

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA

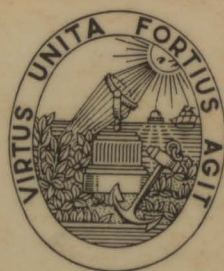
Departamento de Engenharia Civil

**CARACTERIZAÇÃO DA CAPILARIDADE DE
REVESTIMENTOS DE FACHADA**

José Manuel Martins Soares de Sousa

Dissertação realizada sob a supervisão do Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas

1996



**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO
PORTO**

Departamento de Engenharia Civil

**CARACTERIZAÇÃO DA CAPILARIDADE DE REVESTIMENTOS DE
FACHADA**

**José Manuel Martins Soares de Sousa
Licenciado em Engenharia Civil**

**Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre
em
Engenharia Civil
(Área de especialização de Construção de Edifícios)**

**Dissertação realizada sob a supervisão do
Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas
do Departamento de Engenharia Civil
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

Porto, Setembro de 1996

9

624/043/06

624(043)/Souj/CR

Universidade do Porto	
Faculdade de Engenharia	
Biblioteca	
Nº	84520
CDU	624(043)
Data	11/08/2006

**Aos Pais,
à Helena
e à Ana**

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar este trabalho, gostaria de manifestar o meu agradecimento a todos aqueles que ao longo deste tempo, de vários modos, contribuíram para a sua realização e me deram alento em todos os momentos.

Não poderia, no entanto, deixar de destacar algumas pessoas e entidades que tiveram um papel fundamental na elaboração deste trabalho:

- Ao Professor Vasco Peixoto de Freitas, agradeço, reconhecidamente, o interesse com que acompanhou e orientou este meu trabalho, o que para mim constituiu um grande privilégio, bem como a confiança e o estímulo que sempre me incutiu.

- Ao Eng^o. Kim Rosembom, pelo apoio recebido e pela permanente disponibilidade demonstrada para o esclarecimento de algumas dúvidas e pelos conhecimentos transmitidos.

- Ao Eng^o. Carvalho Lucas, do Núcleo da Cerâmica e Plásticos do LNEC, pela atenção dispensada e disponibilidade demonstrada na fase inicial destes estudos.

- À Professora Madalena Dias e Eng^a. Vera Mata, do Laboratório de Processos de Separação e Reacção, da FEUP, pelo interesse e atenção depositadas na execução dos ensaios de porosidade de alguns materiais.

- À Isabel Lopes, Técnica do Laboratório de Física das Construções, da FEUP, pela colaboração dispensada na execução de toda a fase experimental efectuada.

- Aos Funcionários do Laboratório de Materiais de Construção, da FEUP, pela valiosa colaboração na preparação dos provetes a ensaiar.

- À Isabel Matos, pela forma empenhada como colaborou na execução da organização documental em meio informático.

- Aos Srs. Manuel P. Costa e Luís Santos, pela disponibilidade e valiosa colaboração na execução dos provetes ensaiados.

- À firma SIKA Portugal S.A., com particular incidência na pessoa do Sr. Luís David, pelo interesse e disponibilidade demonstrados na colaboração prestada, fornecendo alguns dos componentes utilizados na fase experimental.

- À firma TEXSA, Portugal Lda., com particular incidência na pessoa do Eng^o. João Delgado, pela colaboração prestada no fornecimento dos materiais necessários à execução do revestimentos monocamada.

- À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e ao Departamento de Construções Cíveis, concretamente o seu corpo docente e administrativo, pelo apoio e disponibilidade demonstrados.

Palavras Chave:

**Transferência de umidade; Coeficientes de capilaridade;
Permeabilidade líquida; Solicitação climática;
Revestimento de fachadas**

ÍNDICE SISTEMÁTICO

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	2
1.1. ENQUADRAMENTO	2
1.2. OBJECTIVOS	2
1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	3

CAPÍTULO 2

2. O PROBLEMA DA HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO	6
2.1. NOÇÕES GERAIS SOBRE O AR HÚMIDO.....	6
2.2. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	7
2.3. MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE..	9
2.4. CAPILARIDADE	10
2.4.1. DOMÍNIO CAPILAR	10
2.4.2. CONDUÇÃO CAPILAR.....	12
2.5. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	14

CAPÍTULO 3

3. CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS POROSOS DE FACHADA E SUA SOLICITAÇÃO.....	18
3.1. PESQUISA SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS DIFERENTES MATERIAIS.....	18
3.2. TIPOS DE REVESTIMENTO / PAREDES.....	20
3.2.1. REVESTIMENTOS ESTUDADOS	24
3.3. SOLICITAÇÃO HIGROTÉRMICA DAS FACHADAS.....	25
3.3.1. INFLUÊNCIA DO CLIMA NO COMPORTAMENTO DAS CONSTRUÇÕES	25
3.3.2. CHUVA / VENTO	31
3.3.3. TEMPERATURA.....	33
3.3.4. OUTROS AGENTES	34

3.3.5. OS MECANISMOS DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	34
3.4. ACCÕES DEVIDAS AOS CICLOS SECAGEM / MOLHAGEM	36
3.4.1. CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE CHUVA NAS FACHADAS	38
3.4.1.1. ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE	39
3.4.1.2. ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE PERSISTENTE	40
3.4.2. O COMPORTAMENTO DA FACHADA	40

CAPÍTULO 4

4. REPELENTES DE ÁGUA	44
4.1. INTRODUÇÃO	44
4.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE TRATAMENTOS DE REPELENTES DE ÁGUA	44
4.2.1. A INFILTRAÇÃO DIRECTA DE ÁGUA	45
4.2.2. MELHORAR O DESEMPENHO TÉRMICO	45
4.2.3. PREVENÇÃO DA DEGRADAÇÃO PELO CICLO GELO / DEGELO	45
4.2.4. PREVENÇÃO DA EFLORESCÊNCIA DE SAIS	45
4.2.5. REDUÇÃO DE ATAQUES BIOLÓGICOS	46
4.3. PRINCÍPIO FÍSICO DE TRATAMENTOS COM REPELENTES DE ÁGUA ..	46
4.4. DIFERENTES TIPOS DE SILICONE	48
4.4.1. GENERALIDADES	48
4.4.2. SILICONATOS	48
4.4.3. RESINA DE SILICONE	49
4.4.4. SILANE	49
4.4.5. SILOXANE	49
4.5. CONDIÇÕES E CARACTERÍSTICAS DA IMPREGNAÇÃO	50
4.6. IMPREGNAÇÃO DE FACHADAS	51

CAPÍTULO 5

5. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO À ÁGUA, DOS REVESTIMENTOS CORRENTES DE FACHADAS.....	54
5.1. SELECÇÃO E PREPARAÇÃO DOS PROVETES.....	54
5.2. ENSAIOS.....	55
5.2.1. SELECÇÃO DOS ENSAIOS A REALIZAR.....	55
5.3. EXPERIMENTAÇÃO.....	57
5.3.1. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NFB 10.502.....	57
5.3.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DIN 52617.....	60
5.3.3. PERMEABILIDADE LÍQUIDA.....	62
5.3.4. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE.....	65
5.4. RESULTADOS.....	66
5.4.1. RESULTADOS SEGUNDO A NF B 10.502.....	67
5.4.2. RESULTADOS SEGUNDO A NORMA DIN 52617.....	77
5.4.3. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A NORMA FRANCESA E A NORMA DIN.....	85
5.4.4. COEFICIENTE DA CAPILARIDADE - RESUMO DA TABELA DE VALORES EXISTENTES NO LFC (Lab. de Física das Const.) DA FEUP	89
5.4.5. PERMEABILIDADE LÍQUIDA	91
5.4.6. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE.....	94
5.5. INTERPRETAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS.....	102

CAPÍTULO 6

6- METODOLOGIA DE SELECÇÃO EXIGÊNCIAL DE UM REVESTIMENTO DE FACHADA FACE À HUMIDADE	106
6.1 - INTRODUÇÃO.....	106
6.2 - CRITÉRIO DA SELECÇÃO EXIGENCIAL.....	106
6.2.1 - DETERMINAÇÃO DO EFEITO DA ACCÃO DO VENTO	107
6.2.1.1 - ZONAMENTO DO TERRITÓRIO.....	107
6.2.1.2 - RUGOSIDADE AERODINÂMICA	108

6.2.1.3 - ALTURA ACIMA DO SOLO	108
6.2.1.4 - EFEITOS DE PROTECÇÃO	109
6.2.2 - CARACTERIZAÇÃO ACTUAL DOS ÍNDICES DE CHUVA INCIDENTE	110
6.2.2.1 - CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO	110
6.2.2.2 - MÉTODO DE APRESENTAÇÃO DE DADOS	113
6.2.2.3 - LIMITAÇÕES DE APLICAÇÃO	120
6.2.3 - APLICAÇÃO AO CASO PORTUGUÊS	121
6.2.4. CONCLUSÕES PRÉVIAS	129

CAPÍTULO 7

7 - CONCLUSÕES	132
7.1.- CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
7.2. - ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	132
7.3. - PERSPECTIVAS FUTURAS	133

CAPÍTULO 8

8 - BIBLIOGRAFIA	136
------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO.....	6
FIGURA 2. 2. DESCRIÇÃO CONVENCIONAL DOS TEORES DE HUMIDADE DE REFERÊNCIA DE UM MATERIAL POROSO	8
FIGURA 2. 3. VARIAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE DE UM MATERIAL POROSO, FUNÇÃO DA H.R. DO AMBIENTE	10
FIGURA 2. 4. MODELO TEÓRICO CILÍNDRICO DE SUÇÃO E PRESSÃO CAPILAR.....	11
FIGURA 3. 1. REVESTIMENTO DE FACHADA POR EMPREENDIMENTO.....	19
FIGURA 3. 2. REVESTIMENTO DE FACHADA POR Nº DE FOGOS.....	19
FIGURA 3. 3. CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DOS REVESTIMENTOS EXTERIORES DE PAREDES.....	22
FIGURA 3. 4. CURVA TEÓRICA DE VARIAÇÃO HORÁRIA DE TEMPERATURA.....	26
FIGURA 3. 5. VALORES MÉDIOS MENSIS DA HUMIDADE RELATIVA DO AR.....	27
FIGURA 3. 6. RELAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE CHUVA E VENTO, FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO.....	27
FIGURA 3. 7. SEQUÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO	28
FIGURA 3. 8. QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO ANUAL	29
FIGURA 3. 9. NÚMERO MÉDIO ANUAL DE DIAS COM PRECIPITAÇÃO $\geq 10,0$ MM	30
FIGURA 3. 10. ACÇÃO DO VENTO SOBRE AS GOTAS DE CHUVA.....	32
FIGURA 3. 11. ESCORRÊNCIA DA ÁGUA DA CHUVA SOBRE UMA PAREDE, SEM E COM ACÇÃO DO VENTO.....	35
FIGURA 3. 12. ORGANIGRAMA DO PROCESSO DE DEFINIÇÃO DAS DIFERENTES SITUAÇÕES DE CLASSIFICAÇÃO DE PERIODOS METEOROLÓGICOS	38
FIGURA 3. 13. VELOCIDADES MÉDIAS DE SECAGEM OBSERVADAS NO CSTB, EM NANTES, PARA DIFERENTES CLASSES DE H.R. E VELOCIDADES DO VENTO	42
FIGURA 4. 1. GOTA DE ÁGUA SOBRE SUPORTES COM DIFERENTES ÂNGULOS DE CONTACTO.....	46
FIGURA 4. 2. ABSORÇÃO E SECAGEM DE UMA PAREDE COM DIFERENTES TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE	47

FIGURA 5. 1. MODELO DO TIPO DE ABSORÇÃO NOS PROVETES DA NORMA NF.....	57
FIGURA 5. 2. VISTA DA ESTUFA COM OS PROVETES UTILIZADOS NOS ENSAIOS.....	58
FIGURA 5. 3. VISTA DA BANCADA DE TRABALHO COM PROVETES MERGULHADOS NAS TINAS.....	58
FIGURA 5. 4. MODELO DO ENSAIO REALIZADO 2º AS NORMAS ANTERIORMENTE CITADAS	59
FIGURA 5. 5. VISTA DE UMA PESAGEM DE UM PROVETE PREPARADO 2º A NORMA DIN .60	
FIGURA 5. 6. MODELO DO TIPO DE ABSORÇÃO DOS PROVETES NA NORMA DIN	61
FIGURA 5. 7. PROVETES DE VARIOS MATERIAIS E ESPESURAS MERGULHADOS NAS TINAS	61
FIGURA 5. 8. MODELO DO ENSAIO ADAPTADO DA METOLOGIA EXPRESSA PELO CSTB .63	
FIGURA 5. 9. VISTA DOS PROVETES ASSENTES SOBRE ESPAÇO DE AR VENTILADO.....	64
FIGURA 5. 10. ASPECTO DA DETECÇÃO DO MOMENTO DE CHEGADA DA FRENTE HUMIDA À FACE EXTERIOR DO PROVETE	64
FIGURA 5. 11. ASPECTO DO MESMO MATERIAL COM E SEM APLICAÇÃO DE REPELENTE DE ÁGUA.....	67
FIGURA 5. 12. CURVAS DE ABSORÇÃO DO TIJOLO COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA.....	70
FIGURA 5. 13. CURVAS DE ABSORÇÃO DO REBOCO COM E SEM HIDRÓFUGO	71
FIGURA 5. 14. CURVAS DE ABSORÇÃO DO GRANITO COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA...	71
FIGURA 5. 15. CURVAS DE ABSORÇÃO DO CALCÁRIO MOCA COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA	72
FIGURA 5. 16. CURVAS DE ABSORÇÃO DO CALCÁRIO MOLEANOS COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA	72
FIGURA 5. 17. CURVAS DE ABSORÇÃO DO BETÃO COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA	73
FIGURA 5. 18. CURVAS DE ABSORÇÃO DO REBOCO MONOCAMADA	73
FIGURA 5. 19. CURVAS DE ABSORÇÃO DO LITOCER.....	74
FIGURA 5. 20. CURVAS DE ABSORÇÃO DO DIFERENTES PROVETES.....	75
FIGURA 5. 21. CURVAS DE ABSORÇÃO DO TIJOLO COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA.....	79
FIGURA 5. 22. CURVAS DE ABSORÇÃO DO REBOCO COM E SEM HIDRÓFUGO	80
FIGURA 5. 23. CURVAS DE ABSORÇÃO DO GRANITO COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA...	80

FIGURA 5. 24. CURVAS DE ABSORÇÃO DO CALCÁRIO MOCA COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA	81
FIGURA 5. 25. CURVAS DE ABSORÇÃO DO CALCÁRIO MOLEANOS COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA	81
FIGURA 5. 26. CURVAS DE ABSORÇÃO DO REBOCO MONOCAMADA.....	82
FIGURA 5. 27. CURVAS DE ABSORÇÃO DO BETÃO COM E SEM REPELENTE DE ÁGUA.....	82
FIGURA 5. 28. CURVAS DE ABSORÇÃO DO “ LITOCER “	83
FIGURA 5. 29 CURVAS COMPARATIVAS DOS DIFERENTES PROVETES	84
FIGURA 5. 30 PROVETE DURANTE O ENSAIO DE PERMEABILIDADE	90
FIGURA 5. 31. ASPECTO DO EFEITO VISUAL DE DETECÇÃO DA CHEGADA DA FRENTE HÚMIDA	91
FIGURA 5. 32. GRÁFICO COMPARATIVO DAS CURVAS OBTIDAS	93
FIGURA 5. 33. GRÁFICO COMPARATIVO DAS CURVAS OBTIDAS	93
FIGURA 5. 34. CURVAS DE INTRUSÃO E EXTRUSÃO DE MERCÚRIO	95
FIGURA 5. 35. CURVA INCREMENTAL.....	95
FIGURA 5. 36. CURVAS DE INTRUSÃO E EXTRUSÃO DE MERCÚRIO	97
FIGURA 5. 37. CURVA INCREMENTAL.....	97
FIGURA 5. 38. CURVAS DE INTRUSÃO E EXTRUSÃO DE MERCÚRIO	99
FIGURA 5. 39. CURVA INCREMENTAL.....	99
FIGURA 5. 40. CURVAS DE INTRUSÃO E EXTRUSÃO DE MERCÚRIO	101
FIGURA 5. 41. CURVA INCREMENTAL.....	101
FIGURA 5. 42. VALORES DE POROSIDADE ENCONTRADOS POR <i>COLLOMBET</i> ; OS VALORES ENCONTRADOS NOS NOSSOS ENSAIOS ENCONTRAM-SE REALÇADOS NA FIGURA	103
FIGURA 6. 1. LOCALIZAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO EM RELAÇÃO A UM DESNÍVEL DO TERRENO	109
FIGURA 6. 2. CONCEITO DE ABRIGO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS POR CONSTRUÇÕES EXISTENTES	110
FIGURA 6. 3. FOLHA DE CÁLCULO DOS ÍNDICES	114
FIGURA 6. 4. CLASSES DE OBSTRUÇÃO Nº 2 E 3	117

FIGURA 6. 5. DETERMINAÇÃO DO FACTOR DE CORRECÇÃO DA ALTURA EM TERRENOS INCLINADOS 118

FIGURA 6. 6. ROSETA DO ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE PARA A ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO PORTO.....122

FIGURA 6. 7. ROSETA DO ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE PERSISTENTE SUSCEPTÍVEL DE SER EXCEDIDO UMA VEZ EM TRÊS ANOS, PARA A ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO PORTO.....123

ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS

TABELA 5. 1. TABELA DE VALORES OBTIDOS PARA OS VÁRIOS PROVETES.....	69
TABELA 5. 2 TABELA DE VALORES OBTIDOS PARA OS VÁRIOS PROVETES.....	70
TABELA 5. 3 TABELA DE VALORES OBTIDOS PARA OS VÁRIOS PROVETES.....	78
TABELA 5. 4 TABELA DE VALORES OBTIDOS PARA OS VÁRIOS PROVETES.....	79
TABELA 5. 5 VALORES OBTIDOS APÓS CRUZAMENTO DE DADOS ENTRE A NF E DIN	86
TABELA 5. 6 VALORES OBTIDOS APÓS CRUZAMENTO DE DADOS ENTRE A NF E DIN	87
TABELA 5. 7 VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO EXISTENTES NO LFC	88
TABELA 5. 8 VALORES DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO EXISTENTES NO LFC	89
TABELA 5. 9 VALORES ENCONTRADOS NOS ENSAIOS PARA OS DIFERENTES MATERIAIS	91
TABELA 5.10 VALORES CALCULADOS DO FLUXO PARA CADA UM DOS MATERIAIS	92
TABELA 5. 11 TEMPOS AO FIM DOS QUAIS SE DEU O APARECIMENTO DA FRENTE HÚMIDA	92
QUADRO 6.1. ÍNDICES DE CHUVA INCIDENTE E DE CHUVA PERSISTENTE EM CAMPO	
ABERTO	115
QUADRO 6.2. VALORES DO FACTOR DE OBSTRUÇÃO EM METROS	116
QUADRO 6.3. VALORES DA RUGOSIDADE R	119
QUADRO 6.4. VALORES DO FACTOR TOPOGRÁFICO T	120
QUADRO 6.5. VALORES DO FACTOR DE CORRECÇÃO S DO ÍNDICE DE CHUVA	
PERSISTENTE	120
QUADRO 6.6. VALORES DO ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE (M^2/s) NA ESTAÇÃO	
METEOROLÓGICA DO PORTO (1979/90)	124
QUADRO 6.7. VALORES DO ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE PERSISTENTE (M^2/s)	
SUSCEPTÍVEIS DE SEREM EXCEDIDOS UMA VEZ EM TRÊS ANOS PARA A ESTAÇÃO	
METEOROLÓGICA DO PORTO (1979/90)	124
QUADRO 6.8. ÍNDICES DE CHUVA INCIDENTE OMNIDIRECCIONAIS (M^2/s)	124
QUADRO 6.9. CLASSIFICAÇÃO DA EXPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE CHUVA	
INCIDENTE.....	125
QUADRO 6.10. CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS	
EXTERNOS DAS FACHADAS SEGUNDO A NORMA DIN 18550 PART 1	126

QUADRO 6.11. CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS
EXTERNOS DA FACHADA SEGUNDO A NORMA BS - 5262.....127

QUADRO 6.12. CLASSES MÍNIMAS DE PAREDES DE ALVENARIA EM FUNÇÃO DAS
CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO À CHUVA - COM O PARAMENTO EXTERIOR NÃO
REVESTIDO.....128

QUADRO 6.13. CLASSES MÍNIMAS DE PAREDES DE ALVENARIA EM FUNÇÃO DAS
CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO À CHUVA - COM O PARAMENTO EXTERIOR COM UM
REVESTIMENTO TRADICIONAL 129

QUADRO 6.14. PROPOSTA DE MÉTODO EXIGENCIAL PARA SELECÇÃO DE MATERIAIS DE
REVESTIMENTO DE FACHADA, EM FUNÇÃO DO SEU COMPORTAMENTO À ÁGUA.....130

SIMBOLOGIA

ε	Porosidade [%]
α	Ângulo de contacto [grau]
$\dot{\bar{m}}_l$	Densidade de fluxo do líquido [kg/m ² s]
$\dot{\bar{m}}$	Fluxo de condução capilar [kg/m ² s]
ρ_w	Densidade da água [kg/m ³]
r	Raio do poro
D_w	Coefficiente de difusibilidade hídrica [m ² /s]
V_a	Volume de fase gasosa [m ³]
V_t	Volume de fase líquida [m ³]
V_{sol}	Volume de fase sólida [m ³]
σ	Tensão superficial [N/m ²]
P	Pressão [N/m ²]
ΔM	Variação de massa [g]
Δt	Variação de tempo [mn]
A	Coefficiente de absorção de água [kg/m ² h ^{0.5}]
B	Profundidade da penetração de água [m]
C	Coefficiente de capilaridade [g/cm ² *mn ^{0.5}]
$\cos\Theta$	Ângulo de molhagem [°]
D_θ	Índices direccionais
D_T	Índices omnidireccionais
F	Fluxo de difusão líquida
g	Acção da gravidade
H	Altura real
H_p	Factor de obstrução
I	Índice de chuva incidente [m ² /s]
i	Ângulo de incidência
ICI	Índice de chuva incidente

ICP	Índice de chuva persistente
φ	Humidade relativa
k	Coefficiente da penetração de água [m/s ^{0.5}]
m	Resistência ao ar
M	Massa em [g / kg]
P	Precipitação em superfície horizontal
p	Pressão do vento
P	Pressão de vapor
p_c	Pressão de sucção [Pa]
P_s	Pressão de saturação
P_v	Intensidade da chuva incidente sobre uma superfície vertical
r	Raio do tubo capilar [m]
ρ_b	Densidade do material seco [Kg / m ³]
R_D	Constante de gás para vapor de água [J/kg]
ρ_w	Densidade da água [kg/m ³]
σ	Tensão superficial da água [N/m]
S	Superfície [cm ²]
T	Temperatura absoluta [K]
t	Tempo de sucção [s]
T	Factor topográfico
t	Tempo [horas ou mn]
v	Acção do vento
V_t	Velocidade terminal das gotas de chuva
W	Conteúdo de humidade
W	Variação de peso do provete [Kg / m ²]
w	Coefficiente de absorção de água [kg / m ² h ^{0.5}]
W_{cr}	Humidade crítica
W_h	Humidade higroscópica
W_m	Teor de humidade em relação à massa

$W_{\text{máx}}$	Humidade de saturação máxima
W_{sat}	Humidade de saturação
W_v	Humidade em relação ao volume

RESUMO

Na utilização dos diferentes tipos de revestimentos de fachada de edifícios, um dos factores que se reveste de maior importância - na zona climática sobre a qual incide este estudo, a zona geográfica do grande Porto - é o seu comportamento face à humidade.

É deste factor que dependem características funcionais dos revestimentos exteriores dos edifícios, tão importantes como a sua durabilidade, desempenho termohigrométrico das fachadas e indirectamente o período de vida das edificações, seus custos de manutenção e também a qualidade de vida que proporcionam aos seus utilizadores.

No presente texto, abordam-se os princípios teóricos gerais de transferência de humidade nos materiais de construção, nomeadamente a capilaridade e permeabilidade líquida, ambas as características função da estrutura porosa dos materiais.

Caracterizamos algumas das solicitações climáticas às quais as fachadas dos edifícios estão sujeitas, e que condicionam o seu comportamento, bem como classificámos alguns materiais, em função das suas características funcionais enquanto revestimentos de fachada.

Seleccionámos alguns materiais em função da tendência de utilização detectada através do inquérito realizado a uma quantidade apreciável de fogos, construídos em intervalo de tempo e com características construtivas bem definidos, e ensaiámos esses mesmos materiais segundo várias normas europeias, em vigor, tendo em vista a determinação das suas características físicas de comportamento à água, nomeadamente a capilaridade e a permeabilidade líquida sob baixa pressão.

A partir destas características e das pesquisas efectuadas em relação a solicitações climatológicas, zonamento de território em função de clima, exposição de fachada e classificação das paredes exteriores de edifícios, tentámos deixar alguns princípios gerais em que se poderá basear um futuro método exigencial de selecção de revestimentos de fachada em relação ao seu comportamento à água.

ABSTRACT

One of the most important factors that should be considered in the use of external building walls coating materials - in the climatic zone of this study, the Oporto Metropolitan area- is the behaviour face the moisture.

This factor has an important influence on the functional characteristics of the external building coatings, as durability, thermohygrometric behaviour of the building walls and indirectly on the buildings lifetime, maintenance costs and quality of life of the users.

In this text, we paid attention to the general theoretical principles of moisture migration in the construction materials, namely capillarity and permeability, which are function of the porous structure of the materials.

We characterised some of the climatic solicitations of the building walls that influence this behaviour, and classified some of the materials in terms of the functional characteristics as external building walls coating materials.

The materials selection was done based on the tendency of utilisation detected by a query done in some apartments with the same characteristics considering the gap of time of construction and the constructing characteristics. Those materials were assayed according to the actual European directives, with the aim of determining the physical behaviour characteristics face the water, namely, the capillarity and the low pressure permeability.

In view of those characteristics and of the searches relating to the climatic solicitations, territorial zone, external building wall exposure and classification, we tried to suggest some of the general principles that could be a base for a future exigential method for the selection of building walls coating materials in relation to the behaviour face the water.

RESUMÉ

Dans l'utilisation des différents types de revêtement de façades d'immeubles, un des facteurs qui a le plus d'importance - dans la région climatique sur lequel cet étude est focalisée, la région métropolitaine du Porto - c'est leur comportement vis à vis de l'humidité.

De ce facteur, dépendent les caractéristiques fonctionnelles des revêtements extérieurs des immeubles telles si importantes comme leur durabilité, performance thermohigrométrique des façades, et indirectement, la durée de vie des constructions, de leur coûts de entretien et aussi la qualité de vie qu'ils proportionnent à leur utilisateur.

Dans ce texte, on aborde les principes théoriques généraux de la transference d'humidité dans les matériaux de construction, notamment, la capillarité et la perméabilité liquide, qui sont ensemble fonction de la structure poreuse des matériaux.

On caractérise quelques unes de sollicitations climatiques auxquelles les façades des immeubles sont exposées, et qui conditionnent leur comportement, on a classifiée aussi quelques matériaux en fonction de leurs caractéristiques fonctionnelles en tant que revêtements de façade.

On a sélectionné quelques matériaux en fonction de leur tendance d'utilisation suite une étude réalisée sur une quantité raisonnable d'appartements construits à des intervalles de temps, et de caractéristiques, bien définies et nous avons essayés les mêmes matériaux selon les normes européennes en vigueur, ayant en considération la détermination de leurs caractéristiques physiques de réponse à l'eau notamment la capillarité et la perméabilité liquide sous basse pression.

A partir de ces caractéristiques et des recherches effectuées en relation aux demandes climatiques, délimitation du territoire en fonction du climat, exposition des façades et classement des murs extérieurs des immeubles, on essaie de laisser quelques principes généraux sur lesquels une future méthode exigeante de sélection de revêtements des façades pourra se baser vis à vis de leur réponse à l'eau.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

1.2. OBJECTIVOS

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O deficiente comportamento higrotérmico da envolvente dos edifícios é uma das principais causas das patologias observadas na construção. É, por isso, importante um bom conhecimento dos fenómenos de transferência de humidade e calor entre os diferentes elementos de construção.

A envolvente dos edifícios pode intervir a vários níveis nas trocas de humidade entre o exterior e o interior, a saber:

- transferência de humidade por ventilação do exterior para o interior
- transferência de humidade através das paredes, em consequência do gradiente de pressão parcial de vapor
- transferência de humidade entre a atmosfera e as paredes, e entre estas e o ambiente interior.

Pensamos que uma análise cuidada das condições climáticas dos locais, bem como da higroscopicidade, porosidade, permeabilidade e capilaridade dos materiais que constituem as envolventes dos edifícios tem um grande interesse, uma vez que, são estes os intervenientes essenciais na transferência de humidade através da envolvente, condicionando assim as condições do ambiente dos espaços interiores, o aparecimento de patologias diversas, com a consequente degradação dos diferentes elementos da construção.

1.2. OBJECTIVOS

Os objectivos a que nos propomos, ao elaborar este trabalho, prendem-se com a análise do comportamento face à água de alguns materiais mais correntemente utilizados no revestimento de fachadas de edifícios, através do estudo das suas características físicas específicas nesta função, como a capilaridade e permeabilidade, em função da porosidade, contribuindo para o enriquecimento do conhecimento já existente sobre a matéria na secção de Construções Cívicas e no Laboratório de Física das Construções da FEUP.

Tentámos, com base na experimentação efectuada, combinada com os dados já existentes acerca da caracterização de capilaridade de alguns materiais de construção, e na recolha de alguma informação que achámos relevante, propôr uma base de trabalho para o desenvolvimento de uma metodologia exigencial do comportamento dos materiais de revestimento de fachada de edificios face aos factores climáticos condicionantes como sejam, chuva, vento e ciclos secagem molhagem.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

O presente texto encontra-se dividido em quatro partes repartidas pelos oito capítulos que o constituem.

- Primeira parte constituída pela introdução de carácter teórico descrevendo os mecanismos fundamentais de transferência de humidade em materiais de construção, bem como os modelos teóricos acerca do transporte de líquidos nos materiais porosos, nomeadamente a capilaridade.

- Segunda parte constituída pela caracterização dos revestimentos de fachada, seleccionados através de pesquisa da tendência de utilização, sua classificação funcional face às solicitações a que está exposto, e a enumeração das solicitações climáticas que achamos particularmente relevantes para o estudo do comportamento de um revestimento de fachada face à água. Incluímos ainda nesta partição as formas de protecção de alguns dos revestimentos ensaiados através da aplicação de alguns tipos de produtos, conforme o descrito no capítulo 4.

- Terceira parte, onde se inclui toda a pesquisa de carácter experimental constituída pela descrição da metodologia adoptada para a selecção e preparação de provetes dos materiais a ensaiar, descrição das técnicas e metodologias de cada um dos ensaios efectuados, concluindo com a apresentação de breve comentário sobre os resultados obtidos.

- Quarta parte, apresentamos os princípios gerais, que achamos prioritários, para a definição de uma metodologia exigencial tendo em vista a caracterização de revestimentos de fachadas face às solicitações climáticas a que estão submetidos em função das suas propriedades físicas, capilaridade e permeabilidade.

CAPÍTULO 2

2. O PROBLEMA DA HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO

2.1. NOÇÕES GERAIS SOBRE O AR HÚMIDO

2.2. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

2.3. MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

2.4. CAPILARIDADE

2.4.1. DOMÍNIO CAPILAR

2.4.2. CONDUÇÃO CAPILAR

2.5. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

2. O PROBLEMA DA HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO

2.1. NOÇÕES GERAIS SOBRE O AR HÚMIDO

O ar é constituído por uma mistura de gases e vapor de água. A quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, designada limite de saturação, é variável em função da temperatura.

A relação entre a quantidade de vapor de água que o ar contém (*humidade absoluta*) e o limite de saturação correspondente à temperatura a que se encontre, é designada por *humidade relativa*, sendo expressa em percentagem.

Da análise do diagrama psicrométrico , figura 2.1, ressalta que uma dada massa de ar poderá conter tanto mais vapor de água quanto maior for a sua temperatura e, inversamente, que a diminuição dessa temperatura implica um acréscimo da humidade relativa até à saturação, a partir da qual o vapor de água condensa.

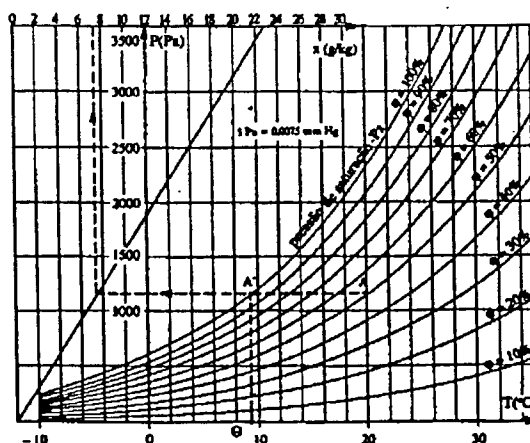


Figura 2. 1. Diagrama psicrométrico

2.2. - ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A água existe no interior dos materiais de construção em três estados:

- gasoso (vapor)
- líquido (água)
- sólido (gelo)

Na física das construções, um material é considerado seco, quando durante um espaço de tempo pré-definido a sua massa não varia significativamente, para determinadas condições de temperatura e humidade relativa. Várias normas, entre as quais a norma DIN 52620 , definem este estado.

Os materiais higroscópicos absorvem moléculas de água da envolvente e fixam-nas nas superfícies interiores do seu sistema de poros.

Dependendo do estado físico da água, um material de construção depende das condições ambientais da envolvente.

O teor de humidade, pode ser expresso pela humidade em relação à massa seca do material ou ao seu correspondente em volume.

$$W_m = \frac{\text{Massa de água contida}}{\text{Massa seca do material}}$$

$$W_v = \frac{\text{Volume de água contida}}{\text{Volume do material seco}}$$

Estes dois teores de humidade estão relacionados pela seguinte expressão:

$$W_m = \frac{\rho_w}{\rho_b} W_v$$

sendo:

W_m - Teor de humidade em relação à massa

W_v - Teor de humidade em relação ao volume

ρ_w - densidade da água (Kg / m³)

ρ_b - densidade do material seco (Kg / m^3)

Os materiais de construção podem apresentar, convencionalmente, os seguintes conteúdos de humidade:

- humidade higroscópica W_h
- humidade crítica W_{cr}
- humidade de saturação W_{sat}
- humidade de saturação máxima $W_{máx}$

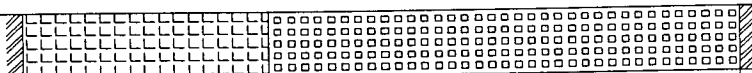
				
0	W_h	W_{cr}	W_{sat}	$W_{máx}$
Secagem artificial	Domínio hogroscópico	Domínio capilar	Humidificação sob pressão	

Figura 2. 2. Descrição convencional dos teores de humidade de referência de um material poroso

A humidade higroscópica, W_h , pode variar entre o zero absoluto, se o provete estiver em contacto com um ambiente de humidade relativa nula, e a humidade crítica W_{cr} , que corresponde ao teor de humidade que um material apresenta quando em contacto com um ambiente saturado.

A humidade máxima $W_{máx}$, define-se como sendo o teor de humidade do material quando todo o volume de vazios está preenchido com água, o que significa que o teor de humidade em volume é igual à porosidade aberta (Freitas, 1992)

Normalmente materiais com poros muito pequenos atingem o conteúdo de humidade máximo $W_{máx}$ somente após longo tempo de contacto com a água, à pressão atmosférica, ou sendo o processo acelerado através do aumento de pressão. (Holm, 1995)

Considerando estes níveis de conteúdo de humidade para cada material, podemos classificar dois domínios:

- higroscópio
- capilar

Neste estudo vamos centrar a nossa atenção preferencialmente no domínio capilar

2.3. MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

Os mecanismos que regem o transporte de humidade numa parede são complexos, podendo dar-se em diferentes fases:

- na fase vapor, a difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros condicionam o transporte
- na fase líquida, a capilaridade, a gravidade e o efeito de gradiente de pressão externa comandam a transferência de humidade.

No entanto, o transporte em fase líquida e em fase vapor ocorre em simultâneo e as condições de temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação solar e pressão do vento dos ambientes - que definem as condições fronteira no interior e exterior - são muito variáveis ao longo do tempo.

Do ponto de vista físico, podemos considerar que há três mecanismos de transferência de humidade: absorção, condensação e capilaridade. Estes três mecanismos permitem explicar, na generalidade dos casos, a variação do teor de humidade no interior dos materiais de construção com estrutura porosa.

O mecanismo de absorção é representado graficamente na figura 2.2, e é atribuído às forças intermoleculares que actuam na interface sólido-fluido, no interior dos poros, e que por difusão superficial transportam a humidade, através de moléculas de água, quando absorvidas pela superfície porosa interior de materiais higroscópicos e microcapilares. A principal força responsável pela difusão superficial é a humidade relativa.

A forma da curva de absorção pode ser dividida em três fases dependendo do tipo de fixação das moléculas de água. Numa primeira fase, ocorre através da difusão e movimentos convectivos, a fixação de uma camada de moléculas de água na superfície interior do poro (absorção monomolecular), a que se segue, numa segunda fase, a deposição de várias camadas de moléculas (absorção plurimolecular). A condensação capilar corresponde à última fase. A diminuição da pressão de vapor de saturação por cima das superfícies curvas, depende do ângulo de curvatura dos meniscos como expressa a equação de Kelvin. Quando o diâmetro dos poros é suficientemente pequeno, há a junção das camadas plurimoleculares (condensação capilar), e estes serão completamente preenchidos com água. (Hansen, 1986)

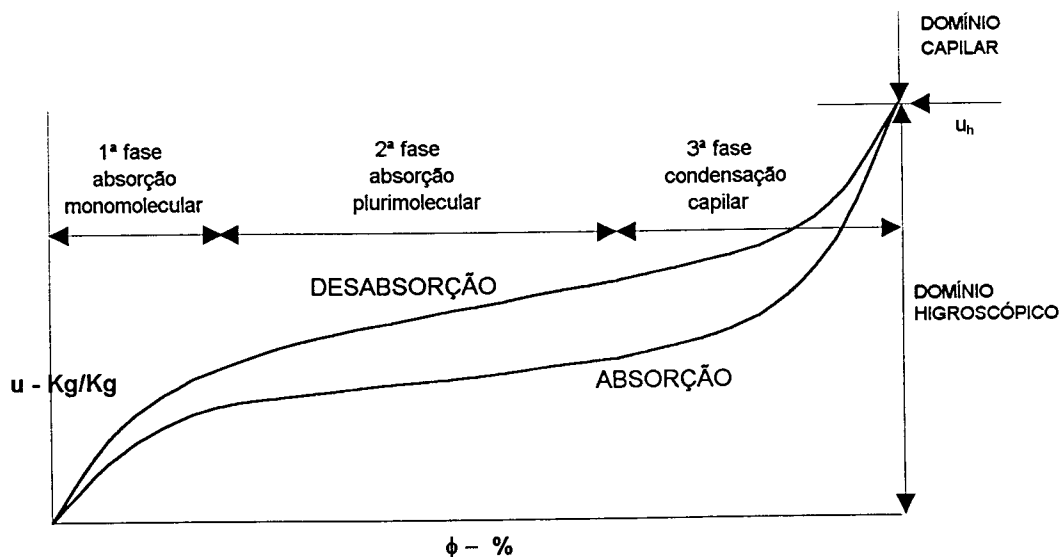


Figura 2. 3. Variação do teor de umidade de um material poroso, função da H.R. do ambiente

De acordo com a teoria de difusão de vapor proposta por Glaser, em qualquer ponto no interior de um elemento de construção, a pressão vapor (P) tem de ser necessariamente menor ou igual à pressão de saturação (P_s). Quando a pressão é igual, ou superior, à pressão de saturação, ocorrem condensações. (Freitas, 1992)

2.4. CAPILARIDADE

2.4.1. - DOMÍNIO CAPILAR

Em casos de umidade relativa próximo dos 100%, a curva de absorção, figura (2.3.), apresenta um aumento apreciável, conhecido como o início do domínio capilar. Se um material activo capilarmente entra em contacto com a água, ele começa a absorver até chegar ao ponto de saturação W_f . Para obter resultados quantitativos, o modelo apropriado assume considerar a embebição capilar como um volume cilíndrico, figura (2.4.). Assim surge o modelo seguinte para quantificar a pressão de sucção. (Holm, 1995)

$$p_c = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \Theta}{r}$$

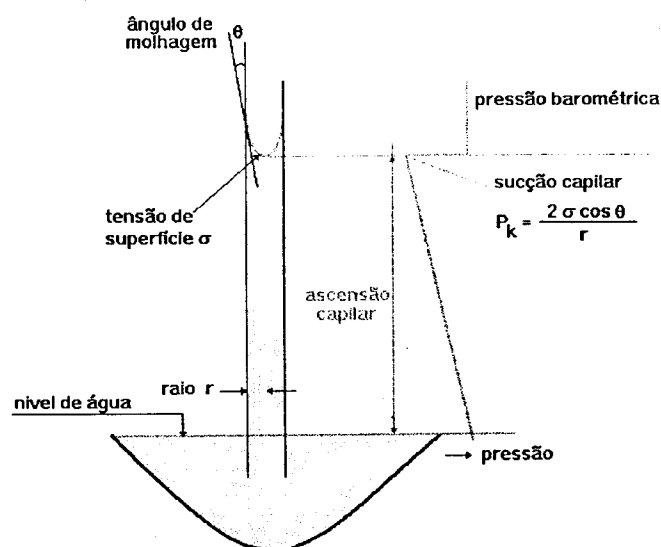


Figura 2. 4. Modelo teórico cilíndrico de sucção e pressão capilar

em que:

p_c	[Pa]	Pressão de sucção
σ	[N/m]	tensão superficial da água
r	[m]	raio do tubo capilar
$\cos \Theta$	[°]	ângulo de molhagem

Através de uma análise minuciosa, poderemos constatar, que o modelo adoptado não se enquadra perfeitamente com os resultados que se obtêm em laboratório. Assim, é melhor determinar a embebição por capilaridade directamente, ao invés de usar o modelo de capilaridade cilíndrica. Para tal, a Lei de Kelvin da termodinâmica expressa a relação entre a humidade relativa acima da superfície côncava da água e a consequente sucção capilar. (Holm, 1995)

$$\varphi = \exp\left(\frac{-p_c}{\rho_w \cdot R_D \cdot T}\right)$$

quando

φ	[-]	humidade relativa
-----------	-----	-------------------

p_c	[Pa]	pressão de sucção
ρ_w	[kg/m ³]	densidade da água
R_D	[J/kg]	constante de gás para vapor de água
T	[K]	temperatura absoluta

2.4.2 - CONDUÇÃO CAPILAR

A condução capilar somente é observada para conteúdos de água acima da humidade crítica W_{cr} . O desenvolvimento de uma teoria exacta acerca da condução capilar tem-se demonstrado difícil devido à complexidade do sistema poroso dos materiais. Por isso, uma aproximação matemática é fundamentalmente baseada em múltiplas simplificações, e estas devem ser sempre comparadas com os resultados de experiências para provar a sua validade.

O modelo implementado por Cammerer (Cammerer, 1995) revela resultados adequados para problemas envolvendo um tubo capilar. Este modelo tem como base a Lei Hidrodinâmica de Bernoulli e a Lei de Hagen-Poiseuille. O resultado é a seguinte expressão matemática:

$$B = k \cdot \sqrt{t}$$

quando

B	[m]	profundidade da penetração de água
k	[m/s ^{0.5}]	coeficiente da penetração de água
t	[s]	tempo de sucção

Schwarz (Schwarz, 1971) definiu o coeficiente da absorção de água como:

$$\dot{m}_I = A \cdot \sqrt{t}$$

onde:

$\dot{m}_l$	[kg/m ² s]	densidade de fluxo do líquido
A	[kg/m ² s ^{0.5}]	coeficiente de absorção de água
t	[s]	tempo de sucção

A norma DIN 52 617 descreve o princípio de medição do coeficiente de absorção de água A .

A expressão matemática, anteriormente descrita, quantifica a água absorvida ignorando a distribuição de água que se encontra dentro da matéria.

O processo em si é impossível de medir, contudo o efeito resultante pode ser observado. Encarando a existência de uma relação entre a pressão de embebição capilar e o gradiente do conteúdo de água, Krischer (Krischer, 1978) afirmou que o conteúdo de água é a principal força. Para a análise matemática Krischer usou um modelo de tubos capilares paralelos com diâmetros diferentes e uma ligação sem qualquer resistência.

$$\dot{\vec{m}} = -\rho_w \cdot D_w(W) \cdot \vec{\nabla} W$$

em que:

$\dot{\vec{m}}$	[kg/m ² s]	fluxo de condução capilar
ρ_w	[kg/m ³]	densidade da água
D_w	[m ² /s]	coeficiente de difusibilidade hídrica
W	[-]	conteúdo de humidade

O coeficiente de difusibilidade hídrica $D_w(W)$ depende do conteúdo de água W . Contudo também é dependente na temperatura devido à tensão superficial σ e viscosidade da água η . No entanto, a variação de σ , comparada à de η , é insignificante.

Krischer indicou que D_w depende de condições fronteira. Por exemplo se o processo de embebição é interrompido, então somente os largos tubos capilares, devido aos seus maiores poderes de sucção, são responsáveis pela migração de humidade. Se a água é removida do contacto com a amostra, o menisco da superfície de sucção e o menisco na região da frente de avanço da coluna de água são encurvados até que as forças de sucção

resultantes se cancelam. Isto quer dizer, que depois a humidade só pode ser redistribuída lentamente devido à acção capilar enquanto os poros mais pequenos são preenchidos. A medição poderia mostrar a diferença entre D_w Redistribuição e D_w Sucção.

2.5. - COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A determinação da coeficiente de absorção de água de materiais de construção é fixada por vários padrões. Neste trabalho, foi usada a norma Alemão DIN 52 617 e a norma Francesa NF B 10502.

Como referido em capítulo seguinte, a coeficiente de absorção (norma DIN), ou coeficiente de capilaridade (norma NFB), representam massa de água absorvida por área devido a forças capilares.

As amostras são criteriosamente pesadas antes e durante o processo. As durações dos intervalos de tempo dependem da velocidade de sucção. A absorção da água é registada como uma função da raiz quadrada de unidade de tempo.

Dependendo do valor do coeficiente de absorção de água A o material pode ser classificado em quatro grupos de acordo com o Padrão Alemão DIN 52 617

Sucção rápida	$A > 2.0 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$
Impedimento de água	$A \leq 2.0 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$
Quase impermeável	$A \leq 0.5 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$
Impermeável	$A \leq 0.001 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$

O Padrão Francês NF B 10502 classifica os revestimentos à base de ligantes hidráulicos em três categorias, em relação ao coeficiente de capilaridade C expresso em $\text{g/cm}^2 \text{ mn}^{0.5}$ ($*0.775 = \text{kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$):

$C > 4$	- revestimento de forte capilaridade
$1.5 < C < 4$	- revestimento de fraca capilaridade
$C < 1.5$	- revestimento de muito fraca capilaridade

Na caracterização de revestimentos monocamada de impermeabilização para aplicação em exterior o CSTB (CSTB, cahier 2669, 1993) estabelece uma classificação “MERUC “ em que os coeficientes de capilaridade C são os abaixo referidos, expressos igualmente em $\text{g} / \text{cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$ (* $0.775 = \text{kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$):

- C1 - capilaridade inferior a 1.5
- C2 - capilaridade compreendida entre 1.0 e 2.5
- C3 - capilaridade compreendida entre 2.0 e 4.0
- C4 - capilaridade compreendida entre 3.0 e 7.0
- C5 - capilaridade compreendida entre 5.0 e 12.0
- C6 - capilaridade superior a 10

CAPÍTULO 3

3. CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS POROSOS DE FACHADA E SUA SOLICITAÇÃO

3.1. PESQUISA SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS DIFERENTES MATERIAIS

3.2. TIPOS DE REVESTIMENTO / PAREDES

3.2.1. REVESTIMENTOS ESTUDADOS

3.3. SOLICITAÇÃO HIGROTÉRMICA DAS FACHADAS

3.3.1. INFLUÊNCIA DO CLIMA NO COMPORTAMENTO DAS CONSTRUÇÕES

3.3.2. CHUVA / VENTO

3.3.3. TEMPERATURA

3.3.4. OUTROS AGENTES

3.3.5. OS MECANISMOS DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

3.4. ACCÕES DEVIDAS AOS CICLOS SECAGEM / MOLHAGEM

3.4.1. CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE CHUVA NAS FACHADAS

3.4.1.1. ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE

3.4.1.2. ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE PERSISTENTE

3.4.2. O COMPORTAMENTO DA FACHADA

3. CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS POROSOS DE FACHADA E SUA SOLICITAÇÃO

3.1. PESQUISA SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS DIFERENTES MATERIAIS

No sentido de auscultar a tendência de utilização dos diferentes tipos de materiais de revestimento de fachadas em edifícios, bem como o seu comportamento em serviço, foi realizado um inquérito, com a colaboração do INH - Instituto Nacional de Habitação, tendo em vista analisar um conjunto de edifícios de características uniformes, no que concerne a finalidade de utilização, balizamento orçamental, tipologia, localização geográfica e um espaço temporal limitado e bem definido, da fase de conclusão de construção.

Foram analisados empreendimentos concluídos entre os anos de 1993/1994, tendo os respectivos projectos sido concluídos entre 1984 e 1992.

Na organização do referido inquérito foram contempladas várias questões das quais destacamos as que, após análise dos dados recolhidos, nos pareceram com maior interesse para a avaliação da funcionalidade dos revestimentos de fachada, como sejam:

- Localização geográfica
- Altura total
- Integração ou não integração em zona urbana
- Proximidade do mar
- Orientação das fachadas em relação aos pontos cardeais
- Tipo de revestimento das fachadas previsto no projecto e aplicado em obra
- Patologias interiores e exteriores associadas a revestimento de fachadas

Foram analisadas 1845 habitações pertencentes a 14 empreendimentos finalizados entre as datas anteriormente definidas, e todos na zona geográfica do grande Porto.

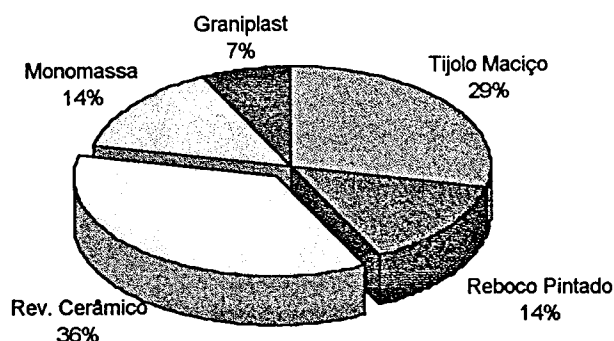


Figura 3. 1. Revestimento de fachada por empreendimento

Se a análise for efectuada por empreendimento, verificamos que, Figura (3.1):

- O revestimento cerâmico foi utilizado em 36 % dos empreendimentos analisados.
- O tijolo maciço foi utilizado em 29 % dos empreendimentos analisados.
- Uma pintura sobre reboco tradicional foi utilizada em 14 % dos empreendimentos analisados.
- O reboco monocamada foi utilizado em 14 % dos empreendimentos analisados.
- O revestimento *Graniplast* foi utilizado em 7 % dos empreendimentos analisados.

Em 14.3 % dos empreendimentos analisados foram alterados os materiais que o projectista tinha especificado em caderno de encargos.

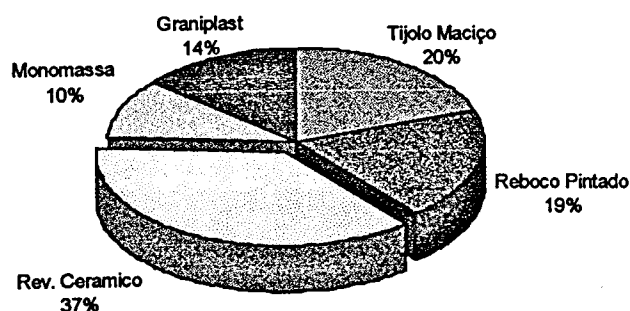


Figura 3. 2. Revestimento de fachada por nº de fogos

Se a análise for efectuada em relação ao nº de fogos, verificamos que Figura(3.2):

- O revestimento cerâmico foi utilizado em 37 % dos empreendimentos analisados.
- O tijolo maciço foi utilizado em 20 % dos empreendimentos analisados.
- Uma pintura sobre reboco tradicional foi utilizada em 19 % dos empreendimentos analisados.
- O revestimento *Graniplast* foi utilizado em 14 % dos empreendimentos analisados.
- O reboco monocamada foi utilizado em 10 % dos empreendimentos analisados.

Em 5 % dos fogos analisados foram alterados os materiais que o projectista tinha especificado em caderno de encargos.

Em qualquer das análises anteriormente apresentadas se constata que os materiais mais utilizados em revestimento de fachada, considerando o universo da amostra, são o revestimento cerâmico colado sobre um suporte normalmente constituído por um reboco tradicional de ligante hidráulico, seguido pelo tijolo maciço à vista pelo exterior.

Nos restantes elementos que constituem a amostra podemos observar que o reboco tradicional pintado é um dos três acabamentos mais utilizados, sendo de notar o numero de fogos onde foi utilizado o revestimento exterior monocamada, dado este ser um produto com implantação recente no nosso mercado.

O tipo de revestimento de fachada proposto pelo projectista foi o utilizado em obra em cerca de 85 % dos empreendimentos, não nos tendo sido possível efectuar o levantamento das razões que levaram a mudanças nos restantes casos, nem as patologias associadas a aplicação de cada um dos revestimentos em função da exposição das fachadas em que se insere.

3.2. TIPOS DE REVESTIMENTO / PAREDES

O inquérito efectuado revela, para a amostra considerada, quais as tendências arquitectónicas para a escolha de revestimentos de fachada. Podemos seguidamente tentar compará-la com a classificação dos conjuntos parede e parede / revestimento de fachada segundo as suas exigências funcionais

Os revestimentos utilizáveis em paramentos exteriores de paredes de edifícios são classificados segundo as funções que estão aptos a desempenhar no quadro das exigências funcionais relativas ao conjunto tosco da parede / revestimento.

Muitos critérios de classificação poderão ser adaptados, baseando-se em factores como o material constituinte, natureza do ligante, técnica de execução ou outro da multiplicidade existente conforme a vertente sob a qual queiramos encarar o estudo dos materiais de revestimento de fachadas.

Lucas (Lucas, 1990) efectua, no seu trabalho, uma classificação funcional dos revestimentos exteriores de paredes, classificação no qual contempla duas funções particularmente interessantes para o trabalho que nos propomos desenvolver. Essas funções são a estanqueidade e a impermeabilização. Apresentamos em esquema (Figura (3.3)) parte desse diagrama classificativo onde se integram os materiais a estudar.

A classificação de um revestimento como sendo de estanqueidade/impermeabilização tem a ver com a sua capacidade de por si só garantir a estanqueidade à água que a parede no seu conjunto é capaz de garantir.

No que se refere à parede de alvenaria para fachadas o DTU 20.1 (DTU 20.1, 1985) prevê quatro classes de estanqueidade Ia, II (A ou B), III, IV.

São paredes da classe I as que simultaneamente não contêm revestimentos estanques nos seus paramentos exteriores nem corte de capilaridade ao longo da sua espessura, não existindo qualquer mecanismo que se oponha ao encaminhamento da água da chuva, estando esta capacidade de transporte unicamente dependente da capacidade de absorção pela parede. Pertencem a esta classe as paredes de alvenaria aparente ou com revestimento não estanque tradicional ou não.

Da classe II são as paredes que embora não contendo um revestimento estanque no seu paramento exterior, possuem um corte de capilaridade algures na sua espessura. O tipo A ou B advém do diferente corte capilar que existir, sendo A se a barreira capilar foi a interposição de painéis , por exemplo isolantes térmicos hidrófilos, ou o tipo B se este corte é efectuado pela existência de uma caixa de ar contínua, propositadamente criada no interior - entre duas paredes de fachada - ou no exterior entre o revestimento e a parede.

Na classificação de uma parede na classe III existem duas possibilidades:

a) paredes duplas com recolha e evacuação de condensados ou infiltrações através do pano exterior.

Classificação de revestimentos para paramentos exteriores de fachadas

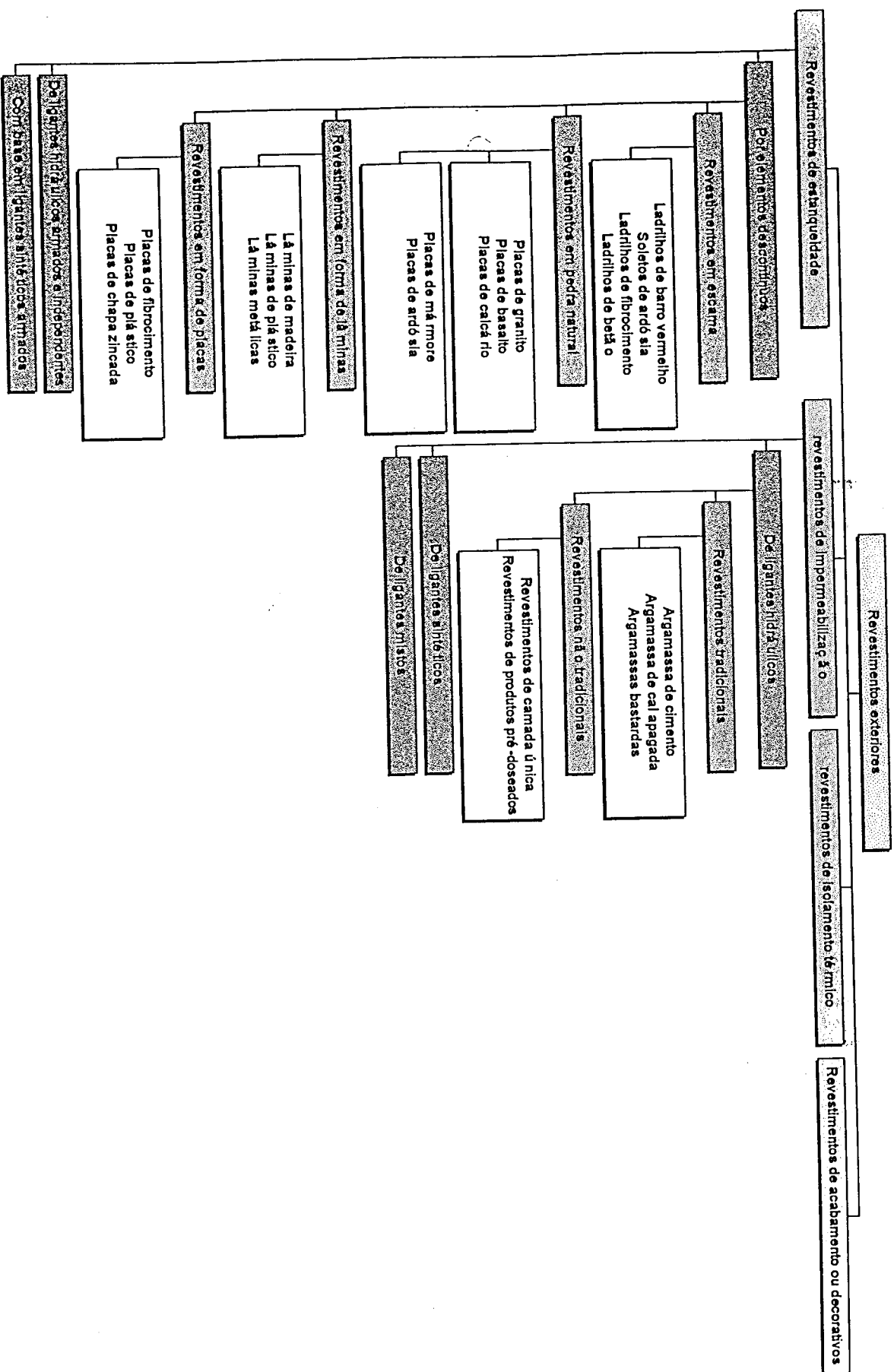


Figura 3. 3. Classificação funcional dos revestimentos exteriores de paredes

b) paredes simples com revestimento do paramento exterior constituído por elementos descontínuos separados por uma lâmina de ar contínua entre o revestimento exterior e a parede de alvenaria com dispositivo de recolha e evacuação da água.

As paredes da classe IV são obtidas por aplicação de um revestimento estanque no paramento exterior evitando assim que a água possa atingir a alvenaria.

Este tipo de paredes não é contemplado no presente estudo, dado que os revestimentos que estamos a estudar são revestimentos porosos e que portanto são passíveis de se deixar atravessar pela água em função do tempo que permanecem expostos à sua acção.

Por sua vez a classificação de um revestimento como revestimento de impermeabilização é referido ao complemento de impermeabilização que este confere ao conjunto tosco / revestimento para que o produto final seja estanque.

O revestimento deve portanto ter uma pequena permeabilidade para que limite o fluxo de água que atinge o suporte. Estão considerados nesta classificação a maior parte dos revestimentos tradicionais de ligantes hidráulicos e os não tradicionais de ligantes hidráulicos para impermeabilização de paramentos exteriores (Lucas, 1990).

Deveremos ter em atenção que o grau de estanqueidade exigido ao revestimento é função de pelo menos duas condicionantes a considerar:

- condições de exposição da parede
- tipo de suporte sobre o qual é aplicado.

Interessará que o revestimento seja o mais impermeável possível à água para que o conjunto tenha um bom comportamento funcional em relação à durabilidade, manutenção e características térmicas para as quais foi concebido.

As exigências para a classificação do revestimento podem exprimir-se pela sua permeabilidade à água sobre pressão e a absorção de água por capilaridade (Lucas, 1990a) dado que estas duas características simulam a acção conjunta de chuva e vento e a acção da chuva quando em acção sem pressão dinâmica deste (Veiga, 1990).

3.2.1. REVESTIMENTOS ESTUDADOS

É sobre os tipos de materiais, mais vulgarmente usados na região Norte do País, mais propriamente na zona do Porto, que vai recair o estudo desenvolvido neste trabalho.

Os revestimentos que vamos estudar são utilizados nas fachadas dos edifícios tanto na protecção de paramentos verticais como no guarnecimento de vãos de janelas e sacadas constituindo os peitoris e soleiras das mesmas.

Para este trabalho seleccionamos provetes dos seguintes materiais :

- Reboco tradicional hidráulico executado segundo as boas normas da arte e a composição adequada (DTU 26.1, 1990) ao tipo de função que irá desempenhar como elemento de construção
- Betão B25 retirado de provetes destinados a ensaio de resistência à compressão, provetes estes retirados aquando da betonagem de elementos estruturais destinados a permanecer à vista no exterior de um edifício.
- Reboco de ligante sintético monocamada executado segundo as indicações do fabricante e das normas de execução indicadas em publicações da especialidade (CSTB cahier 2669).
- Tijolo maciço, retirado de um lote de fabricação, com método aleatório, e pertencendo a uma das cerâmicas com maior cota de mercado neste material destinado a revestimento exterior.
- Três tipos de pedras naturais:
 - Granito amarelo (*cantaria*), muito usado em revestimento de fachadas, e do qual são constituídas as fachadas dos edifícios da baixa Portuense.
 - Duas variedades de pedras calcárias, “ Moca “ e “ Vidraço Moleanos “ usadas correntemente em revestimento de fachadas colocadas segundo diversas metodologias (coladas, grampeadas, outras) e em guarnecimento de vãos.
 - Revestimento cerâmico, específico para o revestimento de fachadas, colocado por colagem directa sobre o suporte, normalmente constituído por um reboco tradicional de ligante hidráulico .

Para conservar e proteger superfícies dos revestimentos exteriores porosos, do risco da penetração da chuva, têm sido usados vários tipos de repelentes de água. A existência de

vários produtos dificulta a possibilidade de comparar a eficácia destes, mas mesmo conscientes deste facto decidimos testar a eficácia de um dos produtos disponíveis no mercado e pertencente a uma marca conceituada. Este repelente de água foi aplicado em provetes de todos os nossos materiais a ensaiar, excepto o reboco à base de ligante sintético e o revestimento cerâmico.

3.3. SOLICITAÇÃO HIGROTÉRMICA DAS FACHADAS

As paredes exteriores dos edificios estão sujeitas a acções várias, devidas à sua exposição directa aos agentes atmosféricos, funcionando como “ interface “ entre o exterior e o interior dos edificios.

As principais solicitações que podemos mencionar como responsáveis pelas mais importantes causas de degradação , são a exposição à chuva, ao vento, aos diferenciais de temperatura com amplitudes diárias e mesmo momentâneas em determinadas alturas do ano (choque térmico) com valores apreciáveis, à influência da luz solar e à humidade do ar.

3.3.1 - INFLUÊNCIA DO CLIMA NO COMPORTAMENTO DAS CONSTRUÇÕES

Conforme o atrás descrito é inegável que o clima influi no comportamento das construções, nomeadamente quando a humidade actua, através das suas diversas manifestações, como agente perturbador da eficiência funcional daqueles.

Porém, a quantificação dessa influência do clima, necessária para o seu tratamento científico e a sua inclusão entre os dados de projecto que são habitualmente considerados, embora ensaiada nos domínios da térmica das construções e das humidades, carece ainda de maior aprofundamento, referindo-se sobretudo à análise estatística da ocorrência simultânea dos diversos factores climáticos, quando desta conjugação resultam os efeitos mais desfavoráveis para os edificios. No caso da humidade, a hipótese de sobreposição de acções é fundamental para se definirem, para cada região, as situações de maior severidade a que as construções podem ser sujeitas (Paiva, 1969).

Com vista a uma melhor classificação do ambiente em que se integram as construções na região geográfica alvo do presente estudo, efectuou-se o levantamento climático possível, através da recolha de alguns valores disponíveis para a zona do Porto.

Assim, conseguimos caracterizar os regimes pluviométricos, dos ventos e da variação de temperatura.

De alguns valores apresentados (Paiva, 1969) verificamos que a região do Porto tem um índice de chuva incidente unicamente suplantado, no país, por poucos locais, estando na sua maioria estes situados nos arquipélagos e no maciço montanhoso na zona central e norte do país.

Foram também definidos para a zona do Porto (zona climática I2 (RCCTE)) valores horários da temperatura durante os meses de Inverno (Novembro a Março) e admitindo a variação, teórica, diária da temperatura segundo a curva apresentada na figura 3.4 (Freitas, 1986)

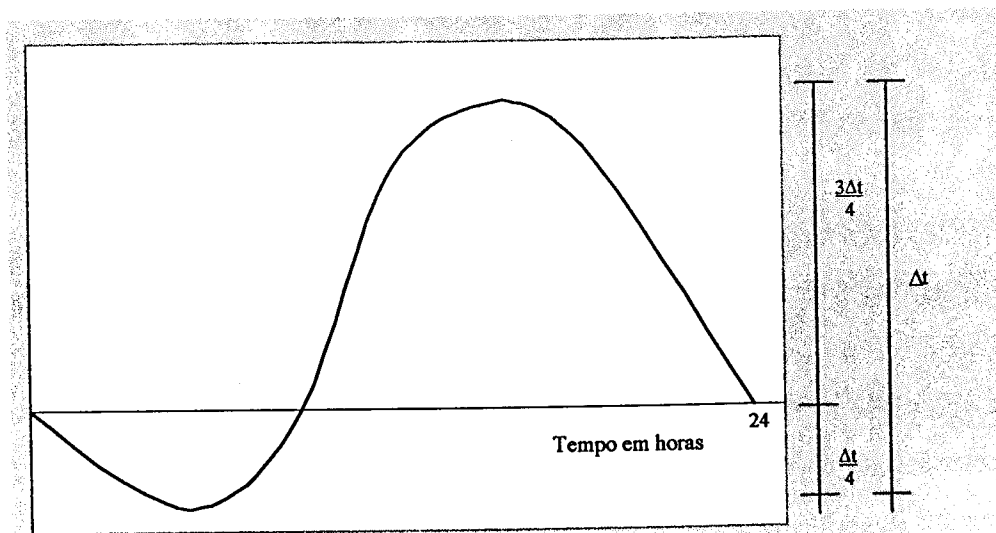


Figura 3. 4. Curva teórica de variação horária de temperatura

A humidade relativa exterior, embora variável em função da época do ano, da exposição dos locais aos ventos e da própria vegetação da envolvente, é normalmente considerada, para estes estudos, constante durante os meses de Inverno e com valor aproximado dos 80 % para a zona do Porto.

Os valores referentes à zona do Porto, são os apresentados na figura 3.5 (Freitas, 1986).

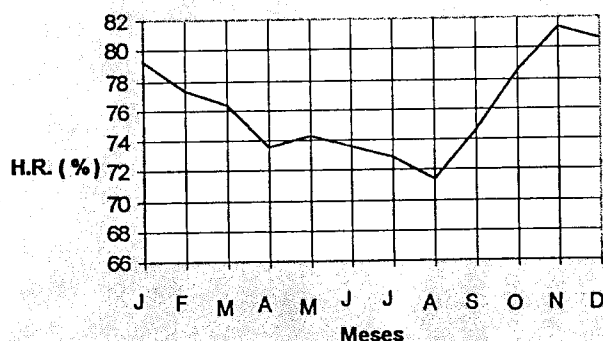


Figura 3. 5. Valores médios mensais da humidade relativa do ar

A molhagem das paredes por acção directa da chuva pode dar origem à ocorrência de diversas anomalias resultantes, quer da migração de água para as superfícies interiores, quer ainda do brusco decréscimo da temperatura superficial exterior que ocorre em situações de secagem muito rápida sob acção, por exemplo, de vento forte figura 3.6 (Henriques, 1983).

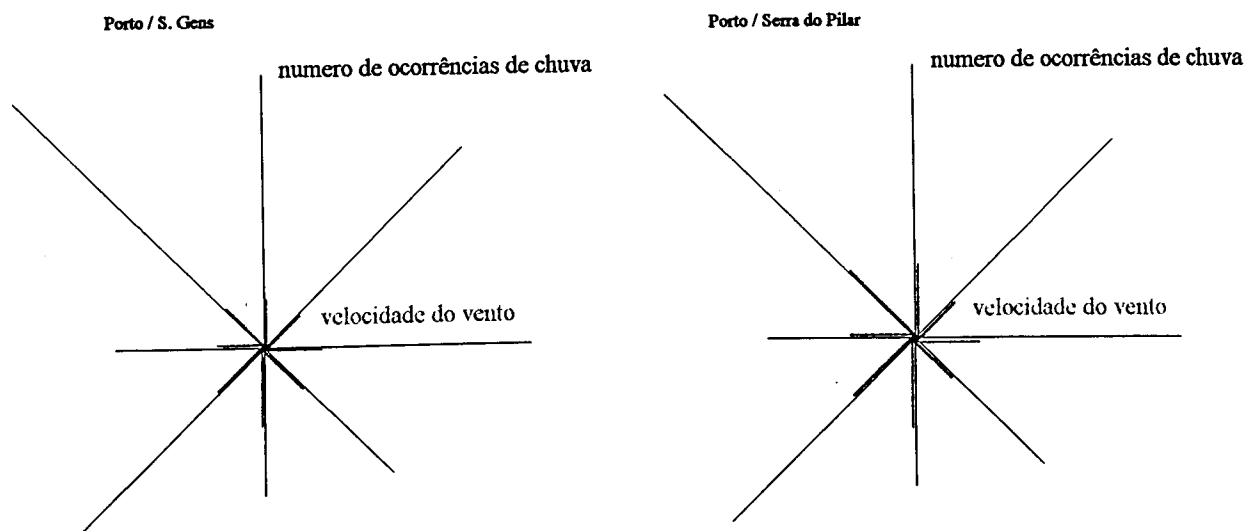


Figura 3. 6. Relação de ocorrência de chuva e vento função da orientação

Quanto à precipitação, dada a impossibilidade de definir sequências reais de humedificação e secagem, considerámos as três sequências convencionais de precipitação (*forte, média e fraca*) definidas na Figura 3.7. (Freitas, 1992).

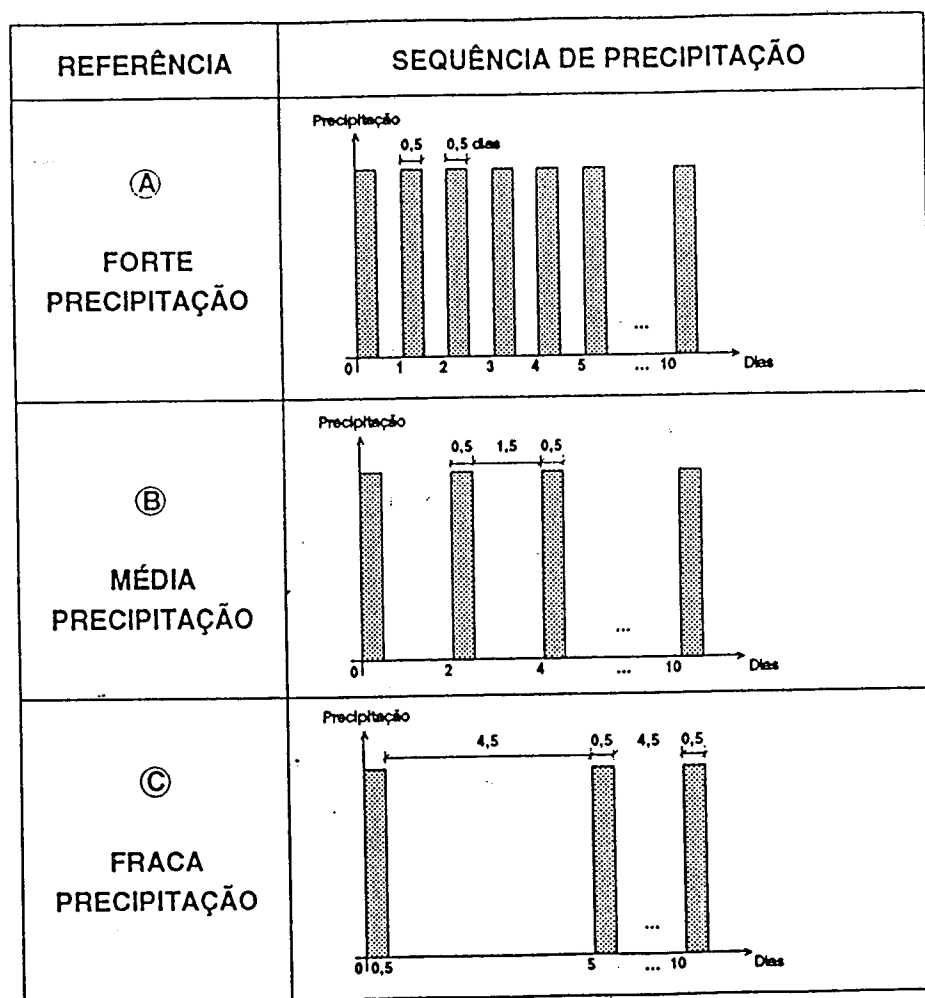


Figura 3. 7. Sequências de precipitação

Com vista a uma definição do clima de Portugal continental à luz dos conceitos expostos, preparam-se, com base em elementos gráficos fornecidos pelo Serviço Meteorológico Nacional relativos ao Continente, e a partir da informação tabular publicada pelo mesmo organismo, Paiva (Paiva, 1969)-prepara diversas cartas de caracterização climática do País, relativas, todas elas, ao período normal 1931 - 1960.

Assim, o regime de chuvas, é caracterizado pelas cartas seguintes:

CONTINENTE

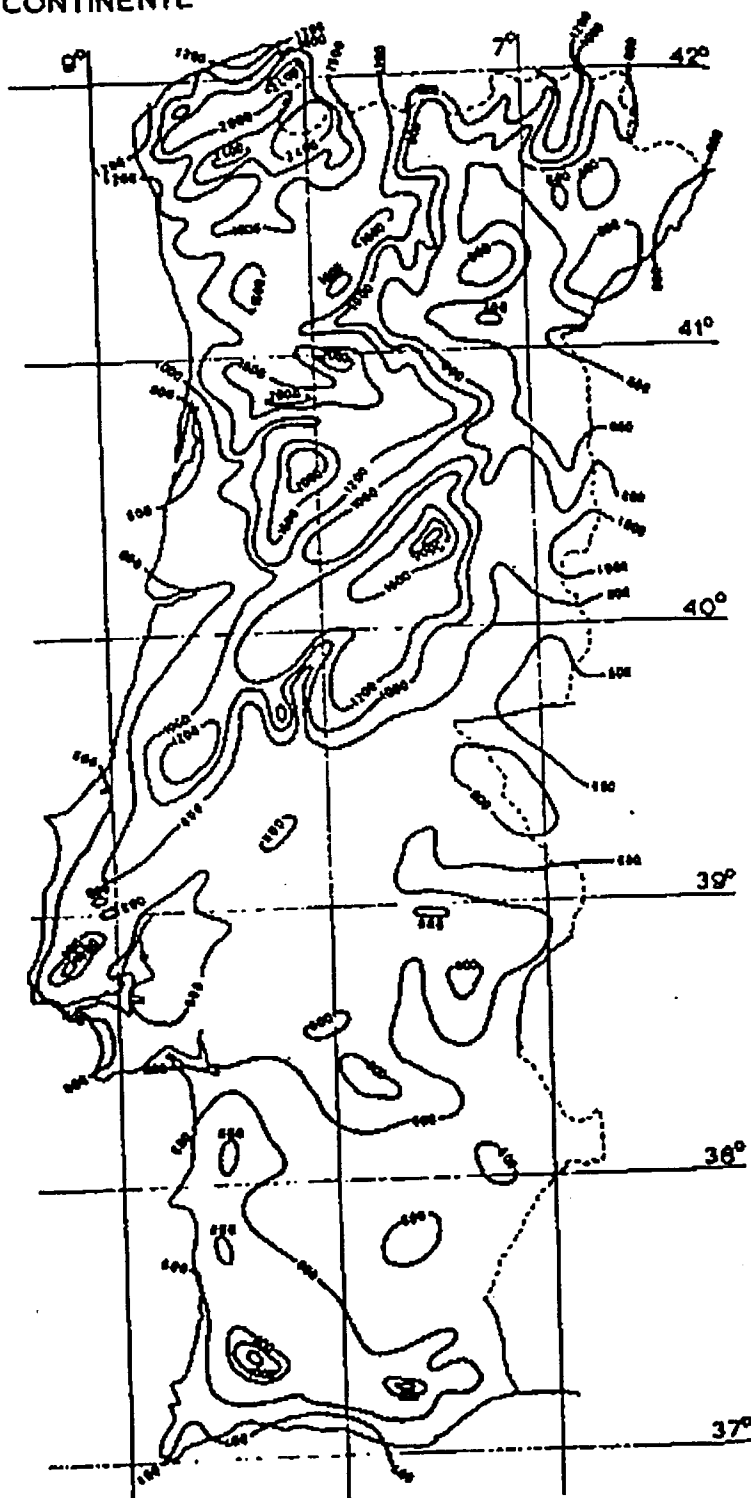


Figura 3. 8. Quantidade de precipitação anual, mm (Paiva, 1969)

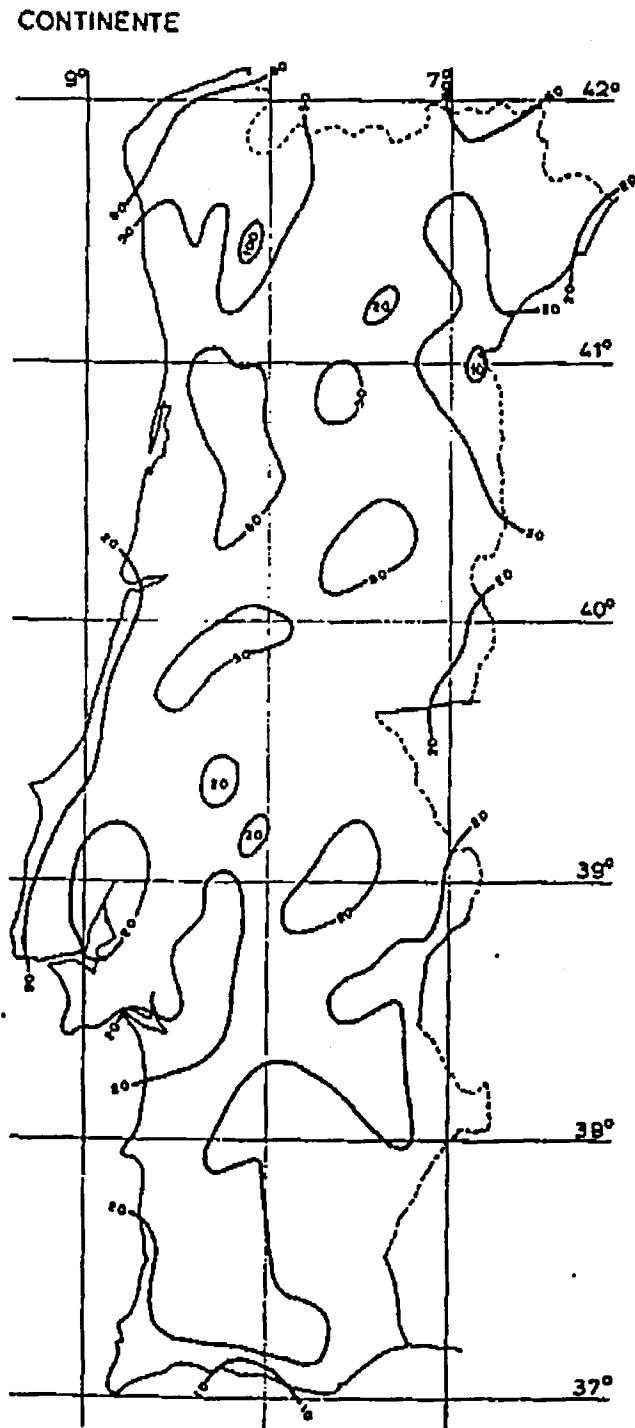


Figura 3. 9. Número médio anual de dias com precipitação $\geq 10,0$ mm (Paiva, 1969)

3.3.2. CHUVA / VENTO

A água estende o seu poder de dissolução e de transporte a todos os meios com que contacta, dependendo também da água os fenómenos de aumento de volume e de contracção por secagem, fenómenos que para nós se materializam nas fissuras que se produzem nos rebocos exteriores. É da água que dependem, também, as avarias provocadas pelos ciclos gelo / degelo.

A água é necessária ao desenvolvimento de fungos que atacam e destroem elementos constituintes dos paramentos verticais exteriores.

A penetração da água é potenciada por influências mecânicas, materializadas pelo deslocamento do ar pressionando a lâmina de água contra as paredes facilitando a penetração por fissuras e poros. (Grunau, 1970)

Desde sempre foi compreendido (Henriques, 1993)que a chuva por si só não constituía uma acção especialmente gravosa para as paredes de edificios e que os riscos só começavam a ter significado à medida que, para uma dada quantidade de precipitação, a intensidade do vento numa dada direcção ia aumentando. A quantificação da chuva incidente em paredes era, portanto, função da análise conjunta do binómio intensidade de precipitação / intensidade do vento.

A água da chuva, conduzida pelo vento, ao incidir sobre as paredes dá origem a uma acção dinâmica, resultante do impacto das gotas da chuva com uma dada energia cinética sobre as superfícies actuando pela pressão do vento figura (3.10).

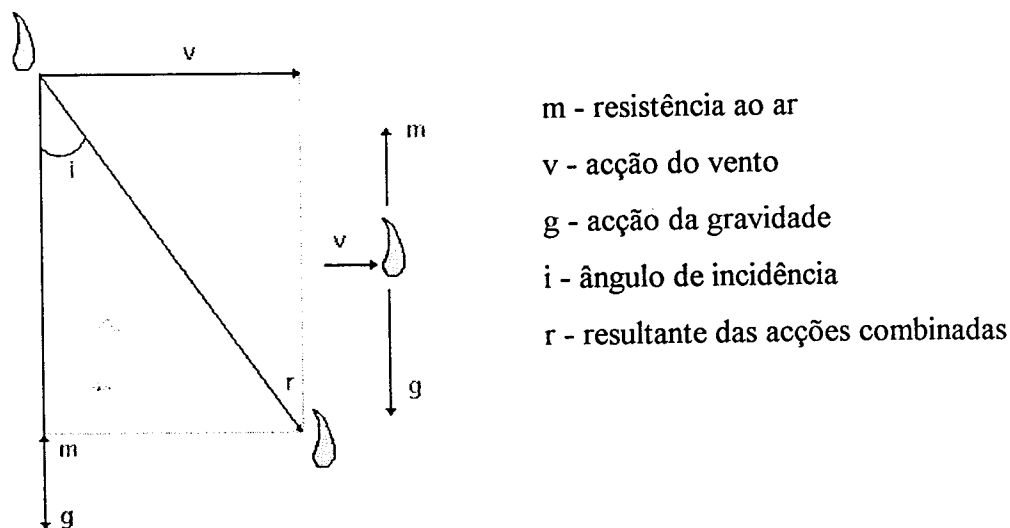


Figura 3. 10. Acção do vento sobre as gotas de chuva

Os materiais de construção correntes absorvem a água da chuva, com maior facilidade em função da porosidade, transportando-a para o interior das paredes. Por outro lado, as inúmeras fissuras existentes na maioria das paredes correntes, resultantes da retracção dos materiais, de variações dimensionais diferenciais e de tantas outras causas, propiciam uma fácil migração da água para o interior, pela acção conjunta da pressão do vento e dos fenómenos de capilaridade.

A estanqueidade à chuva de uma fachada, depende de dois factores:

- Características da obra
- Grau de severidade do clima a que esta está exposta (Sacré, 1982)

A pressão exercida pelo vento é uma causa importante de penetração da água da chuva nos materiais porosos de revestimento de fachada e nas juntas entre estes.

A água sobre a forma de vapor ou no estado líquido provoca, conjuntamente com o oxigénio do ar e dióxido de carbono, a formação de manchas sobre algumas superfícies.

A absorção de água e o poder de penetração desta nos materiais de construção deve ser medida e deveremos a partir de valores encontrados estudar a maneira de construir a fachada e de a proteger.

Para poder estimar a velocidade com a qual se produz a penetração das águas é necessário fazer medidas em função do tempo. Mas o que é verdadeiramente útil conhecer-se são os valores de difusão nos diferentes materiais.

A perda de estanqueidade pode igualmente ser causada por fenómenos de capilaridade sendo esta responsável pelo efeito de penetração de água nos materiais porosos tais como pedras, tijolos, rebocos e praticamente todos os materiais ensaiados neste estudo. A sucção capilar, nos materiais com poros muito finos, é grande, comparativamente às pressões desenvolvidas pelo vento nas construções (Sacré, 1982).

Devemos, portanto, conhecer o valor específico das forças capilares e determinar o poder de sucção do material nas diferentes situações de solicitação, ou seja conhecer a penetração da água sem existência de qualquer pressão e sobre pressão.

Esta medida dá-nos uma imagem do comportamento do material de fachada à acção da água da chuva ou quando esta ocorre sobre os efeitos de pressão do vento. (Grunau, 1970)

3.3.3. TEMPERATURA

As diferenças de temperatura provocam a dilatação e contracção do material de construção. Habituaamo-nos a observar os movimentos térmicos nos elementos de grande dimensão, no entanto quando se trata de dimensões mais pequenas, por exemplo os tijolos ou juntas de argamassas, confrontamo-nos com certas dificuldades dado poder dar-se a rotura ou a desagregação de alguns materiais porosos saturados, quando, sob a acção de valores negativos dessa grandeza, a água contida nos poros congela, aumentando de volume (Paiva, 1969).

3.3.4. OUTROS AGENTES

A humidade do ar, porque condiciona o humedecimento e a secagem dos materiais, particularmente quando aquele é originado por condensações (Paiva, 1969).

A influência da luz é importante para a durabilidade e conservação dos elementos em matérias sintéticas, das camadas de resinas sintéticas e pigmentos.

Sendo, os factores anteriormente citados, preponderantes na degradação dos elementos exteriores de fachada, também outros factores podem influenciar a longevidade e desempenho funcional dos materiais que constituem o revestimento das edificações dos nossos dias. São exemplo do já descrito, a influência da incidência dos raios ultra violeta, do factor químico do ambiente exterior, função da localização da construção (meio urbano, rural, industrial, proximidade do mar, outro), orientação da fachada em relação aos pontos cardeais.

3.3.5. OS MECANISMOS DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Quatro fenómenos físicos podem, agindo isolada ou simultaneamente, permitir à água penetrar e propagar-se nos materiais de construção. (Collombet, 1989)

- gravidade
- energia cinética das gotas de chuva
- pressão do vento
- absorção

- Gravidade

Depois de Newton, não é mais novidade a atracção dos corpos pela terra. Esta atracção também se exerce sobre as gotas de água depositadas na superfície de um material e é esta que vai permitir a penetração para o interior do elemento de construção quando encontra qualquer passagem.

- Energia cinética das gotas

Quando transportadas pelo vento, as gotas de chuva podem no seu trajecto ter acumulado uma energia suficiente para penetrar no interior da parede contra a qual são projectadas.

- Pressão do vento

Desde que a chuva chegue em abundância a uma parede constituída por uma material pouco permeável, ela acaba por formar película à superfície dessa parede.

Na ausência de vento, o filme de água desliza atravessando as fissuras (micro) sem penetrar na parede, sendo aí importante somente a capacidade de sucção capilar do material para a penetração desta água na fachada, figura (3.11.)

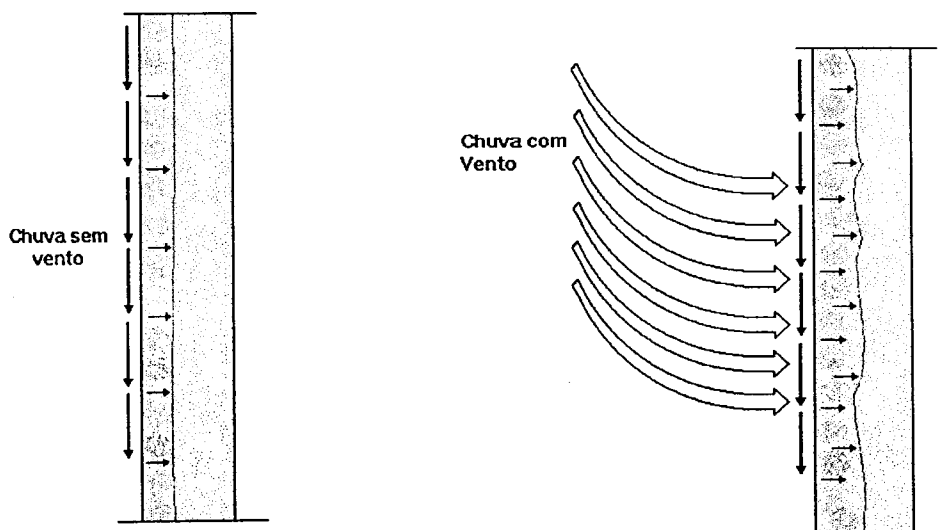


Figura 3. 11. Escorrência da água da chuva sobre uma parede, sem e com acção do vento

Quando o vento exerce pressão sobre esse filme de água que escorre, a água começa a penetrar nas eventuais fissuras da parede mesmo que sejam micro fissuras a partir de 0,1mm, e principalmente para o nosso estudo temos que ter em linha de conta as características de permeabilidade do material e a sua sucção capilar sobre pressão, figura (3.11.).

- Absorção

Os materiais de construção mais vulgarmente utilizados entre nós são porosos e a rede de pequenos “ canais “ internos que possuem, facilitam a ascensão da água por absorção capilar.

3.4. ACÇÕES DEVIDAS AOS CICLOS SECAGEM / MOLHAGEM

Depois de, no item anterior, ter sido abordado o tema das solicitações a que a envolvente dos edificios está sujeita, vamos debruçar-nos um pouco sobre um dos factores de maior importância no comportamento dos revestimentos, que é a sequência secagem / molhagem, seus ciclos, agentes e consequências.

De entre os variados factores climáticos que intervêm no comportamento das construções, interessa-nos conhecer e analisar os que, de algum modo, estão relacionados com a existência de ciclos secagem molhagem. Estes factores são:

- a precipitação, que tem ligação directa com o fenómeno em causa; (Paiva, 1969)
- o vento, cujas orientação e velocidade contribuem para definir a intensidade da incidência da chuva nas paredes dos edificios, o que se repercute numa maior ou menor possibilidade de penetração de água nos paramentos, nas aberturas e nas juntas das paredes, nas ligações fachada-caixilharia, etc. - ao mesmo tempo que influenciam a secagem dos elementos de construção humedecidos pela acção da chuva ou por outros agentes externos ou internos;
- a humidade do ar, porque condiciona o humedecimento e a secagem dos materiais, particularmente quando aquele é originado por condensações;
- a temperatura, em virtude de se poder dar a rotura ou a degradação de alguns materiais porosos saturados, quando, sob acção de valores negativos dessa grandeza, a água contida nos poros congela, aumentando de volume.

Embora se considerem somente os factores acabados de citar, podemos dizer que todos os restantes têm também influência, pelo menos indirecta, no problema, contribuindo para a formação e eliminação da humidade.

Os ciclos secagem / molhagem são devidos à acção conjunta dos vários agentes físicos atmosféricos anteriormente referidos (chuva, vento, temperatura e humidade

ambiente), e interferem decisivamente no funcionamento dos mecanismos de transporte de água nos materiais, tanto na fase vapor, como na fase líquida (capilaridade e permeabilidade).

Conforme podemos observar pela análise do organograma figura (3.12.) de classificação dos períodos meteorológicos, as combinações de factores podem conduzir a três situações:

PERÍODO DE MOLHAGEM: as listagens de alturas de precipitação, a situação do tempo actual e a velocidade média do vento, indicam uma situação de chuva batida pelo vento com, por consequência, um aumento de água sobre a fachada.

PERÍODO DE SECAGEM: em virtude da fraca humidade relativa do ar e de uma possível acção do vento, vai acentuar-se globalmente uma retirada de água da parede durante o tempo considerado.

PERÍODO NEUTRO: este período eventualmente agrupa situações de chuva sem vento, de nevoeiro ou de precipitações fracas, de períodos de tempo instável. Em todos estes casos a observação dos dados meteorológicos, registados na estação, não permitem concluir acerca do movimento instantâneo da água à superfície da parede. (Begin, 1986)

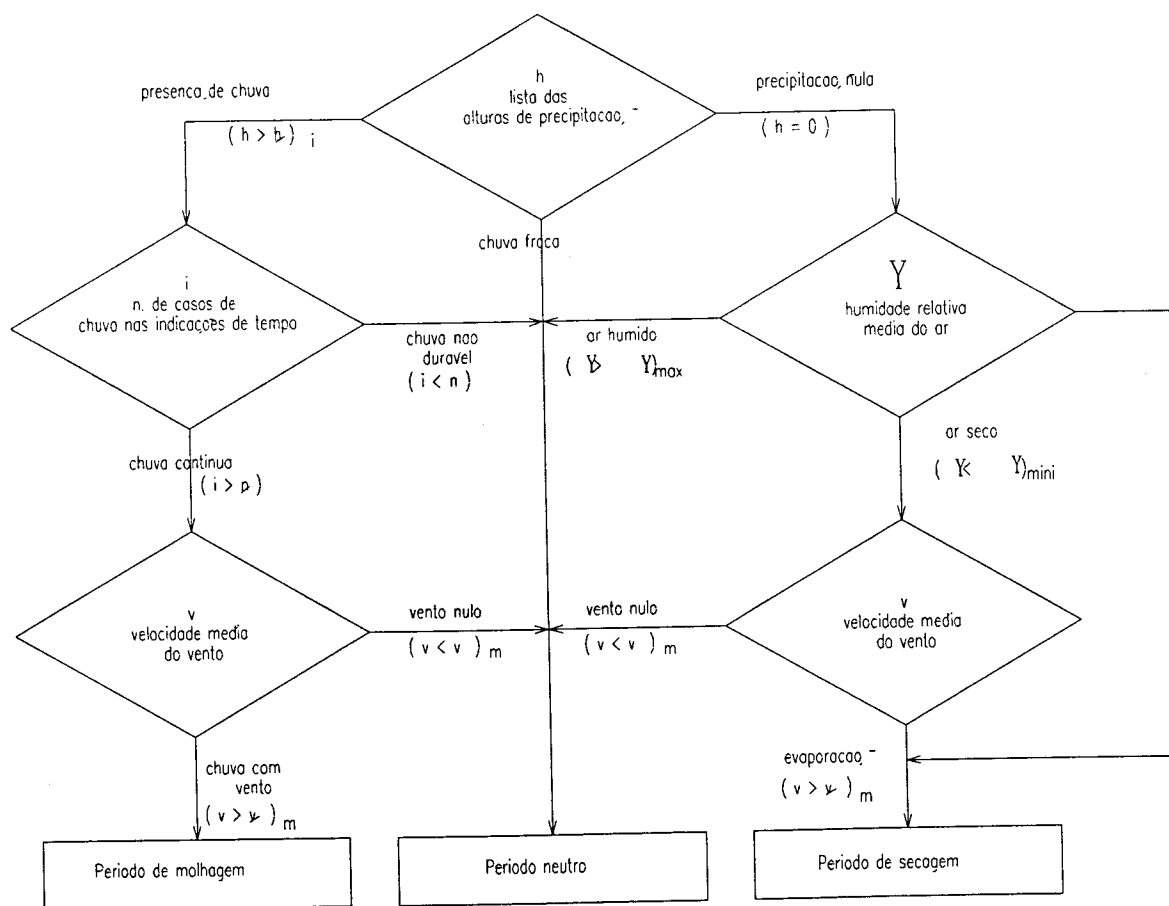


Figura 3. 12. Organigrama do processo de definição das diferentes situações de classificação de periodos metereológicos

3.4.1 - CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE CHUVA NAS FACHADAS

A maioria dos materiais intervenientes na construção ao nível dos materiais de suporte, das argamassas de acabamento e protecção, são porosos e susceptíveis de absorver quantidades não negligenciáveis de água em forma líquida.

A chuva é uma das principais causas da presença de água líquida em níveis prejudiciais ao desempenho e durabilidade dos materiais (Flori, 1989)

O mecanismo de molhagem de uma parede é um fenómeno físico simples. São as forças de capilaridade que permitidas pelo grau de porosidade do material desempenham um papel preponderante durante a absorção de água da chuva por um muro.

Se a chuva transporta água suficiente para alimentar o fenómeno (quantidade de humidade saturante) a quantidade de água absorvida por um material é função do tempo de exposição e do coeficiente de absorção por capilaridade do material. No caso contrário a quantidade de chuva incidente sobre a fachada determina a quantidade de água absorvida por essa fachada.

Exprime-se a intensidade de chuva incidente livre (quer dizer, recebida por uma superfície aberta vertical) em função da intensidade de precipitação e da velocidade do vento.

O factor influente é o ambiente de incidência.

O ambiente caracterizado por um parâmetro de rugosidade, e definido pela situação geográfica da fachada exposta (descampado, litoral, centro urbano, outro) e ainda se a zona é de rugosidade elevada.

O ambiente próximo, por exemplo, obstáculos criados à incidência, pode também modificar substancialmente as quantidades de chuva incidente recebidas pela fachada.

Para ultrapassar as limitações referidas, e tendo em conta os desenvolvimentos entretanto verificados, foi decidido avançar para métodos de quantificação, tendo sido criados dois novos conceitos: (Henriques, 1983)

- índice de chuva incidente
- índice de chuva incidente persistente

3.4.1.1 - ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE

Partindo do pressuposto de que não ocorrem deflexões das gotas da chuva devidas a eventuais alterações do fluxo do vento provocadas por edifícios ou outros obstáculos, a quantidade de chuva incidente sobre uma parede com uma dada direcção num dado intervalo de tempo pode ser expressa através de um índice, designado de chuva incidente, calculado de acordo com a expressão

$$I = \sum_{i=1}^n P_i V_i \cos \theta_i$$

em que o I é o índice de chuva incidente e P_i , V_i e θ_i são, respectivamente, a quantidade de precipitação em superfície horizontal (em metros), a velocidade do vento (em metros por segundo), e o ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede em análise ($-90^\circ < \theta_i < 90^\circ$), para cada um dos intervalos de tempo elementares que constituam o período de tempo considerado.

3.4.1.2. - ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE PERSISTENTE

O índice de chuva incidente persistente é uma grandeza criada especialmente para avaliar os riscos de penetração da água da chuva através das paredes de edifícios.

Com efeito, o factor relevante para esse fim é a quantidade máxima de chuva incidente que pode ocorrer numa forma sequencial durante um determinado período de tempo, que tanto pode ser de algumas horas como de vários dias. Este período de tempo, sem duração pré-definida, deve prolongar-se enquanto a quantidade de chuva incidente sobre uma dada parede exceder a sua capacidade de evaporação da água em excesso.

O índice de chuva incidente persistente passou então a ser definido, para cada uma das doze direcções principais consideradas, como o somatório dos índices de chuva incidente horários durante um certo período de tempo compreendido entre outros dois, com duração superior a 96 horas, nos quais os respectivos somatórios do índice de chuva incidente sejam inferiores a um limite previamente fixado. Este limite é função da direcção em análise, sendo diferente dos limites fixados para as restantes onze direcções. (Henriques, 1993)

3.4.2. O COMPORTAMENTO DA FACHADA

No decurso de um período de chuva, só uma parte da água incidente numa parede é absorvida, sendo para tal condicionante a natureza do material e o seu grau de humidade no início da ocorrência. A água não absorvida, escorre pela fachada do edifício até zonas mais baixas, logo mais protegidas da chuva incidente. Esta escorrência que só aparece nos materiais pouco absorventes ou para os materiais já saturados, redistribui as quantidades de água recebidas. Assim, o betão com características de absorção por capilaridade menores

Se a chuva transporta água suficiente para alimentar o fenómeno (quantidade de humidade saturante) a quantidade de água absorvida por um material é função do tempo de exposição e do coeficiente de absorção por capilaridade do material. No caso contrário a quantidade de chuva incidente sobre a fachada determina a quantidade de água absorvida por essa fachada.

Exprime-se a intensidade de chuva incidente livre (quer dizer, recebida por uma superfície aberta vertical) em função da intensidade de precipitação e da velocidade do vento.

O factor influente é o ambiente de incidência.

O ambiente caracterizado por um parâmetro de rugosidade, e definido pela situação geográfica da fachada exposta (descampado, litoral, centro urbano, outro) e ainda se a zona é de rugosidade elevada.

O ambiente próximo, por exemplo, obstáculos criados à incidência, pode também modificar substancialmente as quantidades de chuva incidente recebidas pela fachada.

Para ultrapassar as limitações referidas, e tendo em conta os desenvolvimentos entretanto verificados, foi decidido avançar para métodos de quantificação, tendo sido criados dois novos conceitos: (Henriques, 1983)

- índice de chuva incidente
- índice de chuva incidente persistente

3.4.1.1 - ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE

Partindo do pressuposto de que não ocorrem deflexões das gotas da chuva devidas a eventuais alterações do fluxo do vento provocadas por edifícios ou outros obstáculos, a quantidade de chuva incidente sobre uma parede com uma dada direcção num dado intervalo de tempo pode ser expressa através de um índice, designado de chuva incidente, calculado de acordo com a expressão

$$I = \sum_{i=1}^n P_i V_i \cos \theta_i$$

em que o I é o índice de chuva incidente e P_i , V_i e θ_i são, respectivamente, a quantidade de precipitação em superfície horizontal (em metros), a velocidade do vento (em metros por segundo), e o ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede em análise ($-90^\circ < \theta_i < 90^\circ$), para cada um dos intervalos de tempo elementares que constituam o período de tempo considerado.

3.4.1.2. - ÍNDICE DE CHUVA INCIDENTE PERSISTENTE

O índice de chuva incidente persistente é uma grandeza criada especialmente para avaliar os riscos de penetração da água da chuva através das paredes de edifícios.

Com efeito, o factor relevante para esse fim é a quantidade máxima de chuva incidente que pode ocorrer numa forma sequencial durante um determinado período de tempo, que tanto pode ser de algumas horas como de vários dias. Este período de tempo, sem duração pré-definida, deve prolongar-se enquanto a quantidade de chuva incidente sobre uma dada parede exceder a sua capacidade de evaporação da água em excesso.

O índice de chuva incidente persistente passou então a ser definido, para cada uma das doze direcções principais consideradas, como o somatório dos índices de chuva incidente horários durante um certo período de tempo compreendido entre outros dois, com duração superior a 96 horas, nos quais os respectivos somatórios do índice de chuva incidente sejam inferiores a um limite previamente fixado. Este limite é função da direcção em análise, sendo diferente dos limites fixados para as restantes onze direcções. (Henriques, 1993)

3.4.2. O COMPORTAMENTO DA FACHADA

No decurso de um período de chuva, só uma parte da água incidente numa parede é absorvida, sendo para tal condicionante a natureza do material e o seu grau de humidade no início da ocorrência. A água não absorvida, escorre pela fachada do edifício até zonas mais baixas, logo mais protegidas da chuva incidente. Esta escorrência que só aparece nos materiais pouco absorventes ou para os materiais já saturados, redistribui as quantidades de água recebidas. Assim, o betão com características de absorção por capilaridade menores

que o tijolo ou a pedra natural, apresenta geralmente escorrências mais importantes. A observação do comportamento de uma parede de pedra natural exposta às condições climáticas naturais, indica que ele pode absorver 22 % do seu peso em água sob o efeito de chuva incidente.

Se os mecanismos de absorção de água provenientes da chuva incidente são simples de descrever, a secagem de um muro é a resultante de um processo interactivo que tem em jogo uma variedade de fenómenos mal conhecidos, como: (Flori, 1989)

- Um ganho de energia do exterior pelos raios solares, que tendem a elevar a temperatura da parede e uma difusão desta energia no interior do material por fenómenos de condução que devido ao movimento de ar sobre a fachada provocados pelo vento favorecem a difusão da água e a sua evaporação.

- Uma mudança de fase à superfície ou no interior do material implica uma absorção de calor.

- Por fim as transferências de líquido por capilaridade e / ou as transferências de vapor por difusão dentro do material, alimentam a difusão do vapor à superfície.

A secagem pode ser composta em duas fases principais: uma fase à taxa de secagem constante e uma fase à taxa de secagem decrescente e uma terceira fase aparece para os materiais higroscópicos, com o estabelecimento do equilíbrio entre o meio ambiente e o material.

Durante a primeira fase as forças de capilaridade emanam, do interior do corpo, água em quantidade suficiente para alimentar a evaporação da água à superfície, que não depende só das condições exteriores, a partir do momento em que o conteúdo de água à superfície é nulo (ou igual à humidade crítica para os materiais higroscópicos), a velocidade de secagem diminui devido à evaporação se produzir no interior do material e a humidade estar difundida em fase vapor só sendo evacuada até à superfície por movimentos do ar.

HUMIDADE RELATIVA DO AR E VELOCIDADE DO VENTO		VELOCIDADE DE SECAGEM
		kg/m ² .h
U < 70%	V > 2 m / s	- 0,314
	V < 2 m / s	- 0,236
70% < U < 90%	V > 2 m / s	- 0,156
	V < 2 m / s	- 0,158
U < 90%	V > 2 m / s	- 0,073
	V < 2 m / s	- 0,059

Figura 3. 13. Velocidades médias de secagem observadas no CSTB, em Nantes, para diferentes classes de H.R. e velocidades do vento.(Flori, 1989)

CAPÍTULO 4

4. REPELENTES DE ÁGUA

4.1. INTRODUÇÃO

4.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE TRATAMENTOS DE REPELENTES DE ÁGUA

4.2.1. INFILTRAÇÃO DIRECTA DE ÁGUA

4.2.2. MELHORAMENTO DO DESEMPENHO TÉRMICO

4.2.3. PREVENÇÃO DA DEGRADAÇÃO PELO CICLO GELO / DEGELO

4.2.4. PREVENÇÃO DA EFLORESCÊNCIA DE SAIS

4.2.5. REDUÇÃO DE ATAQUES BIOLÓGICOS

4.3. PRINCÍPIO FÍSICO DE TRATAMENTOS COM REPELENTES DE ÁGUA

4.4. DIFERENTES TIPOS DE SILICONE

4.4.1. GENERALIDADES

4.4.2. SILICONATOS

4.4.3. RESINA DE SILICONE

4.4.4. SILANE

4.4.5. SILOXANE

4.5. CONDIÇÕES E CARACTERÍSTICAS DA IMPREGNAÇÃO

4.6. IMPREGNAÇÃO DE FACHADAS

4. REPELENTES DE ÁGUA

4.1. INTRODUÇÃO

Impregnações de repelentes de água têm grandes vantagens e por isso estão a ser usadas em cada vez maior número de casos. Mas existe uma nuvem de cepticismo à volta dos resultados obtidos com a sua utilização. Este cepticismo tem como fonte alguns fracassos como argumento geral contra os efeitos da impregnação de repelentes. O argumento mais comum contra a impregnação é o de que tal tratamento degenera dentro de escassos anos. Isto pode ser verdade se é usado o agente de impregnação errado. Porém, existem repelentes que ainda se encontram em estado de eficácia após 20-25 anos (Sandim, 1996)

4.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE TRATAMENTOS DE REPELENTES DE ÁGUA

O objectivo principal deste tratamento é o de tirar o máximo proveito dos materiais enquanto secos. As vantagens mais importantes são:

- prevenir a infiltração directa de água
- melhorar o desempenho térmico
- prevenir a danificação através dos ciclos gelo / degelo
- reduzir a eflorescência de sais
- reduzir a deterioração química
- reduzir ataques biológicos

Todos estes pontos são importantes na conservação de materiais e componentes de construção.

4.2.1. INFILTRAÇÃO DIRECTA DE ÁGUA

A infiltração directa de água através de paredes exteriores pode causar por exemplo bolor e apodrecimento nas soleiras e vigas ou no acabamento interior. Na maioria dos casos, um tratamento com repelentes de água pode acabar com este problema.

4.2.2. MELHORAR O DESEMPENHO TÉRMICO

O resultado do tratamento com repelentes de água, é uma construção mais seca, assim reduzindo as possibilidades de degradação dos materiais empregues e a manutenção das suas características funcionais, nomeadamente no que concerne à capacidade de isolamento térmico.

4.2.3. PREVENÇÃO DA DEGRADAÇÃO PELO CICLO GELO / DEGELO

A danificação por geada acontece quando existe uma alta percentagem de humidade (ao congelar) dentro do material. Um repelente de água reduz drasticamente o conteúdo de humidade, e assim as possibilidades de danificação por geada.

4.2.4. PREVENÇÃO DA EFLORESCÊNCIA DE SAIS

Muitas vezes em rebocos de paredes, existem sais que são solúveis em água. Quando a parede é exposta à chuva incidente, os sais dissolvem-se na água e movimentam-se para dentro da parede. Quando a parede fica seca, a água evapora-se da superfície da parede, enquanto os sais cristalizam à superfície. Forma-se gradualmente uma camada de sal na fachada exposta.

Uma impregnação da parede com um repelente de água previne que os sais que se encontram dentro da parede, cheguem à superfície. O resultado de tal tratamento é a acumulação de sais por baixo da camada impregnada com o repelente de água. Geralmente, esta quantidade é insignificante e não está na origem de problemas. Mas, existem excepções quando se trata de alvenarias com humidade crescente. Devido a flutuações de humidade e

temperatura, certos sais são sujeitos a mudanças radicais de volume. Estas modificações de volume podem levar à decomposição do material. Alvenaria com humidade crescente não deveria ser impregnada antes de serem tomadas precauções para eliminar a origem da humidade.

4.2.5. REDUÇÃO DE ATAQUES BIOLÓGICOS

A degradação química e biológica aumenta com o incremento do conteúdo de humidade.

Apesar disto, a chuva incidente pode conter substâncias poluentes, que em si aumentam a decomposição quando são absorvidas pela parede ou material em questão.

Uma impregnação compele a fachada a secar, o que quer dizer que as condições favoráveis à decomposição química e biológica são quase nulas. (Sandim, 1996)

4.3. PRINCÍPIO FÍSICO DE TRATAMENTOS COM REPELENTES DE ÁGUA

Os materiais de construção porosos que se encontram em contacto com água, normalmente absorvem uma quantidade limitada desta água. A absorção depende do número e tamanho dos poros, a estrutura porosa e o ângulo de contacto entre a água e a parede porosa.

O ângulo de contacto é uma medida de como a água molha a superfície da parede. Para materiais normais porosos o ângulo de contacto é zero. Através do tratamento destas paredes o ângulo de contacto pode ser variado. Ao mudar este ângulo para 180° , não se verifica qualquer molhagem da parede dos poros. Pelo contrário, a água será repelida (fig. 4.1).

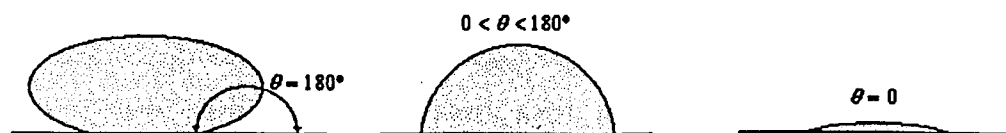


Figura 4.1. Gota de água sobre suportes com diferentes ângulos de contacto

O princípio dos repelentes de água é o de mudar o ângulo de contacto da água, ao cobrir a parede do poro com uma camada hidrófoba muito fina. O composto hidrófobo consiste de uma parte polar, e outra parte não polar. A parte polar do composto é atraída pela parede, enquanto a parte não polar repele a água. A camada hidrófoba é muito tênue e insignificante. A redução de porosidade é dificilmente medida em materiais normais. Isto quer dizer que a permeabilidade de vapor não é influenciada em qualquer maneira. A influência de diferentes maneiras de tratamento na absorção e secagem é ilustrada na figura 4.2.

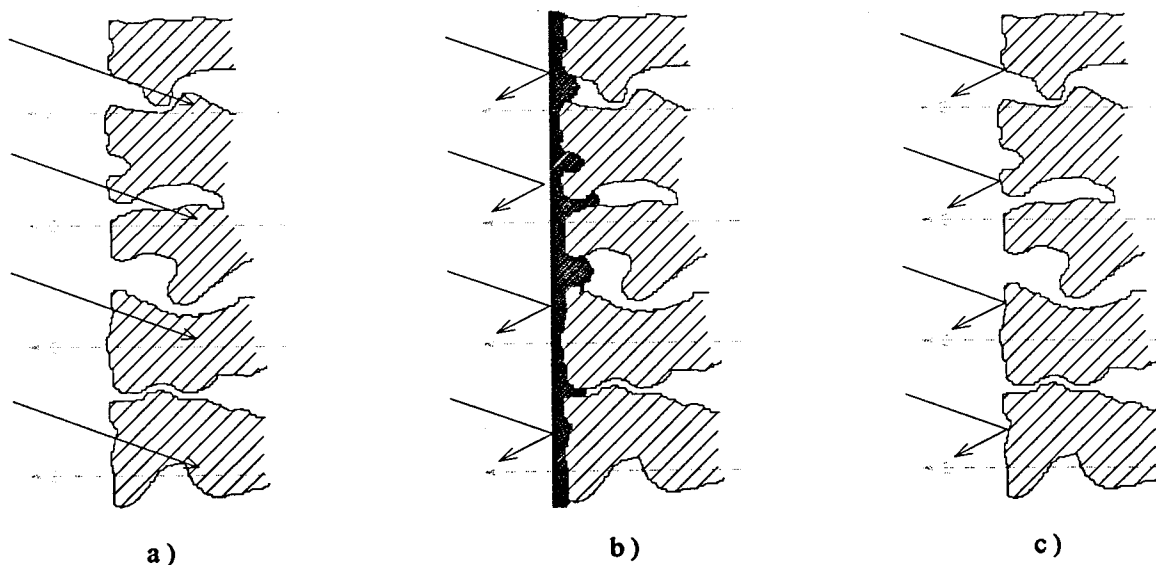


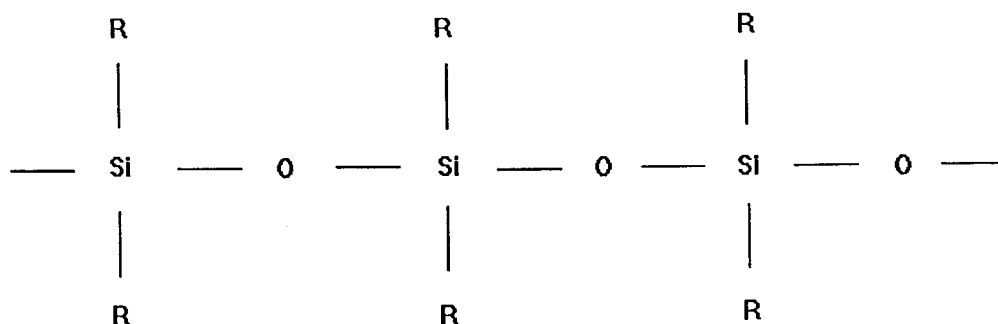
Figura 4.2. Absorção e secagem de uma parede com diferentes tratamentos de superfície

- a) parede sem qualquer protecção
- b) parede com uma protecção que colmata os poros, logo diminui o fluxo de vapor
- c) parede sobre a qual foi aplicado um hidrorrepelente

4.4. DIFERENTES TIPOS DE SILICONE

4.4.1. GENERALIDADES

A maioria dos repelentes de água têm como base o silicone. Normalmente, o silicone são definidos como ocupando lugar intermédio entre compostos orgânicos e não orgânicos. O protótipo de um silicone pode ser ilustrado com a seguinte fórmula química



onde R é o radical repelente de água do tipo hidrocarboneto.

Os agentes que são aplicados na parede podem ter estruturas e propriedades diferentes. Os tipos de silicone mais comuns são siliconatos, resina de silicone, silane e siloxane. Porém, após as várias reacções químicas, o produto final é sempre uma resina de silicone. (Sandim, 1996)

4.4.2. SILICONATOS

Siliconato é o composto mais antigo do silicone para a impregnação hidrófoba. Siliconato é extremamente alcalino e é diluído em água ou álcool. O siliconato consiste em pequenas moléculas de peso molecular 125-150 que lhe permite boa penetração até nos materiais com estruturas porosas mais finas.

A reacção química das moléculas de siliconato para formar a resina de silicone desejada, necessita de dióxido carbono do ar. A reacção entre o siliconato e o dióxido

carbono pode levar algum tempo se o material estiver molhado. Esta reacção também produz carbonato de sódio e potássio, que pode ser visível na superfície.

4.4.3. RESINA DE SILICONE

As moléculas da resina de silicone são maiores que as de siliconato, mas ao mesmo tempo são consideravelmente mais pequenas que as moléculas de polímeros tradicionais. O peso molecular varia entre 2000-3000.

Como as moléculas de silicone são relativamente pequenas, a penetração é boa na maioria dos materiais. Porém, em materiais com sistemas porosos mais complexos, e com poros mais finos, como em betão, a penetração é insatisfatória. A parede tem que estar em estado seco para ser possível que a resina de silicone penetre na parede.

4.4.4. SILANE

As moléculas de silane são de tamanho extremamente pequeno, com peso molecular entre 125-150, com dimensões de $10\text{\AA}$ ($0.001\text{ }\mu\text{m}$). Isto significa que silane tem uma boa penetração em quase todos os materiais normais porosos. Como termo de comparação podemos dizer que molécula de água tem apenas $3.5\text{\AA}$. Além disso, silanes não precisam de superfícies totalmente secas.

As moléculas de silane reagem na parede com a água, para formar a resina de silicone.

4.4.5 - SILOXANE

Quando é adicionada uma pequena quantidade de água a silane, dá-se uma reacção química a partir da qual é formado siloxane. O resultado da reacção (siloxane) são moléculas maiores que as de silane, mas não tão grandes como as da resina de silicone. O peso molecular situa-se entre 400-600.

Siloxane pode ser considerado com meio termo entre silane e a resina de silicone. Siloxane tem uma boa capacidade de penetração na maioria dos materiais, e pode ser aplicado em condições húmidas.

4.5. CONDIÇÕES E CARACTERÍSTICAS DA IMPREGNAÇÃO

O objectivo da impregnação hidrófoba é o de eliminar ou reduzir a quantidade de água absorvida, mas ao mesmo tempo não ser visível e não interferir com transmissão de vapor pelo material em questão. Para criar uma impregnação com sucesso, existem várias exigências que têm que ser providenciadas. Muitas destas exigências são obrigatórias e necessárias para ter uma impregnação eficaz. As outras existem simplesmente para melhorar e personalizar o efeito da impregnação, para que seja possível satisfazer determinados requisitos:

- *Uma boa capacidade hidrófoba.* Normalmente, tal característica é fácil de encontrar. Na prática, a influência de fendas e a pressão local da água têm mais importância.
- *Uma alta permeabilidade de vapor* no material que foi impregnado, para que seja possível a secagem da humidade que se encontra dentro do material. Se for considerada a permeabilidade pura de vapor, a influência da impregnação é insignificante. Mas se a secagem total de uma parede é avaliada, a impregnação influencia os resultados.
- *Uma boa penetração para a camada inferior* é necessária. Por várias razões se o agente de impregnação não penetrar pode formar-se uma película à superfície, o que colmatará os poros. Em tal caso, a permeabilidade de vapor será afectada. Além disso, o agente poderá formar uma camada visível.
- *Uma boa resistência a alcalinos* é uma exigência importante nas impregnações em betão ou argamassa. Todos os compostos com radicais longos têm uma boa resistência a substâncias alcalinas. Uma boa resistência a alcalinos também é importante em impregnações de novas fachadas de tijolo, dado, normalmente, as juntas serem alcalinas.
- *Uma laqueação química à camada inferior* é desejável para assegurar um tempo de vida longo. Isto acontece na maioria dos casos (dos diferentes minerais que constituem a parede), excepto com pedra calcária.

- *Uma superfície que não suscita sujidade ou poluição a coabitar com o agente de impregnação* é importante em fachadas. Isto significa que o agente terá que ter reacções químicas prontas e aceleradas, e assim evitar o uso de agentes de superfície cujos únicos objectivos sejam o de permitir que a fachada permaneça limpa.

- *Uma impregnação invisível* é geralmente importante para fachadas. Devido a tal exigência, não deverão ser usados siliconatos. Impregnações invisíveis são só possíveis após trabalho intenso.

- *Resistência UV* é uma exigência importante mas dentro de determinados limites, dado que a radiação ultravioleta só afecta a superfície, e não o interior da parede ou material.

- *O efeito de pérola* (situação onde $\theta = 180^\circ$, na figura 4.1) é usado como indicador para saber se a impregnação é ou não eficaz no seu efeito. Esta prática é enganadora. Mesmo se o efeito de pérola for negativo, a capacidade hidrófoba do agente pode ser boa.

- *Possibilidade de ser impregnada com uma superfície molhada* pode ser considerada uma necessidade em vários casos. Existem agentes de impregnação que podem ser aplicados mesmo se a superfície estiver molhada. Outros não funcionam em tais condições. (Sandim, 1996)

4.6. IMPREGNAÇÃO DE FACHADAS

A escolha do agente é a condição fundamental para o seu bom funcionamento

- *Em casos de superfícies de paredes alcalinas* um agente tem que ter radicais longos, por exemplo (butilo) ou (octilo). O pequeno grupo (metilo) não serve em tais condições.

- *Materiais com sistemas porosos complexos e poros finos* requerem um agente como silane ou siloxane para permitir a penetração. Em materiais porosos ásperos, devem ser aplicados agentes com moléculas maiores, como resina de silicone,.

- *Um efeito hidrófobo rápido* requer resina de silicone. Um forte efeito de pérola também necessita de um agente como a resina de silicone. A escolha do agente também é

influenciada pela escolha de um solvente aceitável. Produtos que têm a sua base em água deviam ser usados em preferência a outros.

- *O estado de humidade da parede* influencia a capacidade de penetração e das reacções químicas do agente. Resina de silicone tem pouca penetração em paredes molhadas. Silane, siloxane e micro-emulsões, têm aptidão de boa penetração em superfícies molhadas ou húmidas. (Sandim, 1996)

CAPÍTULO 5

5. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO À ÁGUA, DOS REVESTIMENTOS CORRENTES DE FACHADAS

5.1. SELECÇÃO E PREPARAÇÃO DOS PROVETES

5.2. ENSAIOS

5.2.1. SELECÇÃO DOS ENSAIOS A REALIZAR

5.3. EXPERIMENTAÇÃO

5.3.1. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NFB 10.502

5.3.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DIN 52617

5.3.3. PERMEABILIDADE LIQUIDA

5.3.4. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

5.4. RESULTADOS

5.4.1. RESULTADOS SEGUNDO A NF B 10.502

5.4.2. RESULTADOS SEGUNDO A NORMA DIN 52617

5.4.3. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A NORMA FRANCESA E A NORMA DIN

5.4.4. COEFICIENTE DA CAPILARIDADE - RESUMO DA TABELA DE VALORES EXISTENTES NO LFC (Lab. de Física das Const.) DA FEUP

5.4.5. PERMEABILIDADE LIQUIDA

5.4.6. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

5.5. INTERPRETAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

5. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO À ÁGUA, DOS REVESTIMENTOS CORRENTES DE FACHADAS

5.1. SELECÇÃO E PREPARAÇÃO DOS PROVETES

A selecção dos materiais a estudar nasceu do inquérito efectuado às obras realizadas pelo INH no período já citado anteriormente neste texto, e da experiência profissional adquirida na resolução de algumas patologias mais comuns apresentadas pelas edificações na zona do grande Porto.

Tentámos que a recolha de amostras dos materiais fosse feita tão próximo quanto possível das condições reais de aplicação, tendo a colheita das amostras sido realizadas em obra, a par da execução de tarefas específicas onde são utilizados, como foi o caso do reboco de argamassa tradicional ensaiado, do betão, do revestimento cerâmico e do reboco mono camada.

Depois de recolhidas e seleccionadas as amostras dos materiais a ensaiar, partimos para a execução dos provetes de acordo com a especificação das normas a utilizar em cada um dos ensaios.

Ao pensar em ensaiar, em relação à capilaridade, os materiais seleccionados por duas normas com origens diversas, houve da nossa parte, a preocupação de compatibilizar os requisitos para a preparação de provetes previstos em cada um dos documentos, nomeadamente no que respeita a forma e dimensão dos mesmos.

Em ambos os casos, as superfícies em contacto com a água possuem áreas semelhantes, bem como a espessura, facto pelo qual decidimos utilizar dois modelos de provete em função de cada um dos materiais, e do modo como é aplicado em obra.

Para os materiais aplicados em elementos com função de resistência mecânica, como seja o betão e o tijolo maciço, que são aplicados como panos de parede, foram utilizados provetes prismáticos com dimensões aproximadas de $7 \times 7 \times 11 \text{ cm}^3$, tendo usado para os elementos normalmente utilizados como revestimentos espessuras próximas das da sua aplicação em obra. Assim para as pedras, normalmente utilizadas em “chapa” entre os dois e três centímetros de espessura, utilizámos prismas de $7 \times 7 \times 3 \text{ cm}^3$; para os rebocos, convencional de ligante hidráulico à base de cimento Portland normal, e de ligante sintético,

utilizaram-se provetes de $7 \times 7 \times 2 \text{ cm}^3$; para o cerâmico foi utilizado um prisma de $7 \times 7 \text{ cm}^2$ de superfície com a espessura em que o material é fabricado.

Conforme foi citado no capítulo 2 deste texto, todos os materiais, excepto o cerâmico e o revestimento com base em ligantes sintéticos, foram submetidos a ensaio nas suas condições naturais e com aplicação de um dos diferentes tipos de repelentes de água.

Os provetes foram imersos a uma profundidade de $10 \pm 1 \text{ mm}$ dentro do repelente durante cerca de 20 segundos, e passado um curto espaço de tempo (fresco sobre fresco, conforme especificação técnica), aplicada uma segunda demão pela mesma metodologia, tendo sido posteriormente deixados a secar por um período de 48 horas.

Para a realização do ensaio de permeabilidade líquida foram usados 3 provetes de cada material, provetes estes constituídos por um tronco de cilindro de 100 mm de diâmetro e 10 mm de espessura, não sendo neste caso considerado qualquer efeito de repelentes de água.

Os provetes para a realização do ensaio de porosidade, pelo método do porosímetro de mercúrio, foram seleccionados de pequenos fragmentos com um volume de aproximadamente 1 cm^3 , e secção de modo a que pudesse ser introduzido na câmara do porosímetro.

5.2. ENSAIOS

No intuito de determinar os coeficientes de capilaridade / absorção, coeficientes de permeabilidade e porosidade dos materiais de revestimento de fachada que pretendemos estudar, foram seleccionados alguns ensaios que nos ajudaram a uma melhor caracterização destes materiais quanto ao seu comportamento na presença de humidade.

5.2.1. SELECÇÃO DOS ENSAIOS A REALIZAR

Foram seleccionados três tipos de ensaios, fundamentais para a determinação das características de absorção capilar, da permeabilidade e porosidade dos materiais.

Para a determinação do coeficiente de capilaridade escolhemos um ensaio baseado na Norma Francesa B 10.502,(NFB 10502) dado termos detectado com base na bibliografia da especialidade trabalhos baseados na mesma norma.

No entanto, experiências anteriores de determinação do coeficiente de absorção pela norma DIN 52617,(DIN 52617) apresentam resultados pertinentes, razão pela qual resolvemos igualmente ensaiar, segundo esta técnica, e comparar os valores, tentando extrair algumas conclusões.

Para a determinação da razão, difusão líquida / permeabilidade, optámos pela metodologia utilizada pelo CSTB (CSTB, cahier 1778-1779) para a determinação desta característica física do material.

A determinação da porosidade, foi efectuada pelo método do porosímetro de mercúrio, onde pequenos fragmentos do material foram submetidos à penetração de mercúrio (*líquido não molhante*) a elevadas pressões, de modo a determinar a quantidade percentual de poros existentes, bem como o raio dos mesmos.

Tentámos verificar se quanto maior for a porosidade aberta nos materiais, maior é a sua capacidade de absorção de água (Collombet, 1989).

A porosidade não é a única característica física de um material a ter em consideração para poder avaliar o seu comportamento à água (Collombet, 1989). É que, com efeito, entram em jogo não somente o volume total dos poros da amostra, mas igualmente a dimensão desses poros, o que observámos no capítulo 2 deste texto quando falámos sobre capilaridade.

A porosimetria de um material representa-se sob a forma de um “ histograma”. Em abcissas, escolhemos para unidade o diâmetro dos poros (que são supostamente todos de secção circular) e é indicado em ordenadas a percentagem do volume total dos poros de diâmetro considerado representando o volume total aparente da amostra do material.

5.3. EXPERIMENTAÇÃO

5.3.1. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NFB 10.502

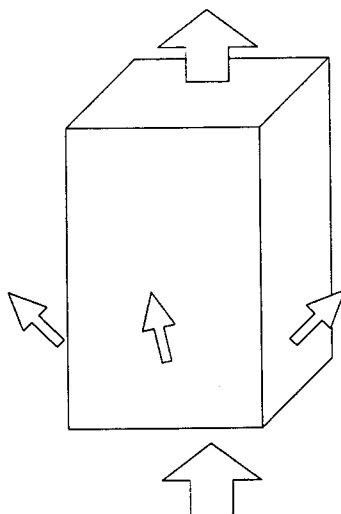


Figura 5.1. Modelo do tipo de absorção nos provetes da norma NF

O ensaio é efectuado a uma temperatura de aproximadamente 20°C e um teor de humidade relativa (H.R.) de 90%, condições que, por condicionantes das instalações, não foi possível obter em laboratório, tendo sido realizados os ensaios a 20 °C e a 55 % de HR.

Os ensaios foram realizados sobre cinco provetes de cada um dos materiais, provetes estes com uma superfície de contacto com a água de aproximadamente 7 X 7 cm², e uma espessura variável em função das condições de aplicação, tendo os provetes de reboco e monomassa sido fabricados 28 dias antes da realização dos ensaios, para respeitar o tempo de cura.

Os provetes foram pesados, medidos e posteriormente secos em estufa a uma temperatura de 80°C, até massa constante, o que se considera atingido, quando entre duas pesagens consecutivas espaçadas de 1 hora, se regista uma variação de peso inferior a 1/1000 do mesmo.

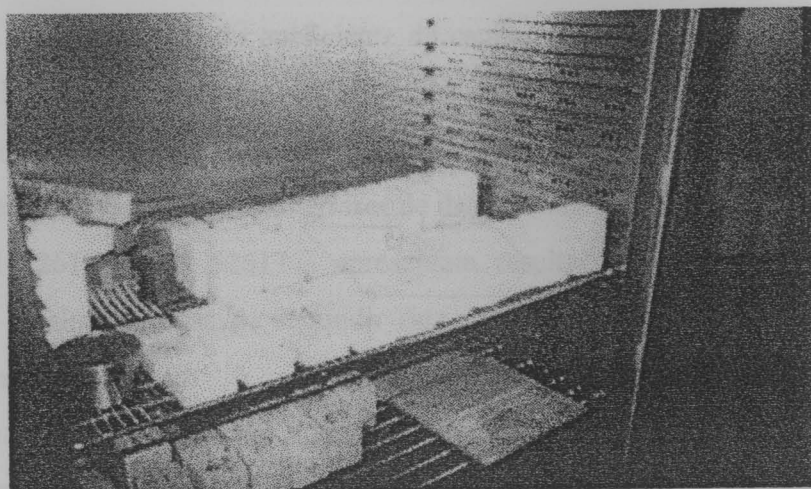


Figura 5. 2. Vista da estufa com os provetes utilizados nos ensaios

Após secagem, os provetes foram deixados nas condições de temperatura e humidade do laboratório durante 48 horas para atingirem o equilíbrio com o meio.

Preparadas as tinas de imersão dos provetes, colocou-se a face de $7 \times 7 \text{ cm}^2$ do provete em contacto com uma superfície de água, deixando que este fique mergulhado cerca de 2 mm, e foram medidas as variações de peso do provete durante 72 horas, seguindo uma escala logarítmica dos tempos até às 24 horas, sendo a partir daí as leituras efectuadas de 24 em 24 horas. Durante o ensaio houve o cuidado de verificar periodicamente o nível de água nas tinas para que este se mantivesse constante.

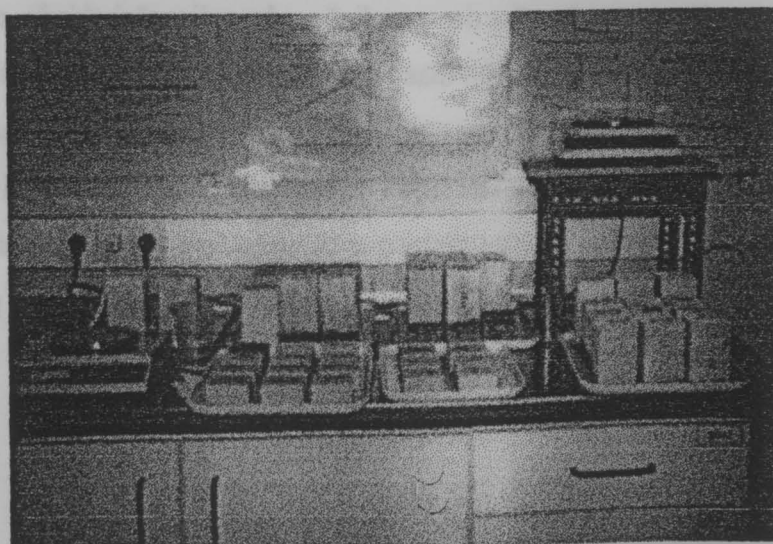


Figura 5. 3. Vista da bancada de trabalho com provetes mergulhados nas tinas

As pesagens foram efectuadas retirando o provete da tina onde se encontrava mergulhado, e depois de uma limpeza rápida em pano húmido é pesado e recolocado de novo na tina em contacto com a água e o nível desta restabelecido. Os ciclos repetem-se a cada uma das determinações de aumento de massa , até ao tempo de ensaio pré-estabelecido.

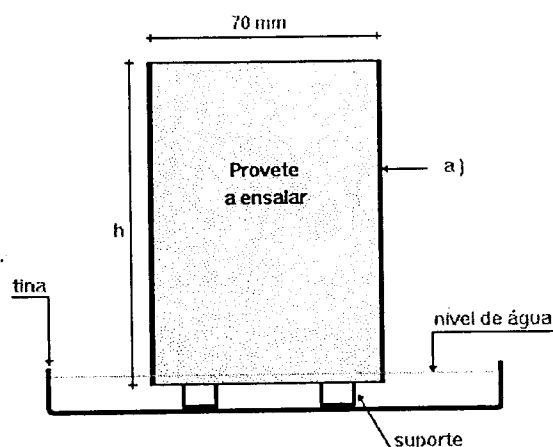


Figura 5. 4. Modelo do ensaio realizado 2º as normas anteriormente citadas

Após a obtenção dos resultados, foi efectuada uma verificação de dispersão de valores através de análise da média e variância para o conjunto de provetes de um mesmo material, e traçadas as curvas de absorção capilar. Estas curvas são traçadas em relação a um sistema de eixos cartesianos, tendo em abcissas a raiz dos tempos expressa em raiz quadrada de minuto, e em ordenadas o valor resultante da aplicação da expressão $\frac{100 * M}{S}$ onde M é a variação da massa em grama e S a superfície em cm².

Para a determinação do coeficiente de capilaridade, atendemos à definição dada pela norma (NFB 10502) sendo C igual à pendente da recta entre os 10 e 90 mn, ou se não existir uma relação linear, pelo valor obtido às 24 horas.

O coeficiente assim definido é praticamente igual ao valor médio (em grama) da variação de peso do provete entre 10 e 90 mn (CSTB, 1982), (Collombet, 1989).

$$C = \frac{100 * M}{S * \sqrt{t}}$$

M - massa em (g)

t - tempo (mn)

S - superfície (cm^2)

5.3.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DIN 52617

O ensaio efectuado de acordo com as especificações contidas na norma (DIN 52617), é semelhante em termos de metodologia, ao realizado segundo a norma francesa anteriormente descrita.

Assim, sendo semelhantes os limites dimensionais exigidos pelas duas normas, achámos razoável que, mesmo para efeitos de comparação, se utilizassem os mesmos provetes que foram utilizados para determinação do coeficiente de capilaridade segundo a norma francesa, depois de submetidos a secagem em estufa por processo idêntico ao anteriormente descrito, e após ambientalização às condições de temperatura e humidade relativa do laboratório. Depois de atingida a estabilidade, no que concerne a temperatura e humidade relativa, os provetes foram impermeabilizados nas faces perpendiculares à superfície de contacto com a água (sendo esta a diferença mais relevante na preparação dos provetes em relação à norma francesa), de modo a que se consiga um fluxo unidireccional.

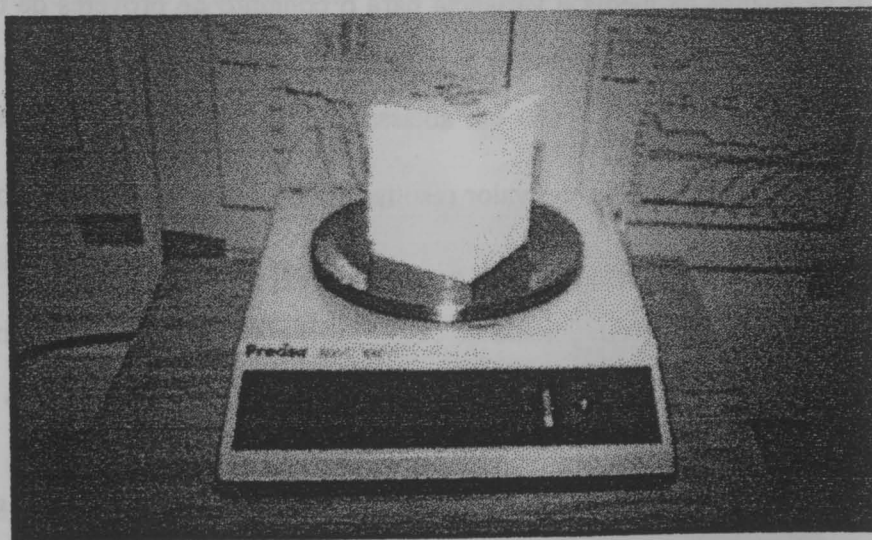


Figura 5. 5. Vista de uma pesagem de um provete preparado 2º a norma DIN

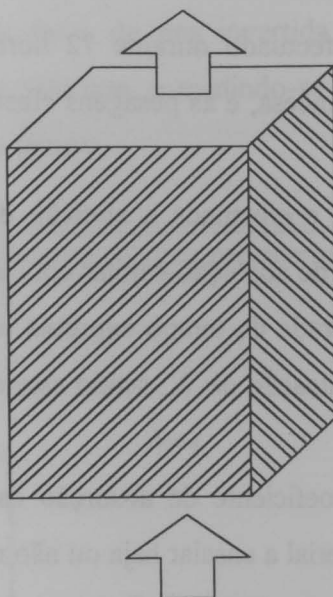


Figura 5. 6. Modelo do tipo de absorção dos provetes na norma DIN

Esta impermeabilização foi efectuada através da aplicação de uma resina de epóxi, (resistente a elevadas temperaturas para que pudesse permitir a secagem do provete em estufa e a realização de posteriores ensaios de verificação de resultados), nas faces a tratar. Seguidamente colocou-se uma das faces abertas com a superfície de $7 \times 7 \text{ cm}^2$ em contacto com a água, deixando esta aproximadamente 3 a 5 mm abaixo do nível da superfície desta, conforme exigência da norma (DIN 52617) que se situa entre os 2 e os 10 mm.

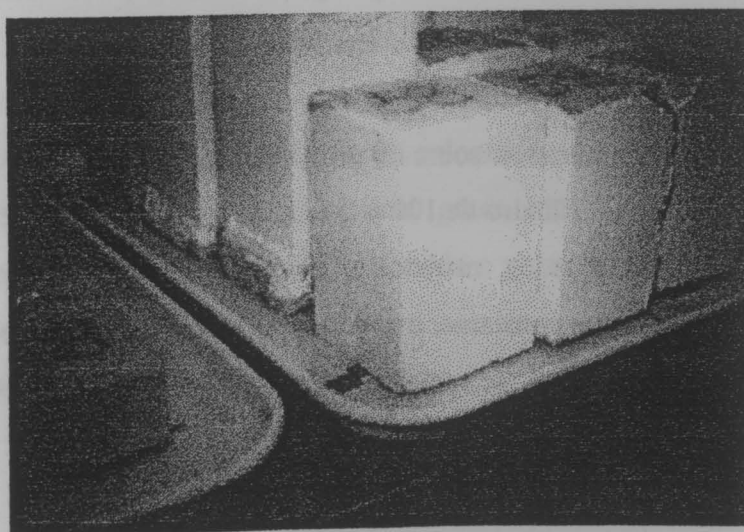


Figura 5. 7. Provetes de varios materiais e espessuras mergulhados nas tinas

O ensaio foi igualmente efectuado durante 72 horas sendo a escala de tempos semelhante à utilizada na norma francesa, e as pesagens efectuadas segundo a metodologia anteriormente exposta.

Depois de lidos os valores e efectuada a aferição dos desvios para os diferentes provetes, foram traçadas as curvas de absorção capilar em relação a um sistema cartesiano, em que as abcissas são a raiz quadrada do tempo expresso em raiz quadrada de hora, e as ordenadas o valor resultante da aplicação de W , sendo este a variação de peso do provete em Kg / m^2 .

Para a determinação do coeficiente de absorção estão previstos na norma duas situações, conforme para cada material a ensaiar haja ou não relação linear entre W e raiz de t , sendo neste último caso o coeficiente é tomado como sendo o valor de W_{24} (às 24 horas).

O coeficiente de absorção é calculado com base na expressão:

$$W = w * \sqrt{t}$$

w - coeficiente de absorção de água ($\text{kg} / \text{m}^2 \text{h}^{0.5}$)

t - tempo (horas)

W - a variação de peso do provete (Kg / m^2)

5.3.3. PERMEABILIDADE LÍQUIDA

Este ensaio foi efectuado segundo a metodologia expressa pelo CSTB (CSTB, 1982) adaptada às condições existentes no LFC.

Os ensaios foram realizados sobre 3 provetes de cada material, provetes estes constituídos por um tronco de cilindro de 100 mm de diâmetro e 10 mm de espessura.

Os provetes foram pesados, medidos e posteriormente secos em estufa a uma temperatura de 80°C , até massa constante, o que é considerado quando entre duas pesagens consecutivas espaçadas de 1 hora, se regista uma variação de peso inferior a 1/1000 do mesmo.

Após secagem, os provetes foram deixados nas condições de temperatura e humidade do laboratório durante 48 horas para atingirem o equilíbrio com o meio.

A metodologia adoptada foi a da tina invertida, colocando sobre cada um dos provetes uma altura de água de 100 mm, e medindo-se a quantidade de água que passa através do provete em função do tempo.

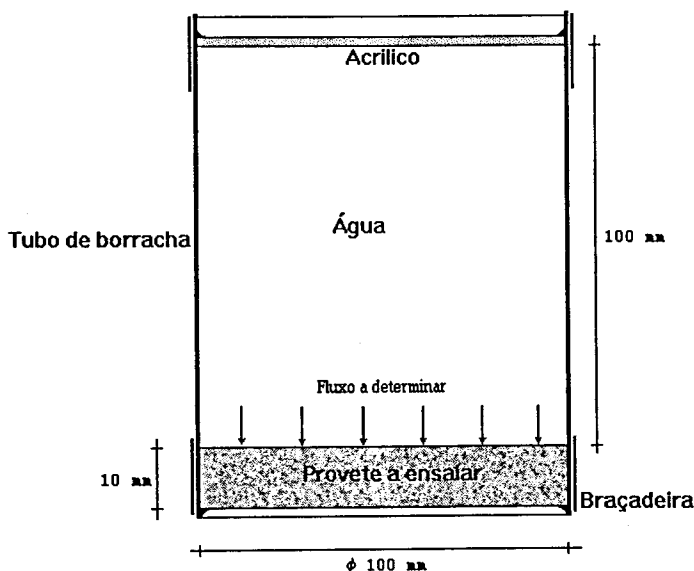


Figura 5. 8. Modelo do ensaio adaptado da metodologia expressa pelo CSTB

As tinas foram materializadas através de manga cilíndrica de borracha, onde num dos extremos se fixou o provete e no outro se fixou um círculo de acrílico, destinado a impedir essencialmente as perdas de água por evaporação, igualmente de 100 mm de diâmetro a uma distância aproximada de 100 mm do provete, sendo o espaço entre estes dois planos preenchido por água.

Os conjuntos, assim constituídos, foram colocados, nas condições de temperatura e humidade relativa do laboratório, sobre uma grade metálica e submetidos a ligeiro movimento do ar na face onde se encontra colocado o provete, e pesados durante 24 horas segundo espaços de tempo em escala logarítmica.

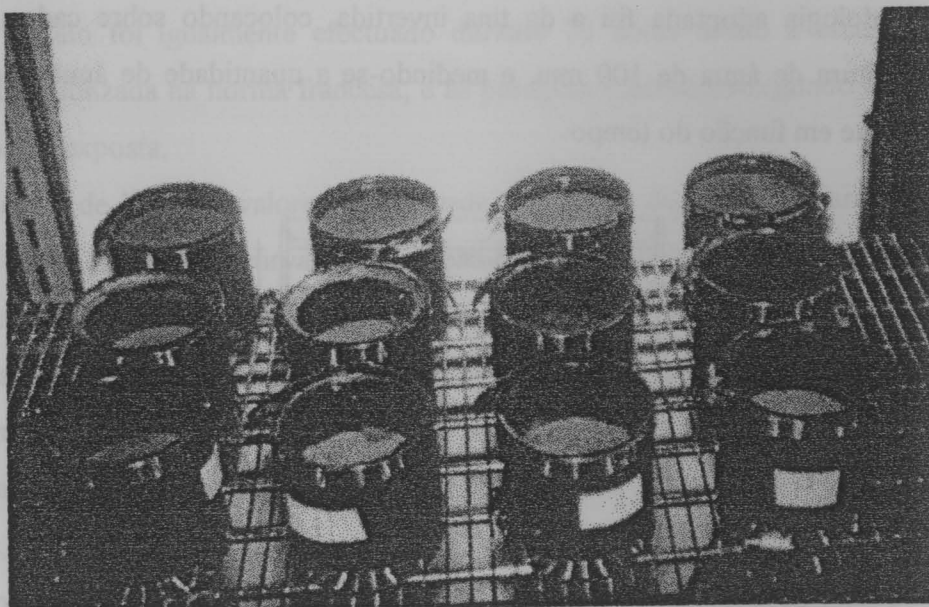


Figura 5. 9. Vista dos provetes assentes sobre espaço de ar ventilado

Na superfície inferior do provete, em contacto com o ar foi colocado um indicador (CSTB, 1982) colorido, em pó, conseguido pela mistura de Rodamina B (0.1) e gesso (100), indicador este que em presença da humidade adquire uma coloração carmin.



Figura 5. 10. Aspecto da detecção do momento de chegada da frente húmida à face exterior do provete

Este procedimento teve como objectivo determinar, com o maior rigor possível, o momento em que o provete, com as condições dimensionais conhecidas, se deixa atravessar pela água e daí concluir acerca da velocidade de progressão da frente húmida. Os tempos ao fim dos quais apareceram as primeiras manchas carmin na face inferior do provete foram anotados.

Recolhidos os valores das pesagens e determinada a dispersão dos resultados no conjunto de provetes de cada material a ensaiar, através da análise da média e variância, foi traçada uma curva em relação a um sistema de eixos cartesiano em que em abcissas aparece o tempo em minutos e em ordenadas o valor resultante de expressão ΔM expresso em gramas.

A partir da expressão

$$q = \frac{\Delta M}{S * \Delta t}$$

em que:

ΔM - variação de massa (g)

S - diâmetro do provete (cm^2)

Δt - variação de tempo (mn)

é obtido o coeficiente de permeabilidade para cada um dos materiais em análise.

5.3.4. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

Procedeu-se à determinação experimental da porosidade de alguns dos materiais sobre os quais incide o nosso estudo, bem como à determinação da repartição e dimensão dos poros. Este estudo foi elaborado com auxílio do porosímetro de mercúrio existente no **LSRE - Laboratório de Processos de Separação e Reacção** da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto(Freitas, 1992-)

A porosidade representa a relação entre o volume de vazios e o volume total do sólido, isto é,

$$\varepsilon = \frac{V_a + V_t}{V_{sol}}$$

em que

ε	[%]	Porosidade
V_a	[m ³]	Volume de fase gasosa
V_t	[m ³]	Volume de fase líquida
V_{sol}	[m ³]	Volume de fase sólida

A técnica de ensaio consiste na injeção de mercúrio (*líquido não molhante*) no provete, com pressões que podem atingir os 1500 a 2000 bar, até o volume introduzido estabilizar. Conhecido esse volume e o volume total da amostra, facilmente podemos determinar a porosidade. Por outro lado, podemos conhecer o raio dos poros que estão a ser preenchidos a cada instante, em função da pressão através da seguinte equação (Perrin, 1985), (Gertis, 1976)

$$r = -\frac{2\sigma \cdot \cos\alpha}{P}$$

em que

r	[m]	Raio do poro
σ	[N/m]	Tensão superficial
α	[grau]	Ângulo de contacto
P	[N/m ²]	Pressão (1 Bar = 10 ⁵ N / m ²)

5.4. RESULTADOS

Vamos neste item apresentar os resultados obtidos nos ensaios realizados, bem como as curvas características de absorção por capilaridade de permeabilidade à água e porosidade dos materiais ensaiados.

5.4.1. RESULTADOS SEGUNDO A NF B 10.502

Os resultados obtidos nos ensaios realizados segundo esta norma são apresentados na tabela (5.1. e 5.2.), e as curvas de absorção dos materiais com e sem repelente de água, são as apresentadas nas figuras (5.12. a 5.19.), sendo a figura (5.20.) um gráfico comparativo de todas as curvas obtidas.

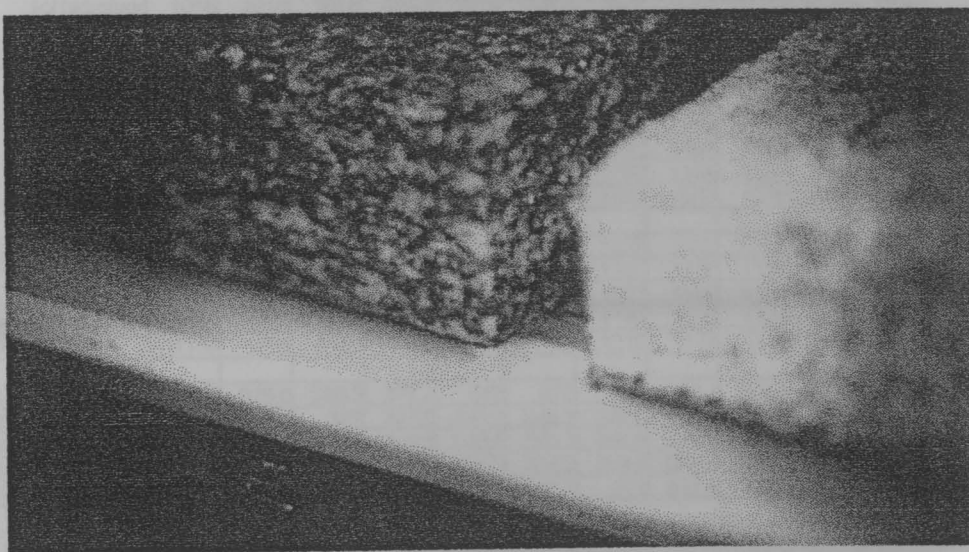


Figura 5.11 Aspecto do mesmo material com e sem aplicação de repelente de água

Os valores encontrados para os coeficientes de capilaridade dos diferentes materiais ensaiados, estão enquadrados pelos parâmetros definidos pelo CSTB (CSTB, 1982) que classifica os revestimentos à base de ligantes hidráulicos em três categorias, em relação à capilaridade:

- $C > 4$ - revestimento de forte capilaridade
- $1.5 < C < 4$ - revestimento de fraca capilaridade
- $C < 1.5$ - revestimento de muito fraca capilaridade

e pelo mesmo organismo, CSTB (CSTB, cahier 2669), na caracterização de revestimentos monocamada para aplicação em exterior quando estabelece uma classificação “ MERUC “

em que os coeficientes de capilaridade são os abaixo referidos, expressos igualmente em $\text{g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$ (* 0.775 = $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)

C1 - capilaridade inferior a 1.5

C2 - capilaridade compreendida entre 1.0 e 2.5

C3 - capilaridade compreendida entre 2.0 e 4.0

C4 - capilaridade compreendida entre 3.0 e 7.0

--- C5 - capilaridade compreendida entre 5.0 e 12.0

----- C6 - capilaridade superior a 10

Tabela 5. 1. Tabela de valores obtidos para os vários provetes

Resultados dos ensaios de capilaridade NFB10 502

Provete n	Material	Peso	Peso, em gramas, do provete ao fim de, mn										Dimen cm ²	C g.cm ² .mn ^{0,5}
		Início	10 mn	30 mn	60 mn	90 mn	3h	9h	24h	48h	72h			
1	Tijolo s/ hidrofugo	1031	1042	1048	1054	1058	1069	1098	1142	1156	1157	50,37		
2		1093	1102	1107	1113	1117	1126	1156	1201	1207	1208	53,37		
3		1015	1023	1026	1031	1034	1041	1064	1096	1105	1106	48,44		
4		1028	1035	1039	1044	1047	1056	1080	1121	1154	1155	50,89		
5		1030	1038	1042	1047	1050	1059	1087	1131	1149	1150	52,81	4,82	
6	Tijolo c/ hidrofugo	952,3	953,6	953,5	953,6	953,8	954,3	957,1	962,1	967,1	971	48,95		
7		985,3	985,5	985,6	985,9	986,1	986,7	989,4	994,2	999,8	1004	50,17		
8		1018	1018	1018	1018	1019	1019	1022	1028	1035	1041	49,92		
9		1038	1038	1038	1039	1039	1040	1044	1049	1056	1061	52,41		
10		1073	1074	1074	1074	1074	1074	1074	1075	1076	1077	54,2	0,45	
11	Reboco s/ hidrofugo	1169	1171	1173	1174	1175	1177	1181	1183	1183	1183	53,24		
12		1171	1176	1178	1182	1184	1190	1200	1212	1220	1221	52,25		
13		1178	1181	1182	1184	1185	1187	1190	1193	1193	1193	50,91		
14		1170	1172	1174	1175	1176	1178	1182	1184	1184	1184	51,94		
15		1203	1207	1210	1212	1214	1218	1225	1233	1236	1234	52,81	1,75	
16	Reboco c/ hidrofugo	1222	1224	1225	1226	1227	1229	1232	1233	1233	1232	49,87		
17		1157	1159	1160	1161	1162	1164	1168	1170	1170	1170	49,87		
18		1172	1174	1176	1177	1178	1180	1183	1186	1186	1183	51,69		
19		1134	1136	1137	1138	1139	1141	1144	1145	1146	1145	47,92		
20		1159	1161	1162	1164	1165	1167	1170	1173	1174	1174	49,78	1,14	
21	Granito s/ hidrofugo	373,6	375,5	376,3	377,4	378	378	378,2	378,1	378,1	378,2	49,07		
22		344,9	346,4	347	347,8	348,1	348,2	348,3	348,3	348,4	348,4	49,38		
23		343,4	345	345,6	346,3	346,6	346,7	346,8	346,9	346,9	347	49,39		
24		351	352,7	353,2	354	354,3	354,3	354,4	354,4	354,5	354,5	49,2		
25		365,6	367,9	368,9	370,2	370,7	370,9	371	371,1	371,2	371,3	49,4	0,88	
26	Granito c/ hidrofugo	374,7	374,9	375	374,9	374,9	374,8	374,9	375,1	375,1	375,3	49,32		
27		370,7	370,8	370,8	370,9	370,9	370,9	371	371,1	371,1	371,3	48,49		
28		349	349,3	349,2	349,3	349,3	349,2	349,4	349,6	349,8	350	49,27		
29		353,9	354	354,1	354,1	354,1	354,1	354,3	354,5	354,6	354,8	49,15		
30		359,5	359,6	359,6	359,7	359,7	359,7	359,8	359,9	360	360,1	49,42	0,03	
31	Moca s/ hidrofugo	336,1	341,8	344,6	348,4	350,6	352,1	352,2	352,4	352,6	352,7	47,82		
32		339,1	344,9	347,4	351	353	354,4	354,5	354,7	354,8	355	47,66		
33		347,7	353,6	356,2	359,8	361,9	363,4	363,6	363,7	363,8	364	48,55		
34		346,6	352,5	354,9	358,6	360,7	362,3	362,4	362,6	362,8	362,9	48,38		
35		331	337,5	340	343,8	346	346,8	346,9	347,1	347,2	347,4	47,24	3,20	
36	Moca c/ hidrofugo	338,7	342,5	344,9	348,8	351	354,2	354,6	354,8	355	355,2	48,26		
37		346	348,4	351,2	355,4	357,9	361,4	361,7	361,8	361,9	362,2	48,44		
38		335,1	338,6	342,9	348,7	350,6	352,1	352,3	352,5	352,7	352,9	48,4		
39		347,5	350,1	352,9	357	359,4	363	363,4	363,6	363,7	363,9	48,77		
40		341,5	344	346,6	350,7	353	356,4	356,6	356,8	356,9	357,1	48,14	2,41	
41	Moleanos s/ hidrofugo	348,4	350,4	351,9	353,9	354,9	356,6	356,8	356,8	356,9	357,1	46,83		
42		356,5	358,7	360,1	362	363,1	364,8	364,9	365	365,1	365,1	48,02		
43		352,5	354,7	355,9	357,5	358,4	360,2	360,7	360,8	360,8	360,9	47,7		
44		347,4	349,5	350,8	352,3	353,2	354,8	355,2	355,3	355,4	355,4	47,16		
45		355	357,1	358,7	360,1	361,2	363,1	363,4	363,5	363,5	363,6	48,15	1,36	
46	Moleanos c/ hidrofugo	345,4	346,5	347,8	349	350,1	352,3	353,5	353,7	353,8	353,8	47,16		
47		347,9	349,1	350,4	351,8	353	355,3	356,3	356,4	356,4	356,5	46,75		
48		350,9	352,1	353,3	354,4	355,3	357,4	358,9	359,1	359,1	359,1	47,45		
49		351,1	352,3	353,8	355,1	356,3	358,5	359,3	359,4	359,5	359,6	47,21		
50		349,7	350,8	351,9	353,1	354	356	357,6	357,8	357,8	357,9	46,69	0,97	

Tabela 5. 2 Tabela de valores obtidos para os vários provetes

Resultados dos ensaios de capilaridade NFB10 502

Provede n	Material	Peso Início	Peso, em gramas, do provede ao fim de, mn									Dimen cm2	C g.cm ² .mn ^{-0,5}
			10	30	60	90	3h	9h	24h	48h	72h		
51	Monocam.	1093	1095	1096	1096	1096	1096	1097	1098	1098	1098	48,84	
52		1147	1149	1150	1150	1150	1151	1151	1152	1153	1153	51,64	
53		1116	1119	1119	1120	1120	1120	1121	1122	1122	1123	50,59	
54		1109	1110	1110	1111	1111	1111	1112	1113	1114	1114	49	
55		1105	1107	1107	1107	1107	1108	1108	1109	1110	1110	49,2	0,25
56	Betão s/ hidrofugo	1063	1068	1070	1072	1073	1076	1080	1083	1085	1086	50,68	
57		1068	1073	1075	1077	1078	1080	1085	1091	1094	1095	50,63	
58		1049	1054	1056	1058	1059	1061	1066	1071	1073	1074	48,83	
59		1061	1064	1066	1067	1068	1070	1073	1076	1077	1078	50,99	
60		1030	1033	1036	1037	1039	1041	1045	1050	1050	1052	51,59	1,36
61	Betão c/ hidrofugo	1081	1081	1081	1082	1082	1082	1083	1085	1086	1087	51,03	
62		1033	1033	1033	1034	1034	1034	1034	1035	1035	1035	48	
63		1085	1085	1085	1085	1086	1086	1086	1086	1087	1087	51,37	
64		1065	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1067	1067	50,43	
65		1021	1021	1021	1021	1022	1022	1022	1022	1023	1023	47,7	0,09
66	Litocer	1050	1051	1051	1051	1052	1052	1054	1055	1055	1055	49,5	
67		1093	1093	1094	1094	1094	1095	1096	1097	1097	1097	48,75	
68		1093	1094	1094	1094	1094	1095	1096	1097	1097	1097	49,29	
69		1080	1081	1081	1082	1082	1083	1084	1085	1085	1085	49,74	
70		1059	1060	1060	1060	1061	1061	1063	1063	1064	1064	50,3	0,38

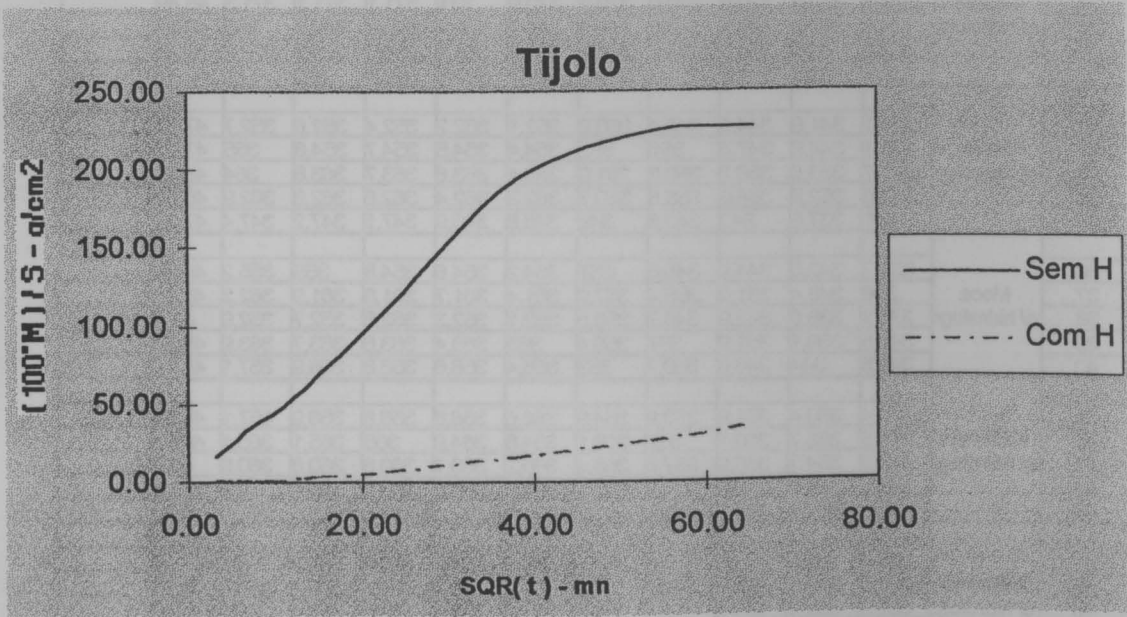


Figura 5.12 Curvas de absorção do tijolo com e sem repelente de água

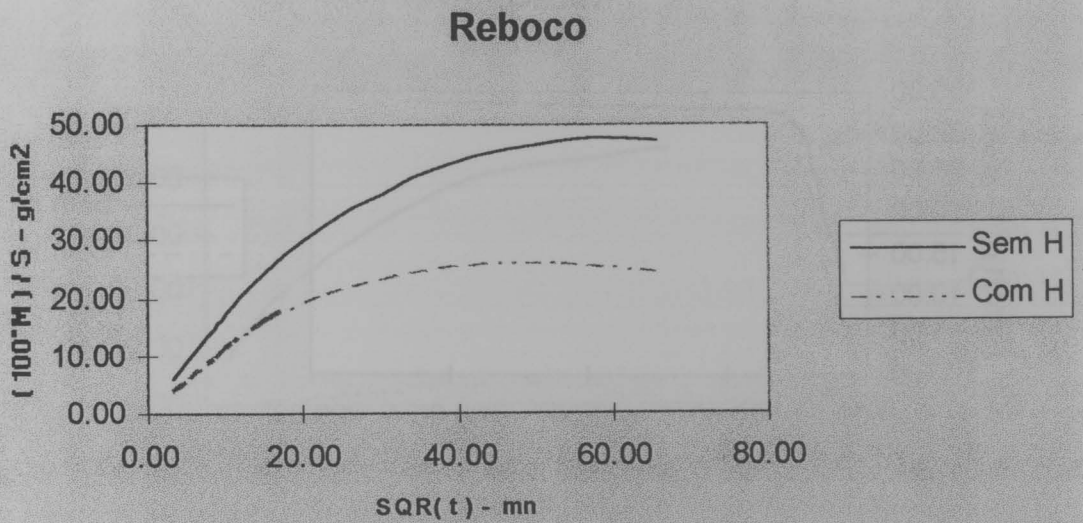


Figura 5.1 3 Curvas de absorção do reboco com e sem hidrófugo

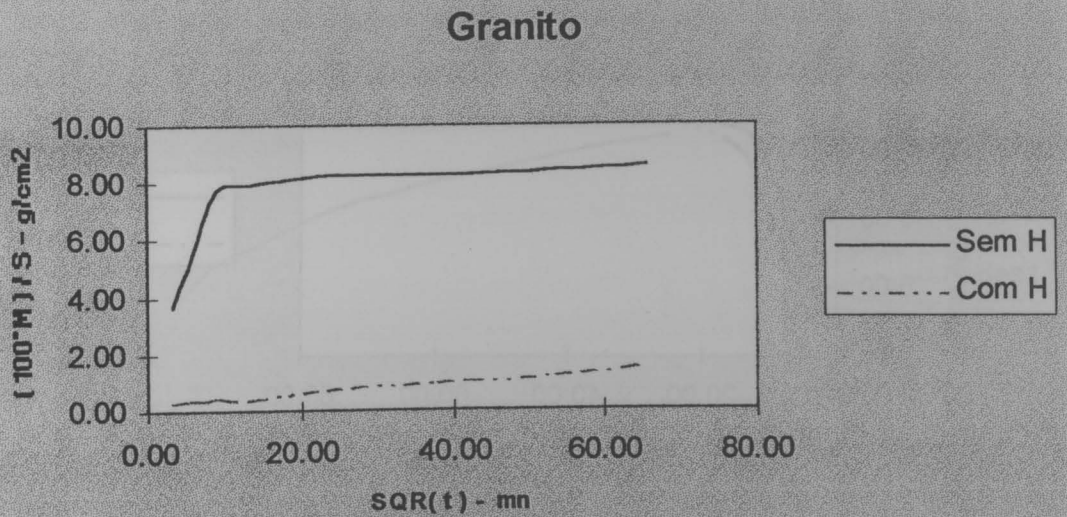


Figura 5.1 4 Curvas de absorção do granito com e sem repelente de água

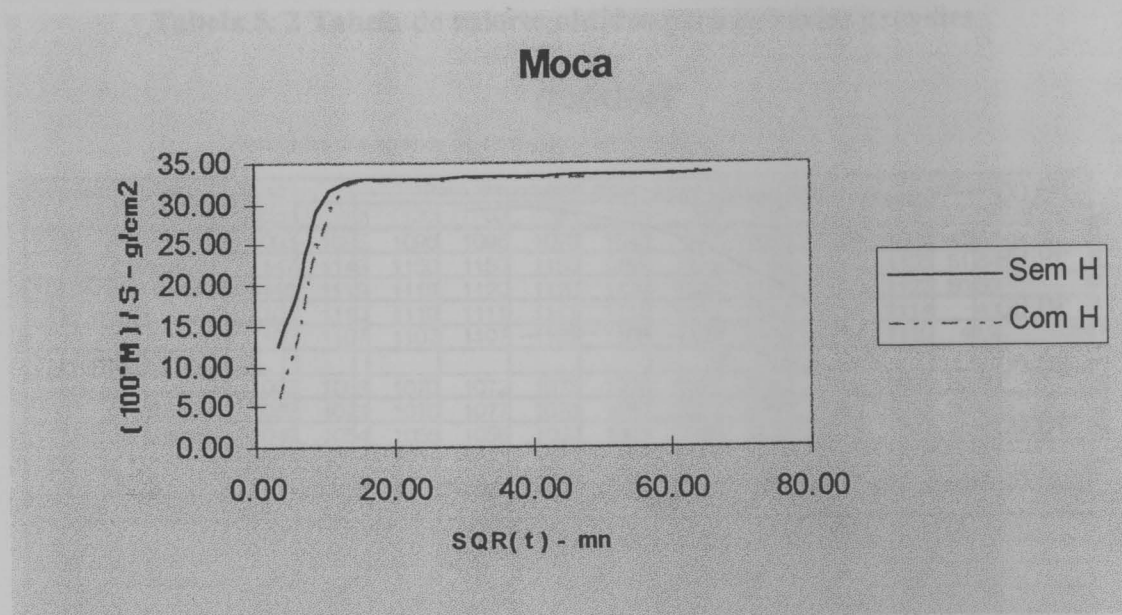


Figura 5.1 5 Curvas de absorção do calcário moca com e sem repelente de água

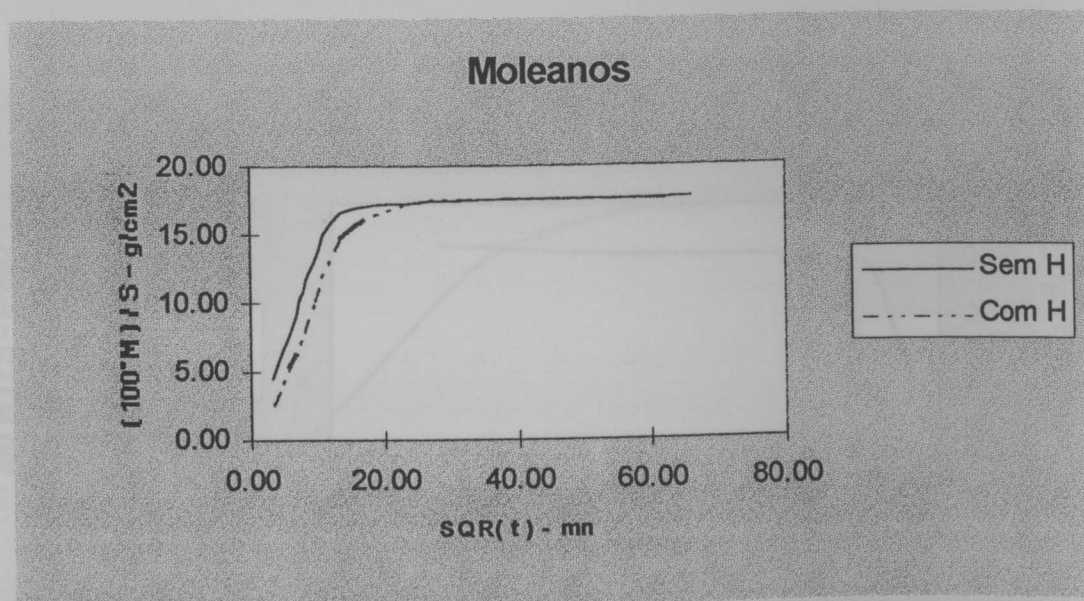


Figura 5.1 6 Curvas de absorção do calcário moleanos com e sem repelente de água

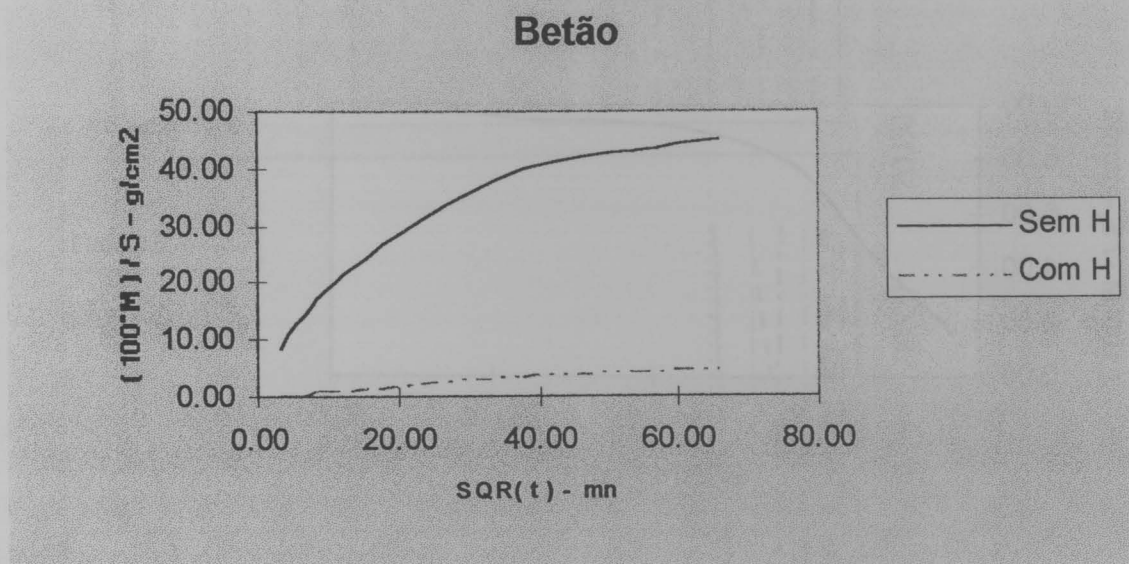


Figura 5.1 7 Curvas de absorção do betão com e sem repelente de água

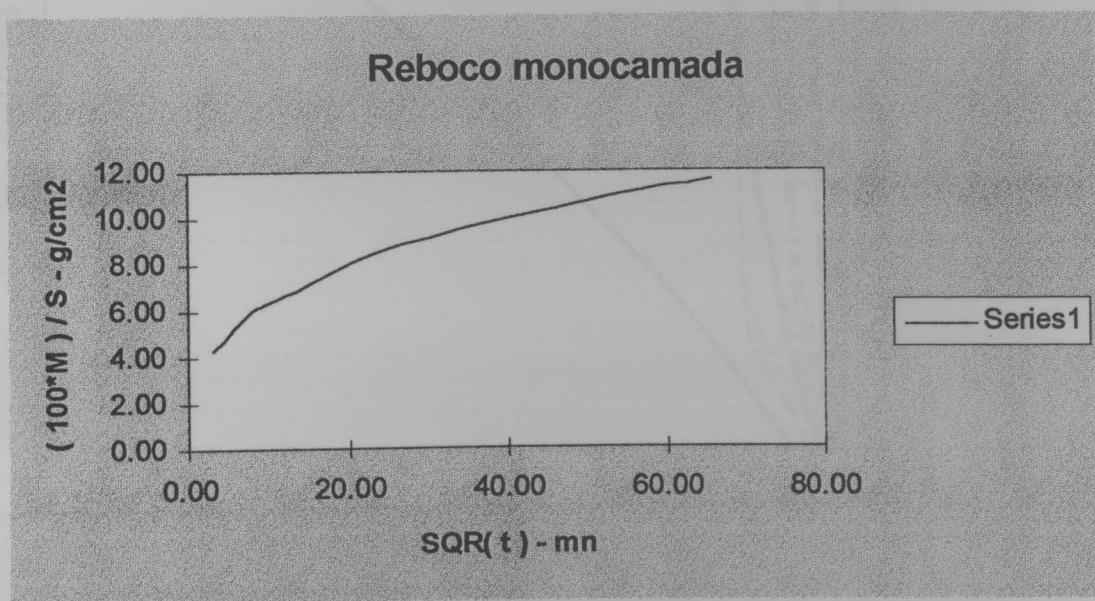


Figura 5.1 8 Curvas de absorção do reboco monocamada

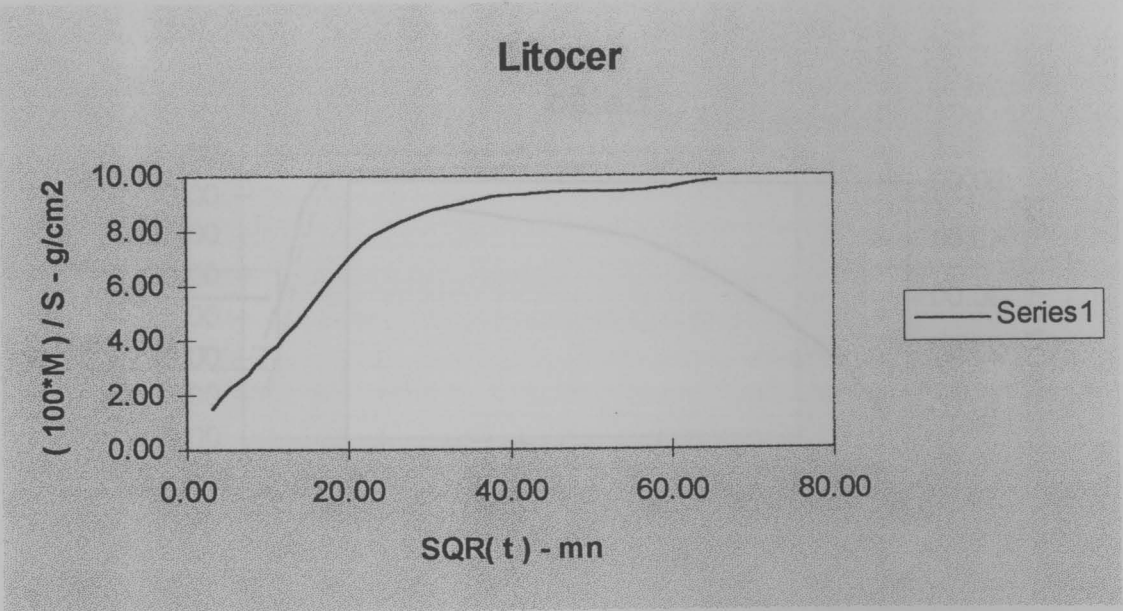
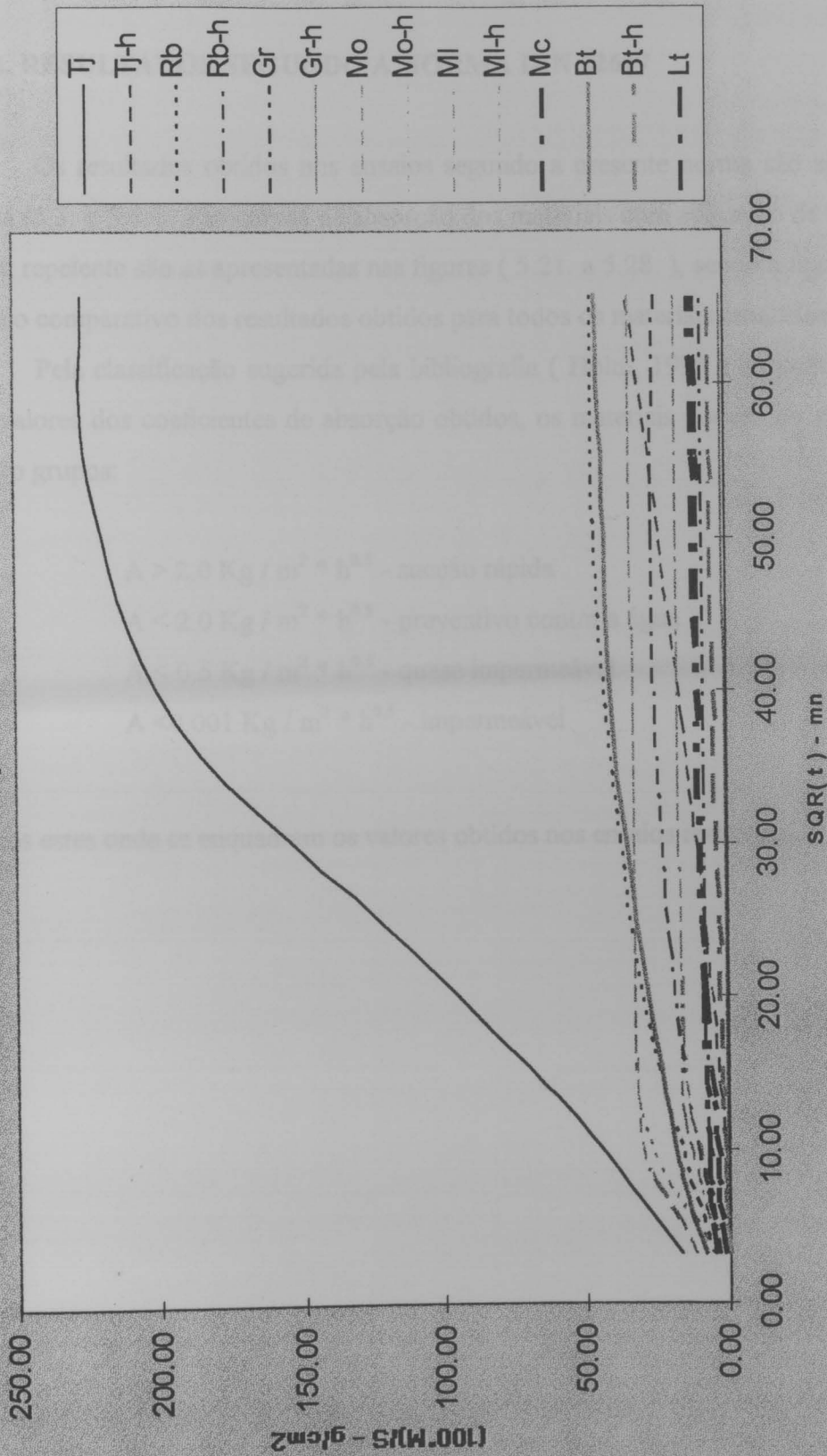


Figura 5.1 9 Curvas de absorção do litocer

Curvas comparativas



5.4.2. RESULTADOS SEGUNDO A NORMA DIN 52617

Os resultados obtidos nos ensaios segundo a presente norma são apresentados na tabela (5.3. e 5.4.), e as curvas de absorção dos materiais com aplicação de hidrorrepelente e sem repelente são as apresentadas nas figuras (5.21. a 5.28.), sendo a figura (5.29.) um gráfico comparativo dos resultados obtidos para todos os materiais ensaiados.

Pela classificação sugerida pela bibliografia (Holm, 1995) consultada, em função dos valores dos coeficientes de absorção obtidos, os materiais podem ser classificados em quatro grupos:

$A > 2.0 \text{ Kg} / \text{m}^2 * \text{h}^{0.5}$ - sucção rápida

$A < 2.0 \text{ Kg} / \text{m}^2 * \text{h}^{0.5}$ - preventivo contra a água

$A < 0.5 \text{ Kg} / \text{m}^2 * \text{h}^{0.5}$ - quase impermeável

$A < 0.001 \text{ Kg} / \text{m}^2 * \text{h}^{0.5}$ - impermeável

grupos estes onde se enquadram os valores obtidos nos ensaios realizados.

Tabela 5. 4 Tabela de valores obtidos para os vários provetes

Resultados dos ensaios de capilaridade DIN 52 617

Provette n°	Material	Peso Início	Peso, em gramas, do provete ao fim de, h									Dimen cm2	A kg . m².h ^{0,5}
			0,167	0,5	1	1,5	3h	9h	24h	48h	72h		
51	Monocam.	1106	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1115	48,84	
52		1160	1162	1163	1164	1164	1165	1167	1168	1169	1169	51,64	
53		1130	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	50,59	
54		1122	1124	1124	1125	1125	1125	1127	1128	1129	1130	49	
55		1123	1125	1126	1126	1126	1126	1128	1129	1131	1131	49,2	0,28
56	Betão s/ hidrofugo	1069	1073	1075	1076	1077	1079	1084	1089	1094	1097	50,68	
57		1077	1079	1081	1083	1083	1085	1088	1092	1097	1099	50,63	
58		1056	1059	1061	1062	1063	1064	1067	1072	1076	1078	48,83	
59		1066	1067	1067	1068	1069	1070	1073	1077	1081	1083	50,99	
60		1035	1038	1039	1040	1041	1043	1047	1052	1056	1059	51,59	0,65
61	Betão c/ hidrofugo	1085	1085	1085	1085	1086	1086	1086	1087	1089	1089	51,03	
62		1041	1041	1041	1042	1042	1042	1044	1045	1046	1047	48	
63		1091	1091	1092	1092	1092	1092	1093	1094	1096	1097	51,37	
64		1070	1071	1071	1071	1071	1071	1071	1072	1073	1074	50,43	
65		1033	1033	1033	1033	1033	1033	1033	1034	1034	1035	47,7	0,10
66	Litocer	1064	1065	1065	1065	1065	1066	1067	1070	1071	1072	49,5	
67		1105	1105	1106	1106	1106	1106	1107	1109	1110	1110	48,75	
68		1105	1105	1105	1105	1105	1106	1107	1110	1113	1113	49,29	
69		1091	1091	1092	1092	1092	1093	1094	1096	1097	1097	49,74	
70		1074	1075	1075	1075	1075	1075	1077	1078	1079	1079	50,3	0,18

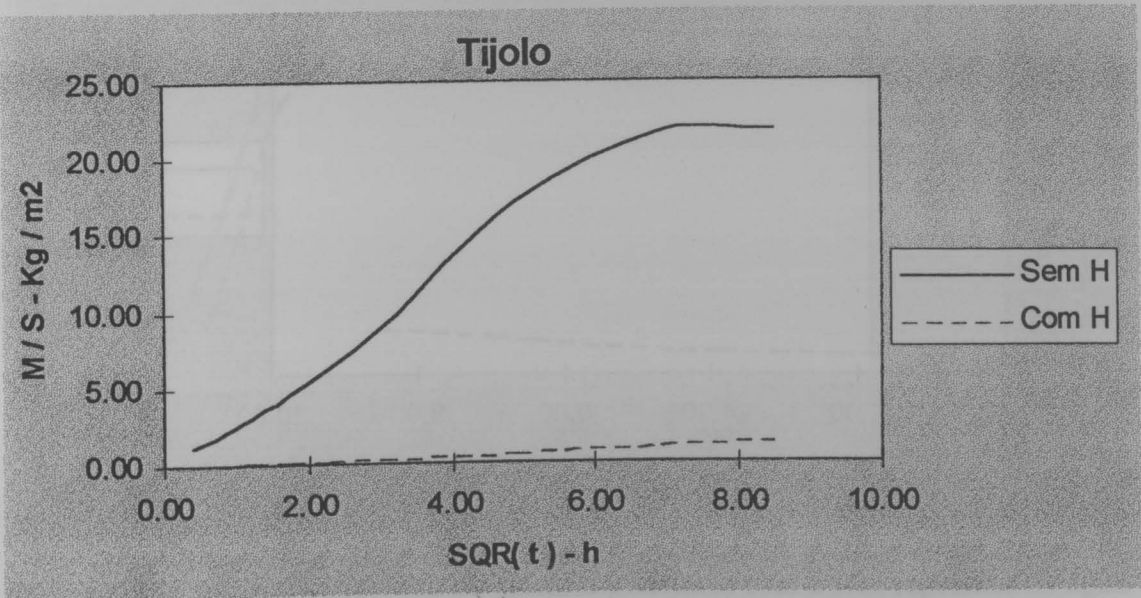


Figura 5.21 Curvas de absorção do tijolo com e sem repelente de água

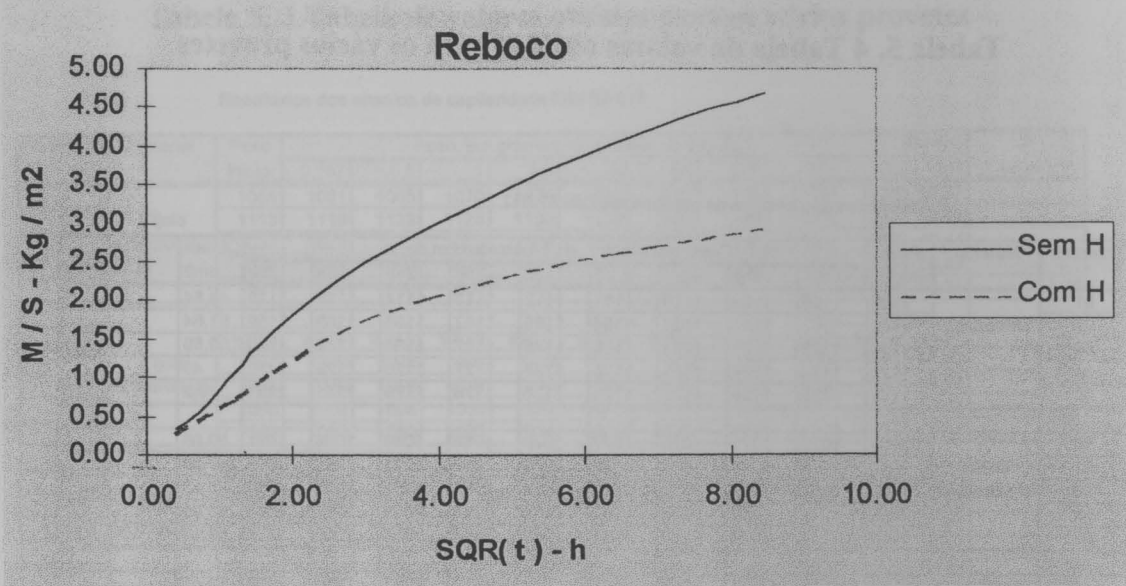


Figura 5.22 Curvas de absorção do reboco com e sem hidrófugo

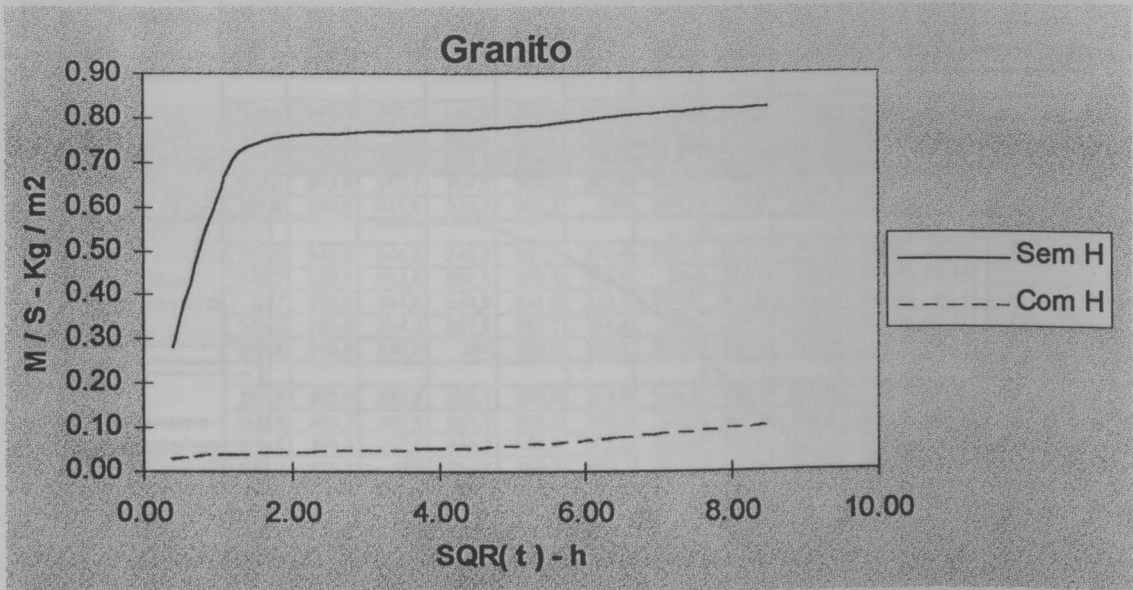


Figura 5.23 Curvas de absorção do granito com e sem repelente de água

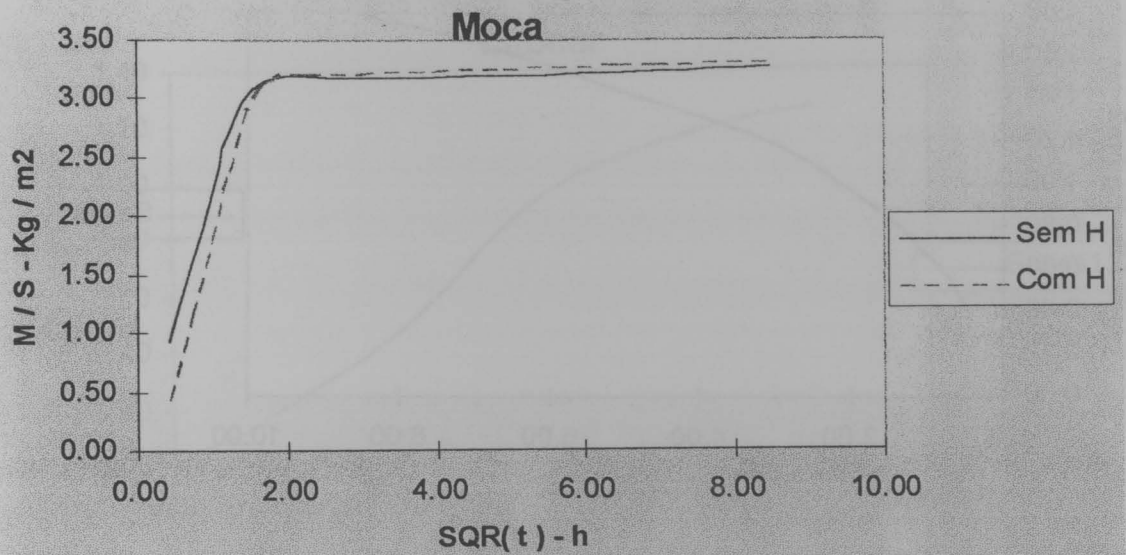


Figura 5.24 Curvas de absorção do calcário moca com e sem repelente de água

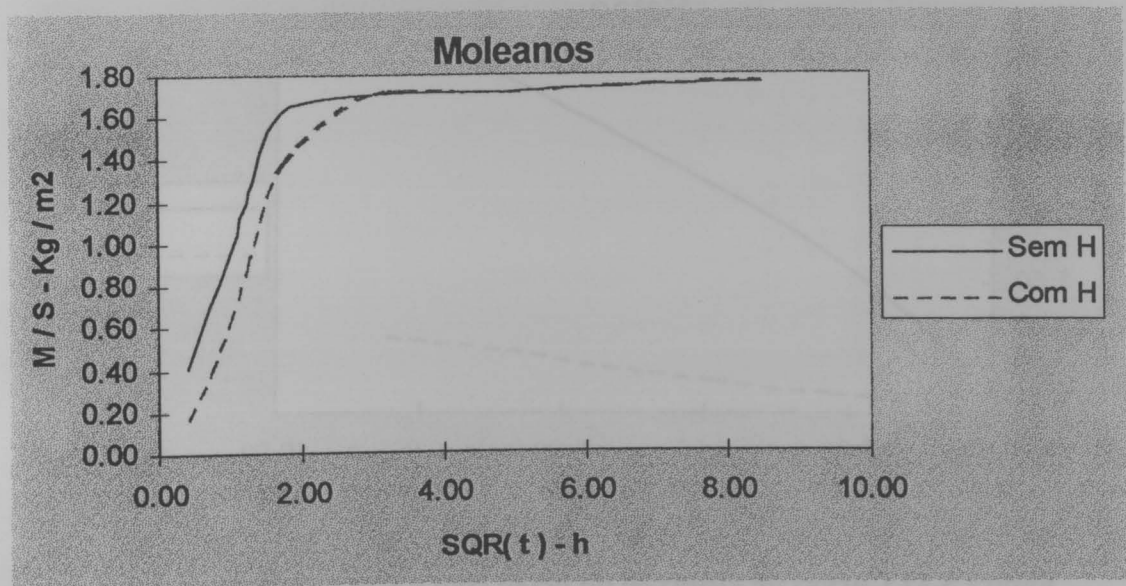


Figura 5.25 Curvas de absorção do calcário moleanos com e sem repelente de água

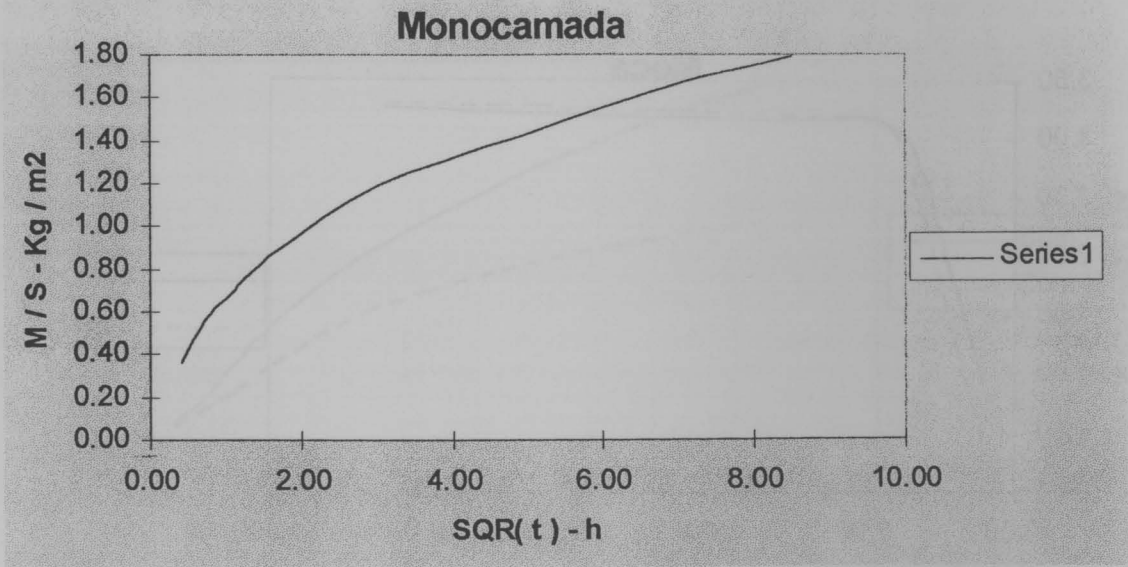


Figura 5.26 Curvas de absorção do reboco monocamada

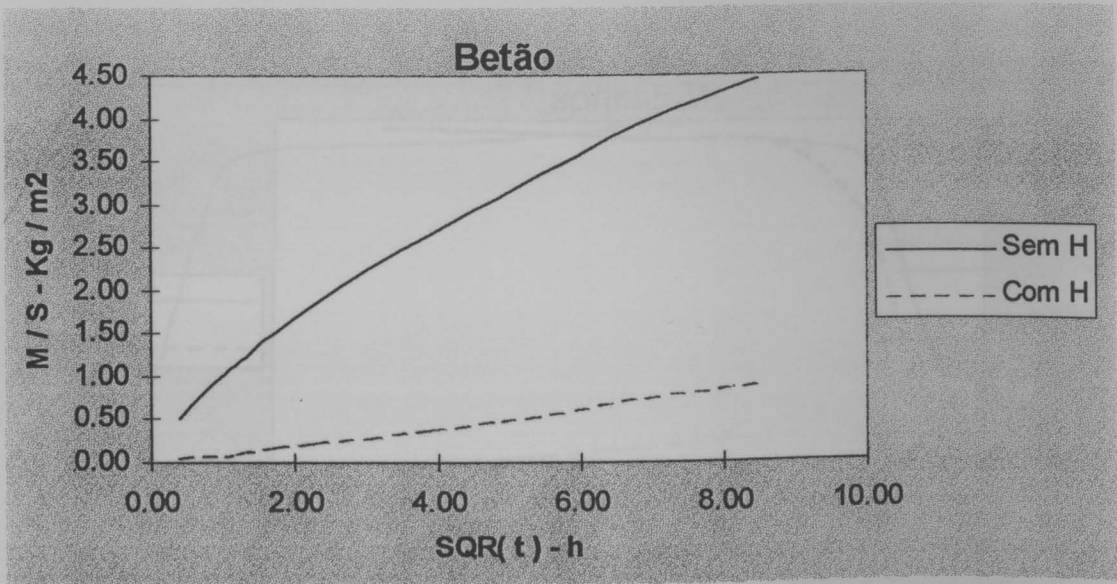


Figura 5.27 Curvas de absorção do betão com e sem repelente de água

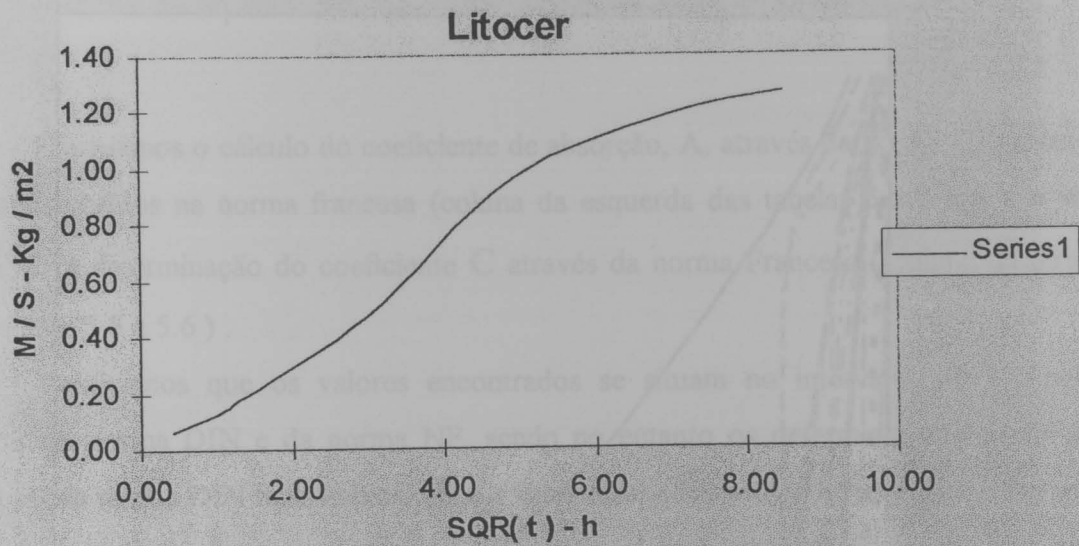
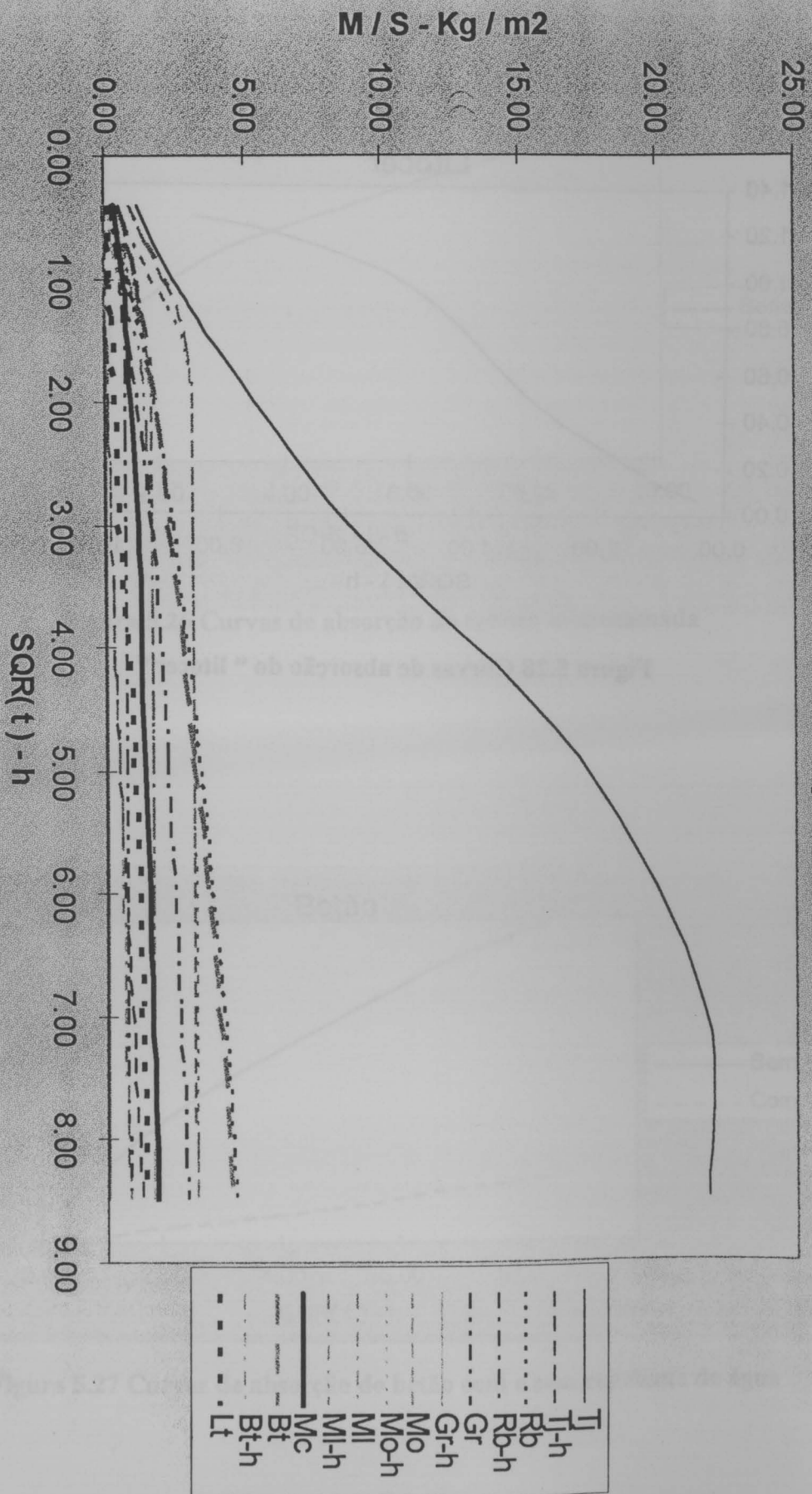


Figura 5.28 Curvas de absorção do “litocer”

Curvas comparativas



5.4.3. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A NORMA FRANCESA E A NORMA DIN

Efectuámos o cálculo do coeficiente de absorção, A , através da norma DIN usando os dados obtidos na norma francesa (coluna da esquerda das tabelas 5.5 e 5.6), e vice versa, para determinação do coeficiente C através da norma Francesa (coluna da direita das tabelas 5.5 e 5.6) .

Verificámos que os valores encontrados se situam no intervalo definido pelos valores da norma DIN e da norma NF, sendo no entanto os determinados a partir dos provetes da norma DIN mais baixos. Face a estes resultados somos levados a concluir que, o facto de a absorção ser unicamente unidireccional tem uma influência com um peso percentual apreciável, embora, dada a dispersão de valores não nos tenha sido possível, neste estudo e com os dados disponíveis, concluir acerca da variação de absorção, função da porosidade e /ou coeficiente de capilaridade / absorção dos materiais.

De realçar será o facto de o ensaio, tendo como base a norma Francesa, não ter sido realizado à humidade relativa especificada na norma (90 %), e sim a um valor inferior, pode ter contribuído para uma maximização do efeito de evaporação lateral.

Tabela 5. 5 Valores obtidos após cruzamento de dados entre a NF e DIN

Provete nº	Material	coeficiente de absorção
1	Tijolo s/ hidrofugo	3,73
2		
3		
4		
5		
6	Tijolo c/ hidrofugo	0,25
7		
8		
9		
10		
11	Reboco s/ hidrofugo	0,70
12		
13		
14		
15		
16	Reboco c/ hidrofugo	0,47
17		
18		
19		
20		
21	Granito s/ hidrofugo	0,74
22		
23		
24		
25		
26	Granito c/ hidrofugo	0,02
27		
28		
29		
30		
31	Moca s/ hidrofugo	2,48
32		
33		
34		
35		
36	Moca c/ hidrofugo	1,87
37		
38		
39		
40		
41	Moleanos s/ hidrofugo	1,05
42		
43		
44		
45		
46	Moleanos c/ hidrofugo	0,75
47		
48		
49		
50		

Provete nº	Material	coeficiente de capilaridade
1	Tijolo s/ hidrofugo	3,91
2		
3		
4		
5		
6	Tijolo c/ hidrofugo	0,16
7		
8		
9		
10		
11	Reboco s/ hidrofugo	1,11
12		
13		
14		
15		
16	Reboco c/ hidrofugo	0,80
17		
18		
19		
20		
21	Granito s/ hidrofugo	0,77
22		
23		
24		
25		
26	Granito c/ hidrofugo	0,02
27		
28		
29		
30		
31	Moca s/ hidrofugo	2,77
32		
33		
34		
35		
36	Moca c/ hidrofugo	2,11
37		
38		
39		
40		
41	Moleanos s/ hidrofugo	1,24
42		
43		
44		
45		
46	Moleanos c/ hidrofugo	0,78
47		
48		
49		
50		

Tabela 5. 6 Valores obtidos após cruzamento de dados entre a NF e DIN

Provete nº	Material	coeficiente de absorção
51	Monocam.	0,19
52		
53		
54		
55		
56	Betão s/ hidrofugo	0,82
57		
58		
59		
60		
61	Betão c/ hidrofugo	0,07
62		
63		
64		
65		
66	Litocer	0,22
67		
68		
69		
70		

Provete nº	Material	coeficiente de capilaridade
51	Monocam.	0,37
52		
53		
54		
55		
56	Betão s/ hidrofugo	0,97
57		
58		
59		
60		
61	Betão c/ hidrofugo	0,13
62		
63		
64		
65		
66	Litocer	0,18
67		
68		
69		
70		

5.4.4. COEFICIENTE DA CAPILARIDADE - RESUMO DA TABELA DE VALORES EXISTENTES NO LFC (Laboratório de Física das Construções) DA FEUP

Tabela 5. 7 Valores do coeficiente de absorção existentes no LFC

Materiais	Coeficiente de capilaridade	
	$\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{s}$	$\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{h}$
Argamassa 1	0,029	1,74
Argamassa 2	0,090	5,4
Argamassa 3	0,008 - 0,033	0,5 - 2,0
Argamassas 4		
Tradicionais: (cim: cal: areia)		
Areia Rio Tejo + meia areia de Corroios		
0:1:4	0,222	13,3
1:1:8	0,200	12,0
1:0:4	0,162	9,7
Areia Rio Tejo		
0:1:4	0,312	18,7
1:1:8	0,257	15,4
1:0:4	0,252	15,1
Areia amarela de Corroios		
0:1:4	0,157	9,4
1:1:8	0,108	6,5
1:0:4	0,090	5,4
Barro Vermelho 1	0,013	0,78
Barro Vermelho 2	0,023	1,38
Barro Vermelho 3	0,082	4,93
Barro Vermelho 5	0,070	4,20
Betão Celular 1	0,053	3,18

Tabela 5. 8 Valores do coeficiente de absorção existentes no LFC

Materiais	Coeficiente de capilaridade	
	kg/m ² ·√s	kg/m ² ·√h
Betão Celular 2	0,041	2,49
Betão de poliestireno expandido (250 kg/m ³) (6)	0,019	1,14
Betão de poliestireno expandido (550 kg/m ³) (6)	0,023	1,38
Betão Leca	0,021	1,26
Cortiça	0,0067 - 0,0108	0,40 - 0,064
Pedra Natural (norte de Itália)	0,0055	0,33
Moleanos	0,039	2,34
Poliestireno expandido	0,0005	0,03
Poliestireno extrudido	0,00035	0,021
Reboco à base de ligantes hidráulicos com pedra projectada	< 0,020	1,20
Tijolo de barro vermelho de Mortágua	0,07	4,20
	kg/m ² ·√h	kg/m ² ·√h
	com repelente de água	sem repelente de água
<i>Tijolo de barro rosa</i>	<i>0.09</i>	<i>3.03</i>
<i>Argamassa ao traço 1/3 *</i>	<i>0.47</i>	<i>0.70</i>
<i>Granito “ tipo cantaria “</i>	<i>0.02</i>	<i>0.64</i>
<i>Calcario Moca</i>	<i>1.63</i>	<i>2.14</i>
<i>Calcario Moleanos</i>	<i>0.60</i>	<i>0.96</i>
<i>Monomassa</i>	—————	<i>0.28</i>
<i>Betão</i>	<i>0.10</i>	<i>0.65</i>
<i>Litocer</i>	—————	<i>0.18</i>

(Os valores em itálico são os encontrados nos ensaios realizados no presente trabalho)

5.4.5. PERMEABILIDADE LIQUIDA

No decorrer do ensaio realizado pelo método indicado pelo CSTB (CSTB, 1982) podemos retirar dois tipos de indicações. Por um lado, a quantidade de água que, para estas condições de ensaio, atravessa o material para um dado intervalo de tempo e cujos resultados apresentamos na tabela (5.10.). Por outro, a velocidade de avanço da frente húmida, até 10 mm de espessura do material, medida por detecção de mudança de cor, do indicador utilizado, sob efeito da humidade, e cujos valores apresentamos na tabela (5.11.).



Figura 5.310 Provete durante o ensaio de permeabilidade

Apresentamos nas figuras (5.32. e 5.33.) o gráfico comparativo das curvas obtidas para os diferentes materiais ensaiados, acompanhados dos respectivos coeficientes de permeabilidade.

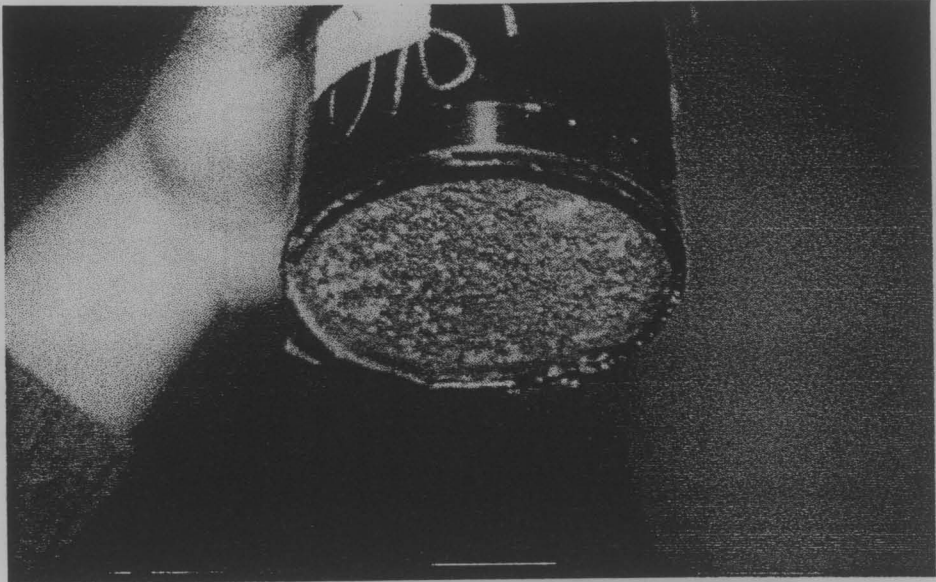


Figura 5. 31 Aspecto do efeito visual de detecção da chegada da frente húmida

Tabela 5. 9 Valores encontrados nos ensaios para os diferentes materiais

Provete	Material	Ps.inicial gramas	Tempo em minutos								Diâmetro mm
			10	60	90	225	338	450	570	1350	
1	Betão	966,62	966,49	965,78	965,32	963,22	961,87	960,4	958,77	951,08	98,5
2		959,12	959,12	958,59	958,16	956,05	954,68	953,25	951,71	943,89	98,95
3		956,26	956,21	955,5	954,93	952,48	950,8	949,09	947,23	937,64	98,61333
4	Moleanos	965,86	965,67	964,62	963,8	959,87	957,13	954,37	951,28	931,98	98,87
5		1058,9	1058,8	1058	1057,4	1054,4	1052,1	1049,5	1046,6	1031,3	98,68333
6		1025,2	1025,1	1024,4	1023,9	1020,5	1018,2	1015,5	1012,5	995,01	98,66667
7	Moca	976,31	976,14	975,31	974,57	970,45	967,48	964,08	960,26	938,92	98,71
8		962,86	962,69	961,7	960,74	955,28	951,22	946,64	941,61	913,16	98,65333
9		1032,7	1032,6	1031,8	1031,1	1028,2	1026,1	1023,7	1021,1	1005,42	98,69667
10	Granito	994,68	994,6	993,83	993,16	990,38	988,65	986,49	984,18	968,7	98,72667
11		1030,2	1030,1	1029,4	1028,8	1026,1	1024,1	1022	1019,4	1004,89	98,69
12		1048	1047,9	1047,1	1046,5	1044,5	1043,7	1042,4	1040,8	1029,7	98,70333
13	Rb - H	931,94	931,64	931,18	929,35	927,88	926,4	923,44	911,55	909	98,60333
14		935,18	934,89	934,41	932,57	930,92	929,49	926,54	914,7	912,33	98,41667
15		935,06	934,72	934,11	931,89	930,23	928,8	925,72	914,22	912,05	98,46667
16	Rb	934,94	934,53	933,91	931,47	929,31	927,33	923,25	904,98	901,04	98,40667
17		1009,86	1009,67	1009,15	1007,23	1005,46	1003,85	1000,56	986,1	982,86	98,69667
18		986,55	986,31	985,68	983,3	981,24	979,2	974,89	955,62	952,41	98,47667
19	Monomas	910,74	910,74	910,71	910,68	910,48	910,37	910,08	908,96	908,73	98,23667
20		912,89	912,89	912,89	912,87	912,71	912,58	912,33	911,15	910,89	98,30333
21		1035,8	1035,8	1035,8	1035,7	1035,6	1035,5	1035,2	1034,1	1033,9	98,07667
22	Tijolo	918,91	918,89	918,43	916,49	914,48	912,64	908,48	891,24	886,87	98,24667
23		970,16	970,15	968,78	967,52	965,94	964,64	960,19	943,2	938,47	98,63667
24		1018,2	1018,2	1017,6	1016,4	1014,8	1013,8	1011	998,98	995,39	98,82

Tabela 5.10 Valores calculados do fluxo para cada um dos materiais

Material	Fluxo calculado em g / (cm ² . mn)
Betão	0,000181
Moleanos	0,000292
Moca	0,000360
Granito	0,000224
Rb - H	0,000286
Rb	0,000358
Monomassa	0,000017
Tijolo	0,000317

Tabela 5. 11 Tempos ao fim dos quais se deu o aparecimento da frente húmida

Material	Avanço da frente húmida (mn)
Betão	63
Moleanos	15
Moca	7
Granito	21
Rb - H	17
Rb	6
Monomassa	-----
Tijolo	20

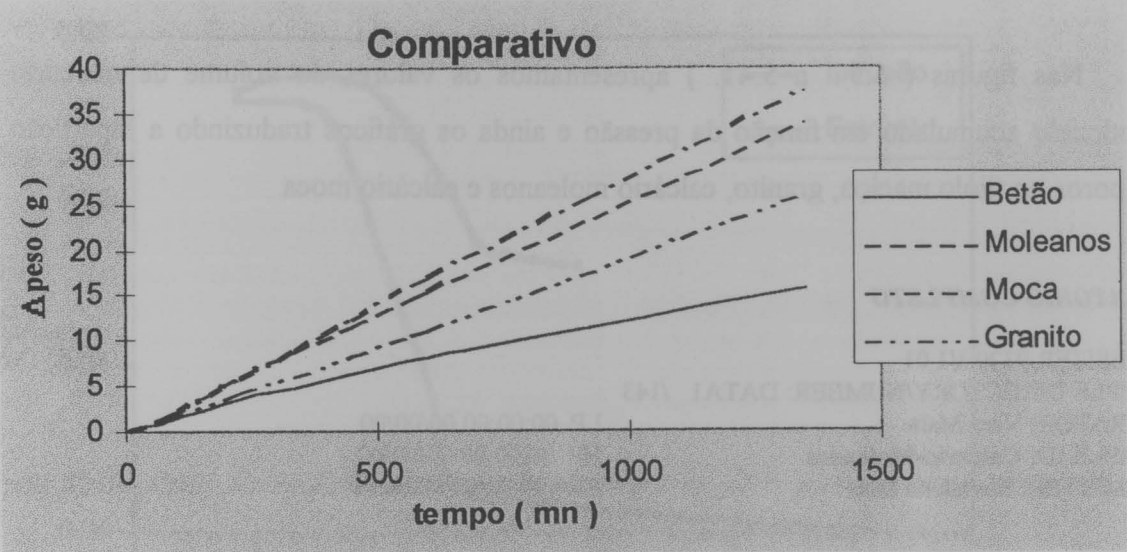


Figura 5. 32 Gráfico comparativo das curvas obtidas

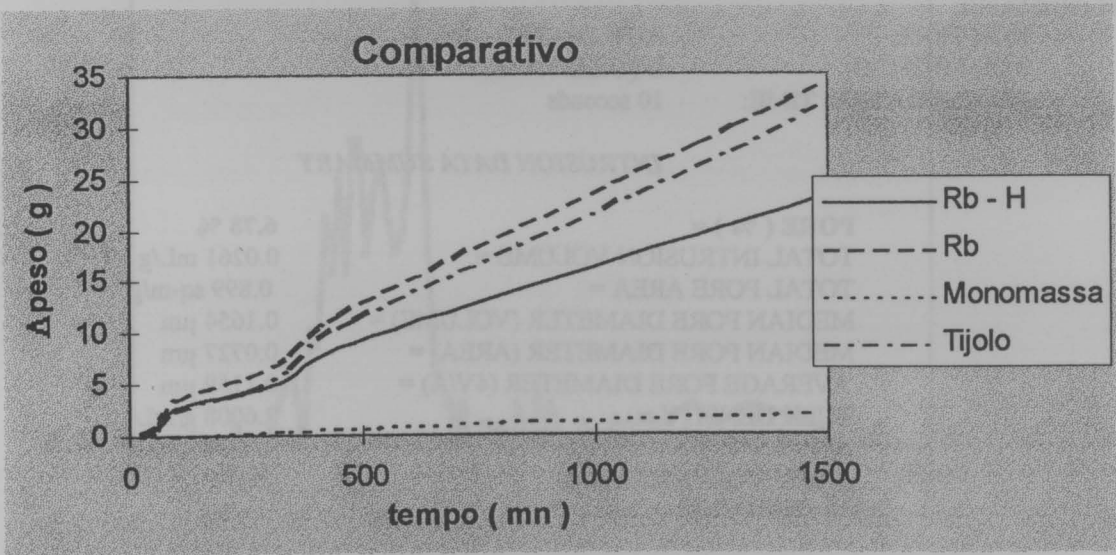


Figura 5. 33 Gráfico comparativo das curvas obtidas

5.4.6. DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

Nas figuras (5.34. a 5.41.) apresentamos os valores do volume de mercúrio introduzido acumulado em função da pressão e ainda os gráficos traduzindo a repartição dos poros no tijolo maciço, granito, calcário moleanos e calcário moca.

RELATORIO COMPLETO

PORESIZER 9320 V1.01
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA1 /143
OPERATOR: Vera Mata LP 00:00:00 00/00/00
SAMPLE ID: Calcario-Moleanos HP 00:00:00 00/00/00
SUBMITTER: Madalena Dias REP 00:00:00 00/00/00

PENETROMETER NUMBER:	7	ADVANCING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER CONSTANT:	10.79 μ L/pF	RECEDING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER WEIGHT:	70.3619 g	MERCURY SURFACE TENSION:	485.0 dyn/cm
STEM VOLUME:	0.3840 mL	MERCURY DENSITY:	13.5335 g/mL
MAXIMUM HEAD PRESSURE:	4.4500 psi	SAMPLE WEIGHT:	3.8248 g
PENETROMETER VOLUME:	6.0400 mL	SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT:	136.0264 g

LOW PRESSURE:
MERCURY FILLING PRESSURE: 0.1170 psia
LAST LOW PRESSURE POINT: 24.1254 psia

HIGH PRESSURE:
RUN TYPE: AUTOMATIC
RUN METHOD: EQUILIBRATED
EQUILIBRATION TIME: 10 seconds

INTRUSION DATA SUMMARY

PORE (%) =	6.78 %
TOTAL INTRUSION VOLUME =	0.0261 mL/g
TOTAL PORE AREA =	0.899 sq-m/g
MEDIAN PORE DIAMETER (VOLUME) =	0.1654 μ m
MEDIAN PORE DIAMETER (AREA) =	0.0727 μ m
AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A) =	0.1159 μ m
BULK DENSITY =	2.6008 g/mL
APPARENT (SKELETAL) DENSITY =	2.7899 g/mL
STEM VOLUME USED =	26 %

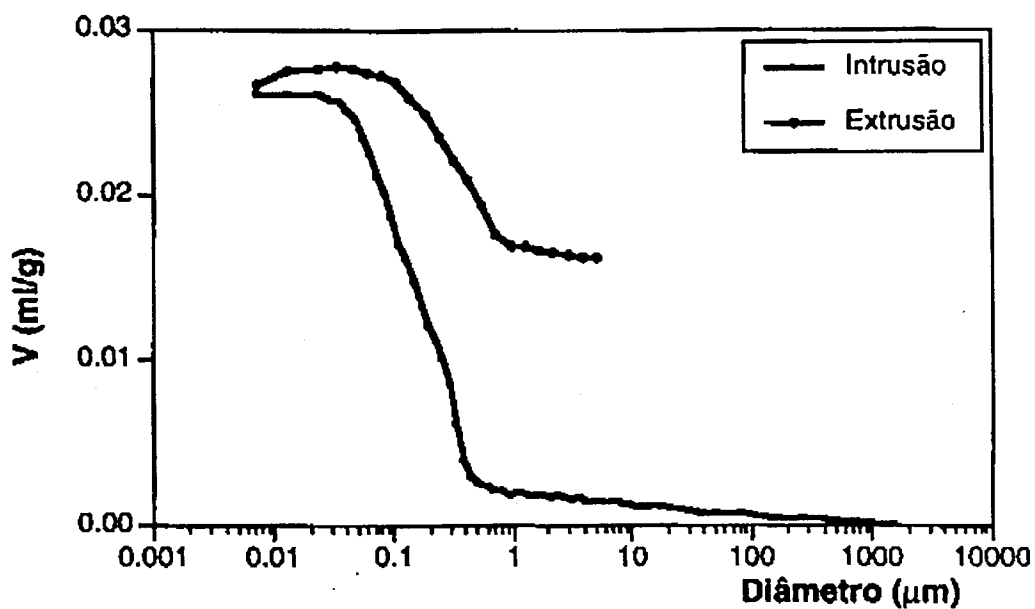


Figura 5. 34 - Curvas de intrusão e extrusão de mercúrio

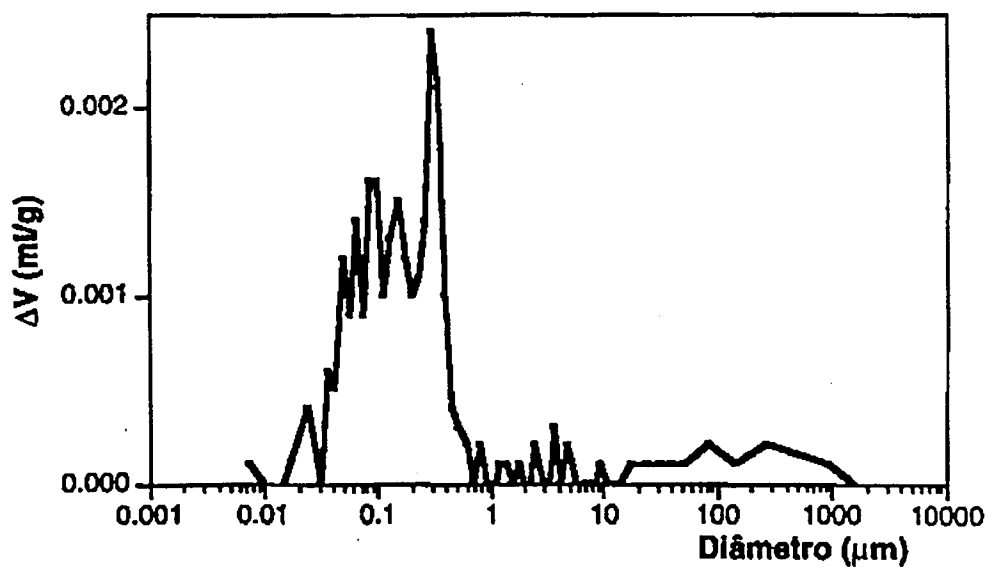


Figura 5. 35 - Curva incremental

RELATORIO COMPLETO

PORESIZER 9320 V1.01

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA1 /144

OPERATOR: Vera Mata

LP 00:00:00 00/00/00

SAMPLE ID: **Calcario - Moca**

HP 00:00:00 00/00/00

SUBMITTER: Madalena Dias

REP 00:00:00 00/00/00

PENETROMETER NUMBER:	7	ADVANCING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER CONSTANT:	10.79 $\mu\text{L/pF}$	RECEDING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER WEIGHT:	70.3623 g	MERCURY SURFACE TENSION:	485.0 dyn/cm
STEM VOLUME:	0.3840 mL	MERCURY DENSITY:	13.5335 g/mL
MAXIMUM HEAD PRESSURE:	4.4500 psi	SAMPLE WEIGHT:	3.3951 g
PENETROMETER VOLUME:	6.0400 mL	SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT:	136.5365 g

LOW PRESSURE:

MERCURY FILLING PRESSURE: 0.2750 psia

LAST LOW PRESSURE POINT: 23.9797 psia

HIGH PRESSURE:

RUN TYPE:

AUTOMATIC

RUN METHOD:

EQUILIBRATED

EQUILIBRATION TIME:

10 seconds

INTRUSION DATA SUMMARY

PORE (%) =	13.17 %
TOTAL INTRUSION VOLUME =	0.0544 mL/g
TOTAL PORE AREA =	0.730 sq-m/g
MEDIAN PORE DIAMETER (VOLUME) =	0.4698 μm
MEDIAN PORE DIAMETER (AREA) =	0.2116 μm
AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A) =	0.2978 μm
BULK DENSITY =	2.4230 g/mL
APPARENT (SKELETAL) DENSITY =	2.7905 g/mL
STEM VOLUME USED =	48 %

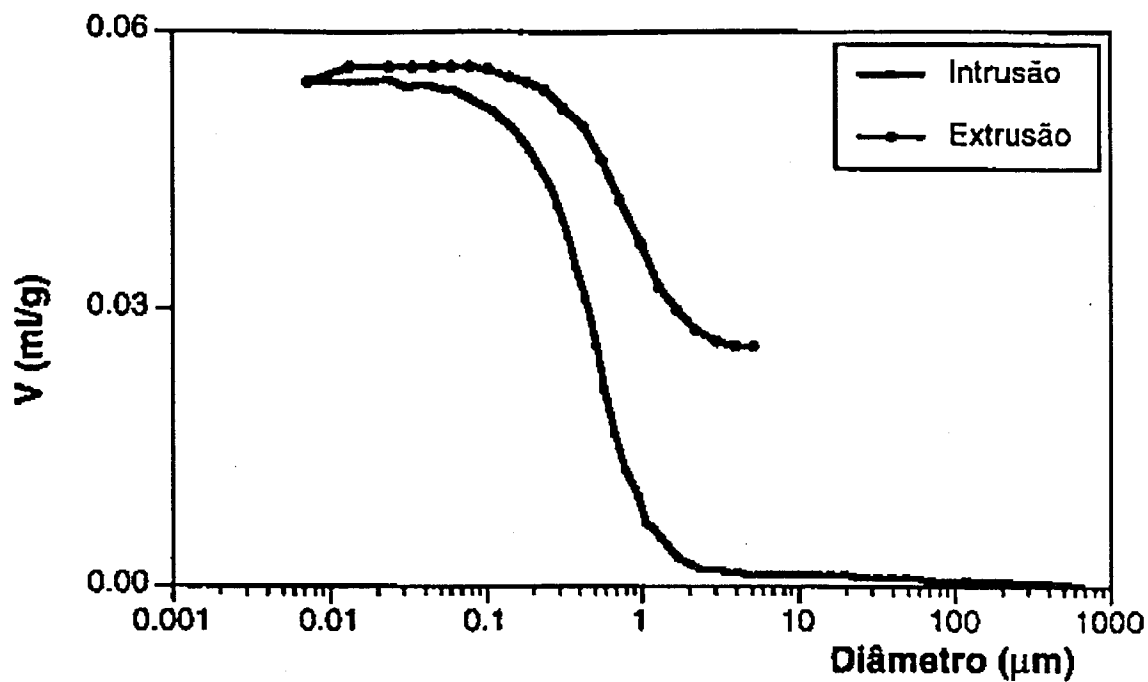


Figura 5. 36 - Curvas de intrusão e extrusão de mercúrio

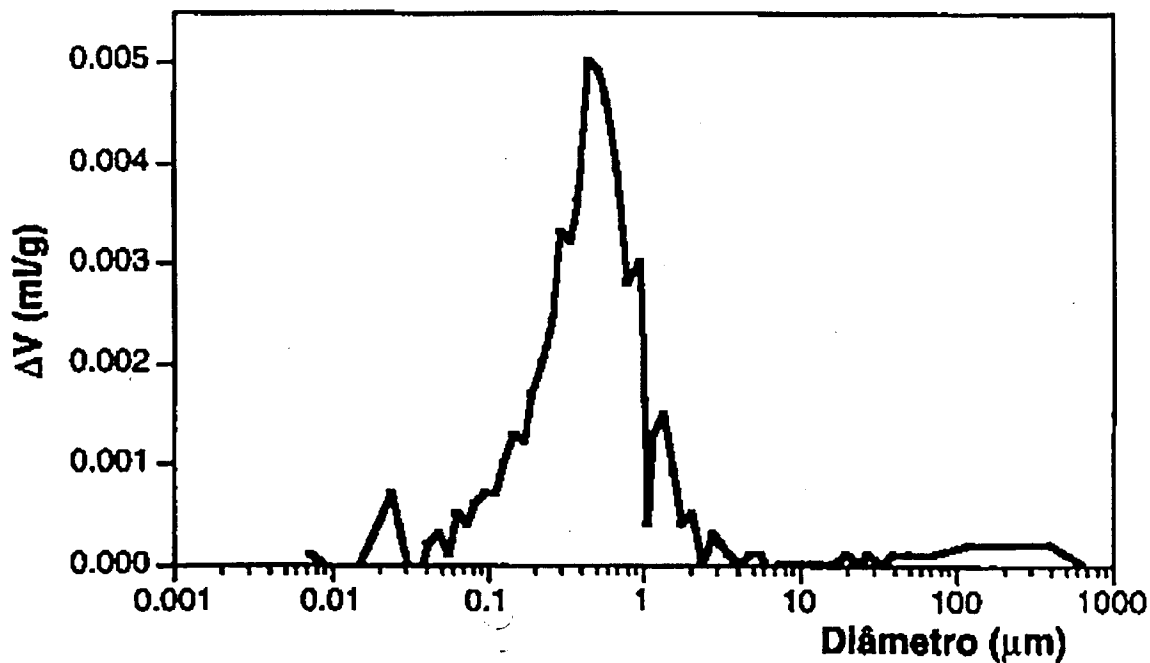


Figura 5. 37 - Curva incremental

RELATORIO COMPLETO

PORESIZER 9320 V1.01

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA1 /149

OPERATOR: Vera Mata

LP 00:00:00 00/00/00

SAMPLE ID: **Granito**

HP 00:00:00 00/00/00

SUBMITTER: Madalena Dias

REP 00:00:00 00/00/00

PENETROMETER NUMBER:	7	ADVANCING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER CONSTANT:	10.79 $\mu\text{L/pF}$	RECEDING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER WEIGHT:	70.3544 g	MERCURY SURFACE TENSION:	485.0 dyn/cm
STEM VOLUME:	0.3840 mL	MERCURY DENSITY:	13.5335 g/mL
MAXIMUM HEAD PRESSURE:	4.4500 psi	SAMPLE WEIGHT:	5.5826 g
PENETROMETER VOLUME:	6.0400 mL	SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT:	128.5192 g

LOW PRESSURE:

MERCURY FILLING PRESSURE: 0.4045 psia

LAST LOW PRESSURE POINT: 24.0329 psia

HIGH PRESSURE:

RUN TYPE: AUTOMATIC

RUN METHOD: EQUILIBRATED

EQUILIBRATION TIME: 10 seconds

INTRUSION DATA SUMMARY

PORE (%) =	4.10 %
TOTAL INTRUSION VOLUME =	0.0159 mL/g
TOTAL PORE AREA =	0.663 sq-m/g
MEDIAN PORE DIAMETER (VOLUME) =	0.4686 μm
MEDIAN PORE DIAMETER (AREA) =	0.0133 μm
AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A) =	0.0956 μm
BULK DENSITY =	2.5909 g/mL
APPARENT (SKELETAL) DENSITY =	2.7019 g/mL
STEM VOLUME USED =	23 %

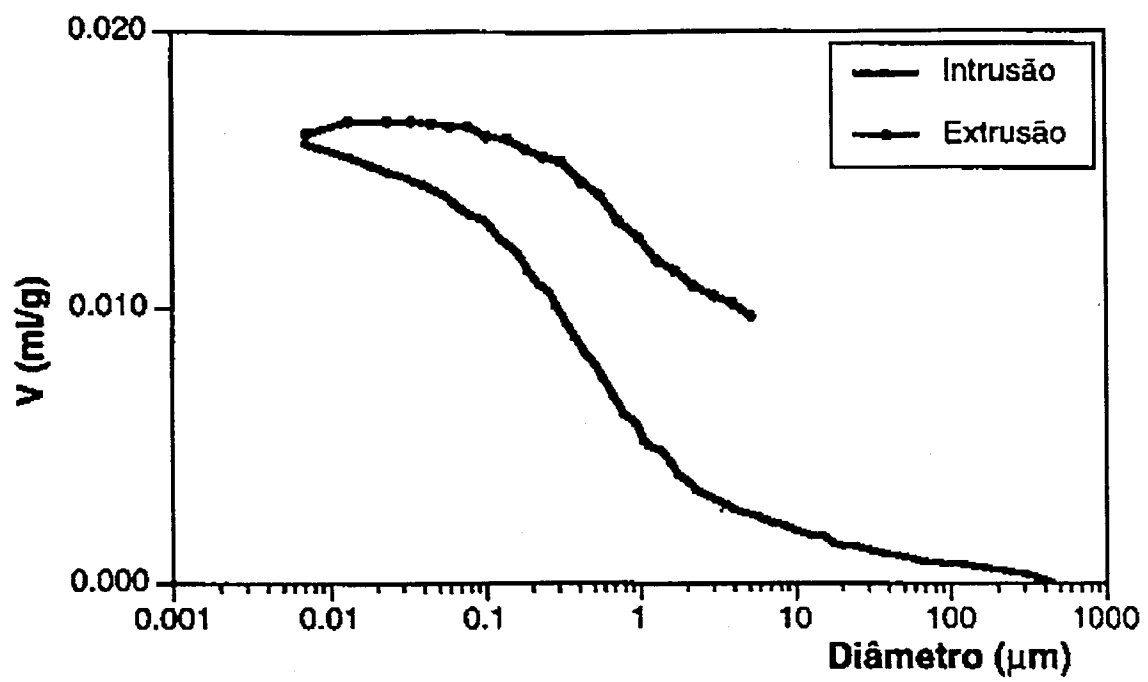


Figura 5. 38- Curvas de intrusão e extrusão de mercúrio

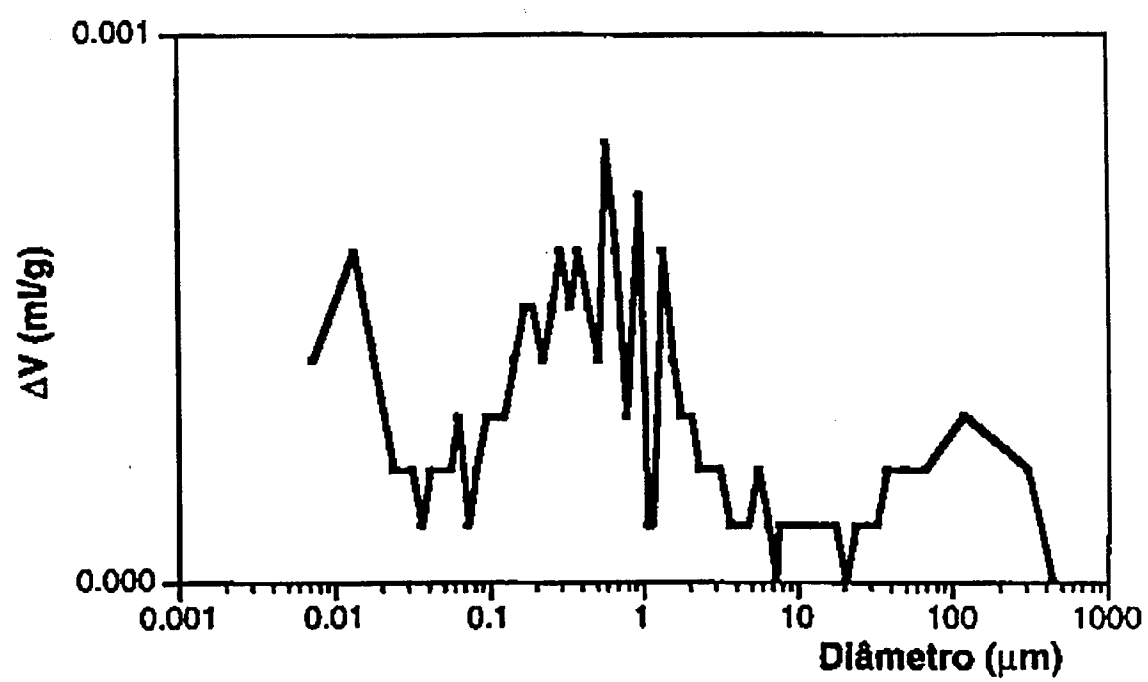


Figura 5. 39- Curva incremental

RELATORIO COMPLETO

PORESIZER 9320 V1.01

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA1 /151

OPERATOR: Vera Mata

LP 00:00:00 00/00/00

SAMPLE ID: Tijolo

HP 00:00:00 00/00/00

SUBMITTER: Madalena Dias

REP 00:00:00 00/00/00

PENETROMETER NUMBER:	7	ADVANCING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER CONSTANT:	10.79 $\mu\text{L/pF}$	RECEDING CONTACT ANGLE:	130.0 deg
PENETROMETER WEIGHT:	70.3564 g	MERCURY SURFACE TENSION:	485.0 dyn/cm
STEM VOLUME:	0.3840 mL	MERCURY DENSITY:	13.5335 g/mL
MAXIMUM HEAD PRESSURE:	4.4500 psi	SAMPLE WEIGHT:	1.7474 g
PENETROMETER VOLUME:	6.0400 mL	SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT:	142.1747 g

LOW PRESSURE:

MERCURY FILLING PRESSURE: 0.1590 psia

LAST LOW PRESSURE POINT: 25.1462 psia

HIGH PRESSURE:

RUN TYPE:

AUTOMATIC

RUN METHOD:

EQUILIBRATED

EQUILIBRATION TIME:

10 seconds

INTRUSION DATA SUMMARY

PORE (%) =	28.8 %
TOTAL INTRUSION VOLUME =	0.1419 mL/g
TOTAL PORE AREA =	7.255 sq-m/g
MEDIAN PORE DIAMETER (VOLUME) =	0.1246 μm
MEDIAN PORE DIAMETER (AREA) =	0.0374 μm
AVERAGE PORE DIAMETER (4V/A) =	0.0782 μm
BULK DENSITY =	2.0262 g/mL
APPARENT (SKELETAL) DENSITY =	2.8435 g/mL
STEM VOLUME USED =	65 %

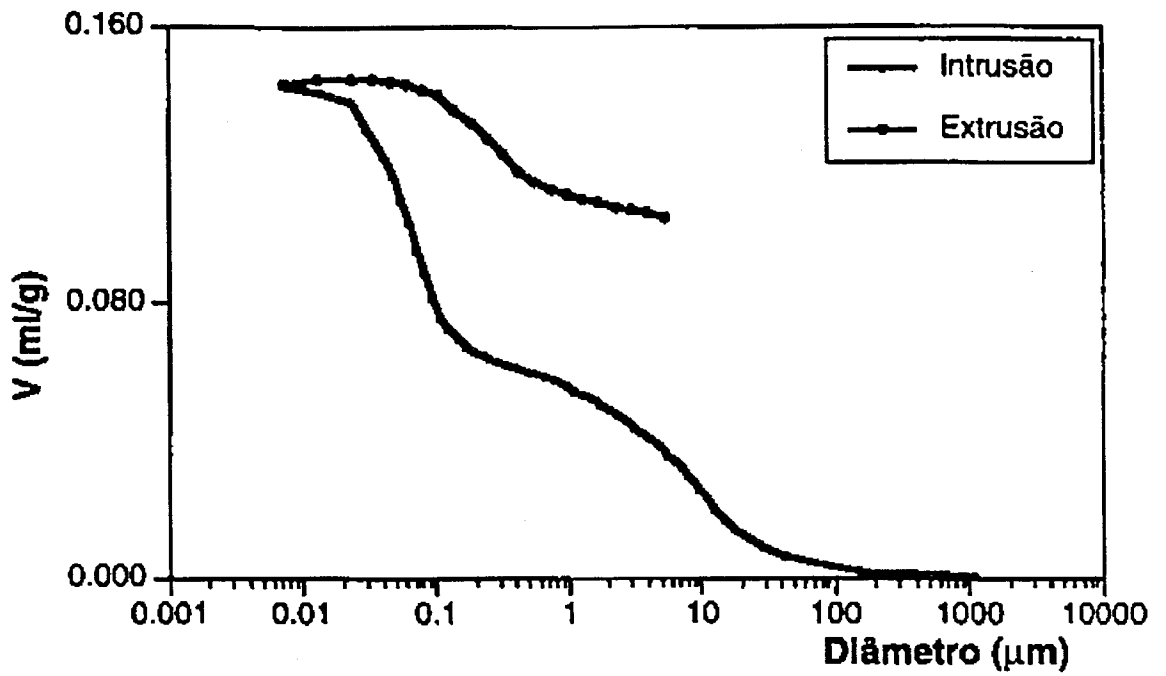


Figura 5. 410- Curvas de intrusão e extrusão de mercúrio

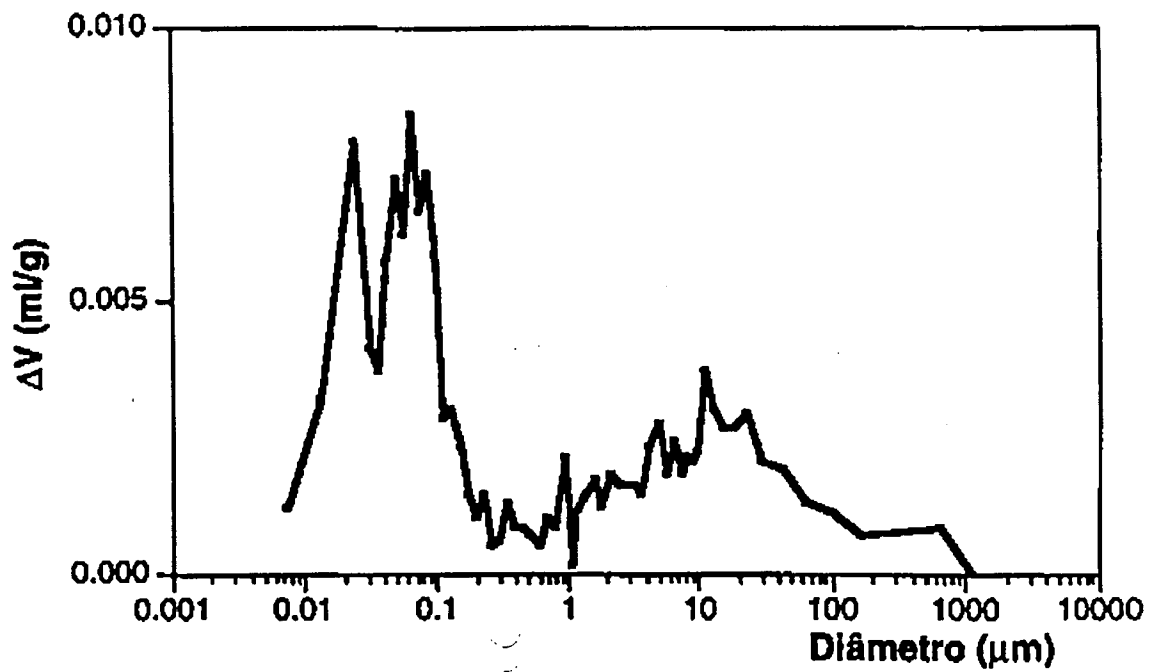


Figura 5. 41 - Curva incremental

5.5. INTERPRETAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

Conforme anteriormente apresentado, ensaiámos vários materiais quanto a características físicas específicas, das quais depende o seu comportamento higrométrico, encontrando-se para estes, valores dentro dos parâmetros normais para ensaios em materiais similares, efectuados por outras entidades(LFC, CSTB, CSTC, LNEC). Efectuámos, no entanto, um cruzamento de dados entre as duas normas pelas quais determinámos o coeficiente de capilaridade / absorção, para tentarmos criar uma opinião crítica acerca do comportamento dos diferentes materiais quando ensaiados por um método que proporciona uma absorção multidireccional com fase de evaporação nas faces laterais (NF) e por um método que implica uma absorção exclusivamente unidireccional, uma vez que as faces laterais dos prismas foram impermeabilizadas. De salientar que o facto de não podermos, por impossibilidade laboratorial, efectuar os ensaios segundo os valores de humidade relativa referidos na NF, poderá originar um incremento do coeficiente determinado, pelo facto de a evaporação lateral poder ser mais elevada.

Observámos que, quando calculámos os coeficientes de capilaridade usando os elementos da norma DIN, e efectuando os cálculos seguindo as indicações da norma Francesa, se obtem uma diminuição média (em relação aos valores da NF), para a amostra considerada, da ordem dos 37%, embora a dispersão de resultados seja assinalável.

Para o cálculo do coeficiente de absorção usando os elementos da norma Francesa, e efectuando os cálculos seguindo as indicações da norma DIN, obtivemos um acréscimo médio (em relação aos valores da norma DIN), da ordem dos 19%, com a mesma dispersão de resultados.

No entanto, e dados os valores obtidos, consideramos que o modelo de ensaio seguido pela norma DIN, quando transportado para o funcionamento do material em massa aplicado no revestimento de uma fachada, nos conduz a valores mais realistas, uma vez que segundo esta metodologia não há lugar a evaporação lateral sendo o fluxo unicamente unidireccional, o que melhor retratará o comportamento de um ponto aleatório da superfície do revestimento.

Para a permeabilidade encontrámos valores dentro do esperado, evidenciando-se o excelente comportamento do revestimento monocamada, que durante o tempo em que

decorreu a realização do ensaio (24 horas) não evidenciou avanço da frente húmida de modo a ser detectado na face exterior do provete (tendo a eficácia do método de detecção empregue, sido confirmada após a conclusão do ensaio).

De salientar também que no caso do reboco tradicional de ligante hidráulico, a adição do hidrófugo na fabricação do mesmo, retarda a progressão da frente húmida, conforme já vinha sendo esperado depois de apreciados os resultados da capilaridade.

Em relação aos resultados da porosidade (*Gertis, 1976 e Freitas, 1992*) encontraram para o barro vermelho e para o betão celular uma estrutura porosa análoga à dos nossos materiais. As diferenças observadas podem ficar a dever-se à massa volúmica e constituição dos materiais ensaiados.

Collombet, efectua também para alguns materiais mais usuais na construção um inventário da sua porosidade, conforme figura (5.42.)

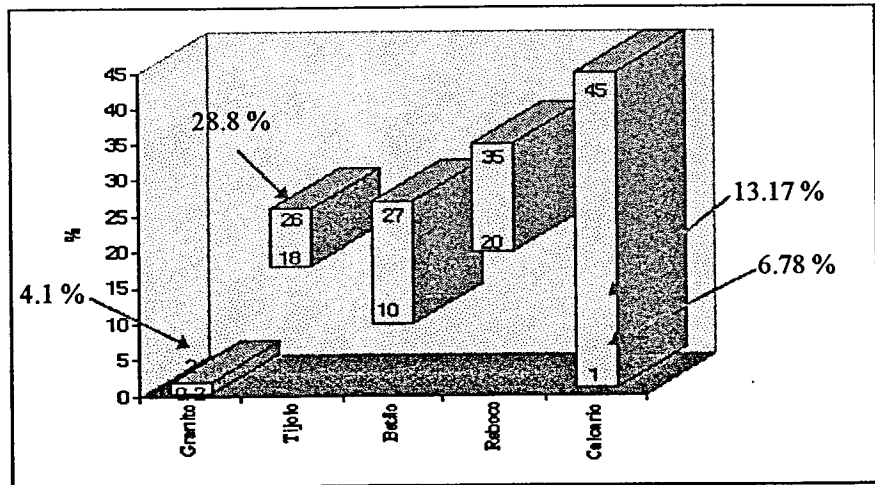


Figura 5. 42. Valores de porosidade encontrados por *Collombet*; os valores encontrados nos nossos ensaios encontram-se realçados na figura

CAPÍTULO 6

6- METODOLOGIA DE SELECÇÃO EXIGENCIAL DE UM REVESTIMENTO DE FACHADA FACE À HUMIDADE

6.1 - INTRODUÇÃO

6.2 - CRITÉRIO DA SELECÇÃO EXIGENCIAL

6.2.1 - DETERMINAÇÃO DO EFEITO DA ACÇÃO DO VENTO

6.2.1.1 - ZONAMENTO DO TERRITÓRIO

6.2.1.2 - RUGOSIDADE AERODINÂMICA

6.2.1.3 - ALTURA ACIMA DO SOLO

6.2.1.4 - EFEITOS DE PROTECÇÃO

6.2.2 - CARACTERIZAÇÃO ACTUAL DOS ÍNDICES DE CHUVA INCIDENTE

6.2.2.1 - CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

6.2.2.2 - MÉTODO DE APRESENTAÇÃO DE DADOS

6.2.2.3 - LIMITAÇÕES DE APLICAÇÃO

6.2.3 - APLICAÇÃO AO CASO PORTUGUÊS

6.2.4. CONCLUSÕES PRÉVIAS

6- METODOLOGIA DE SELECÇÃO EXIGENCIAL DE UM REVESTIMENTO DE FACHADA FACE À HUMIDADE

6.1 - INTRODUÇÃO

Procurámos descrever, nos capítulos anteriores, as solicitações físicas, climáticas e mecânicas á quais os materiais utilizados como revestimentos ou elementos de estanqueidade em fachadas de edificios estão sujeitos. (Viegas e Oliveira, 1994), (DTU 36.1 - 37.1)

Tentámos, também, quantificar quanto à sua natureza e intensidade, estas solicitações, e avaliamos experimentalmente o comportamento de alguns dos materiais, em relação à água, no que se refere à absorção pura por capilaridade, bem como à permeabilidade sob o efeito de uma pequena pressão hidráulica.

Com vista a um melhor entendimento de alguns fenómenos, e devido à diferença de comportamento desses materiais, no desempenho das suas funções enquanto revestimentos de fachada de edificios, efectuamos a caracterização de alguns , determinando a sua porosidade, para daí tentar extrair algumas conclusões.

Procurámos pois, como sequência lógica do nosso estudo, depois de determinados e classificados os factores anteriormente explanados para a amostra considerada, dar um para a elaboração de um método exigencial de selecção de materiais de revestimento de fachada, em relação ao comportamento face à humidade, que é função das múltiplas solicitações a que este vai estar sujeito, e das suas características físicas em presença da água.

6.2 - CRITÉRIO DA SELECÇÃO EXIGENCIAL

Este método deverá passar pela consideração de um conjunto de solicitações extremas do espaço envolvente do edificio onde os revestimentos serão instalados e já referidas nos capítulos anteriores, e principalmente à estanqueidade à água, e a esta em conjunto com a solicitações do vento.

Contudo, na elaboração desse estudo foram estabelecidas as solicitações extremas relativamente à acção do vento de forma simplificada a partir do RSA (RSA, 1983), tendo sido, portanto, sentida a conveniência de seguir de forma mais coerente os critérios de calculo especificados nesse regulamento ou de justificar de forma mais objectiva os eventuais afastamentos desses critérios.

Desta forma, o presente estudo foi norteado de acordo com três premissas fundamentais:

- (a) utilização coerente dos critérios de dimensionamento, relativamente às solicitações do vento, especificados no RSA (RSA, 1983)
- (b) estabelecimento de critérios objectivos para a selecção do reboco relativamente à estanqueidade à água, baseados nos dados meteorológicos disponíveis,
- (c) tentativa de não agravar as exigências estabelecidas nas anteriores recomendações , uma vez estas se revelarem na generalidade satisfatórias.

6.2.1 - DETERMINAÇÃO DO EFEITO DA ACÇÃO DO VENTO

A velocidade do vento depende de factores físicos associados aos diversos locais do território. Para efeitos da quantificação da acção do vento consideram-se os seguintes factores:

- a) a divisão do país em duas zonas características por diferentes velocidades do vento;
- b) a rugosidade característica do terreno;
- c) a cota, do elemento a estudar, acima do terreno;
- d) o efeito de protecção da fachada onde o material está colocado oferecida por outras construções, ou por outro conjunto de factores.

6.2.1.1 - ZONAMENTO DO TERRITÓRIO

O zonamento do território considerado é o seguinte e estabelecido no RSA:

- a) Zona A, que inclui a generalidade do território, excepto os locais pertencentes à zona B;
- b) Zona B, que inclui os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do Continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura, ou a altitudes superiores a 600 m.

6.2.1.2 - RUGOSIDADE AERODINÂMICA

Tendo em conta que a rugosidade aerodinâmica do solo condiciona o perfil de velocidade do vento para as alturas acima do solo relevantes para este estudo, consideram-se três tipos de rugosidade:

- a) Rugosidade do tipo I, a atribuir aos locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem os edifícios de médio e grande porte;
- b) Rugosidade do tipo II, a atribuir à generalidade dos restantes locais, nomeadamente às zonas rurais com algum relevo e periferia de zonas urbanas;
- c) Rugosidade do tipo III, a atribuir aos locais situados em zonas planas ou nas proximidades de extensos planos de água nas zonas rurais.

6.2.1.3 - ALTURA ACIMA DO SOLO

Para efeitos deste estudo consideraram-se apenas os edifícios cuja altura acima do solo não excede 100 m, de acordo com os princípios de quantificação expressos pelo RSA de acordo com os princípios de quantificação expressos no RSA (RSA, 1983)

No sentido de permitir a apresentação do resultado sob a forma de quadros simplificados, foram considerados os seguintes limites para as alturas:

- a) altura acima do solo inferior a 10 m, que inclui de uma forma geral edifícios até 3 pisos;
- b) altura acima do solo compreendida entre 10 m e 18 m, que inclui em geral edifícios até 6 pisos;
- c) altura acima do solo compreendidas entre 18 m e 28 m , que inclui em geral edifícios até 9 pisos;

d) altura acima do solo compreendida entre 28 m e 60 m, que inclui em geral edifícios até 20 pisos;

e) altura acima do solo compreendida entre 60 m e 100 m, que inclui em geral edifícios até 34 pisos.

Estes valores limite são semelhantes às alturas de referência para edifícios definidos no Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação (RSIEH) .

Desde que uma construção esteja localizada na proximidade de uma elevação, de pendente superior a 1, a altura ao solo deve ser contada desde o sopé da elevação, salvo se a construção estiver localizada a uma distância da zona de desnível superior a duas vezes a altura deste , figura 6.1

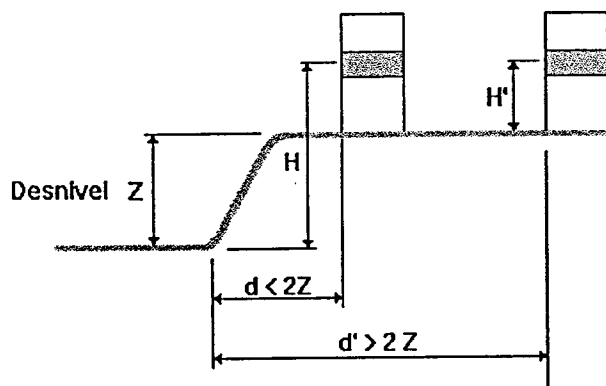


Figura 6.1. Localização de uma edificação em relação a um desnível do terreno

6.2.1.4 - EFEITOS DE PROTECÇÃO

Deve ainda ter-se em consideração a eventual protecção oferecida por outras construções contra o vento (efeito de máscara). Assim distinguem-se os casos de (a) “ fachada abrigada ” e (b) “ fachada não abrigada “. Considera-se a fachada, ou parte desta, abrigada quando se encontra frente a uma linha contínua de construções e reúne uma das seguintes características:

- a) para uma linha de construções situada a uma distância máxima de 15 m, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções;
- b) para uma linha de construções situada a uma distância entre 15 m e 30 m, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções deduzida de $1/3$ do excesso além de 15 m da distância entre edifícios, figura 6.2.

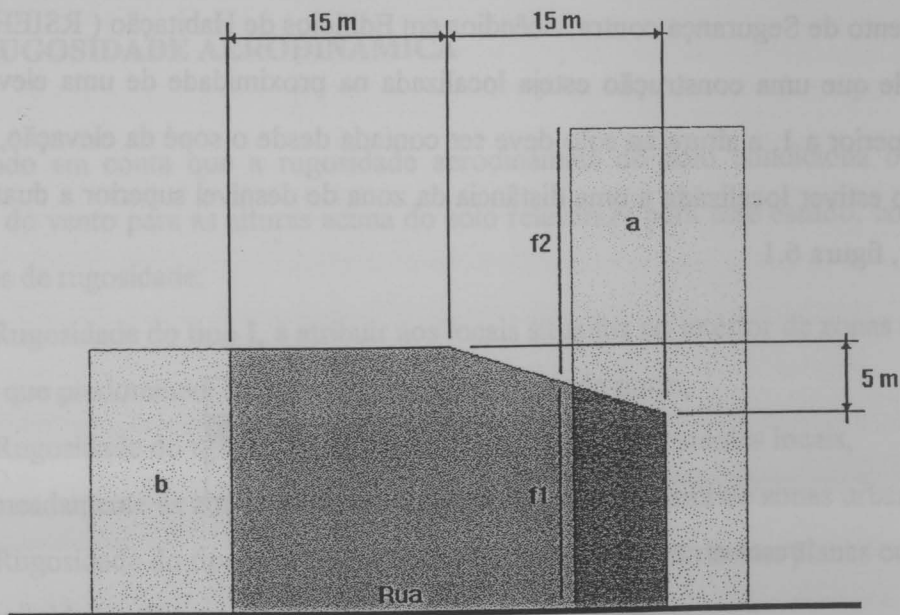


Figura 6.2. Conceito de abrigo de fachadas de edifícios por construções existentes

A parte de fachada f1 do edifício **a** está abrigada pelo edifício **b**

A parte de fachada f2 do edifício **a** não está abrigada

A partir de 28 m de altura estas relações deverão ser estudadas como casos especiais

6.2.2 - CARACTERIZAÇÃO ACTUAL DOS ÍNDICES DE CHUVA INCIDENTE

6.2.2.1 - CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

As limitações do índice de chuva incidente calculado a partir de valores anuais, apresentadas numa forma indirecta na publicação de Lacy de 1971, mostram que aquela

quantificação subvaloriza de forma significativa as quantidades de chuva incidente expectáveis em muitas circunstâncias reais, indicando ainda que as velocidades do vento durante os períodos de chuva tendem a exceder os valores médios desse parâmetro utilizados naquele tipo de quantificação. Por outro lado, os valores omnidireccionais obtidos por aquela via não permitiam a realização duma análise suficientemente elaborada que permitisse distinguir os riscos de molhagem de paredes com a mesma localização geográfica mas com diferentes orientações. (Henriques, 1993)

Para ultrapassar as limitações referidas, foram adoptados outros métodos de quantificação, tendo sido criados dois conceitos:

- índice de chuva incidente
- índice de chuva incidente persistente

Estes conceitos, diferentes entre si na abordagem do problema, e já apresentados no capítulo 3 do presente texto, dão origem a resultados complementares na análise do risco de molhagem de paredes.

O índice de chuva incidente, para cada uma das direcções consideradas, pode ser calculado das médias dos índices anuais num período de quinze anos, correspondente à informação disponível no Reino Unido em 1982, como (Henriques, 1993) executou no seu trabalho.

A utilização de valores horários pode, de certa forma, falsear os resultados obtidos na medida em que não há a certeza de que a direcção e a velocidade do vento médias em cada hora coincidam com as verificadas no período em que a precipitação realmente ocorreu. Considerou-se, contudo, que as correcções daí decorrentes poderiam ser pouco significativas para cálculos efectuados com grande volume de informação.

A apresentação dos resultados é efectuada através da utilização de rosetas representativas das doze direcções principais, nas quais os valores do índice de chuva incidente são expressos numa escala logarítmica, a partir da expressão:

$$R = 6 + 19,93 \cdot \log_{10}(I)$$

em que R é o valor logarítmico e I o índice de chuva incidente (em m²/s).

A utilização da escala logarítmica deve-se, essencialmente, a ter-se procurado facilitar a utilização dos vários mapas disponíveis e a execução dos cálculos de correcção local que se torna necessário efectuar, nos quais se procura utilizar apenas operações de adição. O facto de, nestas circunstâncias, uma unidade do índice de chuva incidente (em m^2/s) corresponder a seis unidades da escala logarítmica facilita bastante todos os cálculos que envolvam quantidades não inteiras daquele índice.

Considerou-se que uma unidade do índice de chuva incidente (em m^2/s) corresponderia a uma quantidade de água da chuva em superfície vertical de cerca de 200 l / m^2 . (Henriques, 1993)

No cálculo do índice de chuva persistente intervém ainda um novo factor que procura traduzir as alterações provocadas pelos edifícios no fluxo do vento. Este factor, designado eficiência de recolha, foi determinado experimentalmente no Reino Unido e é dado pela relação entre as quantidades de água da chuva recolhidas por dois pluviómetros verticais (são aparelhos destinados a recolher e medir a precipitação que incide, numa dada direcção, numa superfície vertical perpendicular a essa direcção), um fixo a uma parede e outro localizado em terreno aberto, ambos com a mesma orientação. A eficiência da recolha E é um factor adimensional que varia em função da velocidade e da direcção do vento, assumindo os valores seguintes:

$$\begin{aligned} E &= 0 && \text{se } V \cdot \cos \theta \leq 2 \text{ m/s} \\ E &= 0,2 \cdot [V \cdot \cos(\theta) - 2] && \text{se } 2 \text{ m/s} < V \cdot \cos \theta < 5 \text{ m/s} \\ E &= 0,6 && \text{se } V \cdot \cos \geq 5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

O índice de chuva persistente C será, então, dado pela expressão:

$$C = \sum_{i=1}^n E_i P_i V_i \cos \theta_i$$

em que os símbolos têm os significados referidos anteriormente.

Tal como para o índice de chuva incidente, a apresentação dos resultados é efectuada através de rosetas representativas das doze direcções principais e do recurso a

uma escala logarítmica. Neste caso, contudo, considera-se que um valor do índice de 0.1 m²/s corresponde a 16 unidades da escala logarítmica, sendo estes valores obtidos através da relação

$$R = 16 + 19.93 \cdot \log_{10} (10.C)$$

A relação de conversão entre cada unidade de chuva incidente e a quantidade de água que atinge uma superfície vertical é a mesma referida anteriormente, ou seja 1 m²/s < > 200 l/m².

6.2.2.2 - MÉTODO DE APRESENTAÇÃO DE DADOS

Com base nos critérios definidos anteriormente, o projecto de norma inglesa apresenta os dados relativos à chuva incidente sob forma de mapas do território britânico com uma escala que permite efectuar análises com algum detalhe a nível local. Dessa metodologia de calculo com as alterações introduzidas por Henriques, (Henriques, 1993), apresentamos na figura 6.3 a folha de calculo.

	Índice de chuva incidente persistente	Índice de chuva incidente anual
Incremento geográfico i		
Valor das rosetas r		
Valor do mapa (i + r)		
Índices em “campo aberto” (Quadro 6.1)	$D_s \text{ (l/m}^2\text{)}$	$D_a \text{ (l/m}^2\text{)}$
Classe de obstrução (Quadro 6.2)		
Altura real H		
Factor de obstrução H_p (Quadro 6.2)		
Altura de exposição ($H_e = H - H_p$)		
Inclinação do terreno (Fig. 6.3)		
Altura de cálculo ($H_{ce} = H_e + H_g$)		
Rugosidade R (Quadro 6.3)	--	
Factor topográfico T (Quadro 6.4)	--	
Factor de correcção S (Quadro 6.5)		--
Índices locais	$D_{is} = D_s \cdot S \text{ (l/m}^2\text{)}$	$D_{is} = D_a \cdot R \cdot T \text{ (l/m}^2\text{)}$

Figura 6. 3. Folha de cálculo dos índices

Quadro 6.1. Índices de chuva incidente e de chuva persistente em campo aberto

Índice de chuva incidente				Índice de chuva incidente persistente			
Mapa	D _a	Mapa	D _a	Mapa	D _s	Mapa	D _s
0	100	20	1010	0	3,1	20	31,7
1	110	21	1130	1	3,5	21	35,6
2	125	22	1270	2	4,0	22	40,0
3	140	23	1425	3	4,5	23	44,9
4	160	24	1600	4	5,0	24	50,4
5	180	25	1795	5	5,6	25	56,6
6	200	26	2015	6	6,3	26	63,5
7	225	27	2265	7	7,1	27	71,3
8	250	28	2540	8	7,9	28	80,0
9	285	29	2850	9	8,9	29	89,8
10	315	30	3200	10	10,0	30	101,0
11	355	31	3590	11	11,2	31	113,0
12	400	32	4030	12	12,6	32	127,0
13	450	33	4525	13	14,1	33	143,0
14	505	34	5080	14	15,9	34	160,0
15	565	35	5700	15	17,8	35	180,0
16	635	36	6400	16	20,0	36	202,0
17	715	37	7185	17	22,4	37	226,0
18	800	38	8065	18	25,2	38	254,0
19	900	39	9050	19	28,3	39	285,0
		40	10160			40	320,0

Os valores dos índices são sempre calculados com velocidades do vento relativas a uma altura padrão de 10 m em terreno plano. Por esse motivo deve ser introduzida uma correcção que permita efectuar os ajustamentos daqueles valores às alturas adequadas e às condições do terreno.

Para se proceder a essa correcção torna-se necessário quantificar as características, quer do local de implantação, quer do próprio edifício. Em primeiro lugar determina-se a altura de cálculo do edifício, entendida como a altura desde o nível do terreno até ao topo das platibandas ou, caso estas não existam, até à cumeeira, de dois factores, um dito de obstrução e outro que introduz uma correcção de alturas no caso da existência de terrenos inclinados. O factor de obstrução é dado através do quadro 6.2, complementado pela figura 6.2 no caso das classes 2 e 3. O factor de correcção da altura em terrenos inclinados pode ser obtido através da figura 6.5.

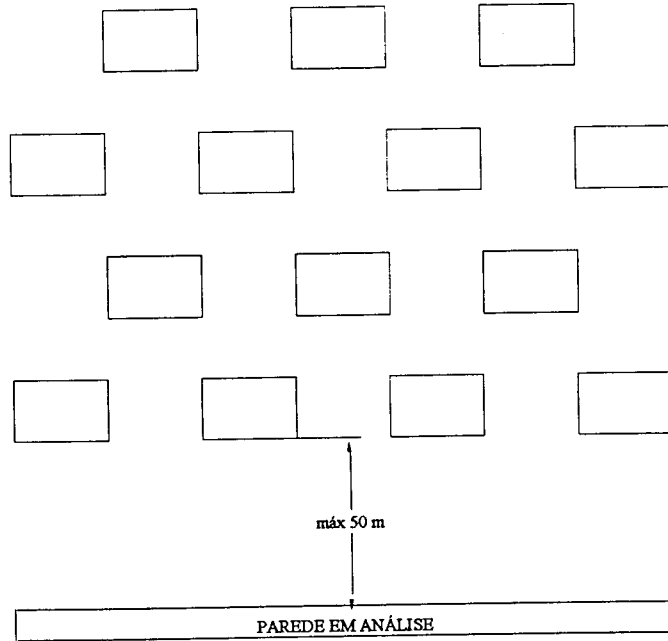
Quadro 6.2. Valores do factor de obstrução em metros

classe de obstrução	Localização do terreno	Factor de obstrução
3	Zonas densamente arborizadas ou com bastantes edifícios, em que a parede em análise diste um máximo de 50 m em relação às obstruções mais próximas (fig. 6.4). Quando a parede pertença desta classe mas esteja situada a uma distância menor do que cinco vezes a sua altura ou a 50 m duma zona cuja classe seja inferior (considera-se o maior daqueles valores), deve ser adoptado o valor mínimo previsto para o factor de obstrução.	≥ 5
2	Zonas de terreno plano ou pouco acidentado, com obstrução de pouca altura espaçadas no máximo 200 m e em que a parede diste menos de 200 m das obstruções mais próximas (fig. 6.4).	1 a 5
1	Zonas do tipo referido na classe 2 em que o afastamento entre obstruções seja maior que 200 m. Zonas sem obstrução significativas, situadas a mais do que 8 Km da costa ou de grandes estuários.	0 a 1
0	Zonas sem obstruções significativas, situadas a menos do que 8 Km da costa de grandes estuários.	0

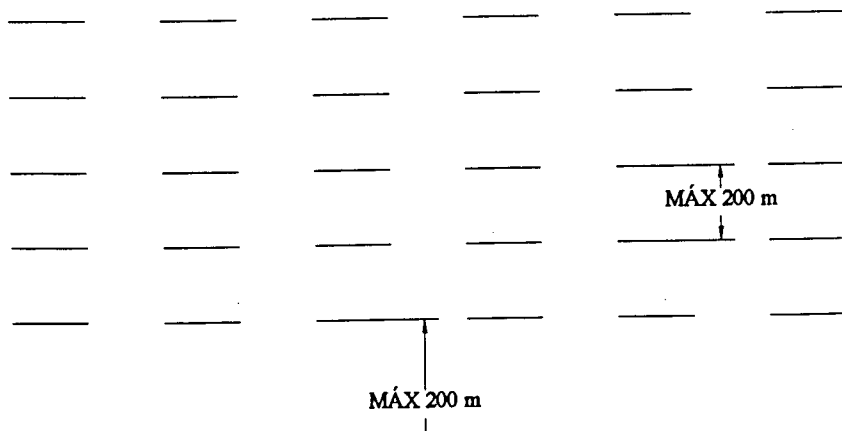
A altura de cálculo assim determinada permite quantificar a rugosidade local, através do Quadro 6.3, a qual, em conjunto com um factor topográfico (Quadro 6.4) possibilita o calculo dum factor de correcção do índice de chuva incidente persistente (Quadro 6.5). O valor local do índice é então obtido através do produto do seu valor “ em campo aberto “ por aquele factor de correcção, e expresso em litro por metro quadrado.

No caso do índice de chuva incidente, o seu valor local é obtido através do produto do respectivo valor “ em campo aberto “ pela rugosidade e pelo factor topográfico, sendo também expresso nas mesmas unidades.

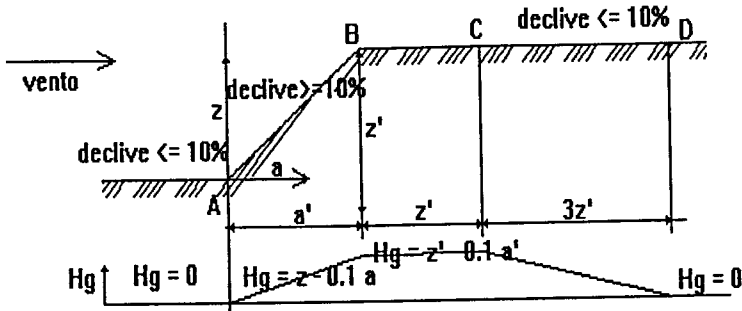
a) classe de obstrução 3



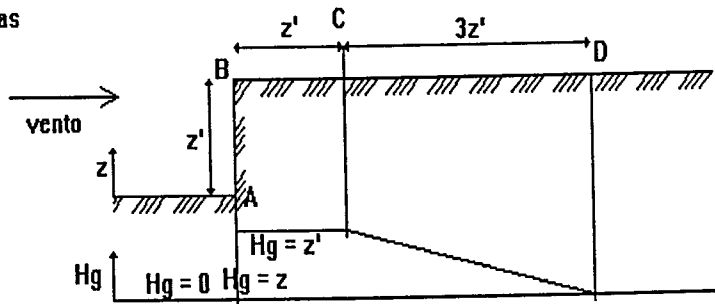
b) classe de obstrução 2



a) escarpas



b) falésias



c) colinas

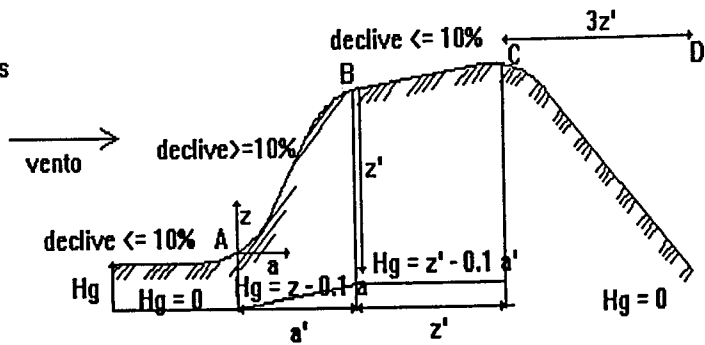


Figura 6.5. Determinação do factor de correcção da altura em terrenos inclinados

Quadro 6.3. Valores da rugosidade R

Altura de cálculo Hce	Classe de obstrução			
	0	1	2	3
m				
200 a 300	1.82	1.78	1.76	1.70
150 a 200	1.72	1.66	1.61	1.54
100 a 150	1.65	1.58	1.52	1.44
75 a 100	1.56	1.48	1.39	1.30
50 a 75	1.50	1.41	1.31	1.22
40 a 50	1.42	1.31	1.21	1.10
30 a 40	1.37	1.27	1.15	1.05
25 a 30	1.32	1.21	1.08	0.98
20 a 25	1.28	1.17	1.04	0.93
17½ a 20	1.25	1.13	0.99	0.89
15 a 17½	1.22	1.10	0.97	0.86
12½ a 15	1.20	1.07	0.94	0.83
10 a 12½	1.17	1.04	0.90	0.79
7½ a 10	1.13	1.00	0.86	0.75
5 a 7½	1.07	0.94	0.80	0.72
2½ a 5	1.00	0.88	0.74	0.69
0 a 2½	0.94	0.83	0.68	0.65
-2½ a 0	—	—	—	0.62
-5 a -2½	—	—	—	0.58
-7½ a -5	—	—	—	0.56
-10 a -7½	—	—	—	0.54
-12½ a -10	—	—	—	0.52
-15 a -12½	—	—	—	0.50
-17½ a -15	—	—	—	0.47
-20 a -17½	—	—	—	0.45
-20	—	—	—	0.42

Quadro 6.4. Valores do factor topográfico T

Tipo de topografia	Factor topográfico T
Vales ou conjunto de edificios susceptíveis de canalizarem o vento	1,2
Vales muito protegidos do vento	0,8
Todas as outras situações	1,0

Quadro 6.5. Valores do factor de correcção S do índice de chuva persistente

R.T.	S
1.9 a 2.1	2.25
1.7 a 1.9	1.98
1.5 a 1.7	1.73
1.35 a 1.5	1.54
1.25 a 1.35	1.37
1.15 a 1.25	1.25
1.05 a 1.15	1.12
0.95 a 1.05	1.00
0.85 a 0.95	0.89
0.75 a 0.85	0.76
0.65 a 0.75	0.63
0.55 a 0.65	0.47
0.45 a 0.55	0.32
0.35 a 0.45	0.18

6.2.2.3 - LIMITAÇÕES DE APLICAÇÃO

Segundo Henriques(Henriques, 1993), apesar da relativa sofisticação do método britânico de quantificação da chuva incidente e do facto de constituir presentemente a melhor aproximação ao problema, ele contém algumas limitações importantes, as quais condicionam em última análise os resultados obtidos através da sua aplicação.

No campo dos dados de base - os índices calculados em condições “de campo aberto” - verifica-se a existência de três pontos que merecem reservas na sua formulação

actual, sendo susceptíveis, se corrigidos adequadamente, de conduzir a resultados mais aproximados à realidade.

Esses três aspectos merecedores de algumas críticas são os seguintes:

- relação entre os valores dos índices (em m^2/s) e quantidades correspondentes de chuva em superfície vertical (em l/m^2);
- factor de eficiência de recolha: forma como foi obtido e aplicação apenas no cálculo do índice de chuva incidente persistente.
- utilização de períodos de duração superior a 96 horas sem precipitação significativa, como critério para a definição dos períodos contabilizáveis para o cálculo do índice de chuva incidente persistente.

O objectivo final dos dois índices de chuva incidente é sempre quantificar a chuva incidente em superfícies verticais e expressá-la em unidades tais que permitam, não só uma avaliação comparativa entre os vários valores - como aconteceria se utilizasse apenas como unidade m^2/s sem qualquer outra relação -, mas também um conhecimento das quantidades de água da chuva que, na realidade, atingem as paredes, para a partir daí se poder estimar a capacidade impermeabilizante do revestimento.

O conhecimento da relação entre os índices e as respectivas quantidades de água surge assim como um dado essencial. A relação usada presentemente foi obtida por Lacy em 1965 com base em valores de índices e das correspondentes quantidades de chuva em superfície vertical obtidas através duma expressão empírica e não de um estudo experimental.

6.2.3 - APLICAÇÃO AO CASO PORTUGUÊS

A primeira tentativa de aplicação do conceito de índice de chuva incidente em Portugal deve-se a J. Vasconcelos Paiva, em 1969 como foi referido anteriormente, que propôs em 1969 um zonamento do território com base nos conhecimentos mais actualizados disponíveis na época. Esse zonamento, expresso em termos de graus de exposição das paredes à chuva incidente, era baseado em índices calculados através dos

somatórios dos produtos da intensidade de precipitação pela velocidade do vento médias mensais no período 1931 - 1960.

A prossecução normal dos trabalhos permitiu entretanto calcular índices de chuva incidente e de chuva incidente persistente para nove estações meteorológicas nacionais no período 1979 - 1990, a partir dos registos disponíveis. Os resultados obtidos para a zona do Porto, através da aplicação dos critérios definidos em publicações inglesas a seguir referidas, são apresentados nas figs. 6.6 e 6.7, expressos através de rosetas direccionais, incluindo-se nos quadros 6.6 e 6.7, os respectivos valores em m^2 / s .

Com o objectivo de permitir a comparação entre os índices direccionais calculados com dados horários e omnidireccionais determinados com base em valores médios mensais, procedeu-se à quantificação destes tipos de índices utilizando a informação horária disponível. Para esse efeito foram quantificados os valores médios mensais da intensidade de precipitação e da velocidade do vento no período 1979 - 1990, tendo-se calculado os respectivos índices de chuva incidente através dos somatórios dos produtos mensais daqueles dois valores. Utilizando a mesma técnica, foram também determinados os índices de chuva incidente para a estação em análise, com recurso aos valores médios mensais do período de trinta anos entre 1951 e 1980.

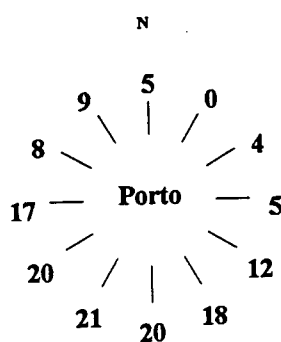


Figura 6.6. Roseta do índice de chuva incidente para a estação meteorológica do Porto

Na conversão dos valores dos índices direccionais (D_{θ}) para omnidireccionais (D_T) foi utilizada a expressão proposta por Prior (Prior, 1985).

$$D_T = \frac{\pi}{12} \sum_{\theta=1}^{12} D_{\theta}$$

A comparação entre aqueles três tipos de valores omnidireccionais é apresentada no quadro 6.8, no qual os índices obtidos a partir de registos horários se designaram por “Real” e “Calculado”, respectivamente no caso de serem calculados com registos médios mensais e segundo a expressão anterior, apresentando-se na coluna “Real/Calculado” a relação entre estes dois tipos de determinações.

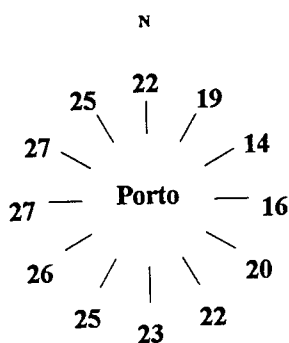


Figura 6.7. Roseta do índice de chuva incidente persistente susceptível de ser excedido uma vez em três anos, para a estação meteorológica do Porto

Através da análise do quadro referido, pode concluir-se que a expressão de conversão utilizada não fornece resultados credíveis para a amostra considerada, conduzindo a valores, em média, 32 % mais elevados do que os correspondentes calculados com valores médios no mesmo prédio. A comparação destes últimos com os determinados no período 1951 - 1980 mostra que estes são, em geral, 18 % mais elevados.

Quadro 6.6. Valores do índice de chuva incidente (m²/s) na estação meteorológica do Porto (1979/90)

Estação	Azimutes (°)											
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Porto	0.40	0.50	0.92	2.07	3.90	5.22	5.51	4.98	3.58	2.19	1.45	0.86

Quadro 6.7. Valores do índice de chuva incidente persistente (m²/s) susceptíveis de serem excedidos uma vez em três anos para a estação meteorológica do Porto (1979/90)

Estação	Azimutes (°)											
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Porto	0.14	0.08	0.11	0.16	0.19	0.22	0.29	0.30	0.34	0.35	0.27	0.20

Quadro 6.8. Índices de chuva incidente omnidireccionais (m²/s)

Estação	Valores horários			Valores médios anuais
	Real	Calculado	Real/Calculado	
Porto	6.27	8.27	0.76	6.53

Embora, segundo Henriques (Henriques, 1993a), a comparação real entre os valores dos índices calculados com valores horários e anuais seja difícil dado que uns são direccionais e outros omnidireccionais, a amostra analisada por (Henriques, 1993a) permite concluir que os últimos sobrevalorizam a incidência da chuva em paredes em relação aos primeiros entre 12 % e 39 %, conforme os casos.

Conforme expõe (Henriques, 1993) , podemos encarar o problema do calculo da chuva incidente por outro prisma, ou seja, na ausência de vento, e em regime estacionário, uma gota de chuva tende a cair na vertical por acção da gravidade, opondo-se-lhe a resistência do ar. A força do vento, quando presente, altera a trajectória das gotas de chuva,

fazendo-as cair segundo uma nova direcção cujo ângulo com a vertical é função da maior ou menor intensidade do vento.

Em cada instante, a intensidade da chuva incidente sobre uma superfície vertical P_v , para um vento com uma intensidade V e uma precipitação em superfície horizontal P , é dada pela relação

$$P_v = 1 / V_t \cdot P \cdot V \quad (1)$$

em que V_t é a velocidade terminal das gotas de chuva, função da dimensão das gotas.

Se atendermos a todas as formas de quantificação dos principais intervenientes na estanqueidade das paredes dos edifícios, e tomarmos em atenção o trabalho que (Eppell, 1981), Marsh (1977) apresentou o sistema da classificação da exposição em uso na Grã Bretanha

Quadro 6.9. Classificação da exposição em função do índice de chuva incidente

Exposição	Índice de Chuva Incidente
Abrigo	até 3m ² /s
Moderado	3m ² /s - 7m ² /s
Severo	7m ² /s - 20m ² /s

poderemos ter um conjunto de informação, complementada com a classificação qualitativa efectuada pelas normas DIN 18550 e BS 5262, apresentados nos quadros 6.10 e 6.11.

Quadro 6.10. Classificação das condições de exposição dos Revestimentos externos das fachadas segundo a norma DIN 18550 Part 1 (Gomes, 1995)

CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO DIN 18550 PART 1				
Parâmetros	Analisados	Condições amenas	Condições moderadas	Condições severas
Da região	ventos	pouco	moderado	intenso
	chuvas	precipitação anual < 600 mm	precipitação entre 600 mm e 800 mm	precipitação > 800 mm ou regiões de vento forte
	localização geográfica	-----	-----	qualquer
Do edifício	altura	elevada com protecção	elevada sem protecção	qualquer sem protecção
	exposição a chuva e vento forte	baixa	média	total
	Protecção do projecto e de prédios vizinhos	condições excepcionais de protecção	Boas condições de protecção	nenhuma condição de protecção

A classificação das condições de exposição dos revestimentos externos da fachada é também efectuada segundo a norma BS - 5262; e a norma DIN 18550 Part 1, analisando os parâmetros próprios da região e do edifício em função das condições climáticas com ocorrência predominante

Quadro 6.11. Classificação das condições de exposição dos Revestimentos externos da fachada segundo a norma BS - 5262

CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO BS - 5262				
Parâmetros	Analisados	Condições amenas	Condições moderadas	Condições severas
Da região	chuvas	baixo índice pluviométrico	chuvas moderadas	região chuvosa
	ventos	fracos	moderadas	fortes
	localização geográfica	qualquer	qualquer	montanha costa
Do edifício	altura	elevada com protecção	elevada sem protecção	qualquer sem protecção
	exposição a chuva e vento forte	baixa	moderada	total
	protecção do projecto e de prédios vizinhos	Parede protegida	Parede parcialmente protegida	Parede desprotegida

Podemos (Lucas, 1990a) considerar a classificação para as classes mínimas das paredes de alvenaria a adoptar, (DTU 20.11), em função das condições de exposição à chuva , estão especificadas no quadro (6.11), para paredes com o paramento exterior não revestido e no quadro (6.12), para paredes em que nos paramentos exteriores exista um revestimento tradicional.

As situações a, b, c, d referidas nesses quadros têm o seguinte significado:

- a) edificios localizados no interior de zonas urbanas, com aproximadamente 50% dos edificios existentes com mais de três andares
- b) edificios localizados no interior de zonas urbanas médias ou pequenas, ou na periferia de zonas urbanas
- c) edificios localizados em zonas rurais
- d) edificios localizados junto ao mar, com afastamento da costa a definir em função da cerca e do clima específico de cada local; (Lucas, 1990a) aponta que este limite deve ser, nas condições mais favoráveis, pelo menos igual a quinze vezes a altura do edificio acima do solo, podendo nas zonas particularmente expostas, atingir 5

a 10 km, como é o caso Português em que o RSA estipula para solicitação especial em relação ao vento 5 km.

Numa parede de um edifício podem coexistir zonas de classes diferentes, adequadas à severidade da exposição correspondente aos diferentes níveis de altura do edifício.

Quadro 6.12. Classes mínimas de paredes de alvenaria em função das condições de exposição à chuva - com o paramento exterior não revestido

Altura de parede acima do solo (m)	Situações a, b, c		Situação d		
	Paredes abrigadas	Paredes não abrigadas	Paredes abrigadas	Paredes não abrigadas	
				Litoral excepto orla marítima	Orla marítima
<6	IIA (*)	IIA (*)	IIA (*)	IIB	III
6 a 18	IIA (*)	IIA	IIA (*)	IIB	III
18 a 28	IIA (*)	IIB	IIA (*)	III	III
28 a 50		(**)		(**)	(**)
50 a 100		(**)		(**)	(**)

(*) - admite-se excepcionalmente a paredes da classe I desde que devidamente justificado

(**) - casos correspondentes a condições excepcionais a necessitarem de estudo individualizado

Quadro 6.13. Classes mínimas de paredes de alvenaria em função das condições de exposição à chuva - com o paramento exterior com um revestimento tradicional

Altura de parede acima do solo (m)	Situações a, b, c		Situação d		
	Paredes abrigadas	Paredes não abrigadas	Paredes abrigadas	Paredes não abrigadas	
				Litoral excepto orla marítima	Orla marítima
<6	I	I ou IIA (**)	I	IIA	IIB
6 a 18	I	IIA	I	IIA	IIB
18 a 28	I (*)	IIA	I (*)	IIB	III (***)
28 a 50		IIA ou IIB (**)		III	III
50 a 100		III ou IV (**)		IV	IV

(*) - fachadas das varandas não podem, em geral, ser consideradas como abrigadas

(**) - a opção por uma ou outra classe, depende do revestimento do revestimento exterior utilizado

(***) - as condições climáticas podem tornar possível a admissão de paredes da classe IIB

6.2.4. CONCLUSÕES PRÉVIAS

Vimos neste capítulo, quais os principais factores que influenciam o comportamento higrométrico de um revestimento de fachada.

Verificámos que poderemos calcular a pressão do vento que incide sobre um ponto de uma fachada de um edifício, baseando-nos na legislação em vigor e nos documentos técnicos anteriormente citados.

Pudemos também aferir das dificuldades com que nos deparamos para a determinação dos índices de chuva incidente e incidente persistente, uma vez que o trabalho de zonamento climático do país é escasso, restritivo e desactualizado.

No entanto, de posse dos dados existentes para alguns locais, podemos calcular esses índices.

Vimos dois exemplos do tipo de classificação qualitativa que se poderá efectuar em relação à exposição dos revestimentos externos de fachada.

No capítulo anterior, abordámos o problema da classificação dos materiais em função dos seus coeficientes de capilaridade / absorção e da sua permeabilidade líquida.

Em função da análise deste conjunto de factores que podemos calcular e / ou quantificar, parece-nos que uma das metodologias possíveis para a elaboração de um método exigencial de selecção de materiais, para revestimento de fachadas, em relação ao seu comportamento à água, será o que apresentamos no quadro 6.14. Este método passaria pela classificação do material a utilizar, através do seu coeficiente de capilaridade / absorção e do seu fluxo de difusão líquida, em função da solicitação climática a que forem expostos, solicitação esta aqui definida através da pressão do vento e dos índices de chuva anteriormente citados.

Quadro 6.14. Proposta de método exigencial para selecção de materiais de revestimento de fachada, em função do seu comportamento à água

Chuva	ICl ₁		ICl ₂		ICl ₃		...	ICl _n	
Vento	ICP >	ICP <	ICP >	ICP <	ICP >	ICP <	...	ICP >	ICP <
P ₁	F 1.1 -	F 1.1 +	F 1.2 -	F 1.2 +	F 1.3 -	F 1.3 +	...	F 1.n -	F 1.n +
	C 1.1 -	C 1.1 +	C 1.2 -	C 1.2 +	C 1.3 -	C 1.3 +	...	C 1.n -	C 1.n +
P ₂	F 2.1 -	F 2.1 +	F 2.2 -	F 2.2 +	F 2.3 -	F 2.3 +	...	F 2.n -	F 2.n +
	C 2.1 -	C 2.1 +	C 2.2 -	C 2.2 +	C 2.3 -	C 2.3 +	...	C 2.n -	C 2.n +
P ₃	F 3.1 -	F 3.1 +	F 3.2 -	F 3.2 +	F 3.3 -	F 3.3 +	...	F 3.n -	F 3.n +
	C 3.1 -	C 3.1 +	C 3.2 -	C 3.2 +	C 3.3 -	C 3.3 +	...	C 3.n -	C 3.n +
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
P _n	F n.1 -	F n.1 +	F n.2 -	F n.2 +	F n.3 -	F n.3 +	...	F n.n -	F n.n +
	C n.1 -	C n.1 +	C n.2 -	C n.2 +	C n.3 -	C n.3 +	...	C n.n -	C n.n +

- em que:
- ICI - índice de chuva incidente
 - ICP - índice de chuva persistente
 - p - pressão do vento
 - F - fluxo de difusão líquida
 - C - coeficiente de capilaridade / absorção

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSÕES

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.2. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

7.3. PERSPECTIVAS FUTURAS

7 - CONCLUSÕES

7.1.- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao terminar este trabalho, consideramos que os objectivos fundamentais que nos propusemos tratar foram atingidos, pese embora a dificuldade sentida na caracterização climática da área geográfica que nos propusemos tratar, por falta de dados actualizados sobre os factores que nos interessariam para o presente estudo, e a dificuldade sentida na complexidade da conjugação, no espaço temporal deste trabalho, dos muitos factores para que se possa chegar a um método exigencial, ficando apenas, neste sentido um pequeno contributo para um trabalho futuro.

Será de salientar o facto de o presente estudo se direccionar para o melhor conhecimento dos materiais, que constituem o revestimento exterior das fachadas dos edificios, e não para o todo constituído pelas diferentes camadas, e seus interfaces, por que é formada uma parede.

7.2. - ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Na sequência dos estudos efectuados e dos ensaios realizados, podemos apontar como conclusões mais significativas sobre o comportamento dos materiais, que constituem o revestimento exterior das fachadas dos edificios, face à absorção de água por capilaridade e à permeabilidade líquida, as seguintes:

- O conhecimento da estrutura porosa dos materiais que são regularmente usados em revestimentos de fachada revela-se como um dado fundamental para o entendimento das suas características físicas essenciais que condicionam o comportamento face à humidade, bem como para uma selecção criteriosa de um tratamento por emulsão repelente de água a aplicar.

- O comportamento à água de um material, quando aplicado como revestimento de fachada, está condicionado pela sua capacidade de absorção por capilaridade e pela sua permeabilidade líquida. Esta última característica, revela-nos conjuntamente com o fluxo de água que passa através desse material, a velocidade de avanço da frente húmida, que se

pode revelar de extrema importância no estudo a realizar em função da duração dos ciclos pluviométricos.

- Para a caracterização da absorção por capilaridade de um material, quando aplicado como revestimento de fachada, parece-nos depois de realizado este trabalho, mais correcta a utilização do modelo seguido pela norma DIN, pelas razões já expostas no ponto 5.5 deste texto.

- Uma impregnação com um hidrorrepelente apropriado ao tipo de material a utilizar, confere ao material características de protecção em relação à penetração da água, o que em relação a determinados materiais - sendo na nossa amostra o exemplo mais flagrante o tijolo maciço - os pode viabilizar para a realização de funções de revestimento de fachada.

- O cuidado a pôr na aplicação de materiais, quando usados como revestimento de fachada ou mesmo como simples guarnecimento de vãos, (do tipo dos mármore estudados) implica um cuidadoso ensaio prévio para determinar o tipo de hidrorrepelente mais aconselhado para cada caso.

- De notar o bom comportamento do reboco monocamada, ensaiado, apresentando valores dos índices de capilaridade e de permeabilidade que o tornam apto, se encarado só por si, a desempenhar papeis de excelente revestimento em situações com solicitações climáticas bastante exigentes.

7.3. - PERSPECTIVAS FUTURAS

Como foi referido no início do presente trabalho, procurou-se, também, deixar um pequeno contributo para um trabalho futuro conducente à elaboração de um método exigencial de revestimentos de fachada face à humidade.

Para tal, e no que se refere a investigação e recolha de dados de base, consideramos que seria importante desenvolver os seguintes aspectos:

- É necessário e urgente uma actualização do zonamento climático do país em relação aos valores climáticos que Paiva (Paiva, 1969) efectuou, e que se demonstram fundamentais para que se possa efectuar um correcto estudo do comportamento higrotérmico dos edificios em função das zonas climáticas em que se inserem, e seja assim, também, possível rever mais pormenorizadamente alguma legislação portuguesa nesta área.

- O desenvolvimento de um modelo que conjugue os dados climatológicos locais, os mecanismos de transferência de humidade e as características físicas , já referenciadas, dos materiais de revestimento de fachada, será um estudo profundo a realizar e para o qual esperamos este texto seja um pequeno contributo. No entanto o estado de conhecimento a atingir, no limite, na nossa opinião, será mais ambicioso e terá de conjugar o atrás referido, integrado no seu conjunto próprio, ou seja o modelo da parede e classificá-la em função das diferentes solicitações climáticas.

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Beguin, Dominique; Informação científica e técnica; ÉTUDE POUR LA FRANCE DU RISQUE DE MOUILLAGE PAR LA PLUIE DES PAROIS VERTICALES DES CONSTRUCTIONS; Octobre 1986; Paris; C.S.T.B., livraison 273 - cahier 21
- Collombet. Raymond; L'HUMIDITÉ DES BÂTIMENTS ANCIENES. CAUSES ET EFFECTS. DIAGNOSTIC ET REMÉDES; 1989; Paris; Editions Moniteur
- CSTB; Caheir technique 2669; CERTIFICATION CSTB DES ENDUITS MONOCOUCHEs D'IMPERMEABILISATION; Agosto 1993; Paris; CSTB
- CSTB; Cahier Technique 1778 / 1779; ENDUITS EXTÉRIEURS D'IMPERMEABILISATION DE MUR À BASE DE LIANTS HYDRAULIQUES; Junho de 1982; Paris; CSTB
- CSTB; Document Technique Unifié 20.1; PAROIS ET MURS EN MAÇONNERIE DE PETITS ÉLÉMENTS; Setembro 1985; Paris; CSTB
- CSTB; Document Technique Unifié 26.1; ENDUITS AUX MORTIERS DE CEMENTS, DE CHAUX ET DE MÉLANGE PLÂTRE ET CHAUX AÉRIENE; Maio 1990; Paris; CSTB
- CSTB; Document Technique Unifié 36.1 / 37.1; CHOIX DES FENÊTRES EN FUNCTION DE LEUR EXPOSITION; maio 1974; Paris; CSTB
- CSTB; CLASSIFICATION DES CARACTERISTIQUES DES ENDUITS MONOCOUCHEs; 1990; Paris; CSTB, Les Cahiers Techniques des Batiments n° 118
- CSTB; NOTE D'INFORMATION SUR LES CARACTÉRISTIQUES ET LE COMPORTEMENT DES ENDUITS EXTERIEURS D'IMPERMEABILISATION DE MUR À BASE DE LIANTS HYDRAULIQUES; Juin 1982; Paris; CSTB, cahier 1778-1779
- CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO SOBRE REVESTIMENTOS DE PAREDES; Nov 1990; Lisboa; LNEC
- Decreto Lei RSIEH; REGULAMENTO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO; Lisboa;
- Eppell, J.; Artigo; RAIN PENETRATION OF MASONRY; March 1981; Ottawa; Second Canadian Masonry Symposium

- Flori, Jean-Paul; Artigo; LE MOUILLAGE ET LE SÉCHAGE DES MURS, LES EFFETS DU CLIMAT; Aout 1989; Paris; C.S.T.B., Magasine nº 26
- Freitas, Vasco Peixoto; COMPORTAMENTO À HUMIDADE DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS; 1986; Porto; 2ª Jornadas de Física e tecnologia dos edificios - FEUP
- Freitas, Vasco Peixoto; Tese de Doutoramento; TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE EM PAREDES DE EDIFÍCIOS; 1992; Porto; FEUP
- Gomes, Abdias Magalhães; Tese de Doutoramento; CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS TRADICIONAIS UTILIZADAS NOS REVESTIMENTOS EXTERIORES DE EDIFÍCIOS; Junho de 1995; Lisboa; IST
- Grunau, E.B.; Livro; LA LUTTE CONTRE L'HUMIDITÉ DANS LES FAÇADES; 1970; Paris; Editeur E'yrolles
- Hansen, Kurt Keilsgaard; Relatório Técnico; CURVAS DE ABSORÇÃO; Dezembro de 1986; Dinamarca; The Technical University of Denmark
- Henriques, Fernando A. M.; Tese de Doutoramento; ACÇÃO DA HUMIDADE EM PAREDES. FORMAS DE MANIFESTAÇÃO, CRITÉRIOS DE QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE SOLUÇÕES; 1993; Lisboa; LNEC
- Henriques, Fernando A. M.; Informação científica e técnica; QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE EM PAREDES; 1993 a ; Lisboa; LNEC
- Holm, Andreas H.; Publicação Técnica; ANALYSIS OF THE MOISTURE TRANSMISSION THROUGHOUT AN INTERFACE; 1995; Porto; FEUP
- Lacy, R. - Shellard, H.; Relatório técnico; AN INDEX OF DRIVING RAIN; Julho 1962; Londres; The meteorological magazine
- Lucas, José A. Carvalho; Informação científica e técnica; CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL DE REVESTIMENTOS PARA PAREDES DE ALVENARIA OU DE BETÃO; 1990; Lisboa; LNEC
- Lucas, José A. Carvalho; Informação científica e técnica; EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DE REVESTIMENTOS DE PAREDES; 1990 a ; Lisboa; LNEC
- Noma DIN 18550; PLASTERS, TERMINOLOGY AND REQUERIMENTS; Janeiro, 1985; Berlim;
- Norma Alemã - DIN 52 617; DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO; Maio 1987

- Norma Alemã - DIN 52 620; TESTE DO ISOLAMENTO TÉRMICO; DETERMINAÇÃO DE HUMIDADE EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO; Abril de 1991
- Norma BSI 5262; CODE OF PRACTICE. EXTERNAL RENDERED FINISHES; 1977; Londres
- Norma NF B 10.502; PRODUITS DE CARRIÈRES. PIERRES CALCAIRES. MÉSURE DE L'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITÉ; Mai 1980; Paris; Association Francaise de Normalisation (AFNOR)
- Paiva, J.V.; Tese; HUMIDADE NAS EDIFICAÇÕES; 1969; Lisboa; LNEC
- Perrin, B.; Tese; ETUDE DES TRANSFERTS COUPLÉS DE CHALEUR ET D'HUMIDITÉ EN MILIEUX POREUX NON SATURÉ; Janeiro 1983; Toulouse; Institut National Polytechnique
- Sacré, C.; Informação científica e técnica; ETUDE CORRELATIVE DE LA PLUIE ET DU VENT A LA STATION CLIMATOLOGIQUE DU C.S.T.B. NANTES; Décembre 1977; Nantes; C.S.T.B.
- Sacré, Christian; CONCOMITANCE DE LA PLUIE ET DU VENT EN FRANCE. APPROCHE STATISTIQUE; Septembre 1982; Paris; C.S.T.B, cahier 1792
- Sandin, K.; Artigo técnico; MASONRY WATER REPELLENTS; 1996; Sweden; Division of building materials, University of Lund
- Schwartz, B. - Kunzel, H.; CONDITIONS IMPOSED ON BUILDINGS BY DRIVING RAIN; Novembro de 1972; Stuttgart; BRE, Building Research Establishment
- Viegas, João Carlos - Brás, A.J. Oliveira; Informação Técnica; QUALIFICAÇÃO DE COMPONENTES DE EDIFÍCIOS. SELECÇÃO DE JANELAS EM FUNÇÃO DA SUA EXPOSIÇÃO; 1994; Lisboa; LNEC





FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000084520