DOS 10 ANOS												
	78.5	74	69.5	73	72	75.5	75.5	78.5	76	78	79	77.75
HUMIDADE RELATIVA MÉDIA ANUAL DOS 10 ANOS												

75.8

ANEXO B

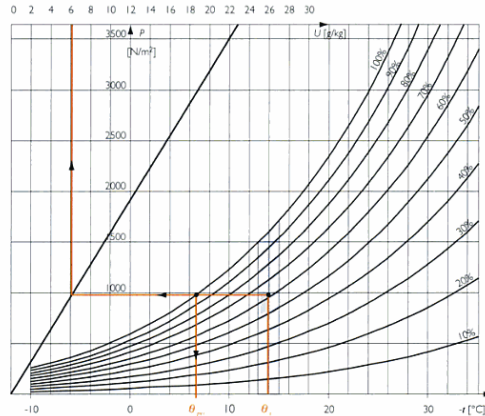
VALORES TABELADOS PARA A MASSA VOLÚMICA DA ÁGUA (ρ_w) PARA DIFERENTES VALORES DE TEMPERATURA

Temperatura (°C)	Massa volúmica g/ cm³
0	0.99987
1	0.99993
2	0.99997
3	0.99999
4	1
5	0.99999
6	0.99997
7	0.99993
8	0.99988
9	0.99981
10	0.99973
11	0.99964
12	0.99954
13	0.99941
14	0.99929
15	0.99914
16	0.99899
17	0.99882
18	0.99864
19	0.99845
20	0.99825
21	0.99804
22	0.99782
23	0.99759
24	0.99735
25	0.9971
26	0.99693
27	0.99657
28	0.99629
29	0.996

ANEXO C

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO

Diagrama Psicrométrico



θ_i - Temperatura superfície interior

t_i - Temperatura da ambiência interior

h_i - Condutância térmica superficial interior

K - Coeficiente de transmissão térmica do elemento

t_e - Temperatura da ambiência exterior

$$\theta_i = t_i - \frac{K}{h_i} * (t_i - t_e)$$

Como determinar a Temperatura Ponto de Orvalho pelo diagrama psicrométrico?

1. Selecionar a temperatura interior (eixo das abcissas)
2. Verticalmente, subir o ponto nº1 até intercepar a curva da humidade relativa do ar ambiente
3. Horizontalmente, deslocar o ponto nº2 até à curva de Humidade relativa igual a 100% (Saturação)
4. Descer, na vertical, o ponto nº3 até intercepar o eixo das abcissas – Temperatura Ponto de Orvalho.

ANEXO D

**TEXTO INFORMATIVO PRESENTE NO SEPARADOR “SOBRE” DA NOVA VERSÃO DO PROGRAMA
HUMIVENT PREDIM**

HUMIVENT Predim

1. INTRODUÇÃO

De entre inúmeras patologias associadas à humidade nos edifícios, a humidade ascensional é responsável por grande parte da degradação do património edificado, tronando-se desta forma, necessário e urgente incidir a atenção e o desenvolvimento de novos métodos mais eficazes e de custo controlado que permitam controlar a humidade que ascende aos edifícios por fenómenos de capilaridade.

Conhecidas diversas metodologias de tratamento para este tipo de patologias, dos quais se destacam, a execução de corte hídrico, a redução da secção absorvente, introdução de tubos de arejamento, electro osmose ou, em casos extremos, a ocultação da anomalia, e refletindo sobre o resultado final das suas aplicações no terreno, conclui-se que a eficácia destas soluções nem sempre é a que se pretende. Associadas a estas técnicas está não só associada a incerteza da resolução do problema mas também os montantes elevados das suas aplicações.

Criada e desenvolvida para dar resposta à humidade ascensional, surge uma nova técnica, a ventilação da base das paredes.

Desenvolvida pelo laboratório de física das construções, LFC, da faculdade de engenharia da universidade do porto, FEUP, esta nova técnica recorre ao ar que envolve o edifício a tratar e fá-lo circular junto da base das paredes dentro de condutas de modo a, evaporar parte da água que se encontra no elemento de construção, tendo ascendido por fenómenos de capilaridade. A evolução da técnica tal como é conhecida hoje, recorre a um ventilador higro regulável para controlar a circulação do ar responsável pela evaporação dentro do sistema, tendo sido patenteada como HUMIVENT.

A ventilação da base das paredes, como forma de tratamento da humidade ascensional em paredes, tem vindo a ser desenvolvida e testada nos últimos anos, tendo revelado resultados positivos, não só pela sua eficiência mas também pelos custos baixos custos que tem associados. Esta técnica revela-se particularmente interessante para paredes monolíticas e de elevada espessura.

Desenvolvida e implantada a técnica de ventilação da base das paredes com recurso a um ventilador higro regulável, HUMIVENT, surge a necessidade de criar um programa informático capaz de pré dimensionar todo o sistema de forma a otimizar o seu funcionamento.

Desta forma é desenvolvido por Guimarães, A. em âmbito de tese de doutoramento o programa de pré dimensionamento, HUMIVENT Predim.

2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA HUMIVENT

É admitida uma massa de ar que, ao circular de montante para jusante dentro da conduta, proporciona trocas de humidade entre a própria massa de ar e a superfície da parede.

O sistema tem uma grelha de admissão e uma grelha de extração de ar, unidas por uma só peça, a conduta de circulação do ar. Esta conduta não é mais do que um canal prismático, perfil U, de seção regular e constante. O canal fica enterrado junto à base da parede, colocado de forma que a face aberta do canal fique voltada para a superfície da parede, de modo a ser possível o ar que nele circula, entre em contacto com a superfície da parede, permitindo a evaporação. Na Figura seguinte apresenta-se um exemplo deste sistema embora, a conduta de circulação do ar seja neste caso circular e não prismática (Figura 1).

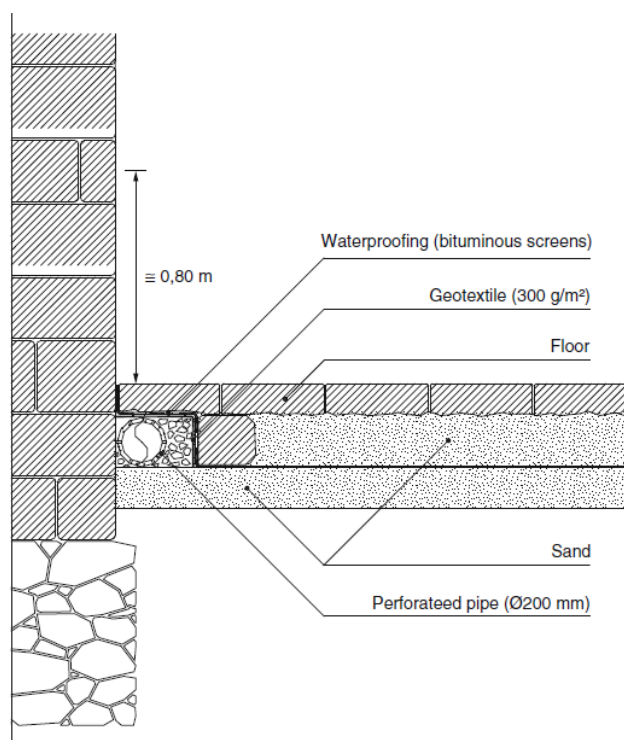


Figura 1 - Instalação de um sistema mecânico higrorregulável.

O sistema é ainda composto por um ventilador e sondas de temperatura e humidade relativa que permitem programar a entrada de ar com uma maior ou menor velocidade de circulação. As duas sondas de humidade relativa e temperatura medem, à entrada e à saída do canal, a temperatura e a humidade relativa. Os transmissores comunicam os valores, retirados das sondas, ao módulo de controlo que calcula a pressão de vapor entre a entrada e saída do canal recorrendo à psicrometria. O módulo de controlo calcula o diferencial de pressão de vapor entre a entrada e a saída. O sistema vai entrar em funcionamento sempre que a pressão de vapor à saída seja inferior à pressão de vapor à entrada.

O conjunto de toda a eletrónica associada à ventilação, isto é, ventilador higrorregulável, data Logger que permite a comunicação entre o ventilador e as sondas, sondas de temperatura e de humidade relativa, é designado HUMIVENT (Figura 2).



Figura 2 - Protótipo HUMIVENT.

3. HUMIVENT PREDIM

O princípio de funcionamento deste sistema de tratamento de humidade em paredes, recorrendo á ventilação forçada pelas suas bases, consiste numa troca de humidade entre a base da parede, a superfície da própria parede e o sistema mecânico implementado. Todo o processo se resume a uma relação controlada entre absorção e evaporação de água (Figura 3).

O objetivo passa por impor um valor limite para a altura atingida pela água na parede e, posteriormente, pré dimensionar o sistema de modo a que a relação entre água absorvida e água evaporada, permita esse valor imposto.

O programa necessita de alguns valores de entrada e, consoante os valores introduzidos pelo utilizador e a altura imposta para a altura máxima atingida pela frente húmida, apresentará uma solução de pré dimensionamento. Este pré dimensionamento consiste num par de valores de velocidade de circulação do ar dentro do sistema e altura do canal de ventilação por onde circulará o ar.

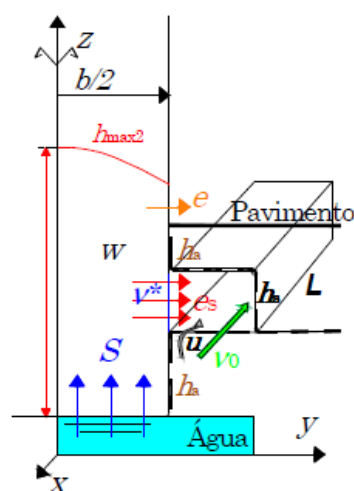


Figura 3 - Esquema do processo de troca de humidade.

Matematicamente, o programa elabora o pré dimensionamento através da seguinte expressão.

