

MÉTODO DE CAMPO PARA AVALIAR A CAPACIDADE
IMPERMEABILIZANTE DE REVESTIMENTOS DE PAREDE

- MÉTODO DO CACHIMBO -

ANTÔNIO EDUARDO POLISSENI

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Porto Alegre
Maio de 1986

**ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. José Miguel Aroztegui
Orientador



Prof. José C. Ferraz Hennemann
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

- Prof. José Miguel Aroztegui (Orientador)
Arquiteto pela Fac. Arquitetura de Montevideo
- Prof. Reinaldo Roesch da Silva
M.Sc. pela Universidade de Montreal
- Prof. Paulo R. Lago Helene
M.Sc. pela USP/SP

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. José Miguel Aroztegui pela orientação, incentivo e valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES pelo auxílio da bolsa de estudos.

Ao Prof. José C. Ferraz Hennemann, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo apoio.

À Universidade Federal de Viçosa pelo incentivo dado para a realização do curso de pós-graduação.

Ao Eng. Nelson Turik da Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC pela constante colaboração ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Aos engenheiros da COHAB-RS, Eng. Paulo Lermen e Eng. Vitor Hugo Linden pela contribuição quando das avaliações experimentais.

Aos companheiros do NORIE pelo apoio e incentivo nestes anos de convivência.

À Liliani Gaeversen pela datilografia.

À Juliana Zart Bonilha pela elaboração das Referências Bibliográficas.

À Ana M.B.Porcello, Janise S.G.da Costa e Carla S. Ferreira da Seção de Periódicos da UFRGS pelo apoio.

Ao Prof. Roberto Dalledone Machado, da Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio e incentivo.

À minha querida mãe e ao meu querido e saudoso pai pelos incentivos constantes a mim dedicados, desde os primeiros anos de minha vida.

Aos meus irmãos e amigos que muito me incentivaram.

À minha amada esposa Lúcia pelo carinho, paciência, compreensão e dedicação para comigo nestes anos do desenvolvimento do trabalho, apesar das inúmeras horas de convívio sacrificado.

À minha querida filhinha Izabela que com o seu ternó carinho de criança trouxe-me sempre estímulo para a realização do trabalho.

À Lúcia e Izabela com amor.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE FOTOS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE ANEXOS.....	xviii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1. As Inovações dos Revestimentos de Parede e as Exigências de Desempenho.....	1
1.2. Dificuldades e Insuficiências dos Métodos de Ensaio de Estanqueidade à Água Realizados em Revestimentos de Parede.....	2
1.3. Objetivos do Trabalho.....	3
1.4. O Desenvolvimento do Trabalho.....	3
CAPÍTULO 2 - UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES.....	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Os Corpos e a sua Estrutura.....	5
2.3. Física do Transporte de Umidade nos Materiais.....	8
2.3.1. Considerações iniciais.....	8
2.3.2. O teor de umidade.....	10
2.3.3. Mecanismo de deslocamento de umidade nos materiais.....	12
2.3.3.1. Transporte de vapor d'água por difusão.....	12
2.3.3.2. Transporte de vapor d'água por convecção.....	17
2.3.3.3. Transporte de água por capilari- dade.....	17
2.3.3.4. Transporte de água devido a for- ças externas.....	24

2.4.	Causas da Umidificação nas Edificações.....	25
2.4.1.	Umidade ascensional do solo.....	26
2.4.2.	Absorção e penetração de água de chuva.....	27
2.4.3.	Umidade de condensação.....	28
2.4.3.1.	A condensação superficial.....	29
2.4.3.2.	A condensação interna.....	33
2.4.4.	Umidade devido à higroscopicidade dos materiais.....	34
2.4.4.1.	Presença de sais minerais na superfície das paredes.....	35
2.4.5.	Umidade incorporada durante o processo de construção.....	36
2.5.	Umidade Acidental.....	37

CAPÍTULO 3 - ESTANQUEIDADE À ÁGUA DOS REVESTIMENTOS DE PAREDE.....

	PAREDE.....	39
3.1.	Considerações Iniciais.....	39
3.2.	Definições.....	39
3.2.1.	Paredes.....	39
3.2.2.	Revestimentos.....	40
3.3.	Avaliação do Desempenho.....	41
3.3.1.	Exigências do usuário.....	41
3.3.2.	Condições de exposição dos edifícios.....	43
3.3.2.1.	Desempenho dos revestimentos de parede.....	45
3.3.2.2.	Agentes de degradação dos revestimentos de parede.....	46
3.3.2.3.	Exposição da edificação ao vento e à chuva.....	46
3.3.3.	Requisitos e critérios de desempenho em relação à umidade.....	50
3.3.3.1.	Estanqueidade à água.....	50
3.3.3.1.1.	Recomendações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	50
3.3.3.2.	Durabilidade.....	52
3.3.4.	Métodos de avaliação de estanqueidade à água de paredes.....	54

3.3.4.1.	Métodos de ensaios preconizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	55
3.3.4.1.1.	Determinação da estanqueidade à água de paredes externas.....	55
3.3.4.1.2.	Ensaio para verificação "in situ" da permeabilidade à água de fachadas e divisórias.....	60
3.3.4.2.	Método de ensaio preconizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia-CIENTEC.....	63
3.3.4.3.	Método de ensaio preconizado pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB.....	66
3.3.4.4.	Método de ensaio preconizado pela American Society for Testing and Materials - ASTM.....	69
3.3.4.5.	Método de ensaio preconizado pelo British Standards Institution-BSI.....	72
3.3.4.6.	Método de ensaio preconizado pelo Building Research Institute - BRI.....	75

CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA IMPERMEABILIDADE DE UM REVESTIMENTO DE PAREDE PELO MÉTODO DO CACHIMBO.....		78
4.1.	Origem do Método.....	78
4.2.	O Método do Cachimbo.....	80
4.2.1.	Considerações iniciais.....	80
4.2.2.	Aparelhagem.....	81
4.2.3.	Procedimentos para a realização do ensaio.....	82
4.3.	Aplicações do Método do Cachimbo.....	83
4.3.1.	Considerações iniciais.....	83
4.3.2.	Avaliação da capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede.....	84
4.3.3.	Avaliação da durabilidade dos revestimentos de parede.....	87

4.3.4. Comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante, entre produtos de revestimentos de parede existentes no mercado.....	89
CAPÍTULO 5 - APLICAÇÕES PRÁTICAS UTILIZANDO-SE O MÉTODO DO CACHIMBO.....	
5.1. Introdução.....	91
5.2. Avaliações de Desempenho Realizadas no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	91
5.2.1. Considerações iniciais.....	91
5.2.2. Avaliações realizadas.....	92
5.2.2.1. Desempenho do "Produto 1".....	92
5.2.2.2. Desempenho do "Produto 2".....	102
5.2.2.3. Desempenho dos "Produtos 3, 4 e 5".....	105
5.2.2.4. Outras avaliações realizadas.....	106
5.3. Avaliação de desempenho realizada no Núcleo Habitacional Rubem Berta.....	110
5.3.1. Considerações iniciais.....	110
5.3.2. Avaliação realizada.....	113
5.3.3. Confronto entre resultados de ensaios: estanqueidade à água x Método do Cachimbo.....	113
5.4. Comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante, entre dois produtos de revestimentos de parede existentes no mercado.....	114
5.4.1. Metodologia aplicada.....	114
5.4.2. Análise estatística dos dados e resultados obtidos.....	115
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
ANEXO 1.....	130
ANEXO 2.....	133
ANEXO 3.....	136

LISTA DE FIGURAS

2.1.	Representação esquemática simplificada do átomo.....	6
2.2.	Representação esquemática dos estados físicos da matéria.....	7
2.3.	A estrutura molecular da água.....	8
2.4.	Diferentes categorias de poros.....	10
2.5.	Representação esquemática dos teores de umidade de um material.....	11
2.6.	Representação esquemática da difusão do vapor d'água...	12
2.7.	Tensão superficial.....	18
2.8.	Ligações superficiais que não estão equilibradas e que darão origem à tensão superficial.....	19
2.9.	Variação da tensão superficial da água com a varia- ção da temperatura.....	19
2.10.	Forças que agem sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido.....	20
2.11.	Formação do menisco quando a água entra em contato com a superfície de um sólido.....	22
2.12.	Altura da ascensão capilar da água entre duas superfícies.....	22
2.13.	Ângulo de contato entre o menisco d'água e uma superfície.....	24
2.14.	Forças que empurram a água pelas aberturas de uma parede.....	25
2.15.	Umidade relativa do ar (ψ) em função do teor de umidade do ar (x) e da temperatura do ar (θ).....	32
3.1.	Metodologia de avaliação de desempenho proposta pelo Conseil International du Bâtiment - CIB.....	40
3.2(a).	Fachadas de edifícios consideradas protegidas ou não do vento e da chuva.....	48
3.2(b).	Fachadas de edifícios que possuem guarda-cor- pos maciços ou vazados consideradas protegidas	

ou não do vento e da chuva.....	49
3.3. Possíveis variações do desempenho de um material ou componente ao longo do tempo, quando submetido a ação de agentes agressivos.....	53
3.4(a). Câmara de ensaio de estanqueidade à água usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	57
3.4(b). Esquema de funcionamento da câmara de ensaio de estanqueidade à água usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	58
3.4(c). Vista lateral e corte vertical da câmara de ensaio de estanqueidade à água usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	59
3.5(a). Câmara para ensaio de permeabilidade "in situ" em paredes, usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	61
3.5(b). Acoplamento da câmara de ensaio de permeabilidade "in situ" em paredes, usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	62
3.6. Câmara de ensaio de estanqueidade à água utilizada pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment-CSTB.....	67
3.7(a). Projeção isométrica da câmara de ensaio de estanqueidade à água preconizada pela American Society for Testing and Materials - ASTM.....	71
3.7(b). Esquema de funcionamento da câmara de ensaio de estanqueidade à água preconizada pela American Society for Testing and Materials - ASTM.....	72
3.8. Câmara de ensaio de estanqueidade à água preconizada pela British Standards Institution - BSI.....	75

4.1.	Disposição das pedras calcárias sobre o muro experimental do laboratório de Limelette, do Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC....	79
4.2.	Durabilidade de três resinas silicones pesquisadas pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC.....	80
4.3.	Cachimbo de vidro conforme especificação do Centre Scientifique et Technique de la Construction -CSTC.....	81
4.4.	Metodologia para avaliação da capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede, comparando resultados de ensaio obtidos no laboratório e canteiro de obras.....	86
4.5.	Curva hipotética da absorção média de água de um revestimento de parede ao longo do tempo, relativo à sua capacidade impermeabilizante, obtida pelo Método do Cachimbo.....	88
4.6.	Curvas hipotéticas de absorção média de água de uma parede sem revestimento e revestida com o "Produto A" e "Produto B" existentes no mercado, obtidas pelo Método do Cachimbo.....	89
5.1.	Curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.....	98
5.2.	Agregação das curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.....	99
5.3.	Curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 3 anos.....	101

5.4. Agregação das curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 3 anos.....	102
5.5. Curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 2", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.....	104
5.6. Agregação das curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 2", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.....	105
5.7. Absorção média de água obtida em paredes construídas com blocos de concreto sem revestimento e em paredes revestidas com argamassa (cimento: cal: areia), utilizando-se o Método do Cachimbo, no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	109
5.8. Absorção média de água obtida pelo Método do Cachimbo em parede de tijolo cerâmico revestida com o "Produto A" e "Produto B" (produtos a base de silicone), do prédio do Núcleo Orientado para Racionalização e Inovação da Edificação - NORIE.....	117

LISTA DE FOTOS

FOTO 1. Vista parcial do equipamento usado para a execução do ensaio de estanqueidade à água utilizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC.....	63
FOTO 2. Aparelhagem necessária para realização do ensaio para a verificação da impermeabilidade de um revestimento de parede através do Método do Cachimbo.....	82
FOTO 3. Vista parcial de um bloco de apartamentos do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	92
FOTO 4. Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 1" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	94
FOTO 5. Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 2" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	95
FOTO 6. Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 3" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	95
FOTO 7. Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 4" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	96
FOTO 8. Utilização do Método do Cachimbo para verificação da absorção d'água das paredes dos blocos de apartamentos (sem revestimento) no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	107
FOTO 9. Vista parcial do Núcleo Habitacional Rubem Berta.....	110
FOTO 10. Realização de ensaio utilizando o Método do Cachimbo, em uma parede externa de um bloco de apartamentos do Núcleo Habitacional Rubem Berta.....	113

FOTO 11. Avaliação da capacidade impermeabilizante entre o "Produto A" e o "Produto B" (a base de silicone), fabricados por empresas distintas, utilizando-se o Método do Cachimbo.....115

LISTA DE TABELAS

2.1. Dimensões dos poros, fendas ou trincas e rachaduras nos materiais.....	9
2.2. Valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de materiais de construção, em estado seco.....	14
2.3. Valores de permeabilidade e permeância ao vapor d'água de alguns materiais de construção.....	16
2.4. Pressão de saturação de vapor d'água (p') e o teor máximo de vapor d'água (x_s).....	31
3.1. Exigências do usuário.....	42
3.2. Agentes atuantes na edificação.....	44
3.3. Desempenho do corpo de prova padrão que serve de referência aos ensaios de estanqueidade à água realizados pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC.....	65
3.4. Resultados de ensaios de chuva artificial sobre paredes de alvenaria, em blocos cerâmicos vazados (15x20x40cm), realizados pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB.....	68
3.5. Classe do corpo de prova em relação a seu grau de estanqueidade à água, segundo o "Standard method of test for rain water penetration", preconizado pelo Building Research Institute - BRI.....	77
4.1. Confronto entre a realidade da execução de um ensaio de avaliação de desempenho da estanqueidade à água em revestimento de parede, realizado no laboratório e no canteiro de obras.....	85
5.1. Revestimentos de parede usados no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti na cidade de Canoas-RS.....	93
5.2. Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperis-	

mo de 8 meses.....	97
5.3. Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 3 anos.....	100
5.4. Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes revestidas com o "Produto 2", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.....	103
5.5. Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes externas dos edifícios de apartamentos e em paredes de áreas molháveis de casas e apartamentos (cozinha, banheiro e tanque), revestidas com os "Produtos 3, 4 e 5", no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.....	106
5.6. Resultados de avaliações realizadas em paredes de 12 casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, revestidas com argamassa (cimento: cal: areia), utilizando-se o Método do Cachimbo.....	108
5.7. Resultado do ensaio de estanqueidade à água realizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC, em painéis revestidos com produto a base de emulsão acrílica mais verniz, utilizado no Núcleo Habitacional Rubem Berta.....	112
5.8. Confronto entre resultados de ensaios: estanqueidade à água x Método do Cachimbo.....	114
5.9. Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em parede de tijolo cerâmico revestida por produtos a base de silicone (água-repelente), do prédio do Núcleo Orientado para Racionalização e Inovação da Edificação - NORIE.....	116

5.10. Comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante, entre dois produtos a base de silicone, utilizados como revestimentos de parede existentes no mercado.....118

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Dados relativos a falhas nas edificações.....	130
ANEXO 2 - Definições dos revestimentos de parede comumente usados em edificações, segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.....	133
ANEXO 3 - Agentes de degradação dos revestimentos de parede em: pinturas e argamassas.....	136

LISTA DE SÍMBOLOS

d' :	diâmetro de um poro (m)
d'' :	largura de uma fenda (m)
e :	espessura da parede (m)
e_i :	espessura da camada "i" que constitui a parede (m)
E :	eficácia inicial (%)
L_1 :	leitura de absorção média de água, para o tempo de ensaio correspondente à 15 minutos, da parede revestida com o produto que se está querendo testar (cm^3)
L_2 :	leitura de absorção média de água, para o tempo de ensaio correspondente à 15 minutos, da parede sem revestimento, e que serve de referência (cm^3)
N :	constante de difusão de vapor d'água no ar (S^{-1})
p_c :	força de aspiração ou expulsão capilar (Pa)
p_e :	pressão de vapor d'água externa (Pa)
p_i :	pressão de vapor d'água interna (Pa)
p' :	pressão de saturação do vapor d'água (Pa)
p :	pressão do vapor d'água (Pa)
P :	permeabilidade ao vapor d'água ($\text{kg} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$)
\overline{q}_m' :	densidade de fluxo de vapor ($\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)
v :	velocidade do vento (m/s)
W :	teor de umidade (kg / m^3)
W_m :	teor de umidade máximo que um material inorgânico pode conter (kg / m^3)
W_h :	umidade higroscópica (kg / m^3)
W_{cr} :	umidade crítica (kg / m^3)
W_c :	umidade capilar (kg / m^3)
x :	teor de umidade do ar (g/kg)
x_s :	teor máximo de vapor d'água (g/kg)
θ :	temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)
ϕ :	diâmetro (m)
σ :	tensão superficial (N/m)
Q :	umidade relativa do ar (%)
α :	ângulo de contato do menisco d'água com a superfície (grau)
μ :	coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (adimensional).

RESUMO

O objetivo desta dissertação é propor um método de avaliação do desempenho de produtos de revestimento (Método do Cachimbo), que possa ser utilizado no canteiro de obras, procurando desse modo adotar uma postura mais científica e realista, quanto à avaliação da capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede, uma vez que os produtos de revestimento são apenas testados, na melhor das hipóteses, em laboratório, o que tem frequentemente originado problemas patológicos nas habitações populares. Assim este trabalho vem atender à necessidade urgente de se introduzir métodos de avaliação adequados às inovações constantes nas técnicas de revestimento de parede.

No trabalho seqüencialmente são abordados: a origem da umidade nas edificações, a avaliação de desempenho relativa à estanqueidade à água dos revestimentos de parede enfocando-se as exigências do usuário, a exposição do revestimento às agressividades do meio ambiente, os requisitos e critérios de desempenho, bem como, um levantamento dos métodos de avaliação internacionalmente recomendados, para expor a seguir o desenvolvimento do Método do Cachimbo e suas aplicações práticas em especial.

As avaliações práticas foram realizadas fundamentalmente em núcleos habitacionais, que foram construídos recentemente ou ainda estão em execução e em paredes de testes existentes em laboratório, o que permitiu comparar resultados com outros métodos de avaliação.

Desta forma, o trabalho se enquadra nos esforços direcionados a propiciar a introdução de tecnologias inovadoras com garantia na qualidade da construção.

ABSTRACT

This study aims to introduce a new on site waterproofing evaluation method for coating and plastering building materials - the pipe method.

The work goes initially through a number of aspects related to moisture and watertightness of building construction as: building moisture causes; user requirements in connection to moisture; weathering conditions of the building environment; and performance requirements and evaluation methods as proposed by a number of international research organizations. Finally the work discusses the pipe method development and its application on a number of low-income housing building sites and laboratory test walls. The latter allowed comparisons of the results obtained through the pipe method with other more conventional evaluation tests.

It is envisaged that the new pipe method will be a handy tool for the speedy evaluation and control of existing and new coating and plastering materials. It brings an incentive for the establishment of quality assurance programs on building sites due to its low cost, easy of handling and immediate answers, as opposed to other more sophisticated laboratory methods.

1. INTRODUÇÃO

1.1. As Inovações dos Revestimentos de Parede e as Exigências de Desempenho

Com o crescimento acentuado nos últimos anos da população brasileira, principalmente nos grandes centros urbanos, surgiu a necessidade de aumentar o número de habitações e grandes programas habitacionais foram e estão sendo desenvolvidos pelo governo, com finalidade de atender ao déficit habitacional e ativar o setor da construção civil.

Em função de se tornar a obra mais econômica e de se construir mais rápido, na década de setenta começaram a surgir uma série de modificações no memorial descritivo padrão utilizado na construção de conjuntos habitacionais, tendo em vista as constantes pressões das firmas construtoras sobre os órgãos promovedores da política habitacional, como as COHAB, para a introdução de inovações.

As primeiras inovações surgidas foram as substituições do revestimento convencional das paredes (chapisco, emboço e reboco), por um revestimento de uma única camada e do tijolo cerâmico furado pelo bloco de concreto. No final da década de setenta, em um grande número de edificações, o revestimento tradicional das paredes foi suprido e a pintura passou a ser aplicada diretamente sobre a alvenaria.

A pintura externa era aplicada em uma parede de 20 cm de tijolo, mais 2,5 cm de revestimento de cada lado possuindo basicamente uma função estética. Quando passou a ser aplicada diretamente sobre a alvenaria assumiu, além de sua função estética, a função de garantir a estanqueidade à água da edificação⁴⁹.

A inovação construtiva de se aplicar uma pintura sobre a alvenaria, continua sendo prática atual. Como exemplo, a nível do estado do Rio Grande do Sul, podemos citar o Núcleo

Habitacional Ildo Menegheti, localizado na cidade de Canoas, onde 4036 casas e 2200 apartamentos estão sendo construídos por quatro construtoras sob a fiscalização da COHAB-RS. Para se ter uma idéia de números, 3046 casas e 1024 apartamentos possuem as paredes externas revestidas somente por uma pintura.

Portanto é fundamental, quando se pretende introduzir uma inovação no processo construtivo, como é o caso da utilização de pinturas aplicadas diretamente sobre a alvenaria, que se disponha de métodos de avaliação, que permitam verificar se o revestimento aplicado atende aos requisitos e critérios de desempenhos fixados, não apenas no momento de sua aplicação como também ao longo de um período de exposição ao intemperismo (sol, chuva, etc.).

1.2. Dificuldades e Insuficiências dos Métodos de Ensaio de Estanqueidade à Água Realizados em Revestimentos de Parede

De uma maneira geral, testes de estanqueidade à água em revestimentos de parede são realizados somente em laboratório, por meio da simulação de chuva e vento incidindo sobre uma das faces de uma parede, executada conforme especificação do memorial descritivo da obra.

No Brasil, podemos citar como exemplos o método de ensaio preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (Determinação da estanqueidade à água de paredes externas: ME-15²⁷), e o método de ensaio de estanqueidade à água preconizado pelo Departamento de Engenharia Estrutural da Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC¹⁹, localizada na cidade de Porto Alegre.

O meio técnico, como é o caso da COHAB-RS, carece no momento de ter um método de avaliação simples, que possa ser levado para o canteiro de obras e ser utilizado para a avaliação da impermeabilidade à água dos revestimentos de parede "in loco", completando assim o ensaio de estanqueidade à água realizada no laboratório, pois um revestimento pode ser considerado impermeável à água quando submetido a ensaio no labora-

tório, e por diversas razões, como a má aplicação do revestimento (variabilidade da mão-de-obra), modificações da qualidade do produto devido ao longo tempo de estocagem ou mal acondicionamento no canteiro de obras, não mais possuir a capacidade impermeabilizante quando aplicado sobre a alvenaria.

Outro ponto importante a ser considerado é o da durabilidade do revestimento empregado, como é o caso que ocorre no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti citado anteriormente; nem a COHAB-RS, nem os empreiteiros possuem condições de prever até quando os revestimentos aplicados nas paredes das casas e apartamentos cumprirão a função de estanqueidade à água, pois através do envelhecimento natural, provocado pelas condições de exposição do edifício, o revestimento perderá suas propriedades, principalmente a de ser capaz de impermeabilizar a alvenaria.

1.3. Objetivos do Trabalho

O presente trabalho tem por objetivo propor um método de avaliação (Método do Cachimbo), que possa ser utilizado para auxiliar os órgãos fiscalizadores no canteiro de obras, oferecendo condições para que se possa fazer a comparação entre resultados dos ensaios realizados para a verificação da impermeabilidade à água dos revestimentos de parede obtidos em laboratório, com os resultados obtidos "in loco"; bem como possibilitar o acompanhamento da variação da capacidade impermeabilizante dos revestimentos aplicados, através de medições periódicas ao longo do tempo.

O Método do Cachimbo também possibilitará a avaliação do desempenho de novos produtos de revestimentos de parede lançados no mercado.

1.4. O Desenvolvimento do Trabalho

No capítulo 2 são feitas considerações sobre o problema da umidade nas edificações, com o intuito de se conhecer o fenômeno da física da construção relacionada com a umidade.

No capítulo 3 é estudado a estanqueidade à água dos revestimentos de parede, baseado na metodologia de avaliação de desempenho proposta pelo "Conseil International du Bâtiment - CIB" enfocando-se:

- i) as exigências do usuário;
- ii) as condições de exposição do edifício;
- iii) os requisitos e critérios de desempenho relativos à umidade;
- iv) os métodos de avaliação de estanqueidade à água preconizados por centros de pesquisas.

No capítulo 4 é estudado o Método do Cachimbo onde é analisado o método de ensaio e suas possíveis aplicações práticas para se fazer a avaliação da impermeabilidade de um revestimento de parede.

No capítulo 5 é mostrada a sensibilidade do Método do Cachimbo através de avaliações de desempenho, realizadas em revestimentos de paredes já expostos ao intemperismo em canteiros de obras. Também é mostrada uma avaliação experimental, relativa à capacidade impermeabilizante entre dois produtos a base de silicone usados como revestimento de parede, encontrados no mercado e fabricados por empresas diferentes.

No capítulo 6 são mostradas as conclusões e recomendações do trabalho.

2. UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES

2.1. Introdução

A umidade nas construções representa um dos problemas de maior incidência dentro do campo da construção civil.

O presente capítulo tem por objetivo mostrar as principais causas de umidade nas edificações, apelando para isto a algumas referências da física da construção relacionada com a umidade. Este é um estudo de grande importância devido a presença constante de água em seus diferentes estados nas edificações, a qual dá origem com demasiada frequência a efeitos indesejáveis em relação à durabilidade e às condições de habitabilidade do edifício. Assim sendo, esses problemas têm despertado ampla atenção por parte dos diversos centros de pesquisas no mundo.

No Anexo 1 são apresentados alguns levantamentos de falhas nas edificações, em alguns países e no Brasil, relacionados com a umidade.

2.2. Os Corpos e a sua Estrutura

Para uma melhor compreensão do fenômeno da umidade é necessário que se tenha conhecimento da estrutura dos corpos.

Apelando para uma formulação simplificada, que ajude a compreensão, pode-se dizer que tudo o que se encontra ao nosso redor ocupando um lugar no espaço é denominado matéria.

Às porções limitadas de matéria denominamos corpos, os quais são constituídos de átomos e moléculas.

A noção de átomo e molécula resultou da evolução de hipóteses e teorias que começaram com os filósofos gregos. Para os nossos fins, enfocaremos o assunto de maneira simplificada com intuito de compreender as principais propriedades e estrutura dos corpos, embora não se corresponda estritamente

com as modernas formulações da teoria atômica.

O átomo^{2 3} corresponde à menor fração de um elemento químico capaz de entrar em combinação com outro elemento químico.

A molécula^{2 3} corresponde à menor porção de uma substância química e é capaz de existir independentemente conservando suas propriedades químicas.

Com excessão dos gases nobres, os átomos raramente ocorrem como partículas isoladas. Geralmente eles estão ligados a outros átomos, formando grandes ou pequenos grupos.

Os corpos simples, tais como o carbono, o oxigênio e o hidrogênio são constituídos de átomos iguais. Os corpos compostos, tais como a água, a argila, os materiais de construção, são constituídos de moléculas.

Os átomos são formados por partículas elementares. De uma forma simplificada podemos dizer que um átomo contém um núcleo em seu centro, que consiste de um conjunto de prótons e neutrons, enquanto que os elétrons estão em órbita ao redor desse núcleo. Um átomo isolado consiste quase que inteiramente de espaços vazios (vide FIGURA 2.1^{2 1}).

A carga elétrica resultante do próton, elétron e neutrón é respectivamente positiva, negativa e nula.

O volume ocupado por um átomo ou molécula em um corpo não pode ser ocupado em momento algum por outro átomo ou molécula deste corpo ou de um outro corpo qualquer; é a propriedade denominada de interpenetrabilidade⁸.

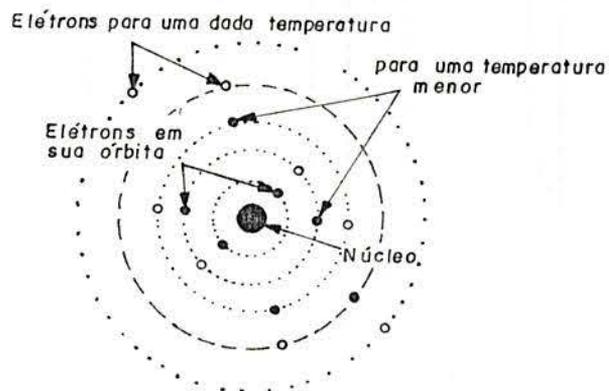


FIGURA 2.1 - Representação esquemática simplificada do átomo.

Os átomos e as moléculas não são propriamente sólidos e também não se encontram em contato físico nos corpos por eles formados.

A variação da temperatura de um corpo provoca um aumento ou uma redução do volume ocupado por este corpo, devido às alterações dos espaços interatômicos.

O valor da força de ligação interatômica que regula essas distâncias, diminui à medida que a temperatura se eleva e aumenta quando a temperatura diminui, fazendo com que essas distâncias se tornem menores ou maiores.

Os estados da matéria, sólido, líquido e gasoso, são definidos pelas quantidades de energia que os átomos ou moléculas possuam. Um aumento de temperatura determina um aumento da distância interatômica e provoca num certo momento uma troca de estado físico. A FIGURA 2.2²¹ mostra uma representação esquemática dos estados físicos da matéria.

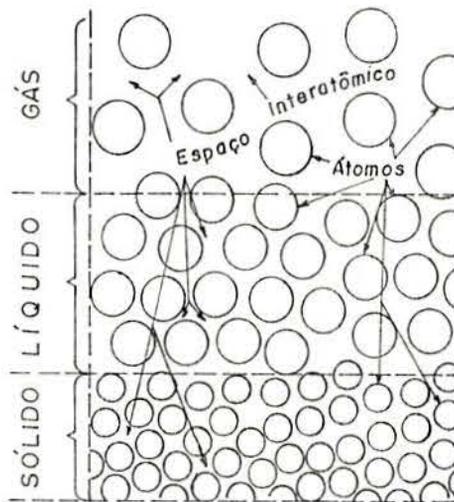


FIGURA 2.2 - Representação esquemática dos estados físicos da matéria.

As características de um corpo se modificam quando sob a influência de uma forma de energia, ocorrer o rompimento do equilíbrio entre as cargas elétricas positivas do núcleo e as cargas elétricas negativas dos elétrons, que gravitam ao redor do núcleo. Como resultado desse rompimento de equilíbrio, pode-se ter a origem de novos corpos.

Quando os átomos de oxigênio combinam com os átomos de hidrogênio tem-se a molécula de água originando-se a umidade. Desta maneira, o composto denominado água, é formado pela ligação covalente de dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio. O átomo de oxigênio compartilha um par de elétrons com cada um dos dois átomos de hidrogênio, formando-se então uma camada de oito elétrons no átomo de oxigênio. Da mesma forma, os átomos de hidrogênio ficam com as camadas completas com dois elétrons configurando assim uma situação de estabilidade (FIGURA 2.3^{2 3}).

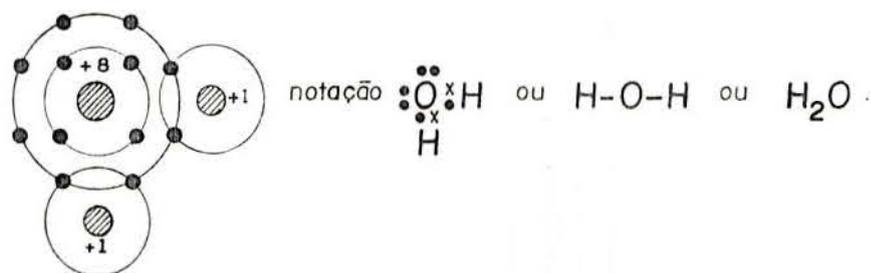


FIGURA 2.3 - A estrutura molecular da água.

2.3. Física do Transporte de Umidade nos Materiais

2.3.1. Considerações iniciais

A umidade é a presença de água nos materiais, podendo ocorrer simultaneamente nos seguintes estados físicos: líquido, vapor e sólido.

Os líquidos são fluidos incompressíveis que não apresentam estabilidade de forma; os vapores são fluidos elásticos que à temperatura ordinária, podem ser reduzidos totalmente ou parcialmente ao estado líquido^{1 2}.

Para que a umidade possa penetrar nos materiais, é necessário que existam poros acessíveis às moléculas d'água, fendas ou trincas em sua superfície.

Pode-se encontrar na literatura uma variedade de significados para as denominações do que seja um poro e uma fenda ou trinca de um material.

Os poros⁵² são entendidos por pequenos canais contínuos de seção circular.

As fendas ou trincas¹⁴ são consideradas como sendo aberturas entre duas superfícies.

As fendas ou trincas²² geralmente possuem largura compreendida entre $0,1$ e $1,0 \cdot 10^{-3}$ m.

GRATWICK²¹ define poro como sendo um espaço tubular fino, situado entre duas partes sólidas de um material, no qual a água pode penetrar. Os poros não devem ser confundidos com espaços intermoleculares, ou seja, aqueles que não podem ser ocupados por nenhuma matéria que represente um outro corpo independente.

A TABELA 2.1^{52,14}, apresenta uma síntese das dimensões adotadas para os poros, trincas ou fendas e rachaduras, para fins desta dissertação.

TABELA 2.1 - Dimensões dos poros, fendas ou trincas e rachaduras nos materiais.

Denominação	Dimensões
Poros	$0,28 \cdot 10^{-9} \text{ m} \leq \phi < 0,013 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Fendas ou trincas *	$0,013 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq \phi \leq 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Rachaduras	$\phi > 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

* As fendas ou trincas nos materiais também podem ser denominadas de fissuras.

MAMILLAM³³ apresenta seis categorias de poros que se pode encontrar nos materiais de construção:

- os poros circuitos;
- os poros sem saída;
- os poros fechados;
- os microporos;
- os poros canais;
- os poros na forma de bolsa.

A FIGURA 2.4³³ nos mostra cada uma das categorias dos poros relacionadas anteriormente.

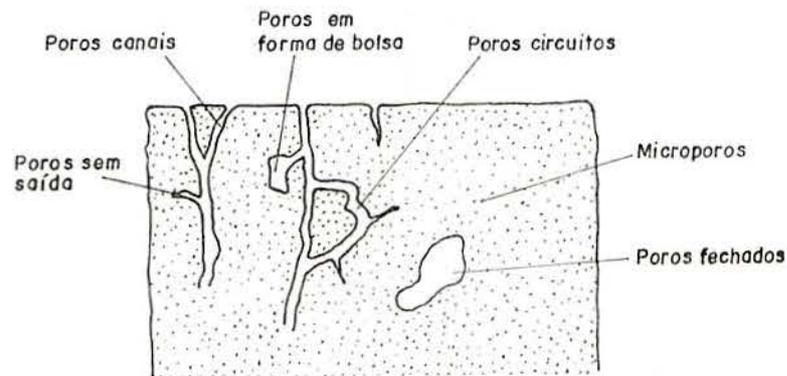


FIGURA 2.4 - Diferentes categorias de poros.

2.3.2. O teor de umidade

Quando os poros dos materiais estão preenchidos com água, gelo ou vapor d'água, se diz que o material apresenta um determinado teor de umidade⁵².

O teor de umidade máximo que um material pode conter é denominado de saturação (W_m). Quando o material atinge a saturação, os seus poros estão completamente cheios de água.

Os materiais porosos podem conter um teor de umidade compreendido entre 0 kg/m^3 até $W_m \text{ (kg/m}^3)$.

A FIGURA 2.5⁵² esquematiza os teores de umidade de um material onde se faz notar os seguintes teores de umidade:

- $0 \leq W \leq W_h$: É a chamada zona higroscópica. Conforme a umidade relativa do ar ambiente, o material terá um teor de umidade compreendido entre estes dois valores. A umidade higroscópica (W_h) é definida para uma umidade relativa igual a 98%. Caso o material tenha um teor de umidade próximo a zero ($W \approx 0$), diz-se que o material não é higroscópico.

- W_{cr} : Teor crítico de umidade: É o teor de umidade que caracteriza o transporte de água por capilaridade. Para um teor de umidade W , situado abaixo de W_{cr} , não existe transporte de água por capilaridade.

- W_c : Teor de umidade capilar: É o máximo teor de umidade que se pode encontrar em um material em contato com um plano de água.

- $W > W_c$: É um teor de umidade pouco provável de se encontrar na prática, devido a presença de ar dentro dos poros do material que não estão preenchidos com água.

- W_m : Teor máximo de umidade ou saturação: É o teor de umidade que só ocorrerá caso os poros do material sejam artificialmente preenchidos com água sob pressão. Na prática, o teor de umidade máximo ou saturação não ocorre jamais, pois é praticamente impossível preencher todos os poros do material com água sob pressão.

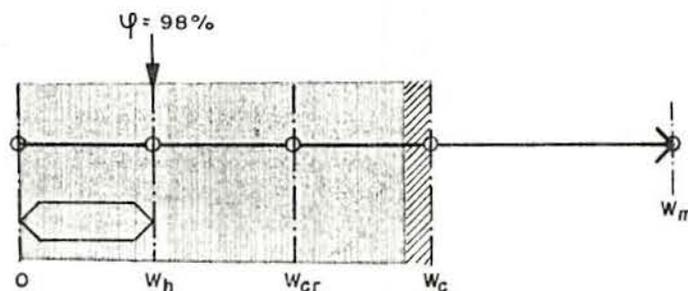


FIGURA 2.5 - Representação esquemática dos teores de umidade de um material.

2.3.3. Mecanismos de Deslocamento de Umidade nos Materiais

Quando alguma parte de um material contém um teor de umidade, esta apresenta a tendência de distribuir-se por toda sua massa.

As forças que causam esses deslocamentos, quando se trata do vapor d'água, são provocadas pela difusão e convecção e quando se trata da água, pela capilaridade e por forças externas⁵².

Uma pesquisa realizada por ANDERSSON⁴ em materiais com propriedades diferentes (concreto, com ar incorporado, tijolo maciço, madeira aglomerada e plástico celular), indicou que o mecanismo de deslocamento de umidade nestes materiais são diferentes, porém o aspecto das curvas experimentais (variação do teor de umidade x tempo) de cada um dos materiais, obtidas através de experimentos em laboratório são semelhantes.

2.3.3.1. Transporte do vapor d'água por difusão

A difusão do vapor d'água origina-se da diferença de concentração entre dois componentes da mistura gasosa: ar seco e vapor d'água.

A difusão do vapor d'água é um exemplo específico do princípio físico, segundo o qual, em uma mistura de gases que apresentam diferentes concentrações se produzirá um transporte de moléculas que permanecerá até o desaparecimento das diferenças de concentrações (vide FIGURA 2.6⁵²).

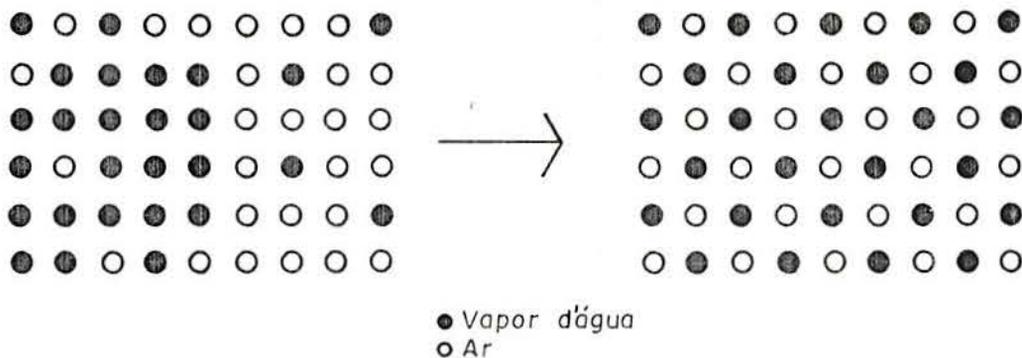


FIGURA 2.6 - Representação esquemática da difusão do vapor d'água.

Os materiais de construção de um modo geral, por mais impermeáveis que sejam, quando sujeitos a uma diferença de pressão de vapor, deixam passar o vapor d'água. A tendência de passagem do vapor d'água através dos elementos da construção é do ambiente mais quente para o mais frio, pois a pressão de vapor d'água do ar quente geralmente é superior a do ar frio⁵³.

O coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) indica o grau de dificuldade que o vapor d'água encontra para difundir-se no material comparado com a dificuldade que ele teria para atravessar uma camada de ar estacionária de mesma espessura, com temperatura e pressão totalmente idênticas. O valor de μ é adimensional.

A TABELA 2.2⁴⁰ fornece os valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de alguns materiais de construção.

A difusão do vapor d'água de um material poroso pode ser expressa matematicamente através da seguinte equação⁵²:

$$\bar{q}'_m = - \frac{l}{\mu \cdot N} \text{ grad } p \quad (2.1)$$

Onde \bar{q}'_m : densidade de fluxo de vapor ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$);
 N : constante de difusão de vapor d'água no ar;
aproximadamente igual a $5,4 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$;
 μ : coeficiente de resistência à difusão de vapor d'água;
grad p : gradiente da pressão em relação à espessura da parede.

TABELA 2.2 - Valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de materiais de construção, em estado seco.

Material		Densidade (kg/m ³)	Fator μ
Materiais de construção	Tijolos (lajotas)	1.360	6,8
		1.530 - 1.860	9,3 - 10
	Telhas	1.880	37 - 43
	Concreto	2.100	23
		2.300	30
	Telhas de fibro-cimento	1.920	51
Materiais isolantes	Espuma de poliuretano (sem pele)	50	5,3
	Espuma de poliestireno (styropor)	20	40 - 100
	Fibra de madeira prensada	460	6,8
	Cortiça expandida	100 - 140	5,0 - 30
	Lã de vidro	100 - 300	1,17 - 1,27
Barreira de vapor	Emulsão betuminosa com aplicação de asfalto quente		54.900 - 138.300
	Feltro asfáltico		3.640 - 18.280
	Papelão betuminado		11.620
	Filme plástico 25 g/m ² (0,025 mm)		32.600 - 65.000
	Lâmina de alumínio 40 g/m ²		infinito
	Pinturas de borracha clorada 0,1 mm		24.000 - 77.000
	Pintura com tinta óleo 0,1 mm		9.800 - 24.000
	Mastique asfáltico - base solvente		98.000
	Mastique asfáltico - base emulsão		4.434

Considerando-se uma difusão estacionária, onde a distribuição das temperaturas no interior do material não varia com o tempo, tem-se:

i) Para uma parede plana constituída de um só material⁵²:

$$\overline{q}_m = - \frac{l}{\mu \cdot N} \frac{p_e - p_i}{e} = \frac{p_i - p_e}{\mu \cdot e \cdot N} \quad (2.2)$$

Onde \overline{q}_m : densidade de fluxo de vapor (kg/m².s);
 e: espessura da parede (m);
 p_e: pressão de vapor d'água externa (Pa);
 p_i: pressão de vapor d'água interna (Pa).

ii) Para uma parede constituída de mais de uma camada de materiais⁵²:

$$\overline{q}_m = \frac{p_i - p_e}{\sum \mu_i \cdot e_i \cdot N} \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}); \quad (2.3)$$

Onde μ_i : coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água da camada "i" que constitui a parede;
 e_i: espessura da camada "i" que constitui a parede.

Através de métodos de laboratório, pode-se determinar a difusão do vapor d'água em materiais de construção como relata o método da ASTM E 96-80 - "Water vapor transmission of materials"³ e o proposto por DIAMANT¹⁴.

Num enfoque mais tradicional, pode-se definir ainda a permeabilidade (P) e a permeância ao vapor d'água de um material de construção.

A permeabilidade (P)⁵³, em kg.m/m².h.Pa, de um material, é a quantidade de umidade em quilogramas por hora e por metro quadrado de superfície de passagem, que atravessa um elemento de 1 m de espessura do mesmo por Pascal de diferença de pressão de vapor.

A relação entre a permeabilidade (P) (kg.m/m².h.Pa) do material e a sua espessura é denominada de permeância⁵³.

Na TABELA 2.4⁵³, encontramos os valores de permea-

bilidade e permeância de alguns materiais de construção

TABELA 2.3 - Valores de permeabilidade e permeância ao vapor d'água de alguns materiais de construção.

Material	Permeância (kg/m ² .h.Pa)	Permeabilidade (kg.m/m ² .h.Pa)
Ar	-	6,248x10 ⁻⁷
Blocos ocios de concreto	-	1,500x10 ⁻⁷
Cimento	-	4,125x10 ⁻⁹
Concreto 1:2:4	-	1,725x10 ⁻⁸
Cortiça	-	1,275x10 ⁻⁸
Estuque	-	5,250x10 ⁻⁸
Feltro asfáltico (1,8 a 3 kg/m ²)	2,850x10 ⁻¹⁰	-
Fibra-de-madeira	-	2,250x10 ⁻⁸ a 2,100x10 ⁻⁷
Fibrocimento	-	9,001x10 ⁻⁸
Lã-de-vidro	-	6,000x10 ⁻⁸
Lambri de pinho	-	6,000x10 ⁻⁹
Lã mineral	-	6,076x10 ⁻⁷
Madeira compensada	-	1,500x10 ⁻⁹
Papel de revestimento impregnado de asfalto	5,025x10 ⁻⁸	-
Parede de tijolos maciços	-	2,250x10 ⁻⁹ a 4,125x10 ⁻⁹
Parede de tijolos ocios	-	1,125x10 ⁻⁸
Papel impermeável	4,125x10 ⁻⁸	-
Pintura à óleo, 3 demãos	1,875x10 ⁻¹⁰	-
Pintura asfáltica, 2 demãos	9,001x10 ⁻¹¹	-
Reboco de gesso	-	9,751x10 ⁻⁸
Reboco comum	-	4,875x10 ⁻⁸
Poliestireno expandido (15kg/m ³)	-	9,376x10 ⁻⁹
Poliestireno expandido (30kg/m ³)	-	5,626x10 ⁻⁹
Poliestireno expandido (50kg/m ³)	-	4,650x10 ⁻⁹

2.3.3.2. Transporte de vapor d'água por convecção

Tem-se a convecção quando ocorre a passagem das moléculas do vapor d'água de um local para outro de um fluido por efeito do movimento relativo das partículas do mesmo. Esse movimento pode ser provocado pela diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura e conseqüente diferença de densidade da massa fluida considerada¹².

Este fenômeno ocorre particularmente nas paredes ocas, isto é, paredes com vão central (constituídas por duas paredes interligadas), como é o caso das paredes do Sistema Eckert. Caso a espessura da camada de ar entre as paredes seja suficientemente grande (maior que 4 cm), e as superfícies internas das paredes que confinam a camada de ar estiverem com temperaturas diferentes, surgirão correntes de convecção que passarão o vapor d'água da superfície mais quente para a mais fria¹⁴.

2.3.3.3. Transporte de água por capilaridade

O transporte de água por capilaridade é conseqüência da força de aspiração capilar, que é exercida nos poros de um material hidrófilo. Esta força é uma ação combinada da tensão superficial da água e da adesão das moléculas de água⁵² na superfície interna do poro.

Um material é dito hidrófilo quando a adesão é forte, ou seja, o material será facilmente molhado pela água.

Quando a adesão é fraca, diz-se que o material é hidrófugo, ou seja, a água não entrará facilmente em contato com os poros do material.

Para se compreender melhor o fenômeno da capilaridade serão apresentadas a seguir algumas considerações sobre a tensão superficial, a formação do menisco d'água entre duas superfícies e as forças de aspiração ou expulsão capilar que atuam em um poro ou em uma trinca de uma parede.

i) Tensão superficial

A tensão superficial (σ) traduz o fenômeno físico, segundo o qual a superfície da água sob efeito de um desequilíbrio entre as interações moleculares, agisse como se fosse uma membrana submetida à tração.

As forças exercidas entre as moléculas só adquirem valores consideráveis quando a distância entre elas é da ordem de 10^{-8} m²⁰. Para distâncias maiores as forças intermoleculares são praticamente nulas. Se fizermos um centro em uma molécula e descrevermos uma esfera de raio igual a 10^{-8} m, poderemos desprezar os efeitos atrativos exercidos sobre a molécula considerada, pelas moléculas situadas fora dessa esfera²⁰.

Pode-se então imaginar uma molécula assumindo duas posições distintas conforme mostra a FIGURA 2.7²⁰.

No caso da molécula "1" tem-se atrações iguais em todas as direções e sentidos; a atração resultante é nula. No caso da molécula "2", a atração exercida pelo conjunto de moléculas contidas na superfície livre do líquido não está equilibrada. As forças superficiais que não estão equilibradas, servem para reforçar as ligações laterais entre as moléculas, originando-se assim a tensão superficial (vide FIGURA 2.8²¹).

Pelo exposto, pode-se concluir que as tensões superficiais reinam sobre uma pequena profundidade, que corresponde à espessura de algumas moléculas em uma zona na qual as forças da superfície não estão equilibradas completamente²⁰.

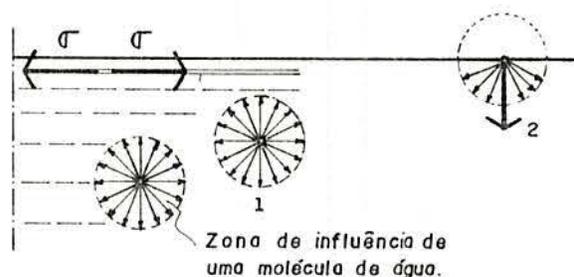


FIGURA 2.7 - Tensão superficial

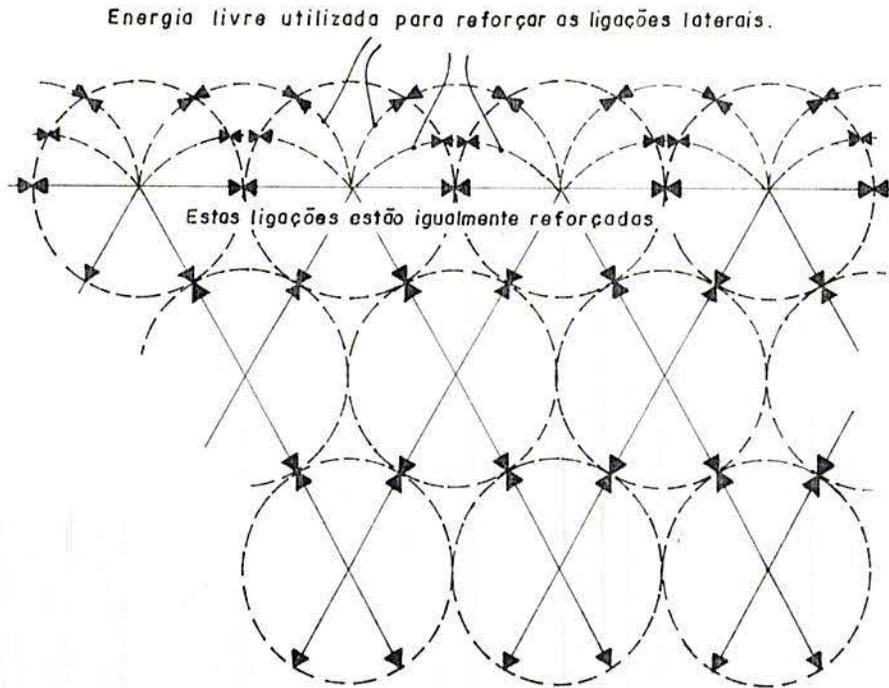


FIGURA 2.8 - Ligações superficiais que não estão equilibradas e que darão origem à tensão superficial.

O valor médio da tensão superficial (σ) para a água é aproximadamente de $75 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}^{52}$.

A temperatura exerce influência sobre a tensão superficial. Pela FIGURA 2.9⁵² observa-se que quando a temperatura aumenta, o valor da tensão superficial diminui.

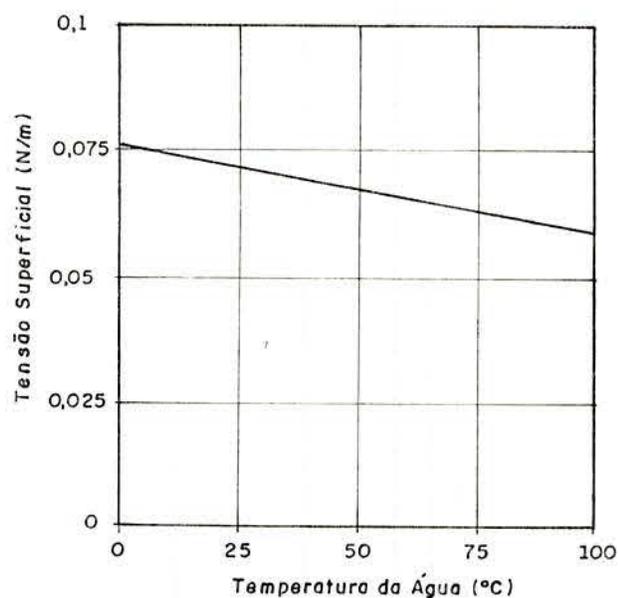


FIGURA 2.9 - Variação da tensão superficial da água com a variação da temperatura.

ii) A formação do menisco

A formação do menisco se dá quando colocamos um líquido em contato com um sólido. As moléculas da camada superficial, colocadas próximas ao sólido, ficam submetidas à ação de duas forças atrativas: a coesão (orientada para o interior da massa líquida) e a adesão (exercida pelas moléculas do sólido).

Diz-se que um líquido molha um sólido quando a força de adesão é maior que a força de coesão. Caso contrário, diz-se que o líquido não molha o sólido.

A FIGURA 2.10²⁰ ilustra as forças que agem sobre uma molécula "M". A força "A" representa a adesão; a força "C" a coesão. A molécula "M" se encontra portanto, submetida a uma força resultante "F". Como a força resultante deve ser perpendicular à superfície livre (caso contrário não haveria equilíbrio), esta superfície livre deverá ser côncava, traduzindo-se assim a situação onde o líquido molha o sólido. Considerações análogas às anteriores levam a concluir que quando o líquido não molha o sólido a superfície livre deve ser convexa²⁰.

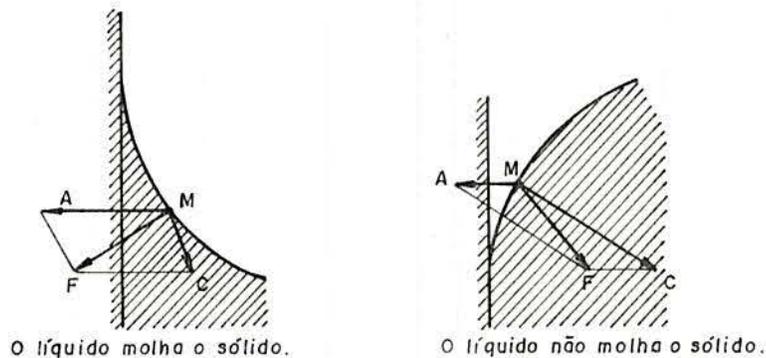


FIGURA 2.10 - Forças que agem sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido.

Um outro tipo de explicação para a formação de menisco pode ser dada a partir de reações intermoleculares que ocorrem entre as interfaces das superfícies dos corpos²¹.

Supondo-se que um líquido molhe um sólido, se depositarmos sobre a superfície horizontal do sólido uma grande

gota do líquido, essa se estenderá em todas as direções até que a ação da gravidade e a atração horizontal das moléculas do sólido sobre o líquido, sejam equilibradas pela tensão superficial do líquido.

De acordo com o peso do líquido e com a tensão superficial a gota se achatará mais ou menos.

Se, antes desse estado de equilíbrio, o líquido encontrar uma superfície vertical, as moléculas continuarão avançando. A superfície vertical se apresenta como uma extensão da superfície horizontal. Isto configura uma situação segundo a qual o líquido deve vencer a força da gravidade para poder se elevar sobre a superfície vertical.

Para conservar as forças das tensões superficiais, o líquido tende a ocupar uma superfície mínima tomando uma curvatura esférica. Essa é, neste caso, a única forma de reduzir a tensão superficial, e assim pode-se explicar porque o líquido continua subindo sobre a superfície vertical. A esta curvatura dos líquidos, é o que chamamos de menisco.

A FIGURA 2.11²¹ esquematiza a formação de um menisco quando a água entra em contato com a superfície de um sólido.

Quando se tem água aprisionada entre duas superfícies verticais muito próximas uma da outra, de tal forma que a superfície do líquido não possa realizar a redução requerida (ocupar uma superfície mínima tornando-se uma curvatura esférica), o deslocamento do líquido ocorrerá até que seja possível a redução.

A única força capaz de opor-se às forças da superfície do sólido e às forças da superfície do líquido é a gravidade. Quando a altura do líquido tende a aumentar, a gravidade opõe-se a essa ascensão capilar, evitando assim que a água continue a subir pela superfície do sólido.

Para a água aprisionada entre duas superfícies verticais distantes uma da outra, quando as forças se equilibram com a gravidade, os meniscos se limitam a uma pequena ascensão, curvada nas proximidades imediatas das superfícies verticais.

A FIGURA 2.12¹⁴ mostra a ordem de grandeza das distâncias entre as superfícies verticais onde ocorre a ascensão

capilar, bem como a altura alcançada pela água.

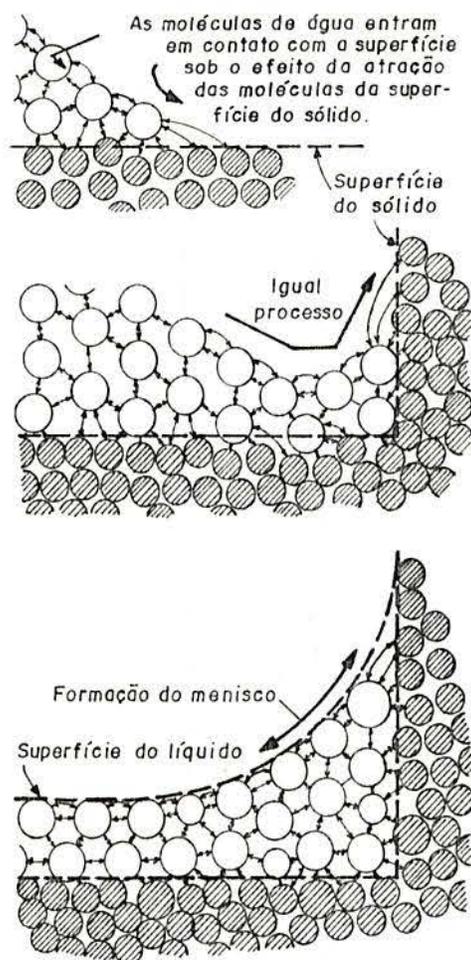


FIGURA 2.11 - Formação do menisco quando a água entra em contato com a superfície de um sólido.

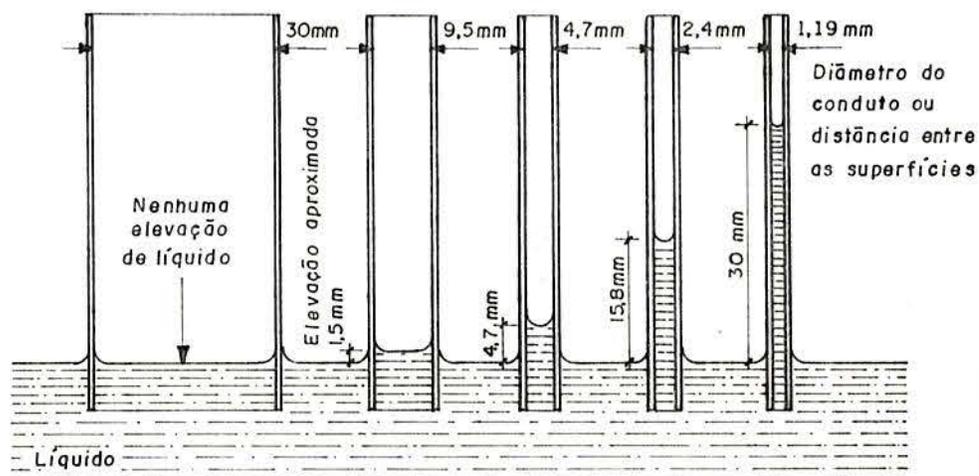


FIGURA 2.12 - Altura da ascensão capilar da água entre duas superfícies.

iii) As forças de aspiração ou expulsão capilar

As forças de aspiração ou expulsão capilar atuam quando a água está em contato com os poros e as fendas ou trincas dos materiais.

a) Para um poro⁵² de seção circular tem-se:

$$p_c = \pm \frac{4 \sigma \cos \alpha}{d'} \quad (\text{Pa}) \quad (2.4)$$

Onde σ : tensão superficial (N/m);
 d' : diâmetro do poro (m);
 α : ângulo de contato do menisco d'água com a superfície (vide FIGURA 2.13⁵²);
 p_c : com o sinal + representa a força de expulsão capilar (Pa), material hidrófugo;
 p_c : com o sinal - representa a força de aspiração capilar (Pa), material hidrófilo.

Para um poro de diâmetro de 10^{-6} m a força de aspiração capilar assume um valor de 300.000 Pa^{52} .

b) Para uma fenda ou trinca⁵² entre duas superfícies:

$$p_c = \pm \frac{2 \sigma \cos \alpha}{d''} \quad (\text{Pa}) \quad (2.5)$$

Onde σ : tensão superficial (N/m);
 d'' : largura da fenda ou trinca (m);
 α : ângulo de contato do menisco da água com a superfície (vide FIGURA 2.13⁵²);
 p_c : com sinal + representa a força de expulsão capilar (Pa);
 p_c : com sinal - representa a força de aspiração capilar (Pa).

Como se vê, o efeito de capilaridade nos materiais, aumenta à medida que o diâmetro do poro ou largura da fenda diminui.

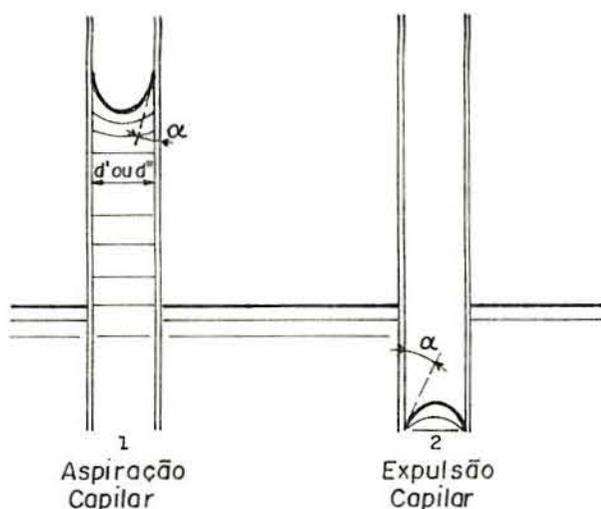


FIGURA 2.13 - Ângulo de contato entre o menisco d'água e a superfície.

2.3.3.4 - Transporte de água devido a forças externas

A força do vento lança a água da chuva sobre as fachadas dos edifícios e a ação da gravidade atua de maneira a causar um escoamento da água sobre a superfície. Quando a água encontra uma fenda ou trinca em uma parede ela tende a penetrar. Portanto, para que haja penetração de água em uma edificação são necessárias três condições³⁴:

- i) água sobre a superfície;
- ii) aberturas (fendas ou trinca e rachaduras), que permitam a água penetrar;
- iii) forças empurrando a água pelas aberturas.

As forças³⁸ que empurram a água pelas aberturas são:

- i) forças resultantes da energia cinética das gotas de chuva;
- ii) forças de aspiração capilar;
- iii) forças da gravidade;
- iv) forças da pressão do vento.

A FIGURA 2.14³⁸ mostra as maneiras que podem ocorrer a penetração de água de chuva pelas aberturas existentes nas fachadas dos edifícios.

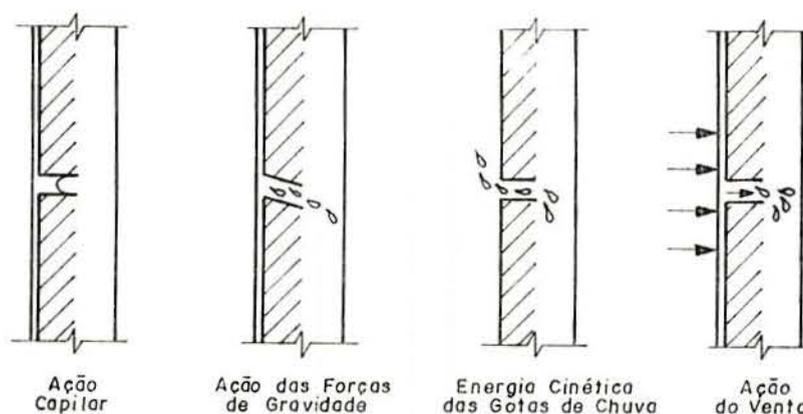


FIGURA 2.14 - Forças que empurram a água pelas aberturas de uma parede.

DIAMANT¹⁴ aponta que numa parede maciça a penetração de água ocorre:

i) devido somente a energia cinética, quando a gota de chuva impulsionada contra a parede encontrar uma abertura que tenha largura superior a 4,5 mm;

ii) devido a capilaridade, quando a água de chuva encontrar uma abertura com largura menor que 0,5 mm;

iii) devido a gravidade, quando a abertura está em posição descendente e possui uma dimensão superior a 0,5 mm;

iv) devido a pressão do vento, quando a abertura possui dimensões entre 0,013 mm e 6 mm;

v) devido a pressão do vento e capilaridade concomitantemente, quando a água é transportada por ação capilar até o seu limite e a pressão do vento que atuando, empurra ainda mais a água para o interior da parede, podendo chegar até a outra face.

2.4. Causas da Umidificação nas Edificações

Os problemas de umidade nas edificações não estão associados a uma única causa; em geral, há um conjunto de causas, sendo uma delas mais significativa³⁸.

Existe uma classificação que é aceita pelos grandes centros de pesquisas para o estudo e trabalhos sobre os problemas de umidade, com pequenas variações de um país para o outro,

onde se procura conciliar a origem do fenômeno e a forma como ele se manifesta.

Segundo o Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC^{5 2} as causas da umidificação nas edificações estão relacionadas com:

- i) umidade ascensional do solo;
- ii) a absorção e penetração de água de chuva;
- iii) umidade de condensação;
- iv) umidade devido a higroscopicidade dos materiais;
- v) umidade incorporada durante o processo de construção;
- vi) umidade acidental.

2.4.1. Umidade ascensional do solo

Os materiais de construção são porosos e assim sendo, têm a capacidade de absorver água. A umidade ascensional do solo tem a origem na absorção da água existente no terreno pelas fundações, migrando para as paredes e pisos da edificação.

O nível de ascensão da água é função de fatores¹¹ tais como:

- i) a quantidade de água no terreno;
- ii) a porosidade da estrutura do material que está em contato com o solo;
- iii) a velocidade de evaporação da água.

Um efeito típico da umidade ascensional do solo é o registro de uma marca horizontal na parede, acima da qual não existe dano, mas abaixo dela a parede fica afetada por umedecimento, que destrói o revestimento por eflorescência ou mesmo pelo aparecimento do mofo.

No Brasil temos a NB-279 (Execução de Impermeabilização na Construção Civil)⁷, que trata da impermeabilização contra a umidade ascensional do solo.

Mesmo quando se executa a impermeabilização da parede com finalidade de evitar a penetração da umidade, pode ainda ocorrer que a umidade que está no solo encontre um meio de desviar-se da impermeabilização e tornar a parede úmida. Para que

a impermeabilização seja eficiente é preciso que não se cometa erros nas fases de projetos e de execução.

Quando a umidade ascensional do solo atinge a parede, a sua eliminação pode ser feita através dos seguintes métodos⁶:

- i) inserção de uma membrana impermeável na base da parede: interrompe a ascensão da umidade;
- ii) injeção de produto impermeabilizante: os poros do material são impermeabilizados, ocorrendo assim a interrupção da comunicação entre eles;
- iii) uso de tubos desumidificadores: facilita a eliminação da umidade por meio da evaporação;
- iv) uso da eletrosmose: a aplicação da eletrosmose para secar as paredes úmidas se baseia no fato de que a parede, a umidade e o terreno podem vir a constituir um sistema semelhante ao de uma pilha elétrica. Quando uma parede absorve água do solo, aparece uma diferença de potencial elétrico entre o solo e a parede. O processo da eletrosmose consiste em aplicar uma tensão entre a parede e o solo. Para isto, encaixa-se em um rasgo feito na parede, uma fita de cobre ligada a uma aste de zinco, alumínio ou magnésio, enterrada no solo. A corrente elétrica que aparece no circuito será suficientemente forte para eliminar a umidade. É justamente a umidade que serve de condutor interno; caso ela seja eliminada, a corrente elétrica também cessará. Caso queira aumentar a eficiência do sistema, é necessário que se introduza uma corrente elétrica no circuito por meio de um gerador.

As referências [6], [15], [16], tratam dos métodos mencionados acima.

2.4.2. Absorção e penetração de água da chuva

A penetração de água da chuva nos edifícios através dos elementos constituintes de sua envoltória exterior, está associada fundamentalmente a dois fatores climáticos: chuva e vento.

Sem o vento, a chuva cairia verticalmente e pouco molharia as paredes externas do edifício, bem como haveria pou

ca ou nenhuma diferença de pressão entre o interior e o exterior do edifício.

Outras características³⁸ que condicionam a penetração de água de chuva são a forma e a constituição dos materiais empregados em uma edificação, que vão determinar a intensidade dos fenômenos de capilaridade, difusão e absorção de umidade, bem como da ação da força da gravidade na penetração de água nas fendas ou trincas.

Como foi mostrado no item 2.3.3.4, para que haja a penetração de água de chuva em uma edificação, é necessário que sejam reunidas simultaneamente três condições: água sobre a superfície, aberturas permitindo sua penetração e forças empurrando a água pelas aberturas.

Para se prevenir desse tipo de umidade nas edificações é necessário dar uma maior importância para a envoltória do edifício, levando-se em consideração³⁹:

- i) as condições climáticas locais (direção e intensidade do vento, precipitações);
- ii) análise da fachada quanto aos detalhes construtivos (pingadeiras, molduras, etc.), que protegem as juntas, janelas, portas e as paredes;
- iii) verificação através de ensaios de desempenho quanto a estanqueidade à água dos componentes (janelas, portas, etc.) e dos elementos (paredes com o sistema de pintura);
- iv) avaliação do desempenho ao longo do tempo e programação da manutenção, através da análise da durabilidade das soluções empregadas.

Com as precauções acima tomadas e o acompanhamento em obra da execução do projeto, os riscos de penetração de umidade serão minimizados.

A referência [47] estuda e propõe algumas soluções de projeto para se evitar a penetração de água de chuva pelas paredes externas e aberturas das edificações.

2.4.3. Umidade de condensação

Um outro modo de se apresentar a umidificação nas

edificações é através da condensação, que pode ocorrer de duas formas distintas, ou seja, a condensação sobre as superfícies ou no interior das paredes.

2.4.3.1. A condensação superficial

O ar contém sempre uma certa quantidade de vapor d'água. A quantidade máxima de vapor d'água (x_s) que o ar pode conter depende da temperatura. Isto significa que quanto mais quente for o ar, mais umidade ele pode conter (vide TABELA 2.4⁴²). Para uma dada temperatura, caso o ar contenha uma quantidade máxima de umidade, diz-se que ele está saturado e sua umidade relativa (Ψ) é igual a 100%. Se a quantidade de vapor d'água for inferior à quantidade máxima, o ar não está saturado e por consequência, sua umidade relativa (Ψ) é inferior a 100%.

A umidade é extraída do ar do local para a formação da condensação superficial nas paredes. A maioria das paredes das edificações são constituídas de materiais porosos, tais como tijolos, revestimentos de gesso, cal, papéis de parede, etc. A condensação superficial que ocorre na parede é absorvida por esses materiais, tornando-os úmidos. Caso esse tipo de condensação ocorra regularmente sobre a parede, poderá surgir o desenvolvimento de bolor¹, o qual deteriorará os materiais constituintes da parede, bem como causará problemas de saúde ao usuário. Em certos casos a condensação superficial é momentânea (cozinhas, banheiros, etc.), desaparecendo rapidamente.

Para se evitar a formação de condensação superficial sobre um local, a temperatura da superfície da parede não deve ser inferior à temperatura de orvalho do ar ambiente, isto é, a temperatura para a qual o vapor d'água começa a condensar-se, podendo ser separado do ar.

O ar perde umidade quando sua temperatura diminui aquém da sua temperatura de orvalho (vide FIGURA 2.15⁴²). A deposição da umidade se dá portanto, na direção do quente para o frio, sendo o fenômeno resultante da condensação do vapor d'água do ar interior da edificação em contato com a parede

excessivamente fria¹².

Em princípio existem três maneiras de se eliminar a condensação superficial das edificações⁴²:

i) aumentar a temperatura superficial do elemento de construção; condição que pode ser obtida principalmente através do correto dimensionamento da isolação térmica;

ii) ventilação do local;

iii) baixar o ponto de orvalho do ar ambiente, isto é, diminuir o teor de umidade do ar do local.

As referências [12], [15], [16], [42], tratam amplamente das questões relativas à condensação superficial, apresentando métodos de cálculo e soluções diversas para este tipo de problema. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT²⁵ fixa diretrizes para se prever os riscos de condensação superficial em paredes, levando-se em consideração as condições do clima em cada região do Brasil.

Como exemplo de aplicação consideremos a seguinte situação no interior de uma edificação:

i) parede: temperatura de 10°C;

ii) ar no interior da edificação: temperatura de 20°C;

iii) a umidade relativa do ar no interior da edificação é de 60%.

Para a temperatura do ar de 20°C e umidade relativa de 60%, o teor de umidade do ar é de 8,80 g/kg. Como a superfície da parede está a 10°C, quando o ar entrar em contato com a parede, ocorrerá a condensação da umidade que se depositará, pois o ar a 10°C pode conter um teor máximo de umidade em vapor d'água igual a 7,63 g/kg.

TABELA 2.4 - Pressão de saturação do vapor d'água (p') e o teor máximo de vapor d'água (x_s).

θ (°C)	p' (Pa)	x_s (g/kg)	θ (°C)	p' (Pa)	x_s (g/kg)
- 20	103	0,63	10	1.228	7,63
- 19	114	0,70	11	1.313	8,15
- 18	125	0,77	12	1.403	8,75
- 17	137	0,85	13	1.498	9,35
- 16	150	0,93	14	1.599	9,97
- 15	165	1,01	15	1.706	10,6
- 14	180	1,11	16	1.818	11,4
- 13	198	1,22	17	1.938	12,1
- 12	217	1,34	18	2.065	12,9
- 11	237	1,46	19	2.197	13,8
- 10	260	1,60	20	2.340	14,7
- 9	284	1,75	21	2.487	15,6
- 8	310	1,91	22	2.645	16,6
- 7	338	2,08	23	2.810	17,7
- 6	368	2,27	24	2.985	18,8
- 5	401	2,47	25	3.169	20,0
- 4	437	2,69	26	3.362	21,4
- 3	476	2,94	27	3.565	22,6
- 2	517	3,19	28	3.781	24,0
- 1	562	3,47	29	4.006	25,6
0	611	3,78	30	4.244	27,2
1	657	4,07	31	4.491	28,8
2	705	4,37	32	4.754	30,6
3	759	4,70	33	5.029	32,5
4	813	5,03	34	5.318	34,4
5	872	5,40	35	5.622	36,6
6	935	5,79	36	5.940	38,8
7	1.002	6,21	37	6.274	41,1
8	1.073	6,65	38	6.624	43,5
9	1.148	7,13	39	6.991	46,0

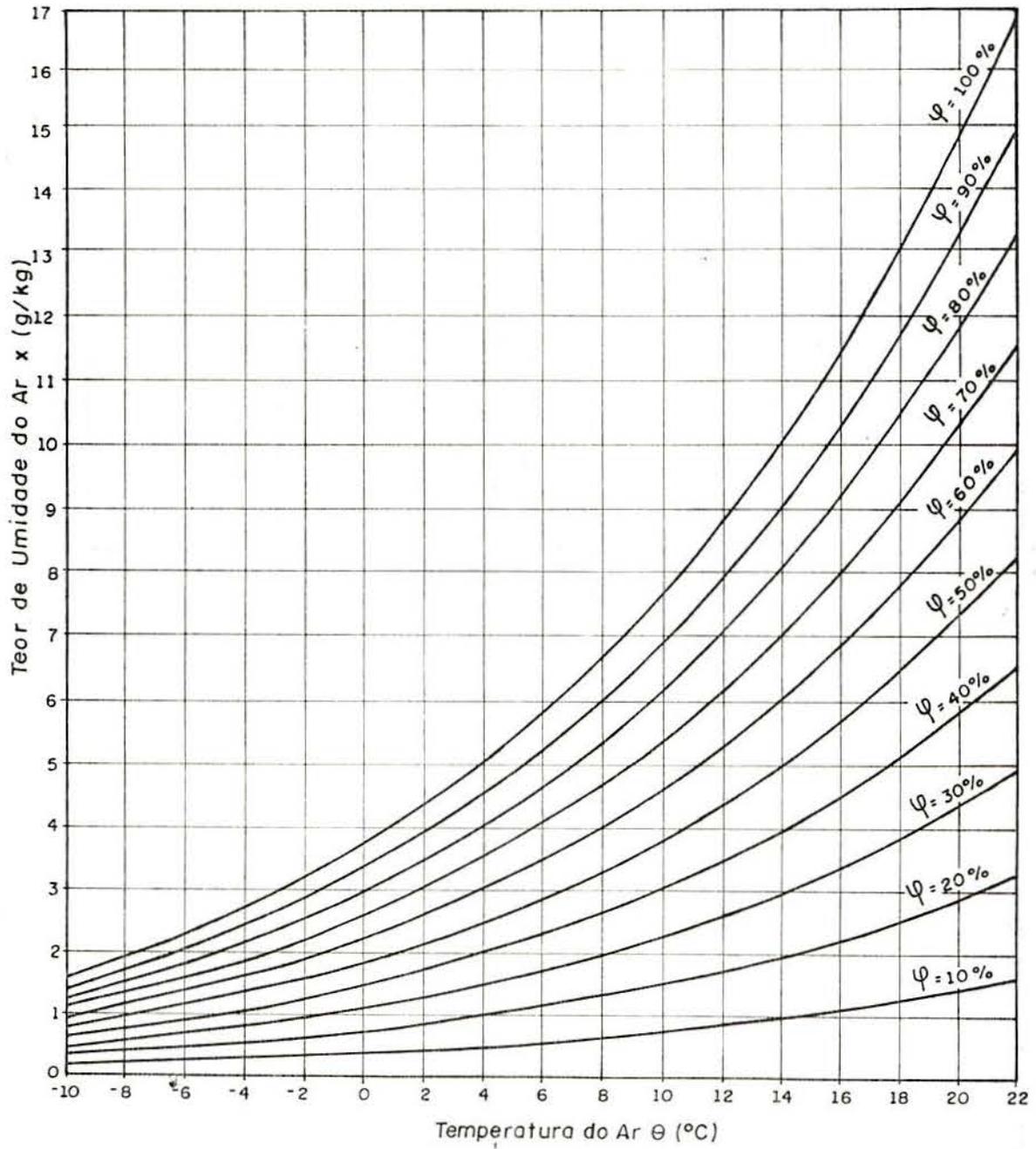


FIGURA 2.15 - Umidade relativa do ar (Ψ) em função do teor de umidade do ar (x) e da temperatura do ar (θ).

2.4.3.2. A condensação interna

Como foi visto no item anterior o ar quente é capaz de possuir uma quantidade de vapor d'água maior que o ar frio. A medida que a temperatura do ar (θ) aumenta, cresce a pressão de saturação do vapor d'água (p') (vide TABELA 2.4⁴²). A pressão de vapor d'água em cada situação pode ser obtida através do produto da umidade relativa do ar pela pressão de saturação à temperatura considerada¹².

$$p = p' \cdot \psi \quad (2.6)$$

Onde p : pressão do vapor d'água (Pa);
 p' : pressão de saturação do vapor d'água (Pa);
 ψ : umidade relativa, expressa em %.

Assim sendo, no inverno o ar exterior possui uma pressão de vapor menor. Por exemplo, o ar a 10°C possui uma pressão de saturação do vapor d'água de 1.228 Pa; considerando-se uma umidade relativa de 75%, a pressão de vapor d'água seria 921 Pa. Para o ar a 18°C temos uma pressão de saturação igual a 2065 Pa; e considerando-se uma umidade relativa de 70%, teríamos uma pressão de vapor de 1.445,5 Pa.

Esta diferença de pressão de vapor (no exemplo igual a 524,5 Pa) gera um processo de difusão de vapor d'água do interior para o exterior. A esse processo opõe-se a resistência à difusão ao vapor d'água, estabelecendo-se assim um gradiente de pressões de vapor ao longo da espessura da parede. Caso a pressão do vapor d'água atingida no interior da parede seja superior à pressão de saturação do vapor d'água, que é uma função da temperatura local do material da própria parede, haverá condensação¹².

A condensação interna é responsável por diversos danos à parede tais como⁴⁰:

- i) aumento do coeficiente de condutibilidade térmica da isolação térmica;
- ii) degradação dos materiais sensíveis à água;

- iii) dilatação dos materiais devido à umidade;
- iv) formação de bolhas, devido a expansão do vapor, que tendem a causar danos às pinturas;
- v) descolamentos e fissuramento de impermeabilizações.

Os métodos de cálculo para se verificar a ocorrência de condensação interna nas paredes podem ser encontrados nas referências |12|, |15|, |25|, |40|, |53|.

Na prática, a condensação no interior das paredes é evitada pela disposição correta de materiais isolantes (como por exemplo, fibra de madeira, lã de vidro, cortiça, etc.) ou mesmo do uso de barreiras de vapor, que consistem em uma camada de material que apresente grande resistência à difusão do vapor d'água, cuja finalidade é diminuir o fluxo de vapor d'água difundido e a pressão nas camadas sobrejacentes. Normalmente a barreira de vapor é constituída de um filme de material metálico, plástico ou betuminoso (papel Kraft betumado, camada de emulsão asfáltica, etc.); colocado o mais próximo possível da face interna da parede.

2.4.4. Umidade devido a higroscopicidade dos materiais

O teor mínimo de umidade que na prática pode estar presente em um material poroso é denominado teor higroscópico. Quando um material poroso se encontra em um meio úmido, seus poros absorvem uma quantidade de umidade que é função unicamente da umidade relativa do meio ambiente.

A umidade higroscópica é consequência da difusão da umidade existente no ar para dentro do material através de seus poros. Para uma umidade relativa pouco elevada ($\leq 40\%$), a umidade fica adsorvida nos poros do material; para uma umidade relativa mais elevada ($> 40\%$), o material absorverá umidade⁴².

Para variações da umidade relativa que ocorrem por pouco tempo, como é o caso dos recintos de banheiros, cozinhas, etc., a umidade relativa pouca influência tem sobre o teor de umidade do material.

Os materiais de construção com uma elevada percentagem de microporos, tais como os materiais tradicionais de revestimentos (as placas de gesso, os revestimentos a base de cal, a madeira, os papéis de parede, etc.), são materiais fortemente higroscópicos.

Pretendendo-se limitar a taxa de umidade higroscópica dos materiais, deve-se limitar a umidade relativa do ar do interior da habitação ou cuidar para que ela não fique elevada durante um longo período. Caso isto ocorra, surgirá o aparecimento de bolor ou mofo nos materiais, como consequência da absorção de umidade dos materiais de construção.

Segundo o Centre Scientifique et Technique de la Construction⁴² é aconselhável limitar a taxa de umidade relativa do ar nas residências e em repartições públicas em no mínimo de 30% e no máximo de 70%, para que não se crie o desenvolvimento de mofo em móveis, roupas e revestimentos de parede.

2.4.4.1. Presença de sais minerais na superfície das paredes

O processo de migração de água por capilaridade nos poros dos materiais e ainda o constante processo de molhagem e secagem da água da chuva, transportam os sais solúveis em água que fazem parte da alvenaria. Quando ocorre a evaporação da água os sais ficam depositados na superfície da parede e ao longo do tempo, formarão concentrações salinas³⁵.

A este depósito esbranquiçado e pulverulento de sais minerais que se forma na flor da superfície das paredes, denominamos de eflorescência¹⁸.

Para uma umidade relativa do ar elevada (> 40%) ocorrerá a absorção da umidade pelo sal depositado na superfície, o que trará como consequência um umedecimento permanente da superfície da parede.

2.4.5. Umidade incorporada durante o processo de construção

A umidade incorporada durante o processo de construção é a quantidade de umidade presente em uma edificação após o término das atividades da obra, a qual tende a desaparecer gradualmente⁴².

Esta umidade está relacionada com diversos fatores como:

- i) a água absorvida pelos materiais de construção durante a sua estocagem no canteiro ou nos depósitos;
- ii) a água de amassamento necessária às argamassas, concretos, etc.;
- iii) a água proveniente de precipitações atmosféricas absorvidas pelos materiais durante a fase de construção.

VERÇOSA⁵⁴, menciona que "em um metro cúbico de alvenaria nova, de tijolo, contém de 130 a 230 litros de água. A madeira nova possui de 15 a 40% de seu peso em água. É normal que a água de assentamento de pisos manche as paredes durante uns seis meses após a aplicação; é normal que o capeamento de parquê com resinas sintéticas impermeáveis retenha a água das argamassas por muito tempo, podendo levar até o apodrecimento, descolamento e, mais comumente, ao fissuramento do verniz. Recomenda-se, por exemplo, só pintar a madeira depois de perfeitamente seca; só colocar verniz sintético em parquê com mais de seis meses de colocação; procurar deixar os revestimentos para o fim do verão ou princípio do inverno, etc."

Nos produtos a base de cimento, tais como argamassas e concreto, uma relação água-cimento de aproximadamente 0,40, é suficiente para que ocorra a hidratação completa do cimento, considerando-se que cerca de 22% a 32% de água seria necessária para que se processasse a reação química completa (estequiometria) e que uma quantidade adicional em torno de 15% a 25% seria necessária para a formação do gel.

A reação química entre o cimento e a água ocorre com redução de volume. Devido a grandes forças interiores de coesão, a água combinada quimicamente sofre uma contração de cerca de 25% do seu volume (esta é a chamada retração química).

Quantidades de água adicionais aos produtos a base de cimento, que excedem aos 40% mencionados, permanecem livres no interior da massa, evaporando posteriormente e provocando a denominada retração de secagem, a qual pode ser ponto de infiltração de água, principalmente nos revestimentos externos⁵¹.

Se estima aproximadamente de 3000 a 5000 litros a quantidade de umidade de construção a ser eliminada após o término da obra de uma edificação construída de forma tradicional⁴².

A velocidade de secagem⁴² de um material é função de:

- i) quantidade de água absorvida (abundância de chuvas durante a fase de construção);
- ii) características de secagem dos materiais usados na obra (para uma mesma espessura, o concreto secará mais lentamente que uma alvenaria de tijolos);
- iii) espessura da camada do material; a velocidade de secagem é inversamente proporcional ao quadrado da espessura da camada;
- iv) possibilidades de secagem da estrutura; o acabamento dos elementos, tal como a pintura, retarda a secagem.

A umidade de construção se faz presente nas edificações nos primeiros anos de ocupação. Para evacuar esta umidade deve-se tomar as seguintes providências⁴²:

- i) não se deve executar acabamento de paredes por meio de demãos fortemente resistentes à difusão do vapor d'água (pintura, papel de parede plastificada, etc.) antes que as paredes estejam secas;
- ii) logo que o usuário ocupe o edifício, este deve ser suficientemente ventilado e aquecido.

2.5. Umidade Acidental

A umidade acidental é proveniente de vazamentos do sistema de distribuição e/ou coleta de água da edificação³⁸.

Apesar da falta de estudos mais apurados sobre este tipo de umidade, sabe-se que ela provém, geralmente, dos defeitos originados nos materiais, na execução das tubulações e nas conexões do sistema de distribuição e/ou coleta de água da edificação.

3. ESTANQUEIDADE À ÁGUA DOS REVESTIMENTOS DE PAREDE

3.1. Considerações Iniciais

Este capítulo está baseado na metodologia criada pelo Conseil International du Bâtiment⁴⁸, sendo utilizada para aplicação do conceito de desempenho à edificação, seus elementos e componentes, podendo ser resumida nos seguintes pontos:

i) identificação das exigências do usuário, adaptado a cada realidade;

ii) identificação das condições de exposição a que está submetida a edificação, seus elementos e componentes;

iii) listagem dos requisitos de desempenho a serem atendidos pela edificação, seus elementos e componentes (expressos qualitativamente);

iv) definição dos critérios de desempenho a serem atendidos pela edificação, seus elementos e componentes (expressos quantitativamente);

v) definição dos métodos de avaliação a serem adotados para se comprovar se um dado critério é atendido ou não.

A FIGURA 3.1⁴⁰ esquematiza a metodologia de avaliação de desempenho mencionada acima.

3.2. Definições

3.2.1. Paredes

As paredes são um subsistema do sistema edificação, que formam os planos verticais (ou quase) de vedações externas (fachadas) e as divisórias internas dos edifícios.

O Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB³⁷ define que uma parede deve apresentar os seguintes desempenhos:

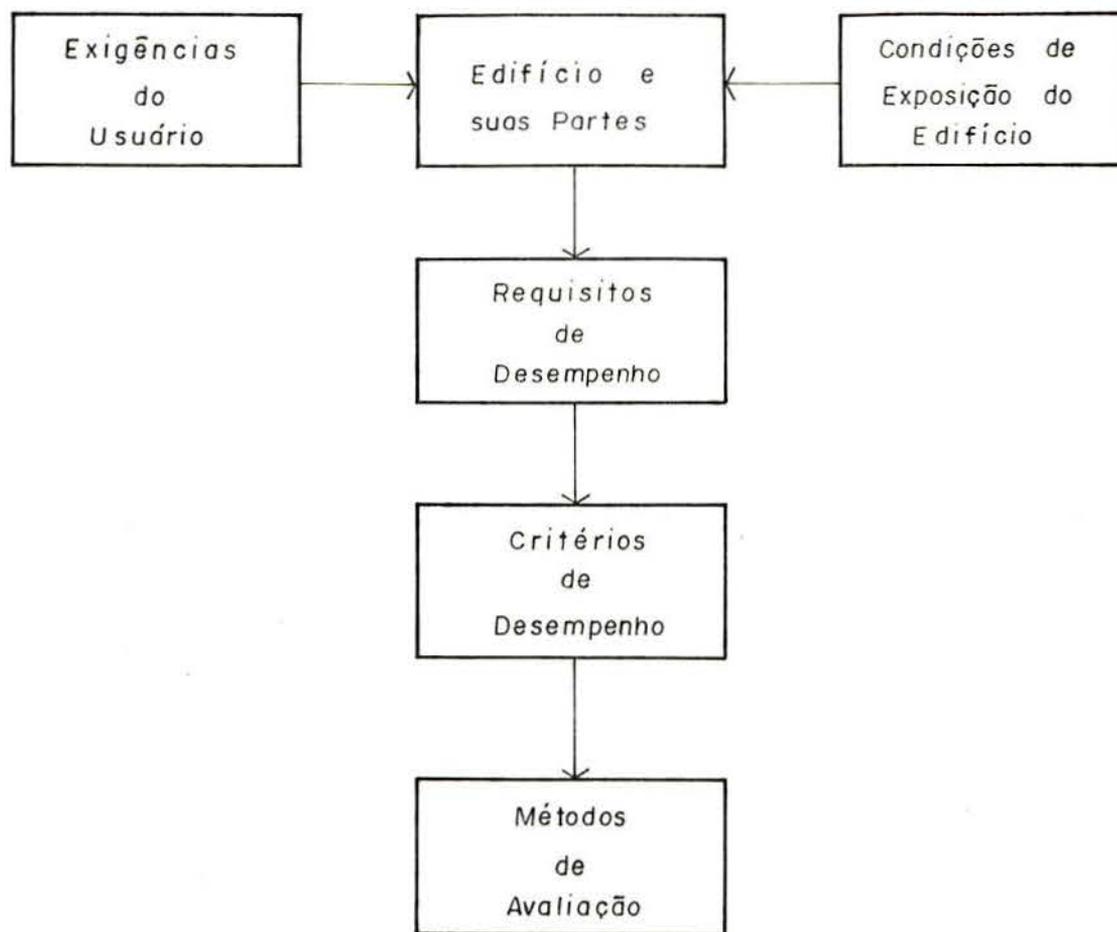


FIGURA 3.1 - Metodologia de avaliação de desempenho proposta pelo Conseil International du Bâtiment.

- i) possuir estabilidade mecânica quando solicitada a carregamento normal ou sofrer deformação imposta por fenômenos térmicos e climáticos;
- ii) ser segura em caso de incêndio, sismo ou outras solicitações excepcionais;
- iii) ser impermeável a água de chuva;
- iv) contribuir para a satisfação das exigências higrotérmicas e acústicas do usuário;
- v) contribuir para a estética da edificação.

3.2.2. Revestimentos

O revestimento pode ser entendido como sendo o recobrimento da superfície da parede, lisa ou áspera, em uma ou mais camadas com um mesmo material ou materiais distintos, via de regra com espessura uniforme, utilizado com finalidade de

proteção ou embelezamento.

Os tipos de revestimentos de parede²⁸ de uso corrente na construção civil são classificados de acordo com o material predominante em:

- argamassa;
- pasta;
- cerâmica;
- pedra;
- madeira;
- pintura;
- metal;
- plástico;
- fibrocimento;
- papel de parede.

No Anexo 2 encontram-se as definições relativas a cada um dos revestimentos anteriormente citados segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT²⁸.

3.3. Avaliação do Desempenho

3.3.1. Exigências do Usuário

A norma ISO-DP-6241⁴⁰ define usuário como sendo a pessoa, animal ou objeto para o qual a edificação é destinada. Particularmente em nossa dissertação nos interessa o usuário tratado como pessoa e o edifício deverá satisfazer suas exigências, que podem ser de natureza psicológica, fisiológica, sociológica e econômica⁹.

A TABELA 3.1⁴⁸ fornece uma listagem das exigências do usuário, sendo que as exigências de números "4" (Exigência de estanqueidade: à água) e "13" (Exigência de durabilidade: conservação do desempenho ao longo do tempo), são as que nos interessam abordar no estudo dos revestimentos de parede, uma vez que os revestimentos que recebem a incidência de água de chuva ou de água de utilização, no interior da habitação, devem ser impermeáveis e manter este desempenho ao longo do tempo.

TABELA 3.1 - Exigências do usuário.

- 1 - Exigências de segurança estrutural:
Estabilidade e resistência mecânicas.
- 2 - Exigências de segurança ao fogo:
Limitações do risco do início e propagação de um incêndio, segurança dos usuários.
- 3 - Exigências de segurança à utilização:
Segurança dos usuários e segurança a intrusões.
- 4 - Exigências de estanqueidade:
Estanqueidade aos gases, aos líquidos e aos sólidos.
- 5 - Exigências de conforto higrotérmico:
Temperatura e umidade do ar e das paredes.
- 6 - Exigências atmosféricas:
Pureza do ar e limitação de odores.
- 7 - Exigências de conforto visual:
Aclaramento, aspecto dos espaços e das paredes, vista para o exterior.
- 8 - Exigências de conforto acústico:
Isolação acústica e níveis de ruído.
- 9 - Exigências de conforto tátil:
Eletricidade estática, rugosidade, umidade, temperatura da superfície.
- 10 - Exigências de conforto antropodinâmico:
Acelerações, vibrações e esforços de manobras.
- 11 - Exigências de higiene:
Cuidados corporais, abastecimento de água, eliminação de matérias usadas.
- 12 - Exigências de adaptação à utilização:
Número, dimensões, geometria e relações de espaços e de equipamentos necessários.
- 13 - Exigências de durabilidade:
Conservação do desempenho ao longo do tempo.
- 14 - Exigências de economia:
Custo inicial e custos de manutenção e reposição durante o uso.

3.3.2. Condições de exposição dos edifícios

A edificação está sujeita a uma grande variedade de agentes e o conjunto desses agentes atuando sobre o edifício, durante sua vida útil, é denominada de condições de exposição.

Por ser o material que recobre a superfície da parede, os revestimentos de um modo geral, são os primeiros elementos da edificação a sofrerem ação dos agentes agressivos do meio ambiente, devido a fenômenos de origem natural ou mesmo oriundos da própria utilização.

A origem do agente pode ser externa ou interna à envolvente do edifício, sendo que o agente externo pode residir na atmosfera ou no solo, e em qualquer caso, ser atribuível a causas naturais ou a ação do homem. O agente interno, está relacionado com a ocupação ou com a concepção da edificação.

Quanto a natureza³², o agente pode ser classificado em:

- i) agentes mecânicos;
- ii) agentes eletromagnéticos;
- iii) agentes térmicos;
- iv) agentes químicos;
- v) agentes biológicos.

A classificação do agente³² é definida pela sua própria natureza e não pela natureza da ação por ele exercida sobre o edifício ou componente. Um agente químico como a água, pode exercer uma ação física (dissolução), ou uma ação química (hidratação). O agente pode ser classificado também de acordo com o seu estado físico (gasoso, líquido, vapor), bem como pela sua variação no tempo (modo de variação, frequência, probabilidade de ocorrência, etc.).

Os agentes devem ser identificados e quantificados para cada caso, em função do uso do edifício, clima, local, etc.; também deve-se levar em consideração na definição das condições de exposição os fatores regionais, econômicos e sócio-culturais.

A ISO-DP-6241 (vide TABELA 3.2⁴⁸) oferece uma listagem que serve de referência para a identificação qualitativa dos agentes que atuam na edificação.

TABELA 3.2 - Agentes atuantes na edificação.

Origem Natureza	Exterior à edificação		Interior à edificação	
	Atmosfera	Solo	Impostos pela ocupação	Consequência da concepção
1. Agentes mecânicos				
1.1. Gravidade	Cargas de neve, de água, de chuva	Pressão do solo de água	Sobrecarga de utilização	Cargas permanentes
1.2. Forças de deformações impostas	Pressão de gelo, dilatações térmica e higroscópica	Escorregamentos, recalque	Esforços de manobras	Retrações, fluência, forças e deformações impostas.
1.3. Energia cinética	Vento, granizos, choques exteriores	-	Choques interiores abrasão	Impactos de corpo mole
1.4. Vibrações e ruídos	Ruídos exteriores	Sismos Vibrações exteriores	Ruídos interiores Vibrações interiores	Ruídos de edificação Vibrações de edificação
2. Agentes eletromagnéticos				
2.1. Radiação	Radiação solar	-	Lâmpada, radiação nuclear	Painel radiante
2.2. Eletricidade	Raios	Correntes parasitárias	-	Correntes de distribuição
2.3. Magnetismo	-	-	Campos magnéticos	Campos magnéticos
3. Agentes térmicos	Reaquecimento, congelamento Choque térmico	Reaquecimento, congelamento	Calor emitido, cigarro	Aquecimento, fogo
4. Agentes químicos				
4.1. Água e solvente	Umidade do ar, condensação, precipitação	Água de superfície água subterrânea	Ações de lavagem com água, condensações, detergentes, álcool Hipoclorito de sódio (água de lavanderia) Água oxigenada	Águas de distribuição, águas servidas, infiltrações
4.2. Oxidantes	Oxigênio, ozônio, óxidos de nitrogênio	-	Agentes combustíveis Amônia	Potenciais eletroquímicos positivos
4.3. Redutores	-	Sulfetos	-	Agentes combustíveis Potenciais eletroquímicos negativos
4.4. Ácidos	Ácido carbônico Escrementos de pássaros Ácido sulfúrico	Ácido carbônico Ácidos húmicos	Vinagre, ácido cítrico Ácido carbônico	Ácido sulfúrico Ácido carbônico
4.5. Bases	-	Cales	Soda cáustica, hidróxido de potássio, hidróxido de amônia	Soda cáustica, cimento
4.6. Sais	Névoa salina	Nitratos, fosfatos, cloretos, sulfatos	Cloreto de sódio	Cloreto de cálcio, sulfatos, gesso
4.7. Materiais inertes	Poeira	Calcários, sílica	Gorduras, óleos, tintas, poeira	Gorduras, óleos, poeira, sujeira
5. Agentes biológicos				
5.1. Vegetais	Bactérias	Bactérias, bolor, cogumelos, raízes	Bactérias, plantas domésticas	
5.2. Animais	Insetos, pássaros	Roedores, vermes	Animais domésticos	

3.3.2.1. Desempenho dos revestimentos de parede

O Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB¹³ define o desempenho dos revestimentos exteriores de fachadas a partir das exigências funcionais (segurança e habitabilidade) e das exigências ligadas ao seu emprego em obra (compatibilidade com o suporte).

I) Segurança

O desempenho resultante das exigências de segurança é normalmente estabelecido pela parede no que diz respeito à estabilidade mecânica e resistência ao fogo.

II) Habitabilidade

De um modo geral, um revestimento de fachada tem que desempenhar sozinho ou associado ao seu suporte, uma ou mais das seguintes funções:

- . ser impermeável à água;
- . ser isolante térmico;
- . ser isolante acústico;
- . contribuir para a estética da edificação.

A impermeabilidade³⁰ é a propriedade dos materiais de não se deixarem atravessar por fluidos, particularmente pela água.

Quanto à impermeabilidade à água os revestimentos podem ser classificados em:

i) revestimentos permeáveis

São os que permitem a passagem de água no estado líquido ou vapor;

ii) revestimentos impermeáveis

São os que não permitem a passagem de água em qualquer estado;

iii) revestimentos hidrófugos

São os que repelem a água no estado líquido, mas não impedem a passagem da água na forma de vapor.

III) Compatibilidade com o suporte

O revestimento não deve interferir no funcionamento normal do suporte. Por exemplo, quando se aplica uma tinta sobre um reboco mal curado, provavelmente a pintura descascarã, porque a impermeabilidade da tinta dificultará a saída da umidade e as trocas gasosas necessárias à carbonatação do reboco, sem a qual tornar-se-ã pulverulento sob a película da tinta, causando o descascamento⁵.

A compatibilidade do revestimento com o suporte, também pode ser de ordem geométrica como por exemplo a tolerância de planeidade¹³.

3.3.2.2. Agentes de degradação dos revestimentos de parede

A identificação dos possíveis agentes de degradação que atuam sobre os revestimentos é uma tarefa muito complexa. Durante a vida útil os revestimentos interagem com o meio ambiente, que é constituído de agentes agressivos com diversificados níveis de agressividade. A ação do meio ambiente de um modo geral, ocorre com a conjunção de efeitos de vários agentes de degradação. Deve-se observar que os principais agentes de degradação dos revestimentos são aqueles relacionados com a agressividade do clima. Os efeitos dos diversos agentes climáticos combinados, produz um efeito muito maior de degradação do que se fossem considerados atuando isoladamente³².

No Anexo 3 são apresentadas algumas considerações sobre os agentes de degradação que atuam sobre as pinturas e revestimentos em argamassa.

3.3.2.3. Exposição da edificação ao vento e à chuva

Os centros de pesquisas classificam o grau de exposição de uma fachada de edifício ao intemperismo (vento e chuva), em categorias de acordo com certos fatores. Afim de exemplificar, mencionaremos a do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB³⁷, onde são levados em consideração os seguintes fatores:

I) Localização da construção

São diferenciados quatro tipos de situações:

- i) edificação situada nos grandes centros urbanos;
- ii) edificação situada nas cidades pequenas, médias ou na periferia de grandes centros urbanos;
- iii) edificação situada em campo aberto;
- iv) edificações situadas nas zonas litorâneas.

II) A altura da fachada em relação do nível do solo

- i) paredes com altura inferior a 6 m;
- ii) paredes com altura entre 6 e 18 m;
- iii) paredes com altura entre 18 e 28 m;
- iv) paredes com altura entre 28 e 50 m;
- v) paredes com altura entre 50 e 100 m.

Os casos de paredes com altura maior que 100 m, devem ser analisados separadamente.

III) Presença ou ausência de proteção da fachada a ventos de chuva

Neste caso as fachadas se dividem em fachadas protegidas e não protegidas, sendo que para uma fachada ou parte da mesma, ser considerada protegida deve atender simultaneamente a duas condições:

- i) não ter altura maior que 28 m;
- ii) atender as disposições mostradas nas FIGURAS 3.2 (a) e (b)³⁷.

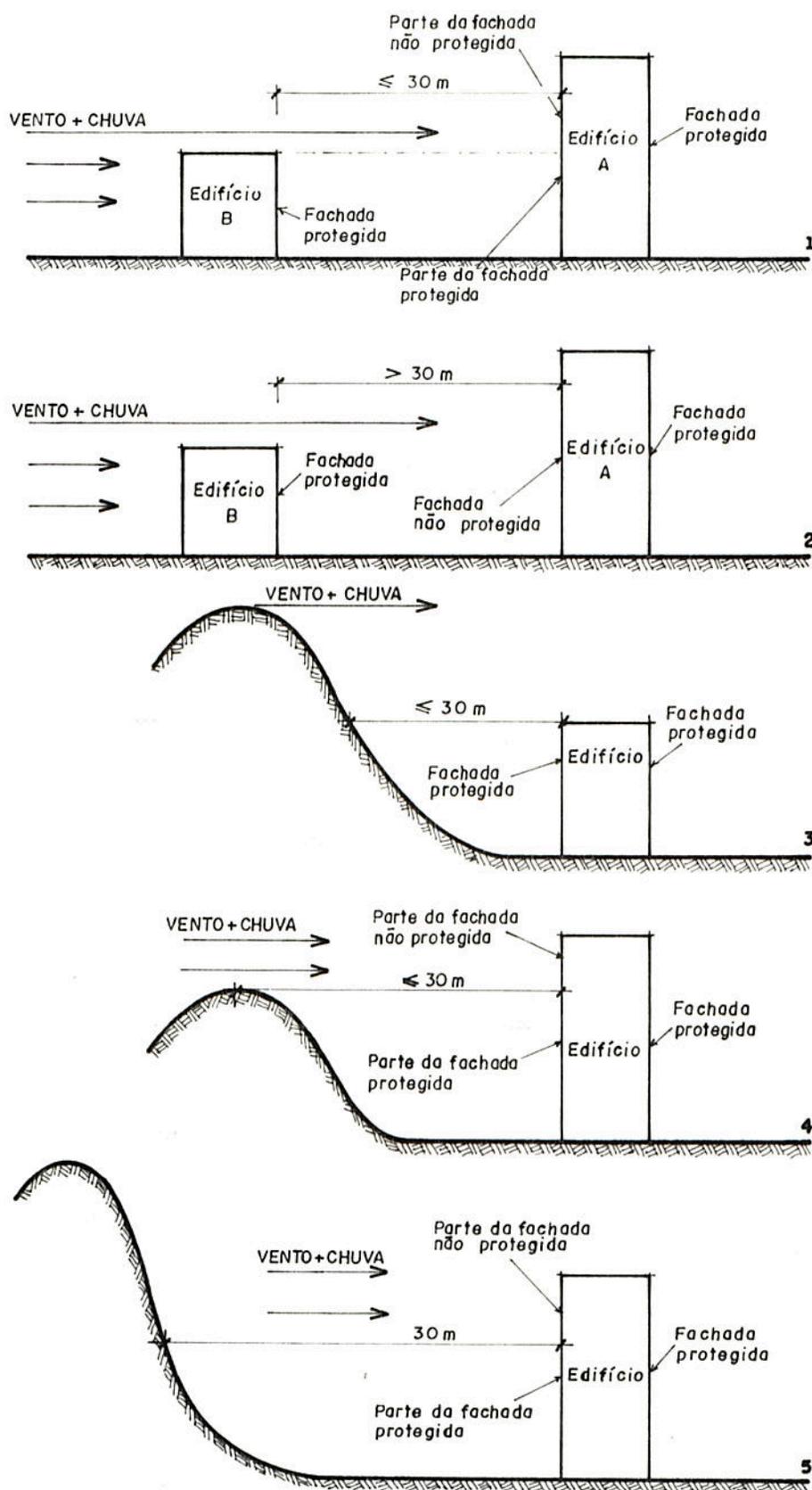


FIGURA 3.2(a) - Fachadas de edifícios considerados protegidos ou não do vento e da chuva.

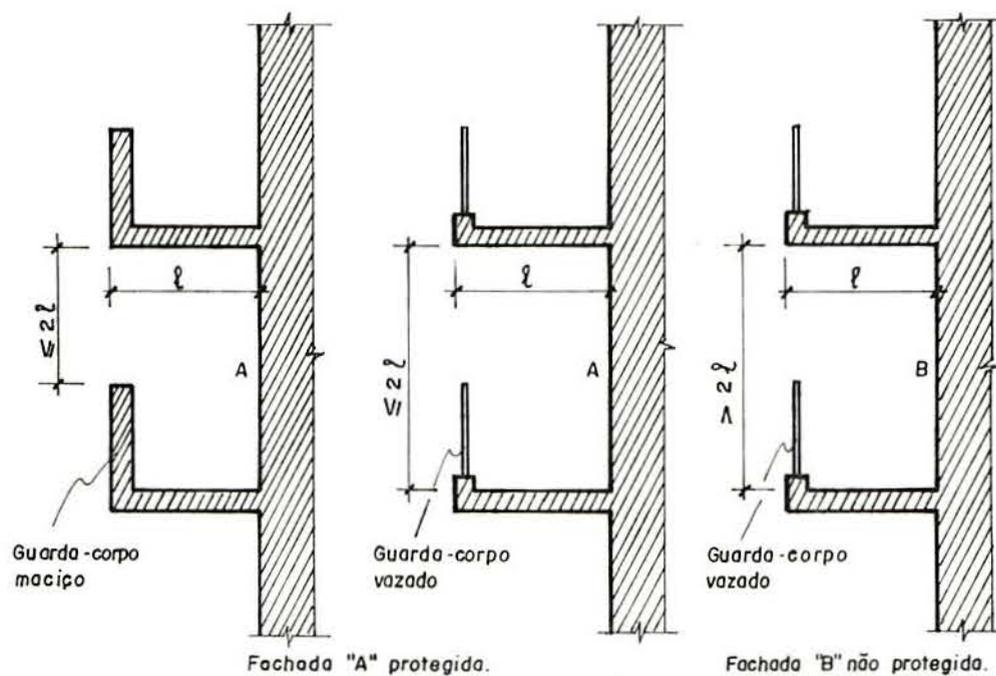


FIGURA 3.2(b) - Fachadas que possuem guar-corpos maciços ou vazados, considerados protegidos ou não do vento e da chuva.

3.3.3. Requisitos e critérios de desempenho em relação à umidade

Os requisitos e critérios de desempenho³⁰ são condições qualitativas e quantitativas respectivamente, às quais um produto deve atender quando submetido às condições de exposição, afim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário.

Os revestimentos exteriores de fachadas e revestimentos das paredes de áreas molháveis da edificação (banheiro, cozinha, etc.), deverão atender, quando submetidos às condições de exposição, a requisitos e critérios de desempenho. Particularmente nos interessa analisar a estanqueidade à água e a durabilidade do revestimento relacionada com a capacidade de impermeabilidade do revestimento ao longo do tempo.

3.3.3.1. Estanqueidade à água

A estanqueidade à água³⁰ é a propriedade dos materiais, componentes ou elementos da edificação de não permitirem a infiltração de água, sendo definida geralmente para determinadas condições de exposição.

A nível nacional, através do documento técnico "Estanqueidade"³⁰, publicado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, são fixados alguns requisitos e critérios para as fachadas exteriores e para as paredes das áreas molháveis da edificação (banheiro, cozinha, etc.), afim de que elas sejam consideráveis estanques à água; tais requisitos e critérios serão definidos a seguir.

3.3.3.1.1. Recomendações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

Os requisitos de estanqueidade à água são:

- i) as fachadas devem ser estanques à água de chuva;
- ii) partes da fachada diretamente em contato com

áreas molháveis da edificação (banheiros, cozinhas, etc.), não devem possibilitar a infiltração de água através de suas faces.

Os critérios de estanqueidade à água são:

i) A fachada sujeita à incidência de água deve permanecer totalmente estanque, ou seja, não deve deixar apresentar em sua face interna vazamentos, escorrimentos ou manchas de umidade, quando submetidas as condições do ensaio prescrito pelo ME-15²⁷ (Determinação da estanqueidade à água de paredes externas).

Vazamentos de água: surgimento de gotas de água, sem constituir um fluxo contínuo, na face da parede oposta àquela onde esteja incidindo água.

Escorrimento de água: surgimento de um filete de água, formando um fluxo contínuo, na face da parede oposta àquela onde esteja incidindo água.

Mancha de umidade: mudança da coloração superficial em uma região localizada, na face da parede oposta àquela onde esteja incidindo água.

ii) A face interna ou externa de fachada sujeita a respingos constantes de água devido à presença de chuveiros ou torneiras, ou sujeitos à condensação de vapor d'água, devem ser impermeáveis de tal forma que, quando submetidas à presença de água durante 24 horas seguidas, a quantidade de água que penetra através de uma região de sua superfície com 34 cm x 16 cm não seja superior a 3 cm³ 30.

iii) As pinturas a base de emulsões acrílicas e vinílicas para alvenaria exterior²⁶, quando submetidas às condições do ensaio ME-15²⁷ (Determinação da estanqueidade à água de paredes externas) não devem permitir:

- o aparecimento de mais de uma mancha de umidade na face da parede oposta à incidência de água e pressão;

- o aparecimento, na face da parede oposta à incidência de água e pressão, de mancha de umidade com área supe-

rior a 1% em relação à área desta face.

3.3.3.2. Durabilidade

Segundo o CIBW80-RILEM 71-PSL³¹ a durabilidade de um produto, componente, montagem ou construção corresponde à capacidade de manter a "serviceability" (capacidade de ser usado na função específica por um tempo especificado).

A vida útil²⁹ é o período durante o qual as propriedades de um produto permanecem acima de limites mínimos admissíveis, quando este é submetido aos serviços normais de manutenção.

A vida útil de um edifício é condicionada pela vida útil de seus componentes. Um componente que exerce função estrutural cuja manutenção e/ou reposição é de difícil execução ou anti-econômico, deve ter uma vida útil igual à do edifício. No caso de um componente que apresente facilidades para que sejam efetuados serviços de manutenção ou reposição onde os custos sejam baixos, este pode apresentar uma vida útil inferior à da edificação.

Um revestimento de parede deve ser resistente a ação de agentes agressivos do meio ambiente²⁹. O conhecimento da variação de desempenho de um material ou componente ao longo do tempo quando submetido a ação de agentes agressivos do meio ambiente é de grande importância. Para o caso dos revestimentos impermeáveis e hidrôfugos utilizados para recobrir as paredes das fachadas e áreas molháveis da edificação (banheiro, cozinha, etc.), é importante que se conheça ao longo do tempo a variação da capacidade impermeabilizante. Esta capacidade impermeabilizante pode ser medida pela propriedade de absorção d'água do revestimento e será tratada no capítulo 4.

Com a perda da capacidade impermeabilizante do revestimento de parede, fatalmente ocorrerá a umidificação da edificação, causando problemas para o usuário.

A FIGURA 3.3¹⁷ mostra possíveis variações do desempenho de um material ou componente, em função do tempo, quando submetido à ação de agentes agressivos do meio ambiente.

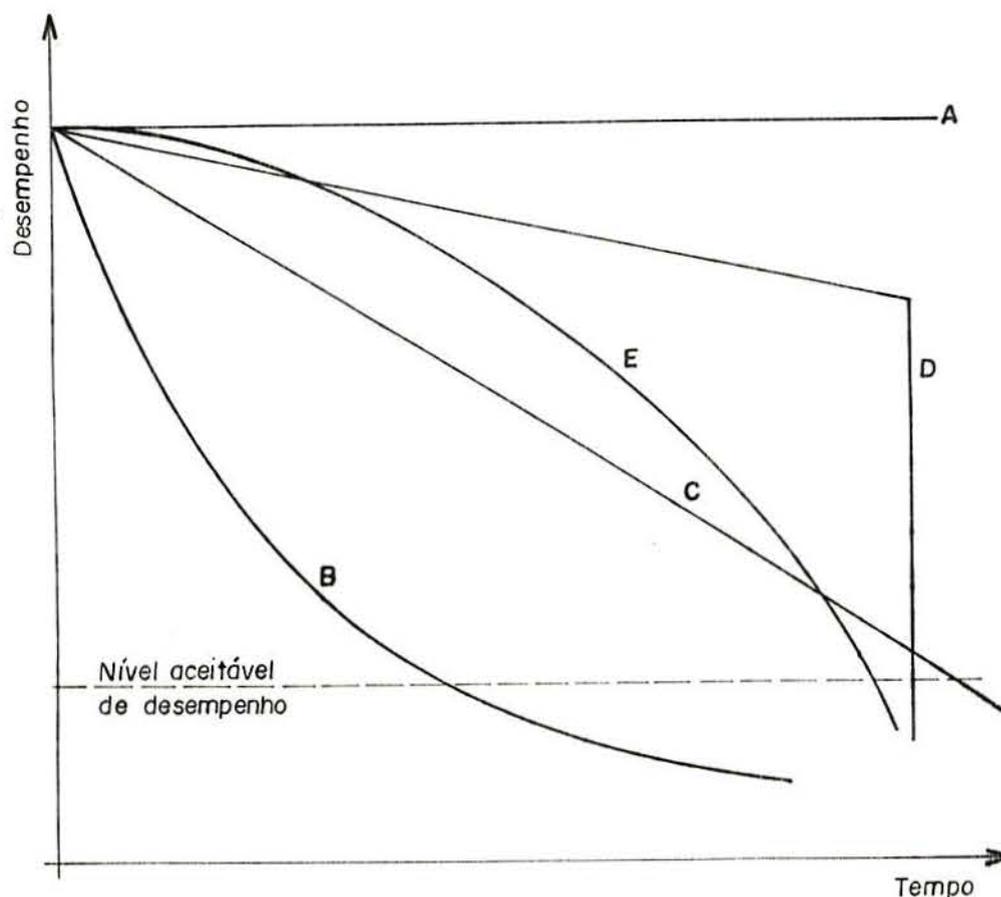


FIGURA 3.3 - Possíveis variações do desempenho de um material ou componente ao longo do tempo, quando submetido à ação de agentes agressivos.

Curva A: é uma curva característica de um material ou componente muito estável com relação a um dado desempenho, não ocorrendo variações sensíveis ao longo do tempo.

Curva B: é uma curva de um material ou componente cujo desempenho apresenta uma variação exponencial com o tempo.

Curva C: é a curva característica de um material ou componente que degrada linearmente com o tempo. Conhecendo-se a declividade da curva, pode-se prever o tempo necessário para o desempenho em estudo, atingir valores inferiores ao nível aceitável.

Curva D: é a curva de um material ou componente cujo desempenho decresce gradativamente com o tempo até a ocorrência repentina do colapso.

Curva E: é uma curva experimental representativa da durabilidade de uma resina silicone, aplicada sobre pedra calcária, pesquisada pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC²⁴.

Conhecendo-se a curva de desempenho ao longo do tempo de um revestimento de parede, como por exemplo a variação da capacidade impermeabilizante, pode-se fazer a previsão de serviços de manutenção, o que contribuirá para aumentar a vida útil do edifício.

A durabilidade de uma pintura refere-se à ação do intemperismo ao longo do tempo. A melhor pintura é aquela que demora mais para calcinar, desbotar, perder sua boa aparência, bem como suas propriedades de proteção. A qualidade também é função do tipo e a maneira de se medir previamente a durabilidade de uma pintura é através de testes ao intemperismo acelerado, o que só pode ser feito em laboratório⁴¹.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, através do texto normativo "Desempenho de pinturas a base de emulsões acrílicas e vinílicas para alvenaria exterior"²⁶, fixa as seguintes considerações: a pintura aplicada sobre a alvenaria e submetida ao intemperismo artificial acelerado (ASTM G26 - Operating light-exposure apparatus with and without water for expositure of nonmetallic materials) não deve apresentar:

- i) fissuras: cizão que se manifesta em películas de pintura, sem tornar visível a superfície da base;
- ii) trincas: cizão que se manifesta em películas de pintura, tornando vizível a superfície da base;
- iii) bolhas;
- iv) descascamento.

3.3.4. Métodos de avaliação de estanqueidade à água de paredes

Definidos os requisitos e critérios a serem atendidos pelo edifício, seus componentes e elementos, são necessários métodos de avaliação para se fazer a constatação se tais produtos atendem aos requisitos e critérios previamente definidos.

Os métodos de avaliação para os revestimentos de parede são realizados através de ensaios e medidas de desempenho, onde se tenta reproduzir o mais fielmente possível as

condições de exposição, simulando de forma padronizada e de preferência combinada, as solicitações a que está submetido o revestimento de parede. Esses ensaios permitem a verificação direta de um dado critério de desempenho. Os ensaios são realizados normalmente em laboratório, com corpos de prova (paredes revestidas) construídos com características idênticas à realidade de obra (revestimento a ser usado, espessura real da parede, número de demãos aplicadas, etc.).

A estanqueidade à água de uma parede revestida, normalmente é verificada através da simulação de chuva e vento nos corpos de provas com intuito de avaliar o desempenho da parede à infiltração de água, durante um determinado tempo, sob condições específicas de vazão de água e pressão pneumática de acordo com cada método de ensaio.

Neste trabalho preferiu-se selecionar os métodos de ensaio mais difundidos e preconizados por centros de pesquisas.

Deve-se dar uma maior atenção para os métodos de avaliação da estanqueidade à água recomendados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT e pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC, já que esses supõem uma adaptação à nossa realidade.

3.3.4.1. Métodos de ensaios preconizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

Para a avaliação dos requisitos e critérios definidos no item 3.3.3.1.1 anteriormente relatado, existem dois métodos de ensaio que são:

i) Determinação da estanqueidade à água de paredes externas²⁷.

ii) Ensaio para verificação "in situ" da permeabilidade à água de fachadas e divisórias³⁰.

3.3.4.1.1. Determinação da estanqueidade à água de paredes externas

O ensaio consiste em submeter, durante um tempo de-

terminado, a face externa de um corpo de prova (parede revestida com o material que será utilizado na obra) a uma vazão de água criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face.

Para a realização do ensaio é utilizada uma câmara (FIGURAS 3.4 (a), (b) e (c)²⁷) de formato prismático de dimensões compatíveis com o corpo de prova, estanque, e provida de:

i) abertura em uma das faces para a fixação do corpo de prova;

ii) orifício de saída de água na base, provido de sifão que possibilite a formação de um fecho hídrico no interior da câmara;

iii) orifício para ligação da alimentação de água, do sistema de aplicação de pressão, do manômetro e da saída de ar.

São ensaiados pelo menos dois corpos de prova com as seguintes dimensões mínimas, largura de 105 cm e comprimento de 135 cm, não havendo restrições para a espessura.

A aspersão de água e a pressão pneumática sobre o corpo de prova é de $3,0 \pm 0,3$ l/min e $30 \pm 0,5$ Pa respectivamente, e devem ser mantidas durante todo o tempo de ensaio que é de 7 horas.

Deve ser registrado para cada um dos corpos de prova:

i) o tempo de ensaio quando do aparecimento da primeira mancha de umidade na face interna oposta à incidência de água e pressão;

ii) a percentagem da área da mancha de umidade ao final do ensaio em relação à área total da face interna oposta à incidência da água e pressão.

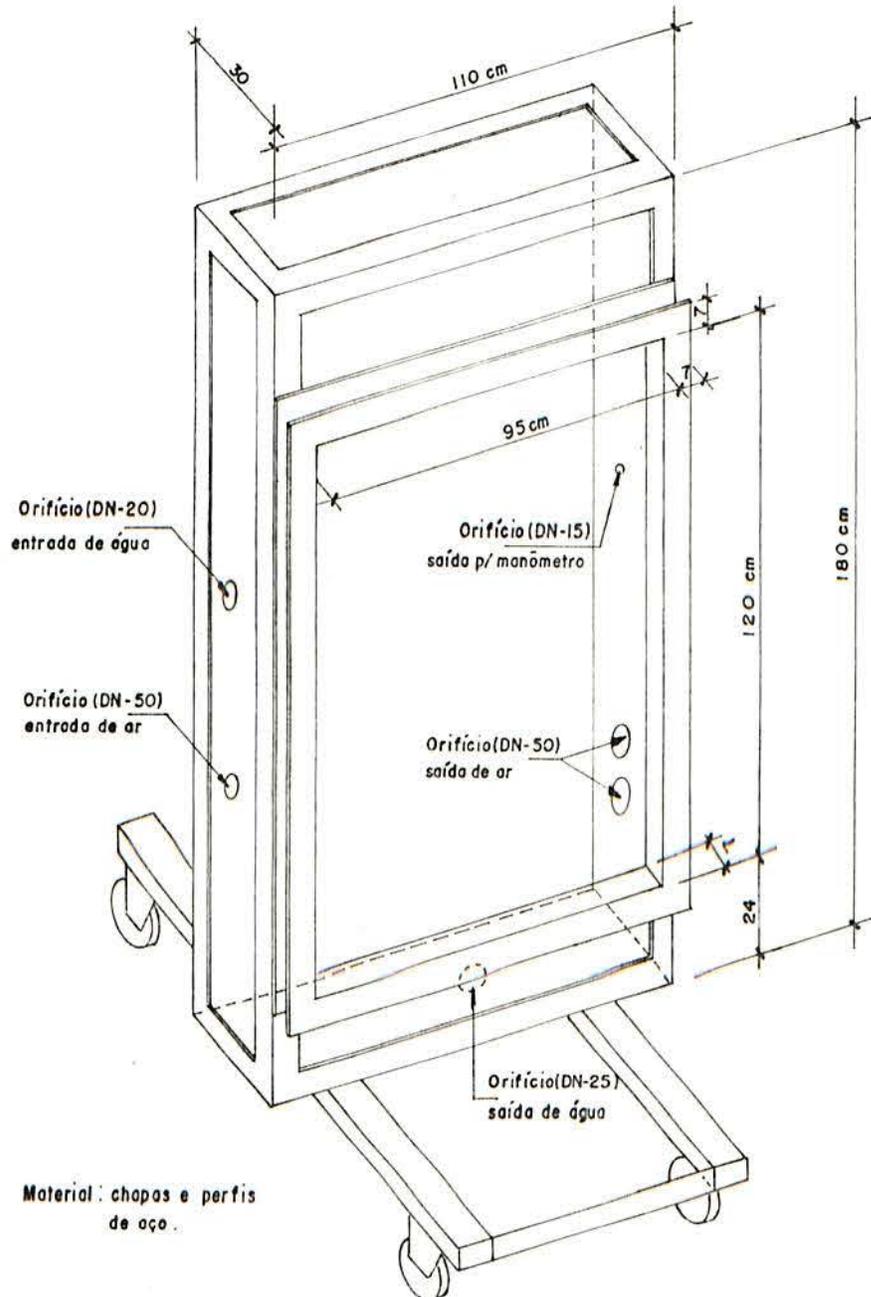


FIGURA 3.4(a) - Câmara de ensaio de estanqueidade à água usado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

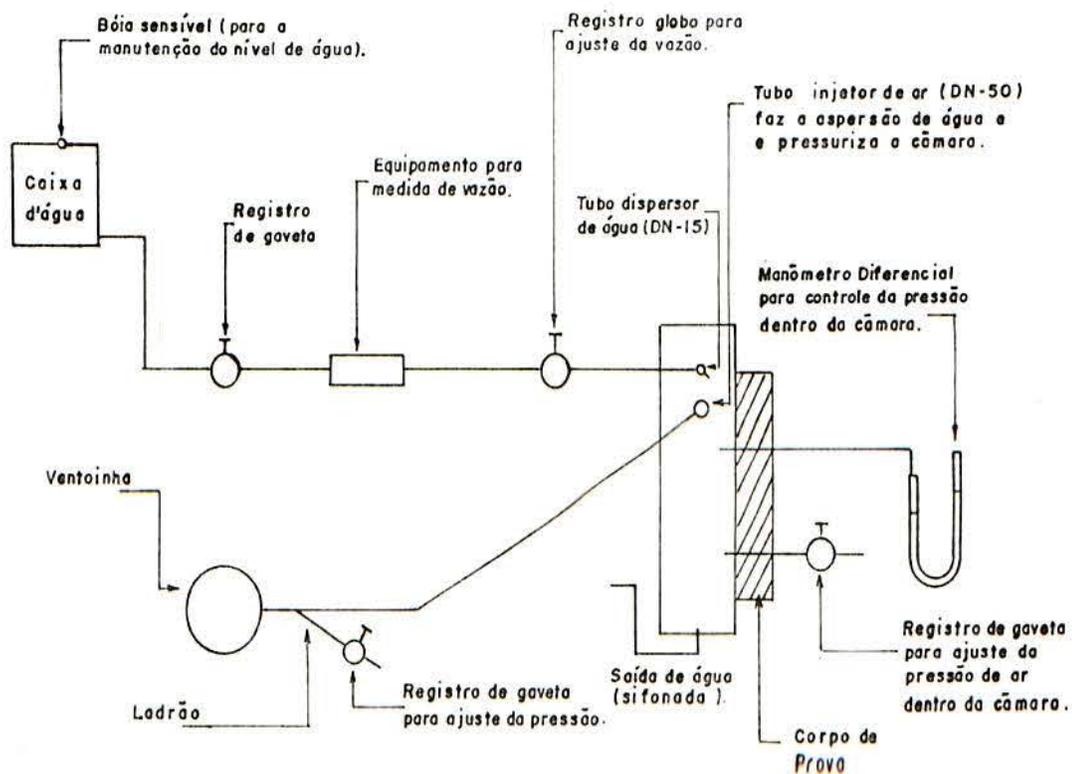
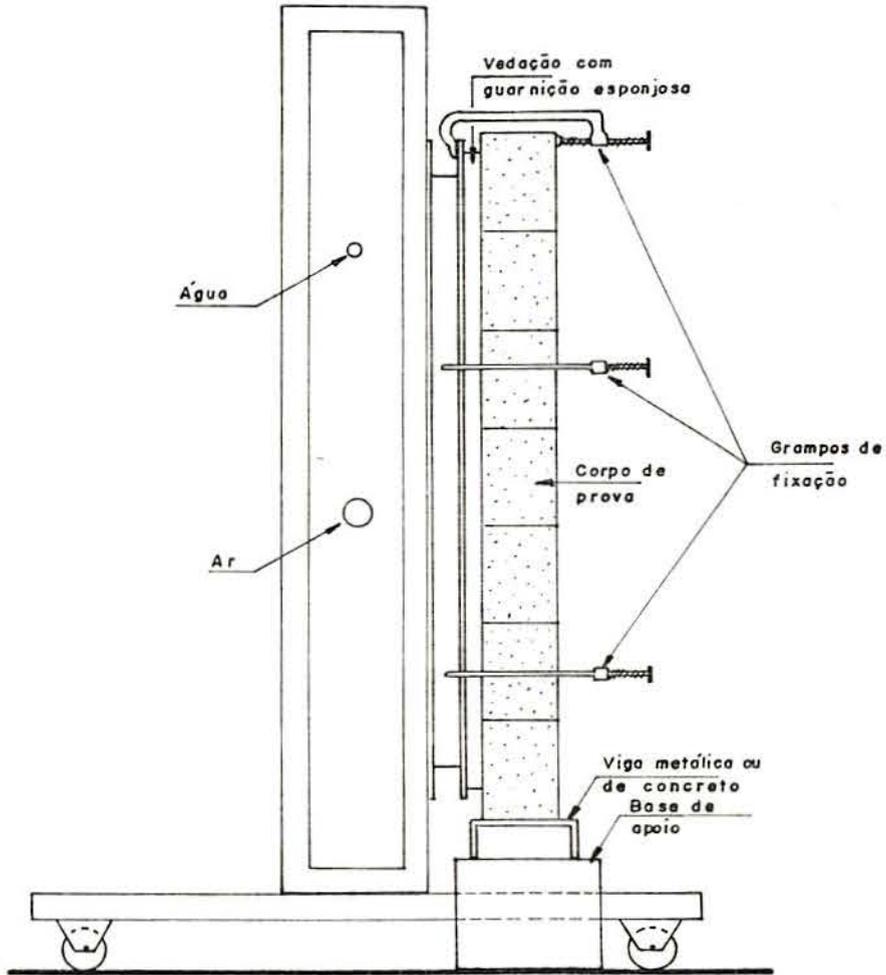


FIGURA 3.4(b) - Esquema de funcionamento da câmara de ensaio de estanqueidade à água usado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

Vista lateral



Corte vertical

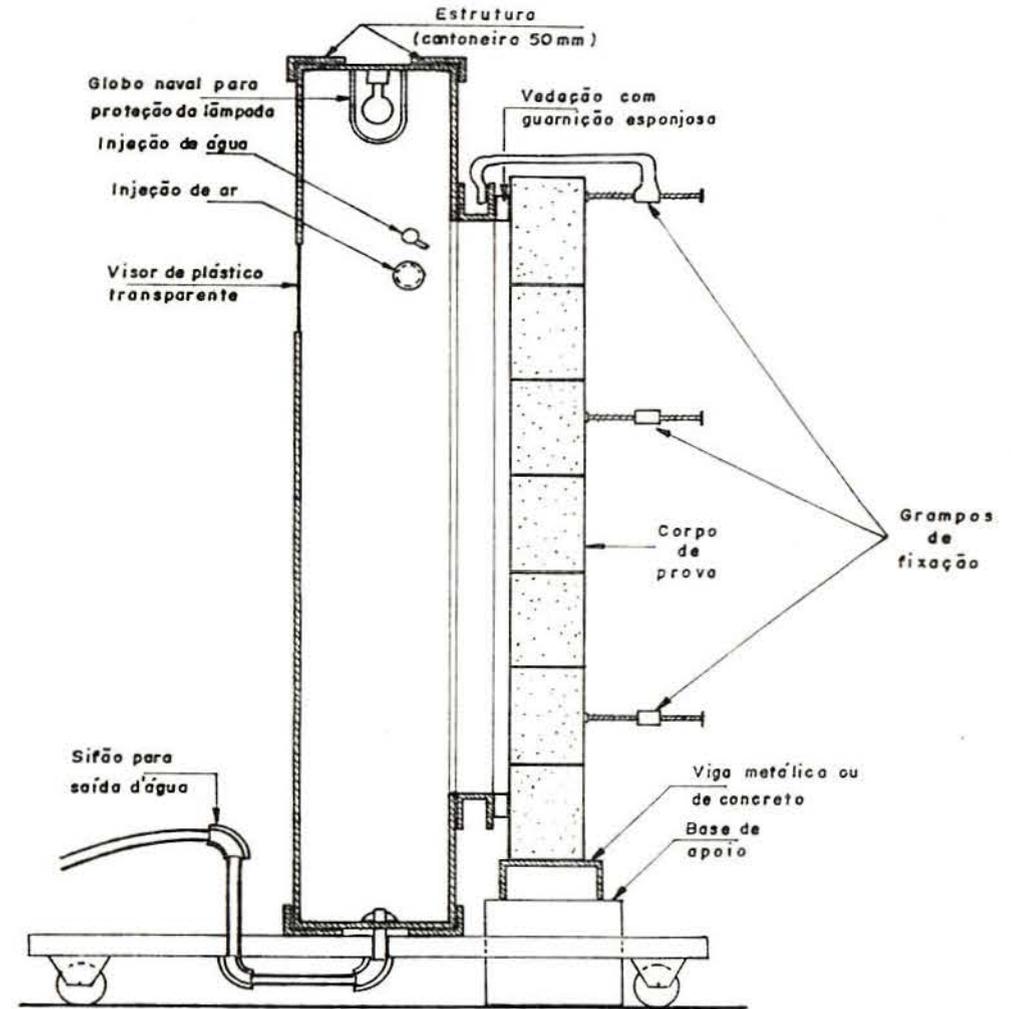


FIGURA 3.4(c) - Vista lateral e corte vertical da câmara de ensaio de estanqueidade à água usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

3.3.4.1.2. Ensaio para verificação "in situ" da permeabilidade à água de fachadas e divisórias

O ensaio consiste em submeter um trecho de parede revestida à presença da água, com pressão constante, por meio de uma câmara acoplada à parede.

A câmara tem um formato de caixa (FIGURAS 3.5 (a) e (b)³⁰) contendo no seu perímetro uma moldura para acoplamento à parede (por meio de um mastique).

Uma bureta graduada em cm^3 , para manutenção da pressão constante no interior da câmara e para medir o volume de água eventualmente infiltrado na parede é emborcada na câmara. Caso haja infiltração de água na parede, o mesmo volume de água infiltrado será repostado pela água contida na bureta, mantendo-se constante o nível de água no interior da câmara e permitindo assim a quantificação da água infiltrada.

Resumidamente o ensaio consiste em:

i) fixar a câmara de ensaio na parede, selando-se suas bordas com mastique;

ii) preencher com água a câmara e a bureta, registrando o nível inicial contido na mesma;

iii) registrar o nível de água na bureta após os seguintes períodos: 1/2 hora, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 6 horas e 24 horas.

Para cada um dos períodos relacionados anteriormente deve-se registrar o volume de água infiltrado, obtido pela diferença entre o nível de cada período e o nível inicial da água contida na bureta.

Este ensaio tem as mesmas características do "Essais in situ de permeabilité de maçonneries", descrito por MAMILLAN³³.

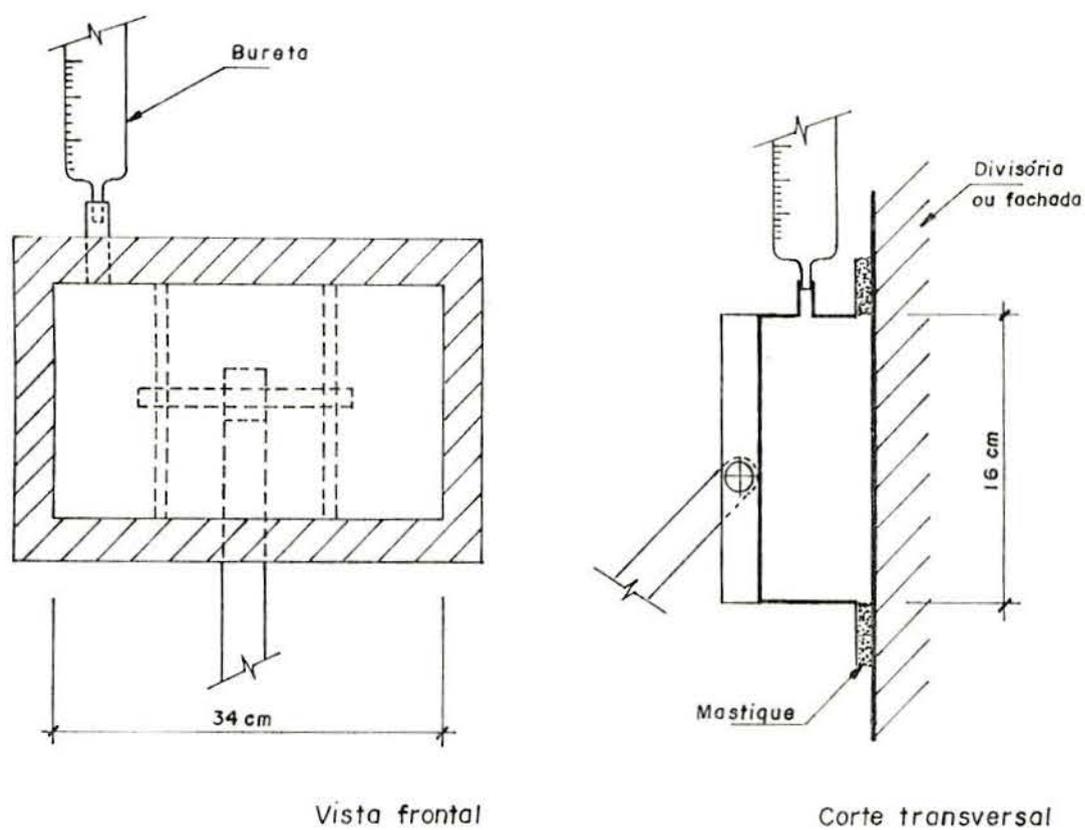


FIGURA 3.5(a) - Câmara para ensaio de permeabilidade "in situ" em paredes, usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

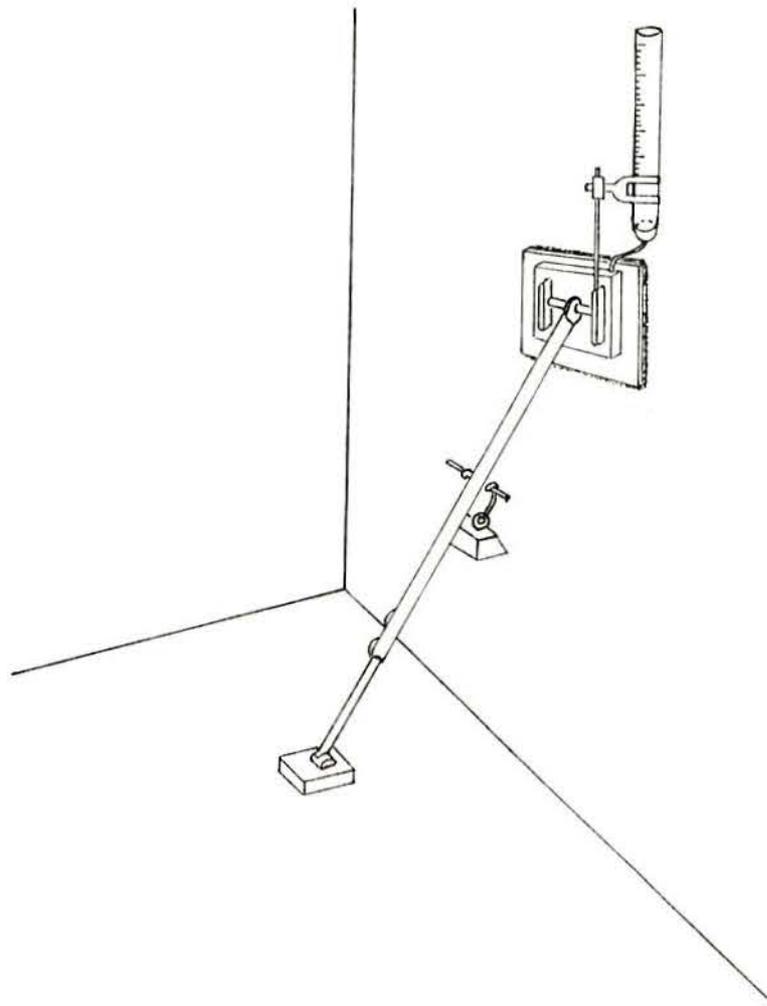


FIGURA 3.5(b) - Acoplamento da câmara de ensaio de permeabilidade "in situ" em paredes, usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT.

3.3.4.2. Método de ensaio preconizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC

A nível do Rio Grande do Sul, o Departamento de Engenharia Estrutural da Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC¹⁹, situada em Porto Alegre, realiza ensaios com o objetivo de determinar as condições de estanqueidade à água das paredes de alvenaria revestidas, quando as mesmas são submetidas à ação de um dispositivo, que simula condições de precipitação pluviométrica (vide FOTO 1).

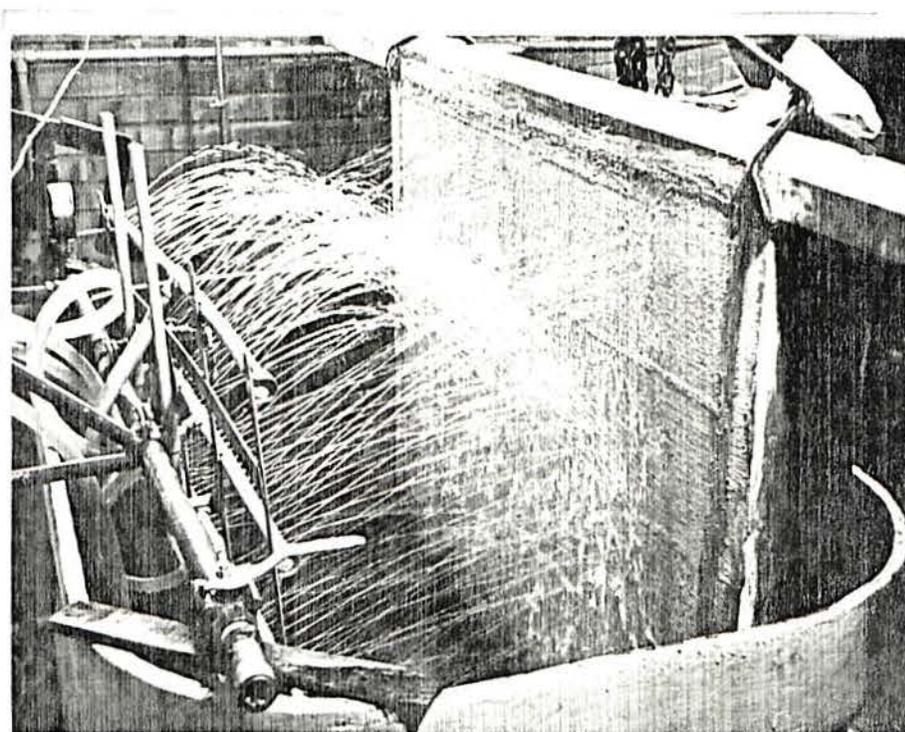


FOTO 1 - Vista parcial do equipamento usado para a execução do ensaio de estanqueidade à água utilizado pela Fundação de Ciências e Tecnologia - CIENTEC.

O ensaio consiste em submeter a face de exposição de um painel de 1,0 (um) m² de área a quatro chuveiros horizontais, com jatos de água distribuídos uniformemente por toda a superfície durante 12 horas, cronometrando-se o tempo necessário para a formação de manchas de umidade na face oposta (face de observação) do painel.

São moldados três corpos de provas, conforme as especificações do interessado e submetidos, separadamente, às condições de ensaio. Após os ensaios, os resultados dos desempenhos são confrontados com o resultado do desempenho de um painel padrão (vide TABELA 3.3¹⁹), que foi submetido às mesmas condições de exposição.

A face de observação de cada painel (face oposta à aplicação de água) recebe uma pintura de cal para evidenciar as manchas de umidade que porventura apareçam.

As características da aparelhagem de ensaio são:

- superfície molhada: 1,0 (um) m² (1,21m x 0,83m);
- distância dos chuveiros ao painel: 0,40 m;
- distância entre os chuveiros: 0,20 m;
- inclinações médias de incidência dos jatos sobre a superfície: 80°, 40°, 80°, 88°;
- vazão de aspersão d'água: 1,80 m³/hora; o que simula uma chuva de 1800 mm/hora.

Este método de ensaio é semelhante ao primeiro método idealizado pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment⁴³, onde não era aplicado pressão pneumática simultaneamente com a aspersão de água sobre o corpo de prova.

TABELA 3.3 - Desempenho do corpo de prova padrão que serve de referência aos ensaios de estanqueidade à água realizados pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC.

Corpo-de-prova	Características dos painéis						Ensaio de estanqueidade			
	Alvenaria			Revestimento aplicado			Data de realização	Período de incidência de água	Resultados	
	Tipo	Espessura (cm)	Observações	Face de observação	Face de exposição	Observações			Tempo do início das manchas de umidade	Superfície manchada pela umidade (%)
Painel padrão	tijolos furados de barro cozido	15 (2,5 + 10 + 2,5)	tijolos de 6 furos, com 10 cm de espessura, rejuntados com argamassa de cimento, cal e areia regular; traço: 1:2:9	argamassa de cimento, cal e areia regular, com 2,5 cm de espessura	argamassa de cimento, cal e areia regular, com 2,5 cm de espessura	traço da argamassa de reboco: 1:2:5	13/02/80	12h00min	vazou com 07h40min de ensaio	10%

3.3.4.3. Método de ensaio preconizado pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB

O ensaio de chuva artificial⁴⁴ sobre as paredes exteriores se destina a estudar o controle da resistência à penetração de água de chuva nas fachadas dos edifícios.

O princípio do método se caracteriza pela pulverização de água e pressão de ar constante sobre a face exterior de uma parede construída em laboratório.

O ensaio é realizado em uma câmara (vide FIGURA 3.6⁴⁴), em um corpo de prova (parede revestida) de dimensões mínimas de 1,50m x 1,50m, construído de maneira a representar a realidade da obra.

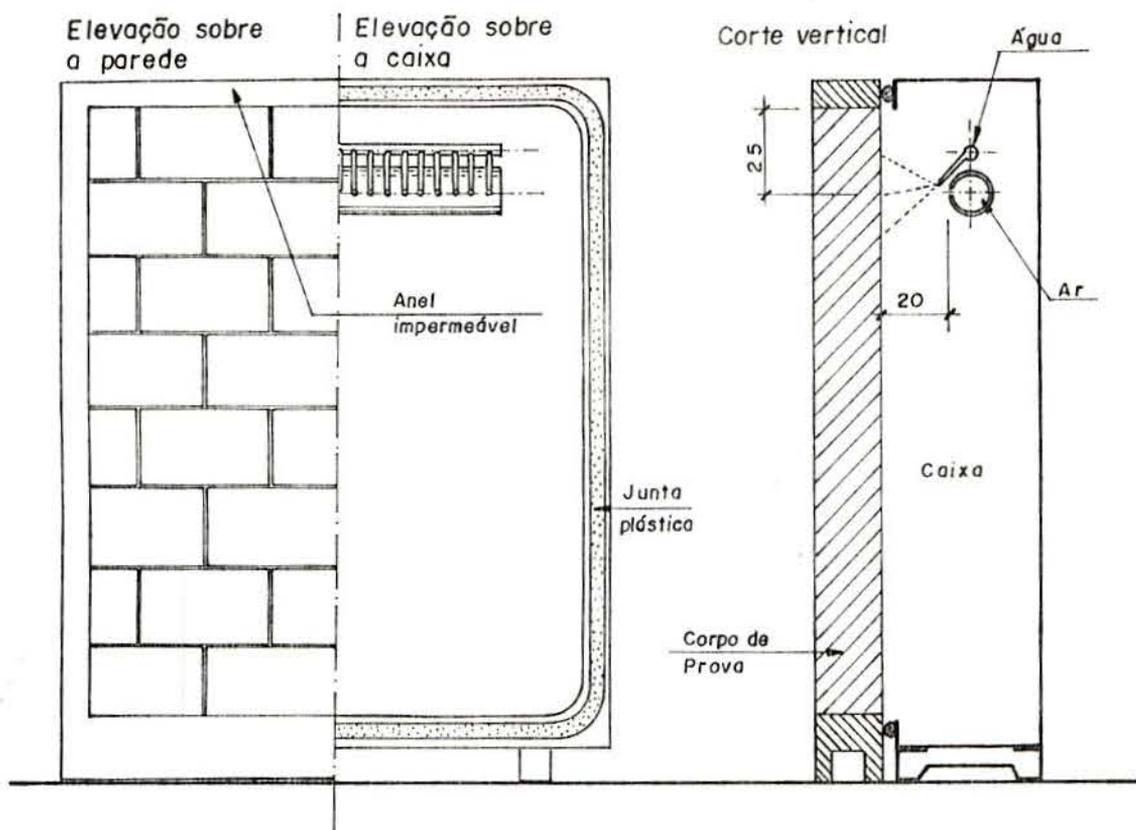
As características do método de ensaio são:

- i) vazão de aspersão d'água de 24ℓ/m/h;
- ii) pressão do ar constante e igual a 100 Pa, no interior da câmara;
- iii) tempo de execução do ensaio igual a 24 horas.

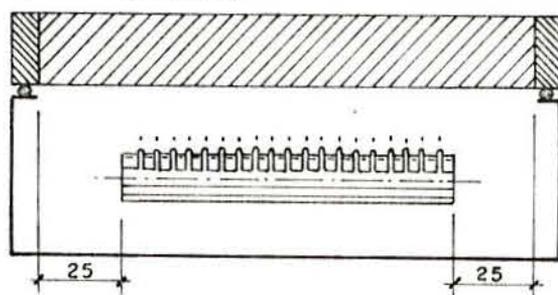
As principais observações e medidas quando da realização do ensaio são:

- i) peso da parede antes e após o término do ensaio (verificação da absorção d'água);
- ii) observação do tempo e local da aparição do vazamento de água, na face oposta a que recebeu a incidência de jatos d'água;
- iii) medição da quantidade de água que se infiltrou e escorreu pela face interna da parede.

A TABELA 3.4⁴⁴ mostra alguns resultados de ensaio de chuva artificial realizados com a finalidade de se verificar o desempenho a estanqueidade à água de algumas paredes revestidas.



Corte horizontal



Detalhe do lançamento de água

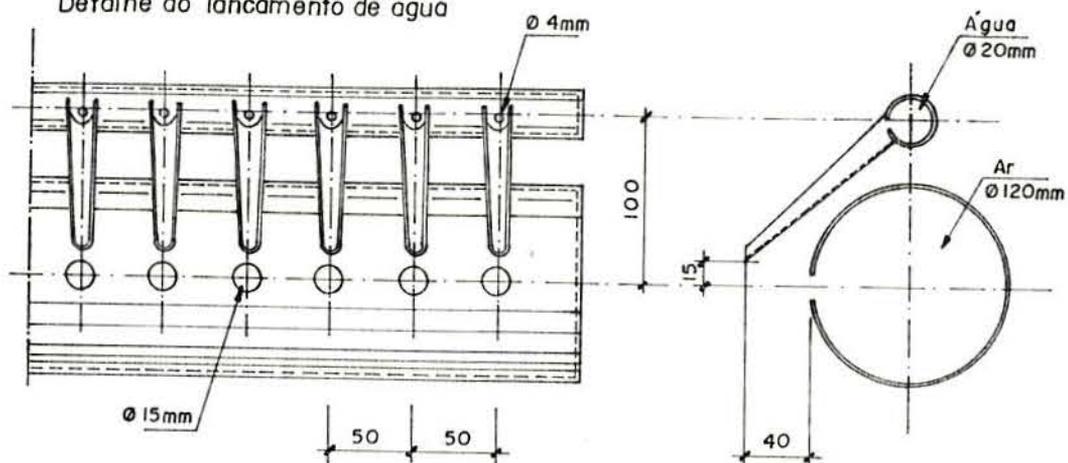


FIGURA 3.6 - Câmara de ensaio de estanqueidade à água utilizada pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB.

TABELA 3.4 - Resultado de ensaios de chuva artificial sobre paredes de alvenaria, em blocos cerâmicos vazados (15 x 20 x 40cm), realizado pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB.

Número da parede	Característica do revestimento			Resultados do ensaio				Interpretação dos resultados
	Números de camadas	Dosagem em volume: cimento, cal, areia	Origem da areia	Infiltrações	Escorrimento de água		Absorção	
				Tempo de aparição da 1ª mancha de umidade	Tempo de aparição do 1º escoamento de água	Quantidade de água recolhida depois de 24h (em litros)	Aumento do peso da parede depois de 24h	
1	1 camada de argamassa	1:0:7	Marne	8h30	-	-	6 kg	Bom
2		1:0:6	"	> 8h	-	-	1 kg	Excelente
3		1:0:6	"	-	-	-	6 kg	Excelente
4		0:1:5	"	-	-	-	10 kg	Excelente
5		1:2:9	"	-	-	-	16 kg	Excelente
7		2:0:2,25	"	-	-	-	13 kg	Excelente
8		1:0:7	Loire	45'	1h	5	18 kg	Medíocre
9		1:1:6	"	1h15'	-	-	6 kg	Médio
10		2 camadas de argamassa	1:0:2	Loire	-	-	-	14 kg
		1:1:6						
6	1 camada de argamassa	1:1:3	Marne	10'	7h	0,5	30 kg	Medíocre

3.3.4.4. Método de ensaio preconizado pela American Society for Testing and Materials - ASTM

O método "Standard Test Method for Water Permeance of Masonry"², descreve o procedimento para se determinar a resistência à penetração de água, que uma parede revestida ou não deve apresentar, quando submetida às condições de exposição ao vento e à chuva.

O ensaio é realizado em condições de laboratório e consiste em colocar um corpo de prova de dimensões 1,21m x 0,92m, dentro de uma câmara (FIGURAS 3.7 (a) e (b)²) e em seguida aspergir sobre o mesmo, jatos de água à vazão de 2,31 l/m² .min e simultaneamente aplicar uma pressão de ar de 479 Pa, durante 24 horas.

O corpo de prova é moldado conforme as condições da execução da parede na obra e curado ao ar durante no mínimo de 28 dias e no máximo de 60 dias antes da execução do ensaio. Após as 24 horas de ensaio, o corpo de prova fica em observação por mais 2 dias para verificação do aparecimento de manchas de umidade.

O registro de observações deve ser feito da seguinte maneira:

- i) durante as 3 horas iniciais do ensaio são feitas contínuas observações sobre quaisquer alterações que possam ocorrer;
- ii) após as 3 horas iniciais as observações poderão ser feitas em intervalos maiores de tempo, sendo observada a face oposta onde incide o jato de água e a pressão do ar, e registrados:
 - a) o tempo necessário para aparecer a primeira mancha de umidade;
 - b) o tempo necessário para ocorrer vazamento de água;
 - c) o tempo necessário para ocorrer escoamento da água (escoamento: vazão \geq 0,05 litros/hora);
 - d) o tempo em que ocorreu o maior escoamento;
 - e) maior escoamento ocorrido no fim de 24h (maior vazão ocorrida);
 - f) a área de umidade que aparecer na face oposta à

que recebeu incidência de água (expresso em %).

Observando-se a face oposta àquela que recebeu a incidência de água e vento, classifica-se as paredes de 5 classes, a saber:

i) Classe E

- não ocorrer vazamento de água durante as 24 horas de aspersão;

- caso ocorra mancha de umidade nesta face, esta deverá ser menor que 25% da área da parede, até 48 horas após ter cessado a aspersão d'água;

- não ocorrer escoamento de água durante sua aspersão.

ii) Classe G

- não ocorrer vazamento de água durante as 24 horas de aspersão;

- caso ocorra mancha de umidade nesta face, esta deverá ser menor que 50% da área da parede, até 24 horas após ter cessado a aspersão d'água;

- não ocorrer escoamento de água durante a sua aspersão.

iii) Classe F

- ocorrer vazamento de água entre 3 e 24 horas durante sua aspersão;

- ocorrência de escoamento de água com uma vazão menor que 1 litro/hora durante as 24 horas de aspersão.

iv) Classe P

- ocorrência de vazamento de água dentro das 3 horas iniciais de aspersão e escoamento de água com uma vazão menor que 5 litros/hora, durante as 24 horas de aspersão;

- ocorrência de vazamento de água entre 3 e 24 horas de aspersão e escoamento de água com uma vazão compreendida entre 1 litro/hora e 5 litros/hora.

v) Classe L

- ocorrer escoamento de água com uma vazão maior que 5 litros/hora durante a sua aspersão.

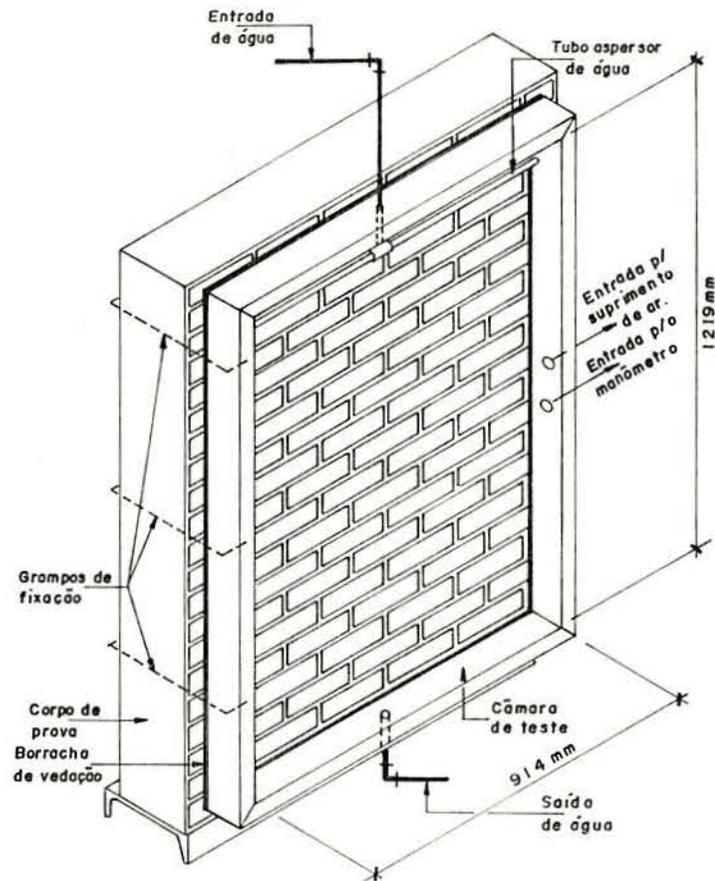


FIGURA 3.7(a) - Projeção isométrica da câmara de ensaio de estanqueidade à água preconizada pela American Society for Testing and Materials - ASTM.

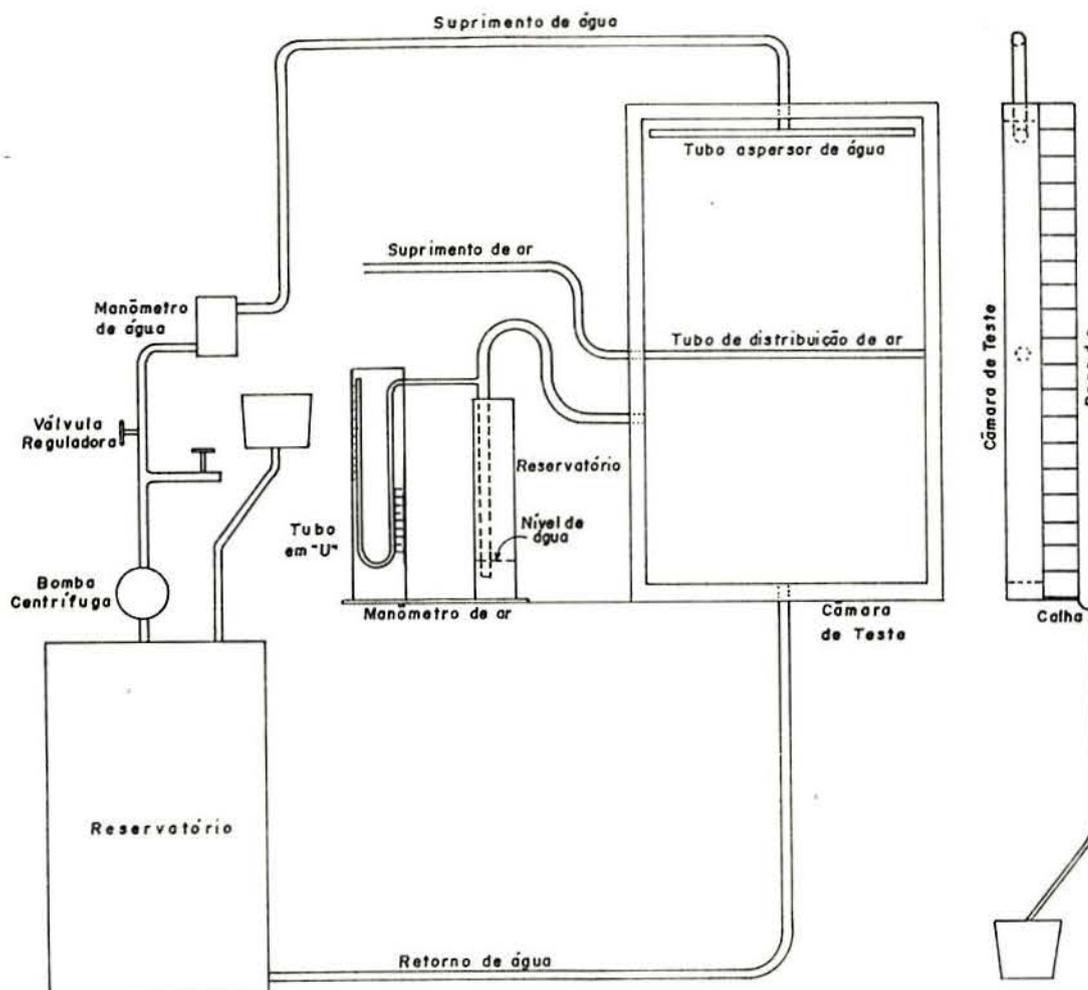


FIGURA 3.7(b) - Esquema de funcionamento da câmara de ensaio de estanqueidade à água preconizada pela American Society for Testing and Materials - ASTM.

3.3.4.5. Método de ensaio preconizado pelo British Standards Institution - BSI

O "Method of Test for Resistance to Air and Water Penetration, Part 2. Permeable walling constructions (water penetration)"¹⁰, especifica o procedimento para se determinar a resistência à penetração de água em paredes de alvenaria (revestidas ou não) sob a influência de pressão pneumática.

O ensaio é realizado em laboratório, onde um corpo de prova é confeccionado dentro de um quadro composto de uma armação de aço, que será transportado e acoplado a uma câmara

de teste (FIGURA 3.8¹⁰).

O grau de penetração de água pode ser avaliado por três métodos:

i) Método A: registro do aumento da área de umidade na face oposta da parede que recebe a incidência de jatos d'água, por meio da filmagem "Time-Lapse", durante o ensaio.

ii) Método B: registro do aumento de peso do corpo de prova, devido a absorção d'água, durante o ensaio.

iii) Método C: coleta e medição da água que vazou e escoou pelo corpo de prova no decorrer do ensaio.

A aparelhagem necessária para a realização do ensaio é composta de:

i) uma câmara de teste, possuindo sistemas de suprimento de ar e de água;

ii) um quadro formado por perfis, de aço em seção U (150mm x 75mm ou 225mm x 75mm), dotado de dispositivo para içamento para pesagem;

iii) equipamento "Time-Lapse";

iv) equipamento de pesagem;

v) coletor e medidor de vazão de água.

O corpo de prova deve ser confeccionado pelo menos 14 dias antes da execução do ensaio e curado em condições de laboratório (temperatura entre 10°C e 95°C e umidade relativa do ar entre 40% e 70%). A parte de trás do corpo de prova, que não ficará exposta à incidência de jatos d'água e pressões de ar poderá ser pintada com cal antes da realização do ensaio para se detectar com mais facilidade as manchas de umidade que por ventura apareçam.

O tempo de realização do ensaio é de 48 horas, sendo que a cada intervalo de meia em meia hora, são aplicados jatos d'água durante um minuto a uma vazão de 25 ml/minuto para cada 10mm de comprimento da área de teste. A área de teste deverá ser configurada por uma região delimitada pelas dimensões mínimas de 1,0m x 1,0m no corpo de prova.

A pressão pneumática constante, aplicada na face de exposição do corpo de prova, é de 500 Pa.

Com o auxílio da filmagem "Time-Lapse" é registrado, antes de cada intervalo de aspersão de água, a face posterior do corpo de prova que não está submetida às condições de exposição do ensaio, com intuito de se determinar posteriormente o crescimento percentual das manchas de umidade em relação à área total de teste. Caso se observe que a penetração da água seja muito rápida, o tempo de registro poderá ser reduzido para melhor identificação das manchas de umidade.

A pesagem do corpo de prova também é registrada no início do ensaio e após cada meia hora para se conhecer o aumento percentual de peso, que representará a absorção d'água do corpo de prova.

A água que vaza e escorre através do corpo de prova é coletada em intervalos de meia em meia hora, a partir da primeira meia hora até o final do ensaio, podendo assim determinar a sua vazão ($\text{ml}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) de escoamento.

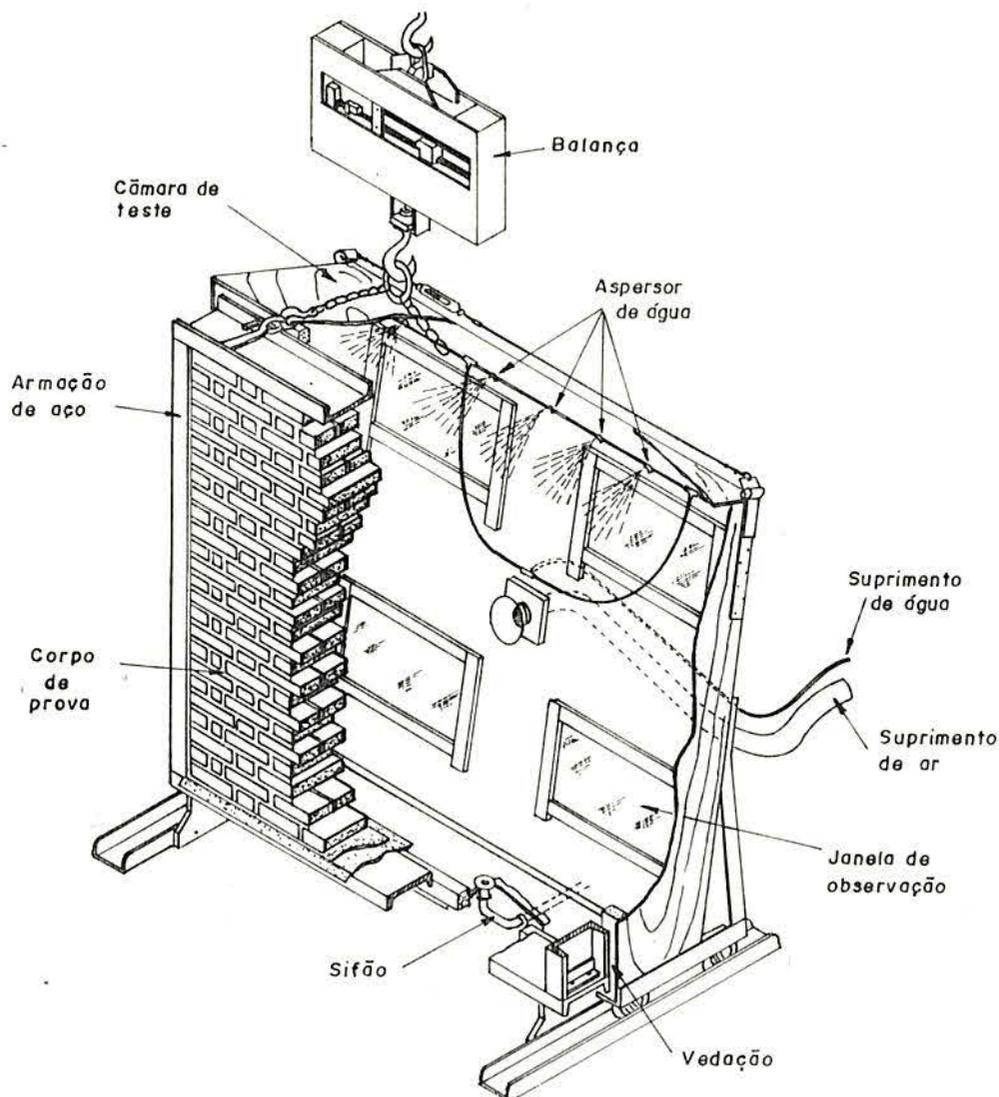


FIGURA 3.8 - Câmara de ensaio de estanqueidade à água preconizada pela British Standard Institution - BSI.

3.3.4.6. Método de ensaio preconizado pelo Building Research Institute - BRI

O "Standard method of test for rain water penetration"⁵⁰, estabelece como exigência de desempenho que as paredes externas das edificações devam ser impermeáveis à água de chuva.

O método testa a estanqueidade à água de corpos de prova (paredes revestidas ou não), através da simulação das condições ambientais de chuva e vento em uma câmara de testes, devendo ser ensaiados mais de um corpo de prova.

A aparelhagem para a realização do ensaio é a se-

guinte:

i) uma câmara de teste com dimensões de 2,0mx2,0mx 0,66m provida de janelas de observação, sistemas de suprimento de água e ar;

ii) armação de aço, onde será confeccionado o corpo de prova para o teste;

iii) compressor de ar com capacidade de aplicação de uma pressão estática acima de 2500 Pa;

iv) sistema de aspersão d'água com capacidade de aplicação de 6 l/min.m².

O corpo de prova deve ser curado nas condições ambientais do laboratório pelo menos por 7 dias e a seguir, ser acoplado à câmara de ensaio, permanecendo acoplado à mesma por mais 7 dias antes da realização do ensaio.

A penetração de água deverá ser examinada de acordo com os dois métodos:

i) Método A

- o nível de aplicação de pressão pneumática varia de cinco em cinco minutos, indo de 0 a 6130 Pa, conforme é mostrado na TABELA 3.5⁵⁰;

- a água é aspergida sobre o corpo de prova a uma quantidade de 4 l/min.m² em cada intervalo de 5 minutos, combinada com a aplicação de pressão pneumática;

- a cada troca de nível de pressão pneumática, a aspersão de água é interrompida temporariamente para drenar a água que porventura vazou e escorreu na face oposta do corpo de prova que sofreu a aplicação de aspersão de água e pressão de ar.

ii) Método B

- o mesmo corpo de prova ensaiado pelo Método A, deverá ser novamente submetido às condições de cura, conforme mencionado anteriormente. Com o nível de pressão de ar que causou o vazamento de água no corpo de prova durante a execução do Método A, e uma aspersão de água de 4 l/min.m², observa-se se ocorre novamente o vazamento, durante os 5 minutos de realização do ensaio.

A avaliação do ensaio é feita através da classificação do corpo de prova em relação a seu grau de estanqueidade à água segundo a TABELA 3.5⁵⁰, da seguinte maneira:

- quando da aplicação da pressão de ar e da aspersão de água sobre o corpo de prova no Método B ocorre vazamento de água, o corpo de prova será classificado na classe que possuir a pressão de ar imediatamente inferior àquela que provocou o vazamento. Quando não ocorrer vazamento de água durante a realização do Método B o corpo de prova será classificado na classe correspondente à pressão a que foi submetido.

TABELA 3.5 - Classe do corpo de prova em relação a seu grau de estanqueidade à água, segundo o "Standard method of test for rain water penetration", preconizado pelo Building Research Institute-BRI.

CLASSE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pressão (Pa)	0	60	250	550	980	1530	2210	3930	6130	
(velocidade equivalente do vento m/s)	(0)	(10)	(20)	(30)	(40)	(50)	(60)	(80)	(100)	

4. AVALIAÇÃO DA IMPERMEABILIDADE DE UM REVESTIMENTO DE PAREDE PELO MÉTODO DO CACHIMBO

4.1. Origem do Método

Em 1977 o Centre Scientifique et Technique de la Constrution - CSTC²⁴ iniciou o desenvolvimento de uma pesquisa com o objetivo de estudar as resinas silicones que existiam no mercado.

Foi analisado durante treze anos o comportamento de três resinas silicones aplicadas sobre quarenta tipos de pedras calcárias de uso corrente nas fachadas de edifícios da Bélgica.

As pedras calcárias, faziam parte de uma parede experimental voltada para a orientação sul, situada na estação experimental de Limelette.

Ao longo dos treze anos a parede experimental foi objeto de estudo com intuito de se determinar a durabilidade natural das três resinas silicones que revestiam as pedras calcárias.

Para a determinação da perda da eficácia inicial ao longo do tempo de um dos três revestimentos hidrófugos, a maioria das pedras foram divididas em três zonas, conforme mostra a FIGURA 4.1²⁴, onde a zona central não era revestida e servia de referência; as outras duas zonas recebiam a aplicação de uma das resinas silicones.

A perda da eficácia inicial ao longo do tempo, se traduz pela variação da capacidade impermeabilizante ou de repelência à água do revestimento hidrófugo, medida pela propriedade de absorção d'água. Para se obter esta medida, foi utilizado o Método do Cachimbo.

O resultado da pesquisa pode ser visto no gráfico da FIGURA 4.2²⁴, onde se tem na abscissa a representação do tempo em anos e na ordenada as percentagens de eficácia. O

produto III ao longo dos treze anos, perdeu somente 20% da sua eficácia inicial, enquanto que os produtos I e II perderam aproximadamente 58%.

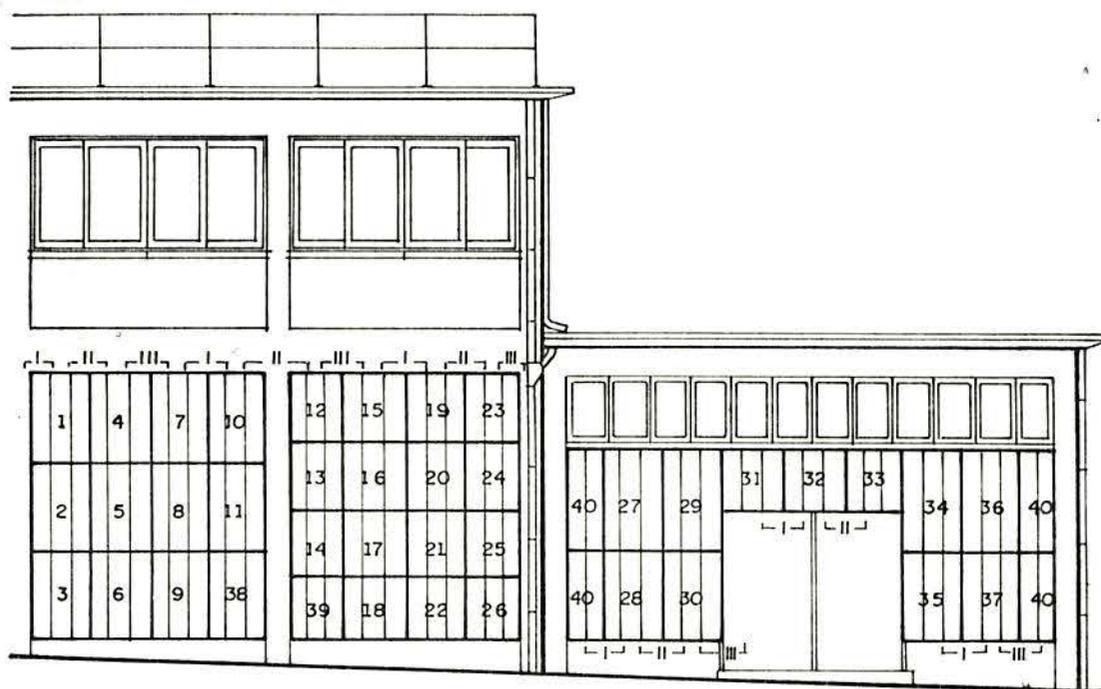


FIGURA 4.1 - Disposição das pedras calcárias sobre o muro experimental do laboratório de Limelette, do Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC.

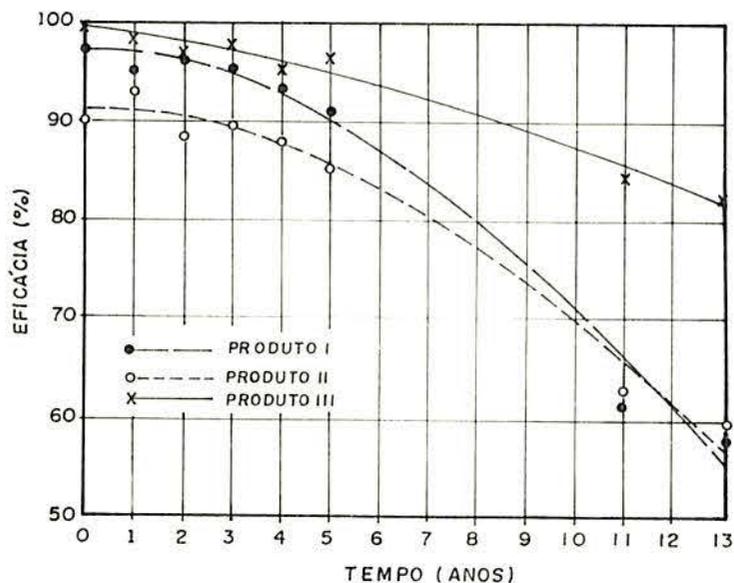


FIGURA 4.2 - Durabilidade de três resinas silicones pesquisadas pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC.

4.2. O Método do Cachimbo

4.2.1. Considerações Iniciais

O objetivo do método é a determinação em laboratório ou "in loco" da avaliação da capacidade impermeabilizante ou de repelência à água de um revestimento de parede, medida através da sua propriedade de absorção d'água.

A medida da absorção d'água de um revestimento é realizada sobre uma pressão de água inicial de 92 mm, que corresponde à ação estática de um vento com velocidade de aproximadamente 140 km/h calculada por meio da equação (4.1)²⁴, onde a altura da coluna d'água corresponde à pressão (kg/m²) exercida por esta coluna (1 mm de coluna d'água corresponde a 1 kg/m² \cong 10 Pa).

$$Q = \frac{v^2}{16} \quad (4.1)$$

Onde Q: pressão estática do vento (kg/m²)
v: velocidade do vento (m/s)

A equação (4.1) expressa em Pascal será:

$$Q = 0,625 v^2 \quad (4.2)$$

Onde Q: pressão estática do vento (Pa);
v: velocidade do vento (m/s).

4.2.2. Aparelhagem

A aparelhagem utilizada no Método do Cachimbo consta de:

- i) um cachimbo de vidro, confeccionado conforme recomendações do Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC (FIGURA 4.3²⁴);
- ii) uma pisseta plástica com capacidade de 500 ml;
- iii) um cronômetro.

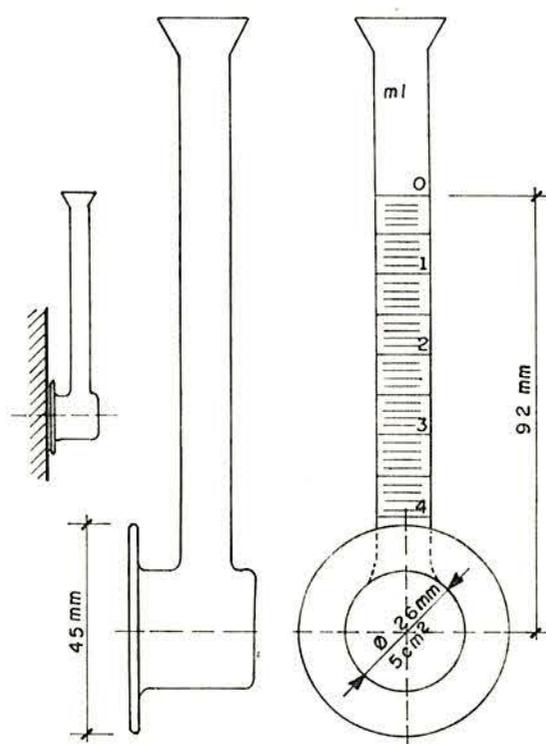


FIGURA 4.3 - Cachimbo de vidro conforme especificação do Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC.

Existe ainda a necessidade de se ter uma quantidade de mastique, usado para fixar o cachimbo de vidro à parede. O mastique deve ter as seguintes características: não endurecer e nem ficar grudado à parede ou ao cachimbo de vidro.

A FOTO 2 mostra a aparelhagem necessária para a realização do ensaio.

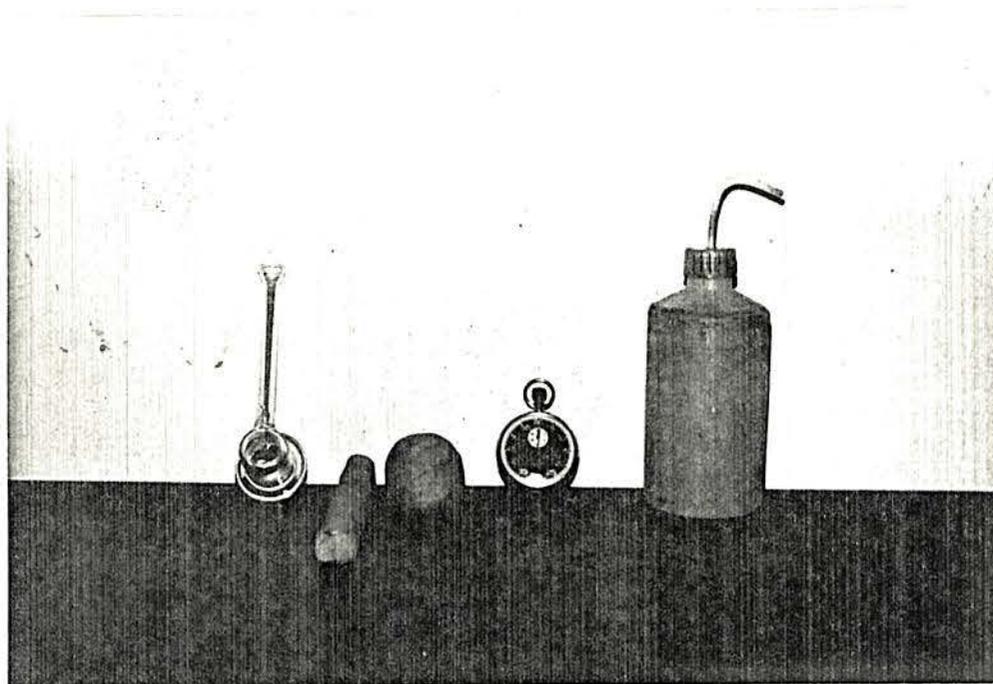


FOTO 2 - Aparelhagem necessária para realização do ensaio para a verificação da impermeabilidade de um revestimento de parede através do Método do Cachimbo.

4.2.3. Procedimentos para a realização do ensaio

A realização do ensaio de absorção d'água de um revestimento de parede pelo Método do Cachimbo passa pelas seguintes fases:

- i) modelar com as mãos uma porção do mastique (forma aproximadamente cilíndrica) e envolver o bordo do cachimbo de vidro;
- ii) fixar o cachimbo de vidro na parede revestida, comprimindo-o contra a mesma;
- iii) com o auxílio da pisseta plástica, encher o ca-

chimbo de vidro com água potável até a referência do nível zero;

iv) com o auxílio do cronômetro efetuar e registrar, quando houver, as leituras da diminuição do nível de água após os tempos de 5, 10 e 15 minutos.

Observações

i) As leituras são feitas em cm^3 .

ii) Para a fixação do cachimbo de vidro à parede, o mastique comercial que melhor se adaptou às exigências do método de ensaio foi a "Massa de calafetar" da empresa "3M".

iii) Para se obter uma boa análise estatística dos dados o número mínimo da amostragem deve ser de 30 ensaios*.

4.3. Aplicações do Método do Cachimbo

4.3.1. Considerações iniciais

Este item tem como objetivo listar as principais aplicações do Método do Cachimbo, mostrando assim as potencialidades desse método de avaliação, relacionado com o conceito de desempenho.

As principais aplicações do método são:

i) avaliação da capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede, comparando resultados de ensaios obtidos no laboratório e no canteiro de obras;

ii) avaliação da durabilidade dos revestimentos de parede relacionado com a sua capacidade impermeabilizante;

iii) comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante entre produtos de revestimentos de parede existentes no mercado.

* Em estatística uma amostra composta de no mínimo 30 ensaios é considerada uma grande amostragem, o que propicia uma melhor análise dos dados.

4.3.2. Avaliação da capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede

Quando na construção de grandes conjuntos habitacionais promovidas pelo governo, como é o caso da COHAB-RS, caso uma empreiteira sugira a mudança no memorial descritivo da obra, no que diz respeito à alteração do revestimento de parede especificado, devido ao fato de se querer utilizar um novo produto que surgiu no mercado, ou mesmo de misturas de materiais que darão origem a um novo revestimento, misturas estas feitas pela própria empreiteira, é exigido normalmente pelo órgão fiscalizador, que antes da aplicação do novo produto no canteiro de obras, este seja submetido à avaliação quanto a estanqueidade à água em laboratório.

A nível do Rio Grande do Sul, o ensaio de avaliação é realizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC (visto no item 3.3.4.2), que após a execução do ensaio, emite um laudo técnico sobre o desempenho da parede revestida com o novo produto. Com base no laudo o órgão fiscalizador, por exemplo a COHAB-RS, aceita ou não a aplicação do novo produto de revestimento de parede na obra.

Raciocínio análogo pode ser seguido caso um profissional ou firma, que atue no campo da construção civil, queira testar um novo tipo de produto de revestimento de parede.

A nível de canteiro de obras nenhuma avaliação da capacidade impermeabilizante do revestimento aplicado sobre a alvenaria é realizado, e a aceitação do serviço executado é feita apenas de modo visual pela fiscalização.

Existe uma grande diferença entre a realidade da execução do ensaio de desempenho (estanqueidade à água) realizado em laboratório, em corpos de prova, e o realizado no canteiro de obras, no próprio edifício já construído, onde inúmeras variáveis interferiram durante o processo construtivo.

A TABELA 4.1 confronta algumas diferenças entre estas duas realidades.

TABELA 4.1 - Confronto entre a realidade da execução de um ensaio de avaliação de desempenho da estanqueidade à água em revestimento de parede, realizado no laboratório e no canteiro de obras.

Realidade do laboratório	Realidade do canteiro de obras
<ul style="list-style-type: none"> ● o número de corpos de prova revestidos e ensaiados são pequenos ● normalmente o corpo de prova é confeccionado por um só operário ● o material que será utilizado como revestimento não sofre estocagem, pois normalmente logo que chega ao laboratório é utilizado no ensaio ● o corpo de prova que será ensaiado fica protegido no laboratório do sol, chuva e vento ● o ensaio é realizado logo após a cura do corpo de prova 	<ul style="list-style-type: none"> ● grandes superfícies de paredes são revestidas ● o edifício é construído por uma equipe de operários (variabilidade de mão-de-obra) ● grandes quantidades de materiais a serem utilizados como revestimento ficam estocados por longos períodos ● o revestimento do edifício tão logo está aplicado, está exposto ao intemperismo ● o revestimento do edifício fica exposto anos a ação dos agentes de degradação do meio ambiente

O Método do Cachimbo pode contribuir na avaliação da impermeabilidade de um revestimento de parede através da comparação dos resultados obtidos no laboratório com os resultados encontrados no canteiro de obras. A FIGURA 4.4 esquematiza como seria feito esta comparação.

O resultado do ensaio de estanqueidade à água é apenas referenciado pelo resultado do Método do Cachimbo (impermeabilidade) medido em laboratório.

O resultado do Método do Cachimbo (impermeabilidade) medido no canteiro de obras permite avaliar a qualidade do produto de revestimento de parede efetivamente colocado.

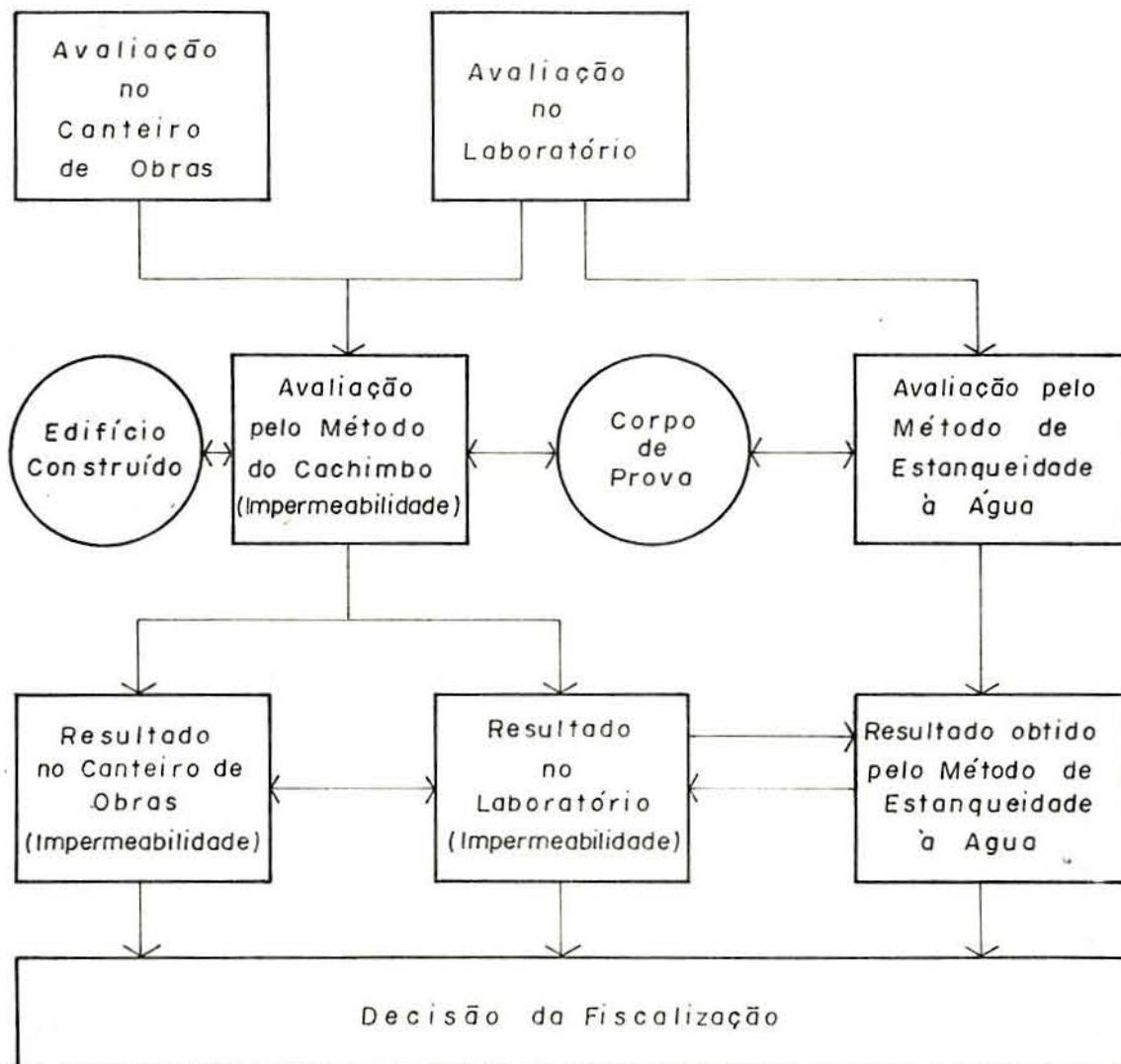


FIGURA 4.4 - Metodologia para avaliação da capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede, comparando resultados de ensaios obtidos no laboratório e canteiro de obras.

Analizando os resultados obtidos no laboratório e no canteiro de obras, a fiscalização adotará uma decisão de aceitação ou recusa do revestimento de parede aplicado.

4.3.3. Avaliação da durabilidade dos revestimentos de parede

Outro ponto a ser considerado é o da durabilidade do revestimento aplicado, uma vez que ele vai sofrer a ação do intemperismo e com o passar dos anos fatalmente sofrerá a diminuição da sua capacidade impermeabilizante, tendo como consequência a penetração de umidade na edificação, principalmente daquela proveniente de precipitação atmosférica.

Para se fazer esta determinação, será utilizado a seguinte metodologia:

A perda da capacidade impermeabilizante do revestimento de parede ao longo do tempo, será medida pela propriedade de absorção d'água, através do Método do Cachimbo.

As avaliações poderão ser realizadas de duas maneiras:

i) será construído um painel revestido com o produto que se gostaria de testar, deixando-o exposto a ação do intemperismo e submetendo-o periodicamente a ensaios;

ii) a perda da capacidade impermeabilizante do revestimento será acompanhada através de medições periódicas na própria parede do edifício já construído.

As leituras serão efetuadas com periodicidade anual ou mensal, efetuando-se pelo menos 30 ensaios por período, constituindo assim uma boa amostragem estatística para a obtenção da absorção média de água do revestimento a ser estudado.

O confronto entre as curvas de absorção média de água ao longo do tempo (anos ou meses) indicará a perda da capacidade impermeabilizante do revestimento (vide FIGURA 4.5).

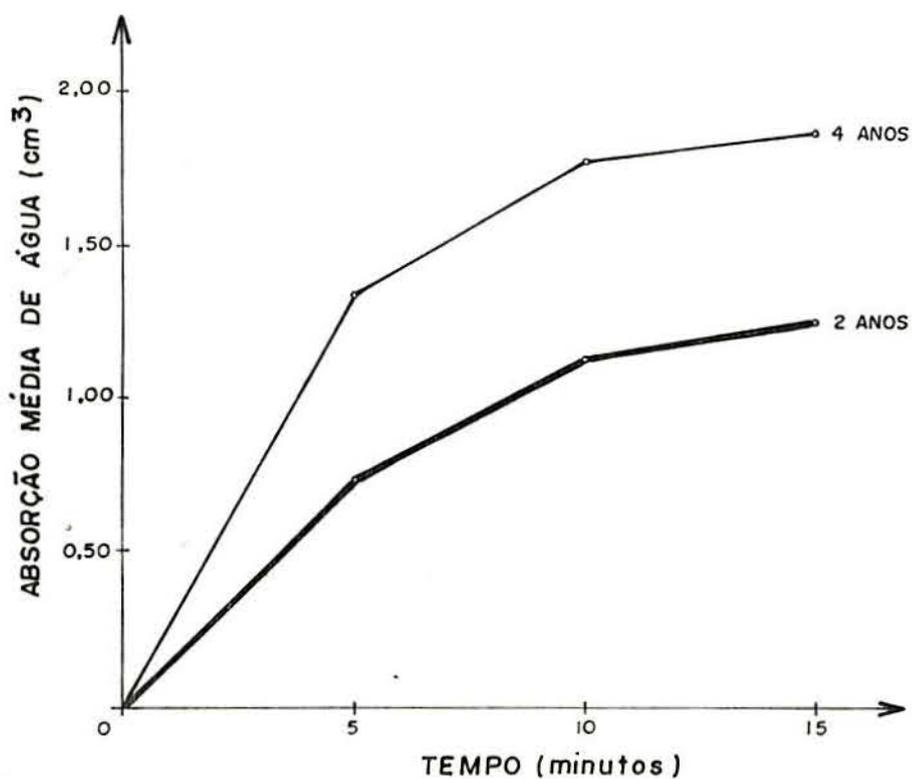


FIGURA 4.5 - Curva hipotética da absorção média de água de um revestimento de parede ao longo do tempo, relativo à sua capacidade impermeabilizante, obtida pelo Método do Cachimbo.

4.3.4. Comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante, entre produtos de revestimentos de parede existentes no mercado

Uma outra aplicação do Método do Cachimbo é a de possibilitar a comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante entre produtos de revestimentos de parede existentes no mercado, produtos estes com mesmas características de constituintes químicos, mas fabricados por empresas distintas.

A comparação poderá ser feita em paredes de testes construídas com as mesmas características (material, mão-de-obra, cura, etc.), onde os produtos destinados a impermeabilização serão aplicados conforme especificações dos respectivos fabricantes. Logo após, as paredes de testes serão submetidas à ensaios (no mínimo de 30) pelo Método do Cachimbo e os resultados confrontados, indicando assim qual o produto que apresentou o melhor desempenho (vide FIGURA 4.6).

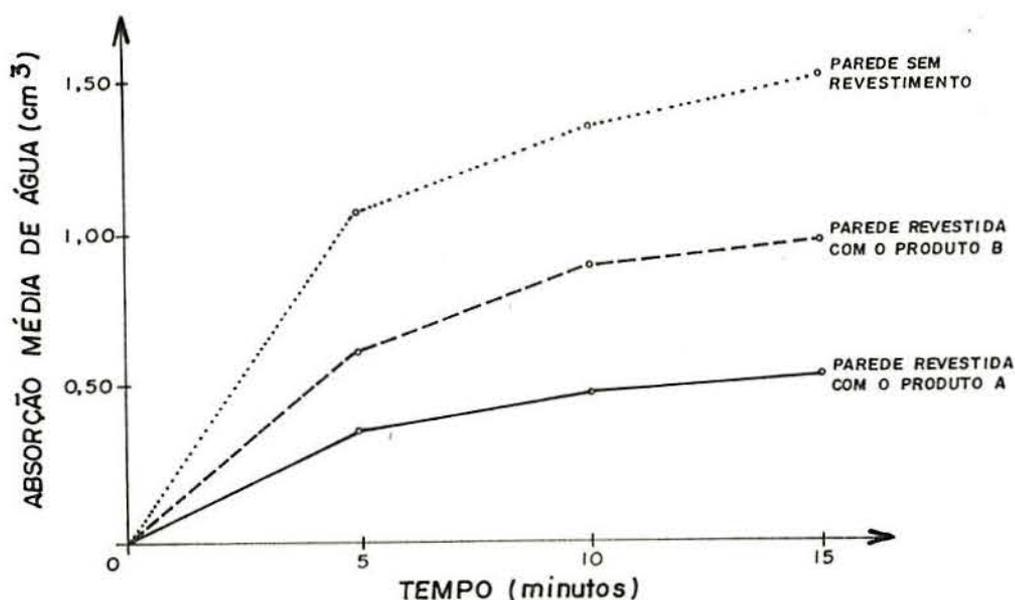


FIGURA 4.6 - Curvas hipotéticas de absorção média de água de uma parede sem revestimento e revestida com o "Produto A" e "Produto B" existentes no mercado, obtidas pelo Método do Cachimbo.

Conforme se observa no exemplo hipotético da FIGURA 4.6, a parede de teste revestida com o "Produto A" apresentou um desempenho superior à parede revestida com o "Produto B", pois apresentou uma menor absorção média de água.

Para se quantificar a eficácia inicial (E), relativa à capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede, é utilizada a seguinte expressão²⁴:

$$E = \left[\left(1 - \frac{L1}{L2} \right) \right] \times 100 \quad (4.3)$$

- Onde
- E: eficácia inicial (%);
 - L1: leitura de absorção média de água, para o tempo de ensaio correspondente à 15 minutos, da parede revestida com o produto que se está querendo testar (cm³);
 - L2: leitura de absorção média de água, para o tempo de ensaio correspondente à 15 minutos, da parede sem revestimento e que serve de referência (cm³).

5. APLICAÇÕES PRÁTICAS UTILIZANDO-SE O MÉTODO DO CACHIMBO

5.1. Introdução

O presente capítulo tem por objetivo mostrar as aplicações de ensaios utilizando o Método do Cachimbo citado anteriormente no item 4.3.

A maioria das avaliações foram realizadas em canteiro de obras, procurando-se uma real avaliação de desempenho da capacidade impermeabilizante do revestimento de parede aplicado, pois desta maneira variáveis como: a qualidade da mão-de-obra que aplicou o revestimento, a influência de agentes agressivos do meio ambiente (sol, chuva, vento, etc.) e também o tempo de exposição, puderam ser levados em consideração nos resultados encontrados.

5.2. Avaliações de Desempenho Realizadas no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti

5.2.1. Considerações iniciais

O Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, localiza-se na cidade de Canoas-RS, onde 6236 unidades, entre casas e apartamentos, estão sendo construídas por quatro empreiteiras sob a fiscalização da COHAB-RS. O tipo de revestimento mais comum das paredes é a utilização de uma pintura aplicada diretamente sobre a alvenaria de blocos de concreto (vide FOTO 3).

A TABELA 5.1 fornece uma visão geral dos revestimentos de parede que foram utilizados e serão avaliados nesta dissertação.



FOTO 3 - Vista parcial de um bloco de apartamentos do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.

As avaliações foram realizadas nos revestimentos das paredes externas das casas e apartamentos e nos revestimentos das paredes das áreas molháveis da edificação (cozinha, banheiro, área de serviço).

5.2.2. Avaliações realizadas

5.2.2.1. Desempenho do "Produto 1"

Cerca de 75% das casas do núcleo têm suas paredes externas revestidas com o "Produto 1".

Por termos conhecimento através dos engenheiros da COHAB-RS, de que haviam casas revestidas com o "Produto 1" com aproximadamente 3 anos de exposição ao intemperismo e casas revestidas mais recentemente, aproximadamente 8 meses, além da avaliação da capacidade impermeabilizante do "Produto 1", procurou-se detectar se havia alguma variação desta capacidade impermeabilizante, relacionada com a orientação da fachada da edificação.

TABELA 5.1 - Revestimentos de parede usados no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti na cidade de Canoas-RS.

Edificações		Empreiteiras			
		EI	EII	EIII	EIV
4036 casas	- Unidades	1676	698	292	1370
	Paredes externas/espesura (cm)	concreto 10	tij.cer.furado 15	tij.cer.furado 15	concreto 10
	Revestimento das paredes externas	Produto 1	chapisco + reboco + Produto 2	chapisco + reboco + Produto 2	Produto 1
	Revestimento das paredes de áreas molháveis (*)	Produto 3	chapisco + reboco + Produto 4	chapisco + reboco + Produto 4	Produto 3
	Revestimento das paredes internas	Produto 2	chapisco + reboco + Produto 2	chapisco + reboco + Produto 2	Produto 2
2200 apartamentos	- Unidades	336	520	168	1176
	Paredes externas/espesura (cm)	bl.de concreto 14	bl.de concreto 14	bl.de concreto 14	tijolo cerâmico maciço 25
	Revestimento das paredes externas	Produto 5	Produto 4	Produto 4	chapisco + reboco + Produto 2
	Revestimento das paredes de áreas molháveis (*)	Produto 5	Produto 4	Produto 4	chapisco + reboco + Produto 3
	Revestimento das paredes internas	Produto 5	Produto 4	Produto 4	chapisco + reboco + Produto 2

* Cozinha e banheiro: barras de 1,50 m de altura;

* Tanque: barra de 0,50 m de altura.

Produto 1: a base de acetato de polivinila (P.V.A.).

Produto 2: a base de cal.

Produto 3: a base de emulsão acrílica + um verniz.

Produto 4: a base de cimento hidráulico.

Produto 5: a base de emulsão acrílica + um verniz.

Por questões de ética, achamos por bem, não mencionar o nome comercial dos produtos aplicados (revestimentos de parede) e nem a razão social das empreiteiras que atuam no canteiro de obras.

As avaliações foram realizadas determinando-se dois ensaios por cada fachada de casa e sempre tomados nas cotas de (0,60 m; 0,60 m) e (0,60 m; 1,50 m) medidas a partir do ponto formado pela interseção de dois planos de fachadas adjacentes com plano do piso (vide FOTOS 4, 5, 6, 7).

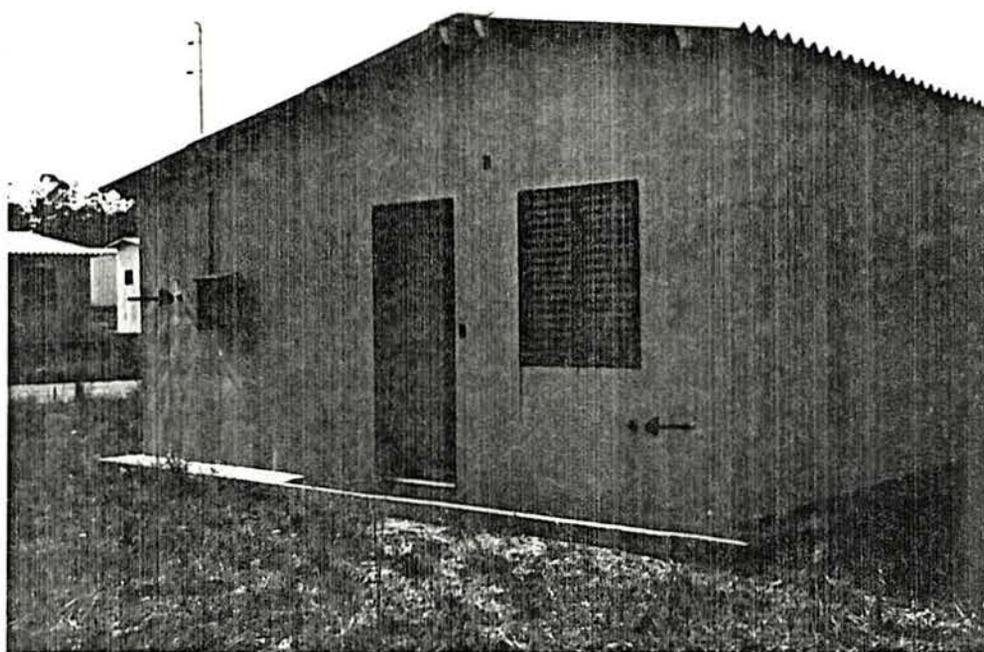


FOTO 4 - Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 1" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.

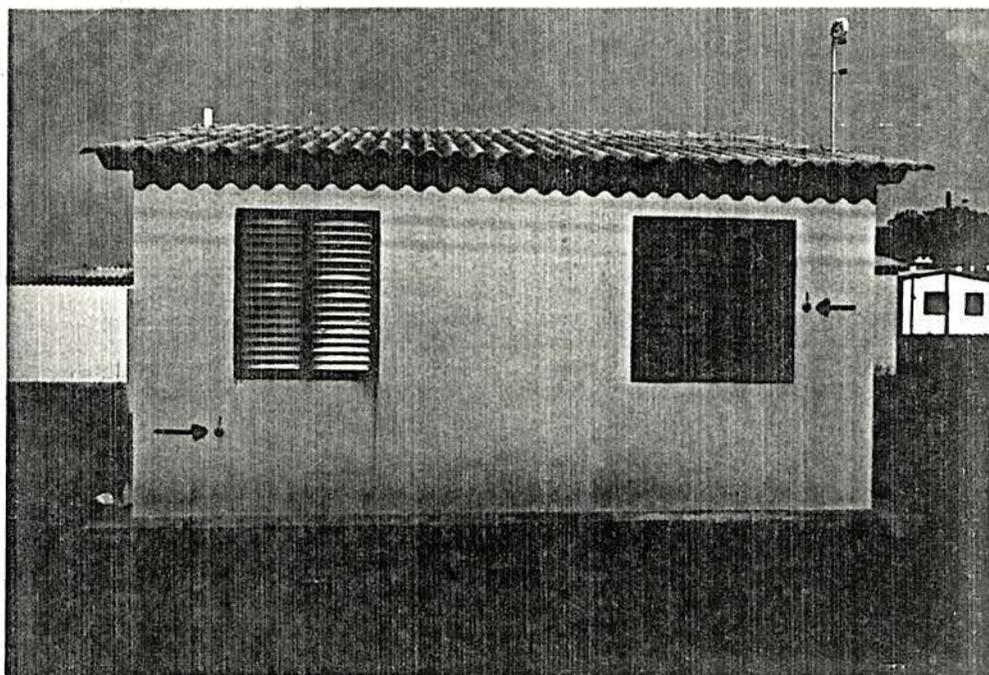


FOTO 5 - Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 2" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti".

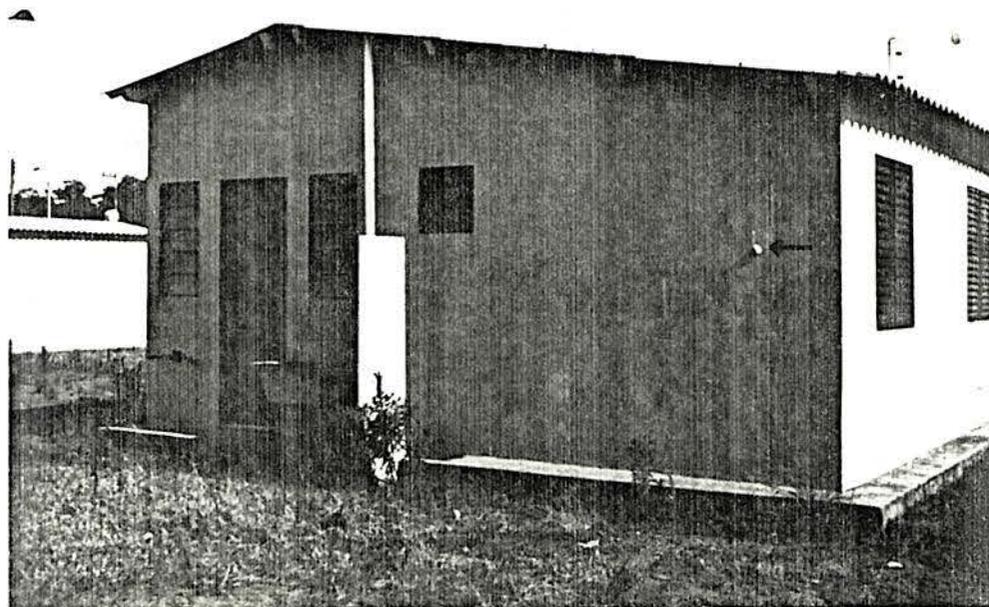


FOTO 6 - Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 3" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.

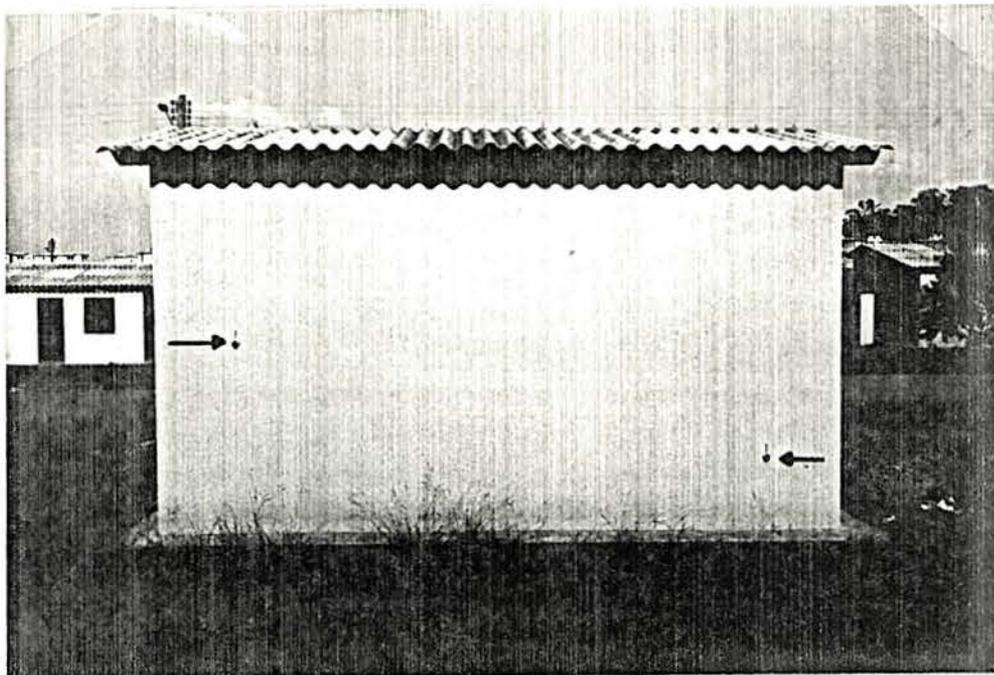


FOTO 7 - Posicionamento do "cachimbo" na "Fachada nº 4" das casas, do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.

A escolha destes dois pontos está fundamentada em:

- i) ter uma escolha de mesmo local para todas as orientações das fachadas;
- ii) tomar locais mais protegidos e menos protegidos pelos beirais do telhado;
- iii) evitar a interferência do operador na escolha dos locais de avaliação da fachada.

Para a análise estatística dos dados encontrados no canteiro de obras, utilizou-se o programa computacional STAT-BAS³⁶.

A TABELA 5.2 mostra os resultados estatísticos básicos encontrados para as paredes revestidas com o "Produto 1", com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

A FIGURA 5.1 ilustra as curvas de absorção média de água obtidas com os dados da TABELA 5.2.

A FIGURA 5.2 mostra uma agregação das curvas de absorção média de água para as quatro orientações de fachadas, podendo-se constatar que não houve uma variação significativa de resultados encontrados para as orientações avaliadas.

TABELA 5.2 - Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

Valores estatísticos básicos encontrados para avaliações realizadas em 30 casas	Orientação da fachada											
	Leste			Norte			Oeste			Sul		
	5min	10min	15min	5min	10min	15min	5min	10min	15min	5min	10min	15min
Tamanho da amostra	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Valor mínimo (cm ³)	0,50	0,50	0,60	0,50	0,50	0,60	0,50	0,50	0,60	0,50	0,50	0,60
Média (cm ³)	0,81	0,93	1,04	0,86	0,97	1,10	0,87	0,98	1,07	0,90	1,00	1,09
Valor máximo (cm ³)	1,20	1,50	1,60	1,20	1,40	1,60	1,50	1,50	1,60	1,30	1,50	1,50
Variância (cm ³)	0,039	0,050	0,058	0,046	0,050	0,071	0,057	0,062	0,064	0,043	0,053	0,057
Desvio padrão (cm ³)	0,1977	0,2237	0,2413	0,2150	0,2254	0,2681	0,2400	0,2499	0,2533	0,2066	0,2303	0,2392
Coef. de variação (%)	24,40	24,05	23,20	25,00	23,23	24,37	27,58	25,50	23,67	22,95	23,03	21,94

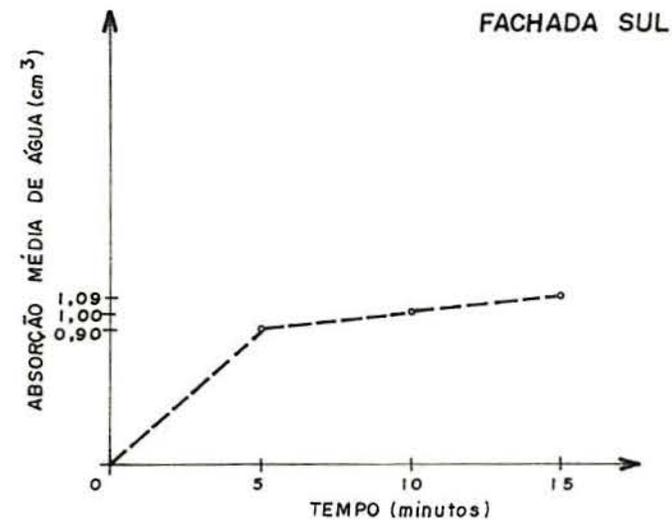
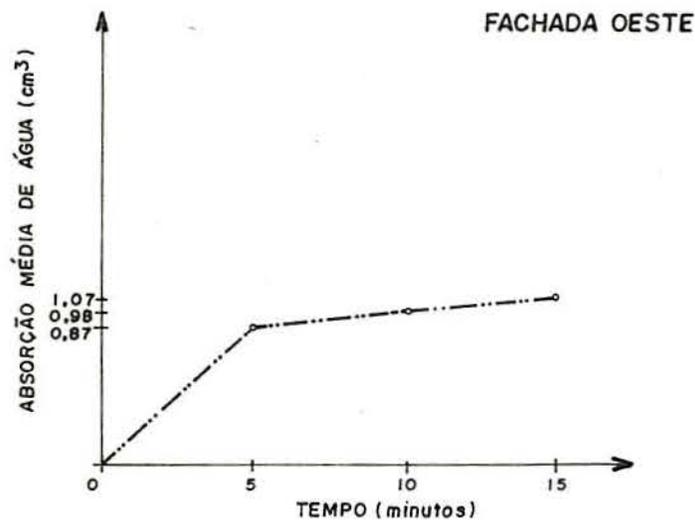
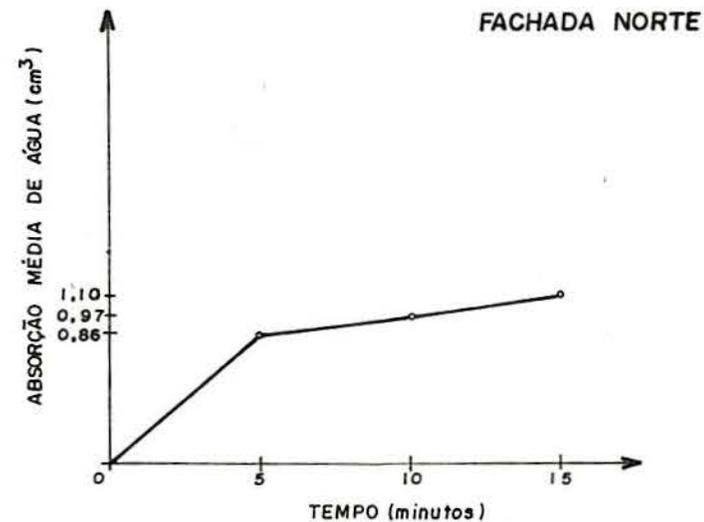
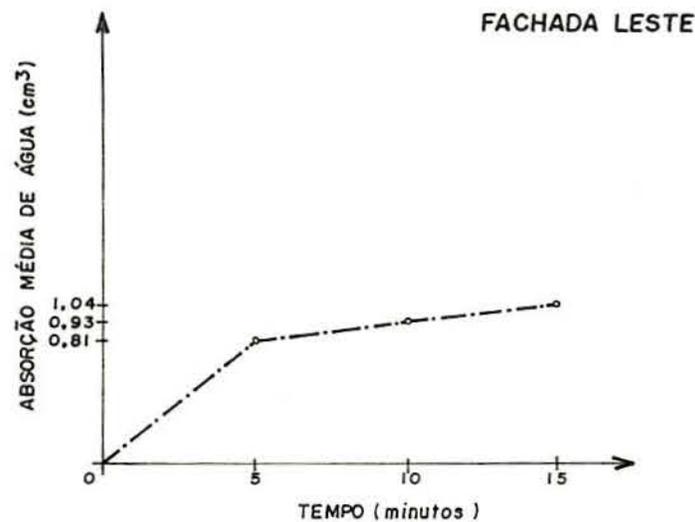


FIGURA 5.1 - Curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

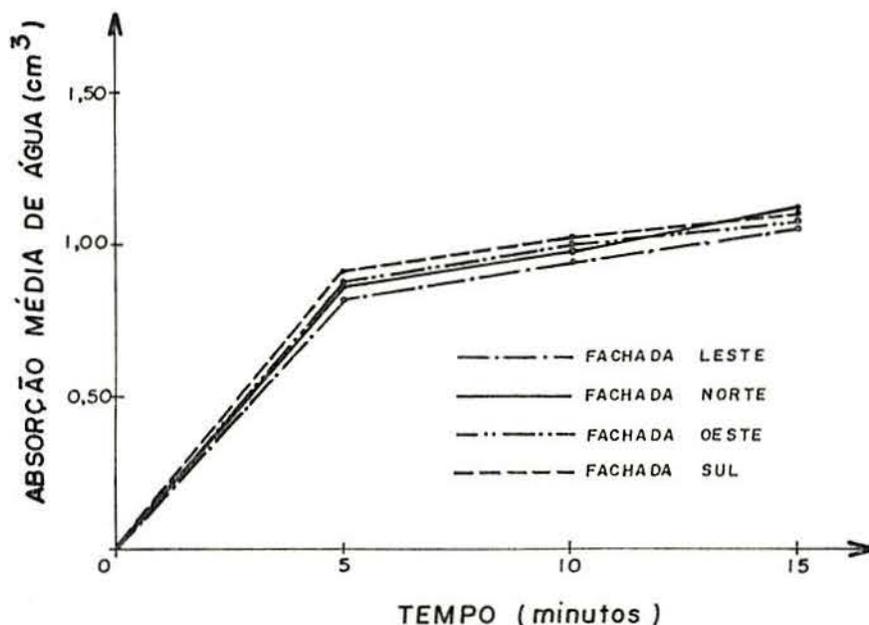


FIGURA 5.2 - Agregação das curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

A seguir estão representados na TABELA 5.3 os resultados estatísticos básicos encontrados para as paredes revestidas com o "Produto 1", com o tempo de exposição ao intemperismo de 3 anos.

A FIGURA 5.3 ilustra as curvas de absorção média de água obtidas com os dados da TABELA 5.3.

A FIGURA 5.4 mostra uma agregação das curvas de absorção média de água para as quatro orientações de fachadas, podendo-se constatar que não houve uma variação significativa de resultados encontrados para as orientações avaliadas.

A avaliação da durabilidade das paredes revestidas com o "Produto 1", pode ser feita como menciona a metodologia mostrada anteriormente no item 4.3.3.

Confrontando-se as curvas de absorção média de água com exposição ao intemperismo de 8 meses (FIGURA 5.2) e 3 anos (FIGURA 5.4), pode-se concluir que não houve variação significativa na capacidade impermeabilizante das paredes revestidas com o "Produto 1" neste espaço de tempo.

TABELA 5.3 - Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 3 anos.

Valores estatísticos básicos encontrados para avaliações realizadas em 15 casas.	Orientação da fachada											
	Leste			Norte			Oeste			Sul		
	5min	10min	15min	5min	10min	15min	5min	10min	15min	5min	10min	15min
Tamanho da amostra	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Valor mínimo (cm ³)	0,60	0,70	0,90	0,60	0,70	0,80	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70
Média (cm ³)	0,83	0,94	1,08	0,88	0,98	1,13	0,90	1,00	1,09	0,94	1,04	1,14
Valor máximo (cm ³)	1,20	1,30	1,50	1,20	1,30	1,50	1,40	1,50	1,60	1,30	1,40	1,50
Variância (cm ³)	0,032	0,031	0,027	0,038	0,045	0,057	0,057	0,059	0,062	0,040	0,043	0,048
Desvio padrão (cm ³)	0,1799	0,1754	0,1663	0,1967	0,2124	0,2400	0,2393	0,2442	0,2504	0,2000	0,2079	0,2200
Coef. de variação (%)	21,67	18,66	15,39	22,35	21,67	21,23	26,58	24,42	22,97	21,27	19,99	19,29

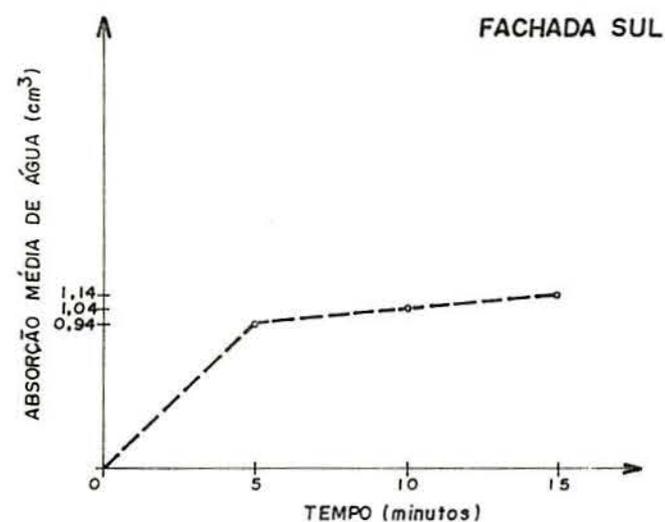
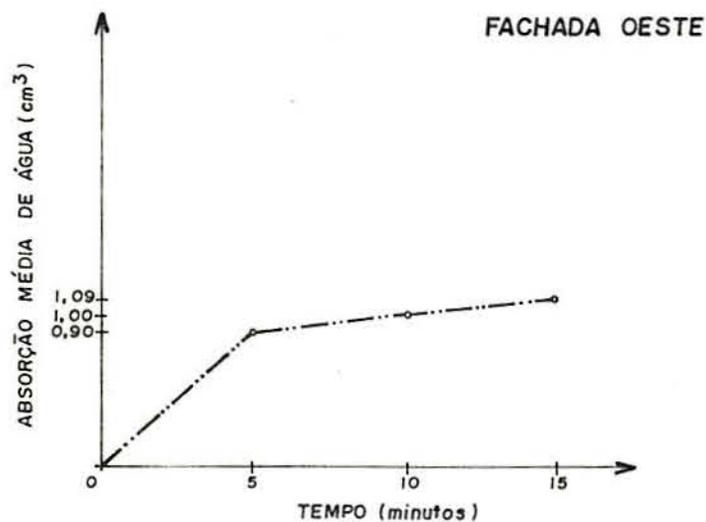
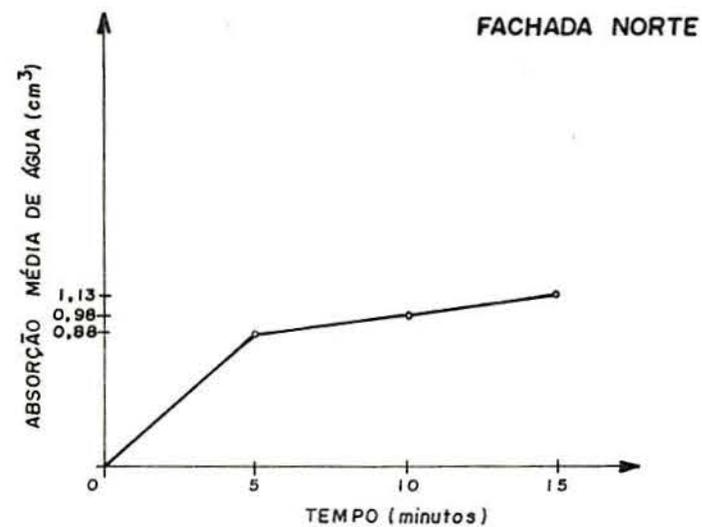
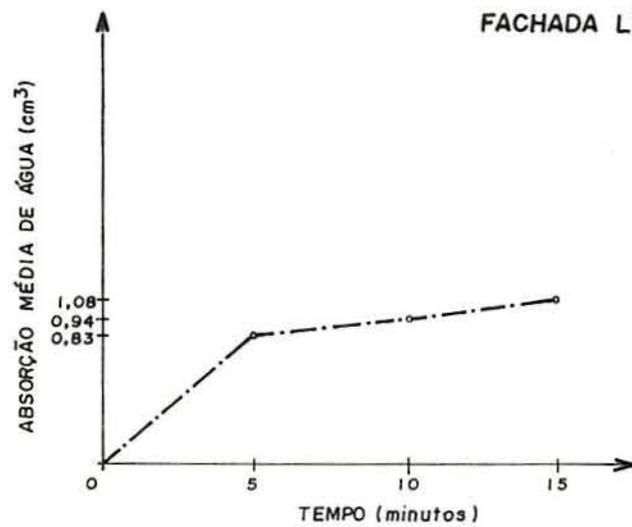


FIGURA 5.3 - Curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional 11 do Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 3 anos..

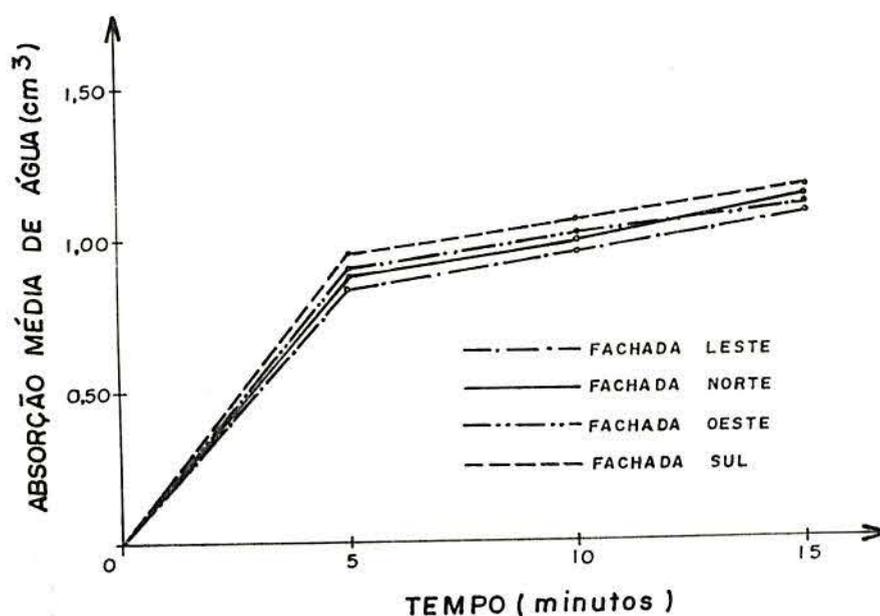


FIGURA 5.4 - Agregação das curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 1", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 3 anos.

5.2.2.2. Desempenho do "Produto 2"

Os restantes 25% das casas do núcleo têm suas paredes externas revestidas de forma tradicional ou seja: chapisco, reboco e aplicação do "Produto 2".

Para a obtenção dos dados no canteiro, seguiu-se a mesma metodologia adotada para o "Produto 1".

A TABELA 5.4 mostra os resultados estatísticos básicos, encontrados para as paredes revestidas com o "Produto 2" com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

A FIGURA 5.5 ilustra as curvas de absorção média de água obtidas com os dados da TABELA 5.4.

A FIGURA 5.6 mostra uma agregação das curvas de absorção média de água para as quatro orientações de fachadas, podendo-se constatar que a Fachada Leste apresentou menor absorção média de água, seguida das fachadas Norte, Oeste e Sul.

TABELA 5.4 - Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes revestidas com o "Produto 2", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

Valores estatísticos básicos encontrados para avaliações realizadas em 15 casas	Orientação da fachada											
	Leste			Norte			Oeste			Sul		
	5min	10min	15min	5min	10min	15min	5min	10min	15min	5min	10min	15min
Tamanho da amostra	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Valor mínimo (cm ³)	0,90	1,00	1,50	0,90	1,20	1,50	1,00	1,50	1,70	0,90	1,40	1,90
Média (cm ³)	1,23	1,84	2,30	1,23	1,90	2,39	1,33	2,01	2,56	1,37	2,05	2,61
Valor máximo (cm ³)	1,80	2,70	3,30	1,80	2,60	3,00	1,60	2,50	3,20	1,90	2,60	3,60
Variância (cm ³)	0,067	0,160	0,240	0,052	0,096	0,152	0,040	0,084	0,123	0,063	0,109	0,202
Desvio padrão (cm ³)	0,2600	0,4000	0,4900	0,2300	0,3100	0,3900	0,2000	0,2900	0,3500	0,2500	0,3300	0,4500
Coef. de variação (%)	21,13	21,73	21,30	18,69	16,31	16,31	15,03	14,42	13,67	18,24	16,09	17,24

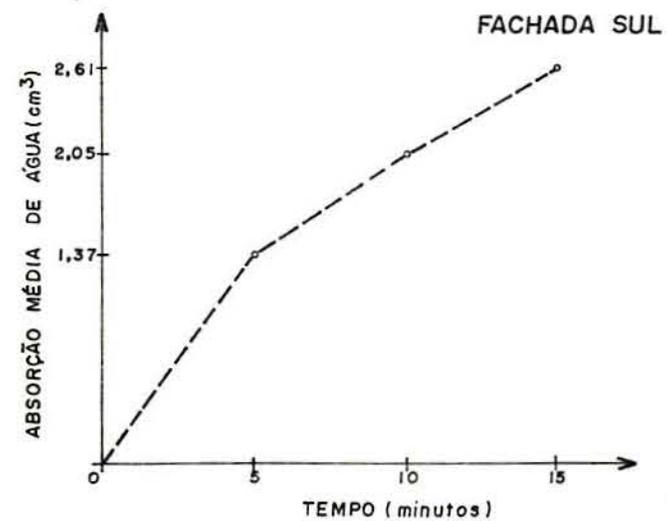
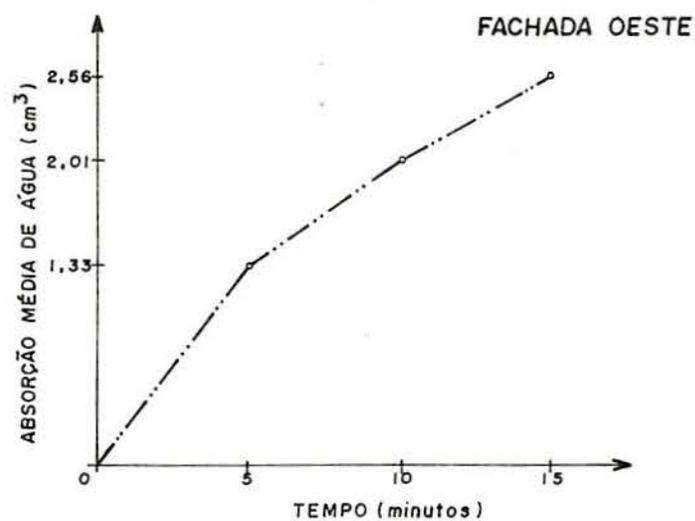
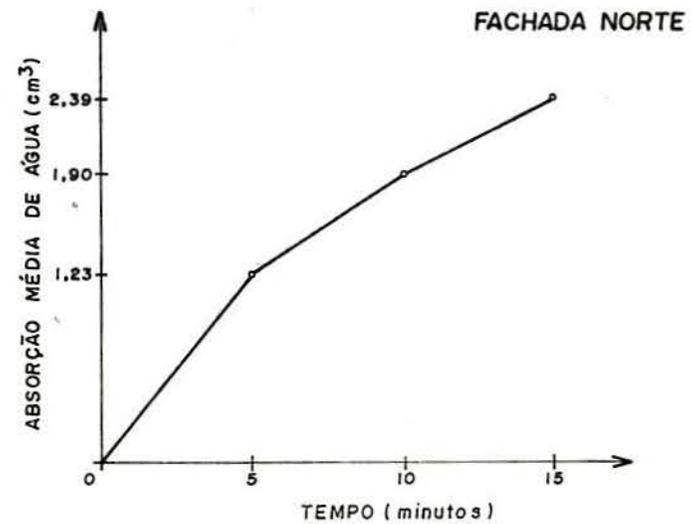
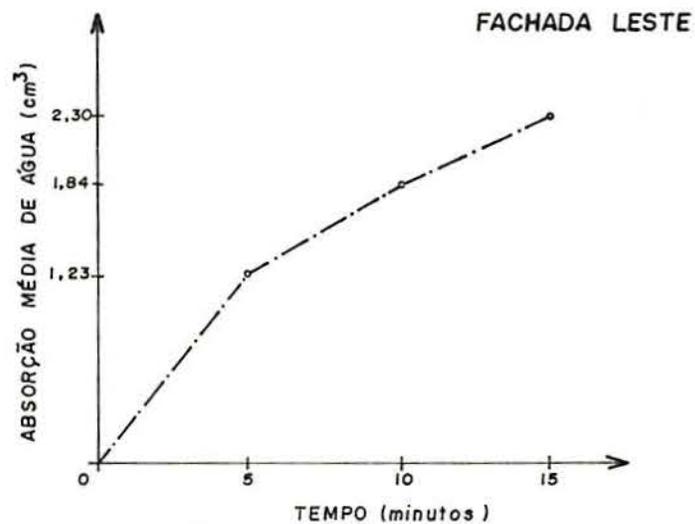


FIGURA 5.5 - Curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 2", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

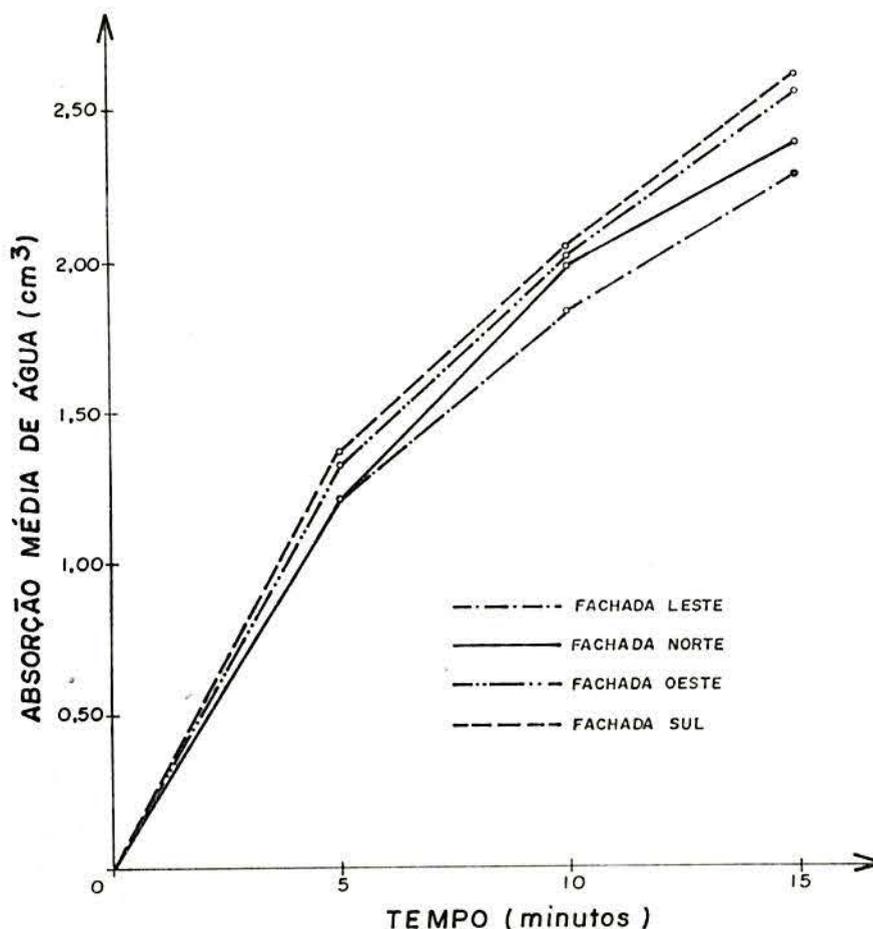


FIGURA 5.6 - Agregação das curvas de absorção média de água obtidas pelo Método do Cachimbo, em paredes revestidas com o "Produto 2", em casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, com o tempo de exposição ao intemperismo de 8 meses.

5.2.2.3. Desempenho dos "Produtos 3, 4 e 5"

Como mostra a TABELA 5.1, as paredes externas dos edifícios de apartamentos e paredes das áreas molháveis (cozinha, banheiro e área de serviço) das casas e apartamentos, foram revestidas com os "Produtos 3, 4, 5".

As paredes foram avaliadas pelo Método do Cachimbo e os resultados encontram-se na TABELA 5.5.

TABELA 5.5 - Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em paredes externas dos edifícios de apartamentos e em paredes de áreas molháveis de casas e apartamentos (cozinha, banheiro, tanque), revestidas com os "Produtos 3, 4 e 5", no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.

Produto	Número de ensaios realizados	Absorção de água observada durante a realização do ensaio
Produto 3	30	não apresentou absorção
Produto 4	30	não apresentou absorção
Produto 5	30	não apresentou absorção

*Obs.: Exposição ao intemperismo de 8 meses.

5.2.2.4. Outras avaliações realizadas

Como a construção do núcleo habitacional ainda não está totalmente concluída, existem no canteiro de obras, blocos de apartamentos que ainda não foram revestidos e casas cujas paredes são estão revestidas por uma argamassa (cimento, cal, areia).

Pode-se então, avaliar a absorção de água dos blocos de concreto e argamassa, quando submetidos a ensaios utilizando-se o Método do Cachimbo.

A FIGURA 5.7 mostra os resultados encontrados e evidencia claramente a grande absorção d'água que os blocos de concreto e a argamassa apresentaram.

Para os blocos de concreto foram realizados 30 ensaios em um dos edifícios de apartamentos como mostra a FOTO 8 e observou-se que os 4 cm³ de água levaram menos de 6 segundos para serem absorvidos pela parede.

A absorção de água verificada na argamassa que reveste a alvenaria também é grande, mas um pouco mais lenta se comparada com o bloco de concreto. A TABELA 5.6 mostra alguns tempos que a argamassa leva para absorver 4 cm³ de água utilizando-se o Método do Cachimbo. Foram realizados

ensaios em 12 casas, sendo um ensaio por casa.

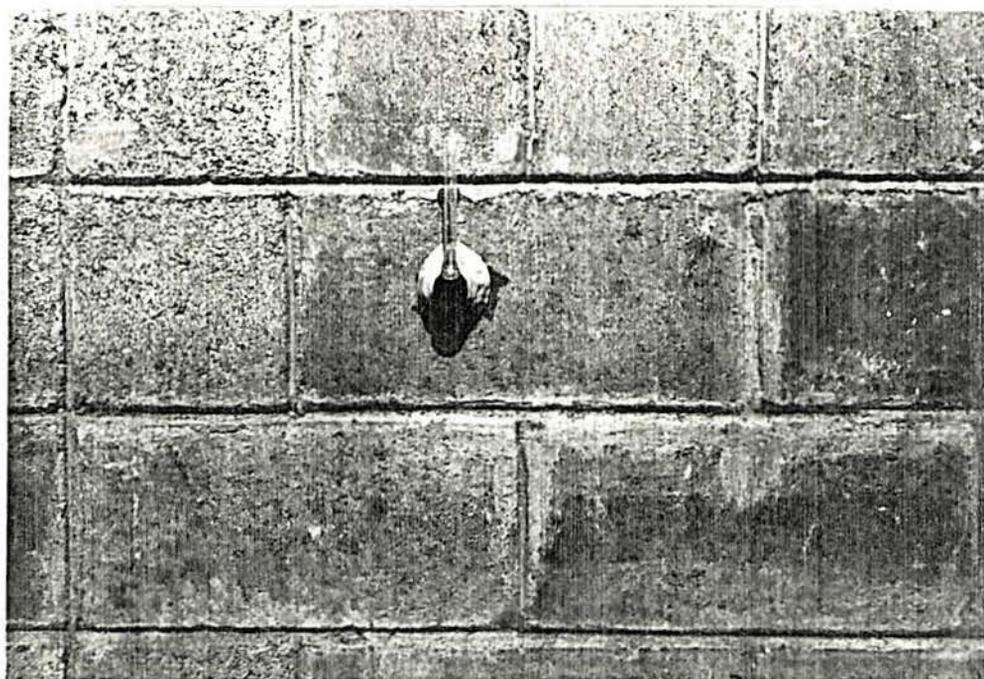


FOTO 8 - Utilização do Método do Cachimbo para verificação da absorção d'água das paredes dos blocos de apartamentos (sem revestimento) do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.

TABELA 5.6 - Resultados de avaliações realizadas em paredes de 12 casas da COHAB-RS no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, revestidas com argamassa (cimento:cal:areia), utilizando-se o Método do Cachimbo.

Número do ensaio	Tempo para ocorrer uma absorção de água igual a 4 cm ³
1	4 min e 30 s
2	4 min e 20 s
3	4 min e 30 s
4	3 min e 40 s
5	4 min e 20 s
6	4 min e 50 s
7	3 min e 40 s
8	4 min e 10 s
9	4 min e 20 s
10	5 min e 10 s
11	4 min e 10 s
12	4 min e 20 s

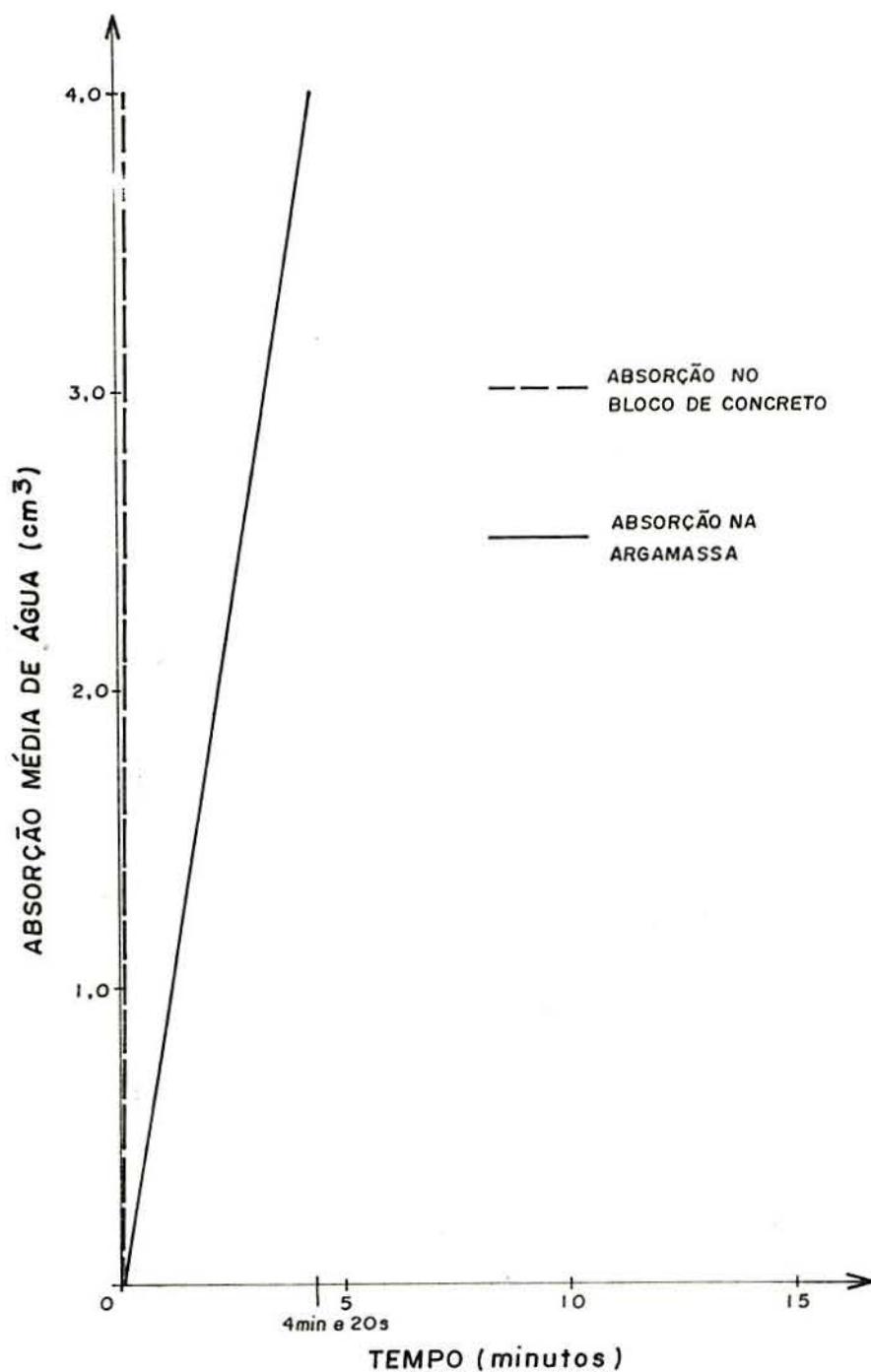


FIGURA 5.7 - Absorção média de água obtidas em paredes construídas com blocos de concreto sem revestimento e em paredes revestidas com argamassa (cimento: cal:areia), utilizando-se o Método do Cachimbo, no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti.

5.3. Avaliação de Desempenho Realizada no Núcleo Habitacional Rubem Berta

5.3.1. Considerações iniciais

O Núcleo Habitacional Rubem Berta, localiza-se na cidade de Porto Alegre-RS e é constituído de 4992 apartamentos construídos em alvenaria de blocos de concreto, sendo a COHAB-RS o órgão responsável pela sua implantação (FOTO 9).

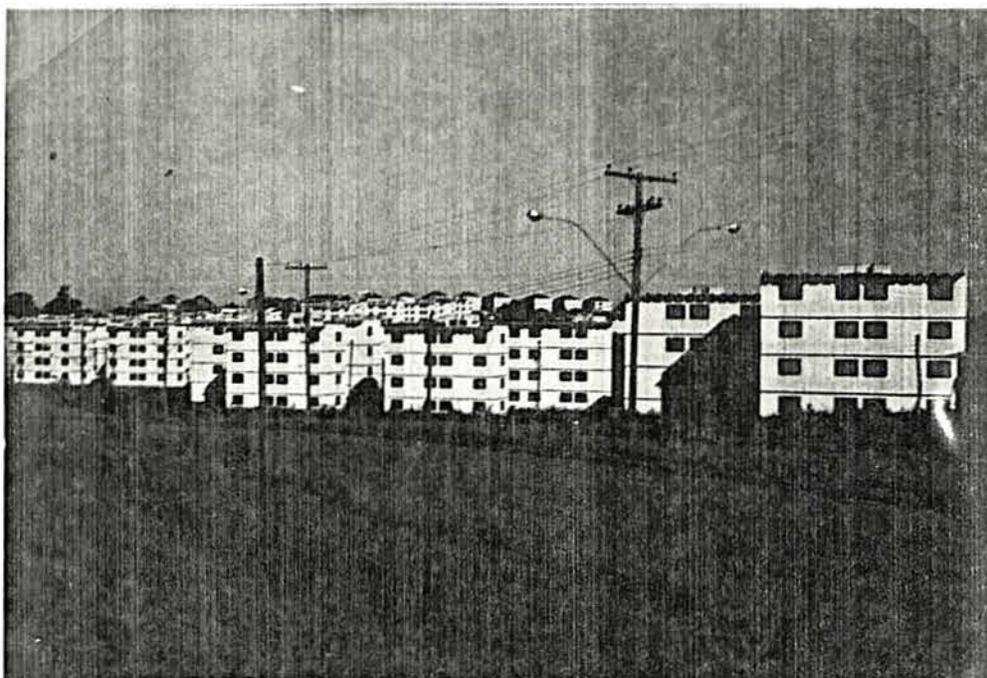


FOTO 9 - Vista parcial do Núcleo Habitacional Rubem Berta.

A alvenaria é revestida por uma pintura a base de emulsão acrílica mais um verniz, sendo que este produto é o mesmo utilizado na pintura dos blocos de apartamentos do Núcleo Habitacional Ildo Menegheti, mencionado na TABELA 5.1 ("Produto 5") e a construtora que executou o serviço também é a mesma.

Antes da aplicação do revestimento sobre a alvenaria no canteiro de obras, dois painéis de blocos de concreto foram construídos, revestidos e ensaiados à estanqueidade à

água no laboratório pela Fundação Ciência e Tecnologia -CIENTEC (ver item 3.3.4.2).

O resultado do ensaio encontra-se na TABELA 5.7, sendo que a CIENTEC¹⁹ (Relatório do processo 9929) emitiu o seguinte parecer:

"O painel 2 apresentou um desempenho superior ao do painel padrão.

Quanto ao painel 1, embora tenha vazado em um tempo menor que o do painel padrão, apresentou uma superfície mancha da inferior ã do mesmo.

Deve-se ressaltar que o ensaio realizado não nos permite conhecer o desempenho do revestimento ao longo do tempo, em função de suas possíveis alterações químicas e/ou rupturas".

TABELA 5.7 - Resultado do ensaio de estanqueidade à água realizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC, em painéis revestidos com produto à base de emulsão acrílica mais verniz, utilizado no Núcleo Habitacional Rubem Berta.

Corpo de prova	Características dos painéis						Ensaio de estanqueidade			
	Alvenaria			Revestimento aplicado			Período de incidência de água	Resultados	Data de realização	Superfície manchada pela umidade %
	Tipo	Espessura	Observações	Face da observação	Face de exposição	Observações				
Painel padrão	tijolos furados de barro cozido	15cm (2,5 + 10 + 2,5)	Tijolos de 6 furos, com 10cm de espessura, rejuntados com argamassa de cimento, cal e areia regular; traço 1:2:9	Argamassa de cimento, cal e areia regular com 2,5cm de espessura	Argamassa de cimento, cal e areia regular com 2,5cm de espessura	Traço da argamassa de reboco: 1:2:5	12h00min	Vazou com 07h e 40min de ensaio	13/02/80	10%
Painel 1	blocos de concreto	14cm	-	água de cal	19) Uma demão de emulsão acrílica 29) Duas demãos de verniz	-	12h00min	Vazou com 07h e 15min de ensaio	29/03/82	menos de 1%
Painel 2	blocos de concreto	14cm	-	água de cal	19) Uma demão de emulsão acrílica 29) Duas demãos de verniz	-	12h00min	Não vazou nem apresentou manchas de umidade no período	30/03/82	0%

Obs.: Painel 1 e 2 revestidos com o "Produto 5".

5.3.2. Avaliação realizada

Como o revestimento aplicado sobre a alvenaria de blocos de concreto, já está exposto ao intemperismo cerca de quatro anos, procurou-se detectar alguma variação da capacidade de impermeabilizante do revestimento aplicado, utilizando-se o Método do Cachimbo.

Foram realizados 30 ensaios (FOTO 10) nas paredes externas de dois blocos de apartamentos, sendo que não foram verificadas absorções de água durante o ensaio.

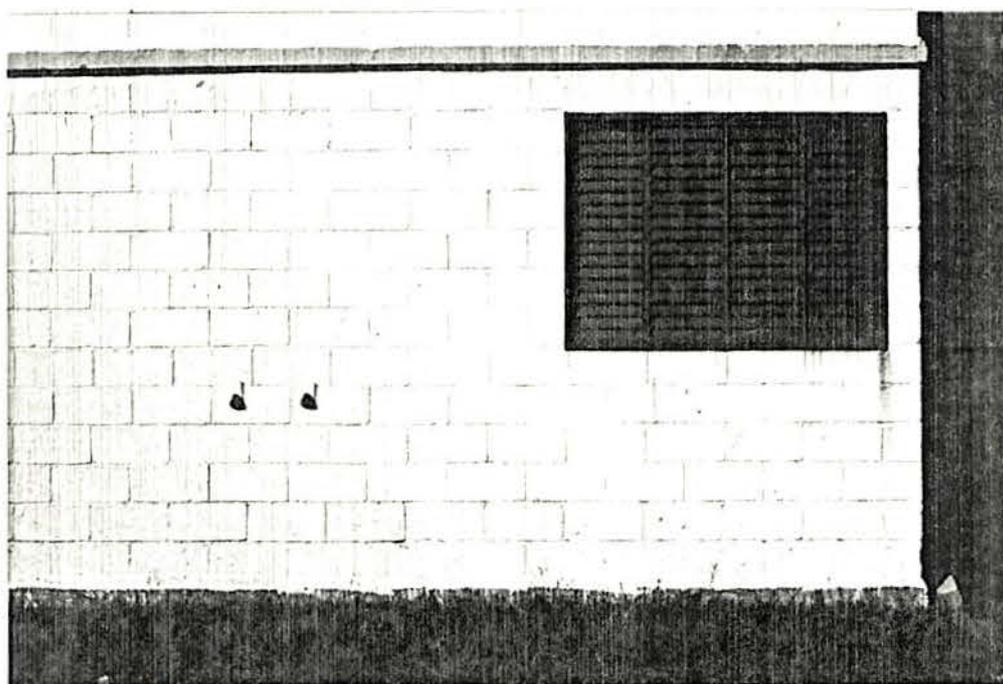


FOTO 10 - Realização de ensaio utilizando o Método do Cachimbo, em uma parede externa de um bloco de apartamentos do Núcleo Habitacional Rubem Berta.

5.3.3. Confronto entre resultados de ensaios: estanqueidade à água x Método do Cachimbo

Como o revestimento da alvenaria de blocos de concreto dos núcleos habitacionais Ildo Menegheti e Rubem Berta

é constituído do mesmo produto, que foi ensaiado pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC, pode-se verificar através da TABELA 5.8, que o revestimento aplicado manteve suas características de impermeabilidade à água até o presente momento.

TABELA 5.8 - Confronto entre resultados de ensaios: estanqueidade à água x Método do Cachimbo.

ENSAIO		RESULTADOS
Estanqueidade à água (CIENTEC)		Desempenho superior ao "Painel Padrão"
Método do Cachimbo	Ildo Menegheti (8 meses)	Não houve absorção de água
	Rubem Berta (4 anos)	Não houve absorção de água

Obs.: O Método do Cachimbo neste confronto leva vantagem sobre o método de estanqueidade à água, porque é realizado sobre a parede do edifício já construído.

5.4. Comparação da Eficácia Inicial Relativa à Capacidade Impermeabilizante, entre Dois Produtos de Revestimentos de Parede Existentes no Mercado

5.4.1. Metodologia aplicada

Para a realização desta comparação, foram comprados em uma loja de materiais de construção, dois produtos à base de silicone fabricados por empresas distintas.

No manual técnico fornecido por cada fabricante do produto, constava todas as instruções de como proceder para a aplicação, bem como caracterizava o produto como sendo um impermeabilizante incolor para tratamento superficial de fachadas e paredes em argamassa, tijolo, concreto, pedra artificial ou natural.

Para a aplicação dos dois produtos, foi utilizada uma das fachadas do prédio do Núcleo Orientado para Racionalização e Inovação da Edificação - NORIE, onde funciona o

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, que é construída em tijolos cerâmicos aparentes.

Inicialmente foi medida a absorção de água do tijolo e a seguir foram aplicados os dois produtos, conforme instruções de cada manual técnico, sendo que cinco dias após as suas aplicações, foram feitas avaliações pelo Método do Cachimbo (vide FOTO 11).

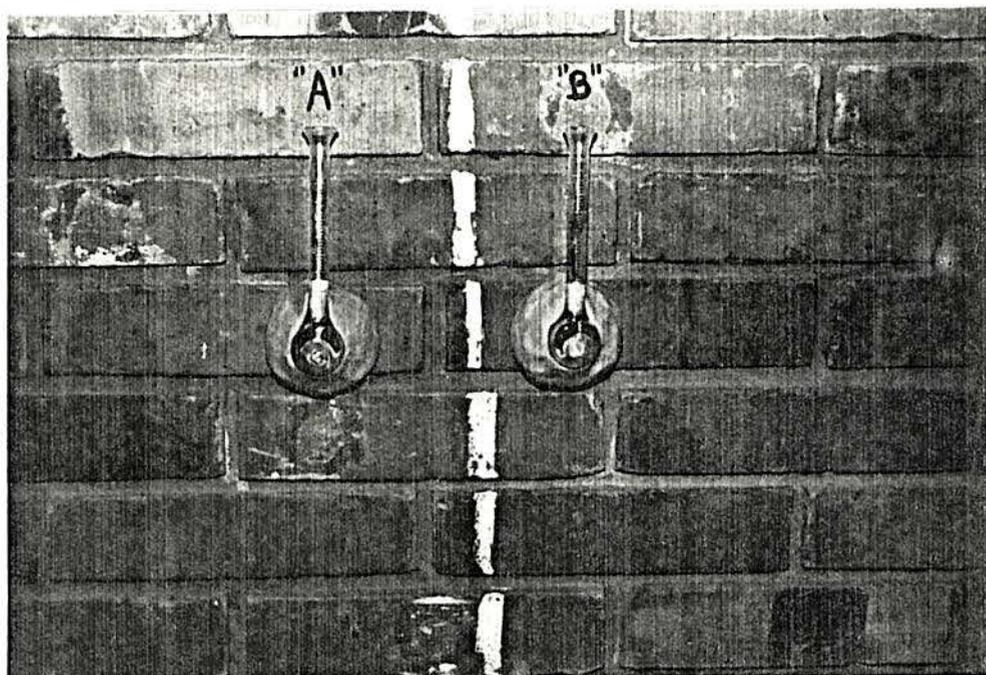


FOTO 11 - Avaliação da capacidade impermeabilizante entre o "Produto A" e o "Produto B" (a base de silicose), fabricados por empresas distintas, utilizando-se o Método do Cachimbo.

Tanto para a parede de tijolo a vista, como para a parede posteriormente revestida com os "Produto A" e "Produto B", foram realizados trinta ensaios.

5.4.2. Análise estatística dos dados e resultados obtidos

Para análise estatística dos dados foi utilizado o programa computacional STAT-BAS³⁶, o qual forneceu os dados que encontram-se na TABELA 5.9.

TABELA 5.9 - Resultados de avaliações obtidas pelo Método do Cachimbo em parede de tijolo cerâmico revestida por produtos a base de silicone (água-repelente), do prédio do Núcleo de Orientação, Racionalização e Industrialização de Edificações-NORIE.

Valores estatísticos básicos	Parede de tijolo aparente sem revestimento			Parede revestida com o "Produto A"			Parede revestida com o "Produto B"		
	5min	10min	15min	5min	10min	15min	5min	10min	15min
Tamanho da amostra	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Valor mínimo (cm ³)	0,50	0,70	1,00	0,20	0,20	0,30	0,50	0,60	0,60
Média (cm ³)	0,73	1,07	1,40	0,24	0,34	0,44	0,69	0,95	1,17
Valor máximo (cm ³)	1,00	1,40	1,90	0,40	0,50	0,60	0,90	1,30	1,50
Variância (cm ³)	0,017	0,041	0,069	0,003	0,008	0,012	0,012	0,036	0,048
Desvio padrão (cm ³)	0,1311	0,2033	0,2632	0,0679	0,0927	0,1040	0,1098	0,1813	0,2246
Coef. de variação (%)	17,95	19,00	18,80	28,29	27,26	23,63	15,91	19,08	19,19

A FIGURA 5.8 mostra o desempenho dos dois produtos aplicados, sendo que nitidamente se comprova que o "Produto A" apresentou uma absorção média de água menor que a apresentada pelo "Produto B".

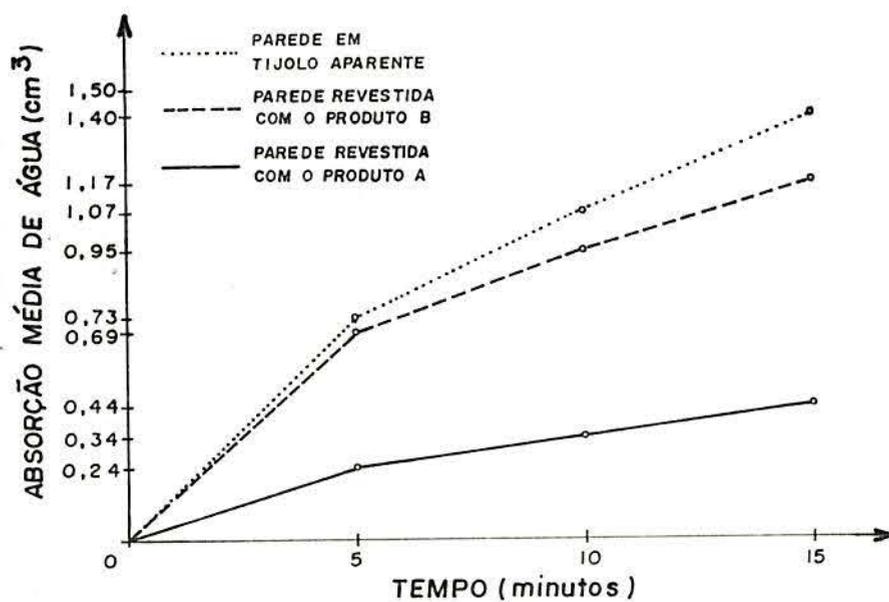


FIGURA 5.8 - Absorção média de água obtida pelo Método do Cachimbo em parede de tijolo cerâmico revestida com o "Produto A" e "Produto B" (produtos a base de silicone), do prédio do Núcleo Orientado para Racionalização e Inovação da Edificação - NORIE.

Com o auxílio da eq. (4.3), podemos calcular a eficácia inicial (E) relativa à capacidade impermeabilizante do "Produto A" e do "Produto B", tomando como dados:

i) a leitura de absorção média de água, para o tempo de ensaio igual a 15 minutos, da parede revestida com o "Produto A" e "Produto B", respectivamente (L1);

ii) a leitura de absorção média de água, para o tempo de ensaio igual a 15 minutos, da parede construída em tijolo aparente, que serve de referência (L2).

A TABELA 5.10 apresenta os dados que foram utilizados nos cálculos e os resultados encontrados.

TABELA 5.10 - Comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante, entre dois produtos a base de silicone, utilizados como revestimento de parede existentes no mercado.

PAREDE	L1 (cm ³)	L2 (cm ³)	E (%)
Sem revestimento	-	1,40	-
Revestida com o "Produto A"	0,44	-	68,5
Revestida com o "Produto B"	1,17	-	16,4

Nota-se claramente que o "Produto A" tem uma eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante, superior a do "Produto B".

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

I) Nas construções de conjuntos habitacionais destinados às populações de baixa renda, as técnicas tradicionais de construção vêm sendo abandonadas e as inovações tecnológicas, como por exemplo, a substituição do revestimento tradicional da alvenaria (chapisco, emboço e reboco) por uma pintura tem sido prática rotineira. Assim, a pintura aplicada diretamente sobre a alvenaria passou a assumir na edificação as seguintes funções: garantir a estanqueidade à água, seu acabamento e embelezamento. Este é um dos fatores que mais contribuem para o aparecimento da umidade nas edificações.

Pesquisas realizadas em conjuntos habitacionais no interior de São Paulo, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT³⁸, revelam que a umidade representa 60% dos problemas técnicos das edificações e que a grande causa de seu aparecimento está relacionada com a penetração de água pelas fachadas do edifício, devido à falha no desempenho dos produtos de revestimento, que são desenvolvidos para evitar a passagem da umidade e não estão desempenhando esta função. Isto evidencia que as inovações tecnológicas não têm sido suficientemente e/ou corretamente testadas antes de suas aplicações nos canteiros de obras.

As paredes externas da edificação estão sujeitas às ações dos agentes agressivos do meio ambiente (sol, chuva, vento, etc.), sendo que o revestimento assume o papel de uma pele protetora contra estas agressividades, protegendo assim o interior da edificação. Todavia a pintura é realizada por uma mão-de-obra que está sujeita a erros de execução, podendo se somar a possíveis alterações no produto de revestimento e ainda a erros na concepção no "design" dos detalhes. Desse modo são escassas as margens de segurança neste tipo de inovação.

No caso de pinturas aplicadas diretamente sobre a alvenaria, caso esta pele fissure, perca a capacidade de ser impermeável à água, ou tenha descontinuidades, fatalmente ocor

rerá a penetração de umidade na edificação, acarretando assim problemas à habitabilidade e à vida útil da edificação.

II) A dissertação abordou o problema da umidade nas edificações, fazendo em primeiro lugar uma análise simplificada do fenômeno da umidade, para relatar a seguir o enfoque metodológico do conceito de desempenho relativo à estanqueidade à água dos revestimentos de parede, desenvolvido a nível internacional por centros de pesquisas e a nível nacional pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT e pela Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC.

Após terem sido estudados os diferentes métodos de avaliação relativos à estanqueidade à água aceitos internacionalmente e aplicados no país, constatou-se suas limitações como:

i) é praticamente impossível reproduzir no laboratório as reais condições de exposição dos vários fatores climáticos (intensidade da chuva, velocidade do vento e a umidade do ar que é responsável pela manutenção do umedecimento ou secagem das paredes) durante a realização do ensaio;

ii) o número de corpos de prova revestidos e ensaiados no laboratório não refletem as grandes superfícies que são revestidas no canteiro de obras;

iii) não é levado em consideração a variabilidade da mão-de-obra que executará o serviço no canteiro de obras;

iv) no laboratório o ensaio é realizado tão logo se tenha curado o corpo de prova, sendo que o revestimento das paredes do edifício na realidade sofre ação do intemperismo com o passar dos anos.

III) Na construção do Núcleo Habitacional Rubem Berta e na maioria das edificações do Núcleo Habitacional Ildo Meneghetti a alvenaria é revestida somente por uma pintura. A COHAB-RS é o órgão responsável pela fiscalização dos serviços executados nos dois canteiros, sendo que para a aceitação da introdução da inovação tecnológica proposta pelos empreiteiros, ou seja, a substituição do revestimento tradicional por uma pintura, baseou-se em catálogos fornecidos por fabricantes dos produtos de revestimento e no ensaio de estanqueidade à água

realizado no laboratório da Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC.

A nível de canteiro de obras, nenhuma avaliação de estanqueidade à água foi realizada pela COHAB-RS para aceitar o serviço executado pelas empreiteiras, além de não existir nenhum programa de acompanhamento do desempenho ao longo do tempo relativo à perda da capacidade impermeabilizante dos produtos de revestimento aplicados.

O Método do Cachimbo, no pensamento do autor, pode vir a constituir um método de avaliação que auxiliará o órgão fiscalizador, como a COHAB-RS, a suprir as deficiências mencionadas anteriormente.

IV) Foi desenvolvido nesta dissertação o Método do Cachimbo, sendo que para a realização das avaliações foram confeccionados três "cachimbos de vidro" segundo as especificações do método.

Nas avaliações realizadas utilizando-se o Método do Cachimbo no Núcleo Habitacional Ildo Menegheti ficou constatado que dos cinco produtos utilizados como revestimentos de parede apenas três produtos ("Produtos 3 e 5": a base de emulsão acrílica + um verniz, e "Produto 4": a base de cimento hidráulico) se mostraram totalmente impermeáveis à água, sendo que dois produtos ("Produto 1": a base de P.V.A., e "Produto 2": a base de cal) não impediram a penetração de água quando da realização do ensaio.

Quanto a perda da capacidade impermeabilizante ao longo do tempo, até o presente momento, não ficou constatado para os revestimentos avaliados ("Produto 1": a base de PVA, e "Produto 5": a base de emulsão acrílica + um verniz), uma variação significativa da capacidade impermeabilizante, ressaltando-se porém que o tempo de exposição dos revestimentos ao intemperismo ainda é relativamente pequeno.

V) A falta de um certificado de desempenho possuindo informações mais detalhadas do produto de revestimento, emitido por um órgão idôneo e descompromissado com as características de desempenho descritas nos catálogos dos fabricantes, muitas vezes frustra o usuário, que ao seguir o catálogo e aplicar

o produto de revestimento não consegue obter o desempenho desejado, conforme o previamente anunciado pelo fabricante.

Desta forma, o Método do Cachimbo pode vir a dar uma contribuição no sentido de ser um método de avaliação que o usuário poderá utilizar para testar o desempenho, eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante de produtos de revestimento existentes no mercado que aparentemente em função dos catálogos dos fabricantes prometem o mesmo desempenho, mas que na realidade quando submetidos à teste, apresentam desempenhos diferentes conforme ficou evidenciado quando da avaliação do "Produto A" e do "Produto B" em paredes de testes.

VI) Ficou demonstrada a eficácia do Método do Cachimbo quando realizadas as avaliações "in loco" durante o desenvolvimento do trabalho, tendo em vista que o método apresentou as seguintes peculiaridades:

- i) sensibilidade de leitura para os diversos tipos de revestimentos de parede testados;
- ii) é fácil de ser operado;
- iii) não requer nenhum sistema especial para transporte da aparelhagem;
- iv) o custo da aparelhagem é relativamente baixo;
- v) é baixo o custo operacional do ensaio;
- vi) o ensaio não causa alterações no revestimento da parede testada.

Com relação às limitações do Método do Cachimbo pode-se notar:

- i) é difícil a fixação do "cachimbo de vidro" entre as juntas verticais e/ou horizontais dos elementos que constituem a parede, quando estas são profundas;
- ii) para se determinar a perda da capacidade impermeabilizante do revestimento de parede ao longo do tempo são necessários alguns anos de avaliações periódicas, o que impossibilita uma análise imediata, sob este aspecto;
- iii) quando o revestimento é aplicado sobre um substrato impermeável a avaliação da capacidade impermeabilizante do revestimento de parede pelo Método do Cachimbo torna-se desnecessária;

iv) qualquer trinca que exista sobre uma parede revestida compromete a sua estanqueidade à água. Desta maneira quando se avalia pelo Método do Cachimbo a capacidade impermeabilizante do revestimento em duas regiões distintas de uma parede, uma trincada e a outra não, fatalmente ocorrerá a penetração de água pela região trincada. Em resumo, um revestimento de parede trincado compromete a sua capacidade impermeabilizante tornando a parede não estanque à água.

VII) Com o desenvolvimento do Método do Cachimbo exposta nesta dissertação, o autor acredita que novas pesquisas poderão ser realizadas tais como:

i) estudo da perda da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante ao longo do tempo, de produtos de revestimento similares e fabricados por empresas distintas, obtendo desta forma curvas experimentais do desempenho que possibilitarão definir níveis mínimos admissíveis de perda da eficácia inicial ao longo do tempo, o que contribuirão para a elaboração de programas de manutenção do revestimento utilizado;

ii) dar continuidade à pesquisa iniciada nesta dissertação nos núcleos habitacionais da COHAB-RS, Ildo Menegheti e Rubem Berta, através da definição de programas de avaliação, que possibilitarão acompanhar o real desempenho da capacidade impermeabilizante dos produtos de revestimento, que foram utilizados na alvenaria dos edifícios construídos;

iii) utilização do Método do Cachimbo para avaliar a impermeabilidade à água de materiais de construção, tais como diferentes traços de argamassas e concretos, tijolos, comparando dentro de cada tipo de material avaliado a absorção de água obtida durante o ensaio.

VIII) Devido às características do Método do Cachimbo mencionadas durante a realização do trabalho, o autor recomenda que o método de ensaio seja transformado em um texto normativo com o objetivo de se prescrever um método de avaliação para determinação da capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede.

IX) Em conclusão, o autor acredita que o Método do Cachimbo vem contribuir no sentido de proporcionar aos órgãos fiscalizadores, no canteiro de obras, uma postura mais científica e realista quando da tomada de decisão relativa ao desempenho da capacidade impermeabilizante de produtos de revestimento de parede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLUCI, Mária Peinado; FLAUZINO, Wanderley Dias; MILANO, Sidney. Bolor em edifícios: causas e recomendações. Tecnologia de Edificações, IPT, 1:89-94, ago. 1984.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for water permeance of masonry: E-514. Philadelphia, 1974.
3. _____. Water vapor transmission of materials: E-96. Philadelphia, 1980.
4. ANDERSSON, Ann-Charlotte. Verification of calculation methods for moisture transport in porous building materials. Document. Swedish Council for Building Research, (6), June 1985.
5. ARGAMASSAS: O bom desempenho depende do preparo da superfície e da correta aplicação. Revestimentos, Pini, p.8-16, ago. 1983. Suplemento anual de A Construção.
6. ASSÈCHEMENT des murs. CSTC Revue, (3):24-7, oct. 1972.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de impermeabilização na construção civil: NB-279. Rio de Janeiro, 1975.
8. BAUER, L.A. Falcão. Materiais de construção. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1979.
9. BLACHÈRE, G. Savoir bâtir: habitabilité, durabilité, économie des bâtiments. 3.ed. Paris, Eyrolles, 1971.
10. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Methods of test for resistance to air and water penetration: BS-4315. Part 2: Permeable walling constructions (water penetration). London, 1970.
11. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Rising damp in wall. In: _____. Building defects and maintenance. 2.ed.

- Lancaster, The Construction Press, 1977. p.85-91.
12. COSTA, Ennio Cruz da. Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.
 13. DÉFINITION et classification des ouvrages de revêtement extérieur de façades en maçonnerie ou en béton. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, (206), jan./fév. 1980.
 14. DIAMANT, E. Aislamiento térmico y acústico de edificios. Madrid, Blume, 1967.
 15. EICHLER, Friedrich. Patologia de la construcción: detalles constructivos. Barcelona, Blume, 1975.
 16. ELDRIDGE, H.J. Common defects in buildings. London, Her Majesty's Stationery Office, 1976.
 17. FLAUZINO, Walderley Dias & UEMOTO, Kai Loh. Durabilidade de materiais e componentes das edificações. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO ÀS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, São Paulo, 25-28 out. 1981. p.203-20.
 18. FIORITO, Antonio J.S.I. Eflorescência: um problema que pode ser prevenido. Revestimentos, Pini, p.40-1, ago. 1984. Suplemento anual de A Construção.
 19. FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Ensaio de estanqueidade à água. Porto Alegre, 1980.
 20. GONÇALVES, Dalton. Física. 7.ed. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1970. v.2.
 21. GRATWICK, R.T. La humedad en la construcción, suas causas y remedios. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1971.
 22. GRIMM, C.T. Water permeance of masonry walls: a review of the literature. In: _____. Masonry: materials, properties and performance. Philadelphia. American Society for Testing and Materials, 1982. p.178-99.

23. HIGGINS, Raymond A. Propriedades e estruturas dos materiais em engenharia. São Paulo, DIFEL, 1982.
24. HYDROFUGES de surface: choix et mise en oeuvre. Note d'Information Technique. Centre Scientifique et Technique de la Construction, (140), fév. 1982.
25. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Conforto higrotérmico. In: _____. Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. São Paulo, 1981. v.4.
26. _____. Desempenho de pinturas a base de emulsões acrílicas e vinílicas para alvenaria exterior: PR-3. In: _____. Normalização de interesse da construção de habitações. São Paulo, 1981. v.2.
27. _____. Determinação da estanqueidade à água de paredes externas: ME-15. In: _____. Normalização de interesse da construção de habitações. São Paulo, 1981. v.2.
28. _____. Divisórias internas de edificações: terminologia. In: _____. Normalização de interesse da construção de habitações. São Paulo, 1981. v.2.
29. _____. Durabilidade. In: _____. Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. São Paulo, 1981. v.6.
30. _____. Estanqueidade. In: _____. Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. São Paulo, 1981. v.3.
31. JOHN, Vanderley M. & AROZTEGUI, José Miguel. Durabilidade e vida útil dos edifícios. Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, 1985.
32. LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. Edifícios - recomendações para elaboração de especificações de comportamento: E-326. Lisboa, 1979.
33. MAMILLAN, M. Le mouvement de l'eau dans les murs. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, (217):132-41, jan. 1966.
34. MEERT, E. & VAN ACKERE, G. L'étanchéité au vent et a la pluie des façades. CSTC Revue, (2):31-41, juin 1978.

35. MUZZIN, G. Les efflorescences dans les maçonneries en briques. CSTC Revue, (4):2-11, déc. 1982.
36. NANNI, L.F. Programas computacionais para o processamento estatístico de dados. Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, 1983 (Caderno Técnico 40).
37. PAROIS et murs en maçonnerie. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, (193), oct. 1978.
38. PEREZ, Ary Rodrigo. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1.^a parte). Tecnologia de Edificações, IPT, 2:35-8, ago. 1985.
39. _____. Umidade nas edificações: recomendações para a redução da penetração de água pelas fachadas (2.^a parte). Tecnologia de Edificações. IPT, 2:39-42, ago. 1985.
40. PICCHI, Flávio Augusto. Impermeabilização de coberturas de concreto: materiais, sistemas, normalização. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1984. Diss. maestr.
41. PINTURAS: A economia, neste caso, depende da escolha e do emprego de produtos de qualidade. Revestimentos. Pini, p.42-8, ago. 1983. Suplemento anual de A Construção.
42. PROBLÈMES d'humidité dans les bâtiments: causes des dégradations, ponts thermiques, clima intérieurs. Note d'Information Technique. Centre Scientifique et Technique de La Construction, (153), 1984.
43. RÉSISTANCE a l'eau de pluie des matériaux poreux. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, (19), 1954.
44. LA RÉSISTANCE des murs à la pénétration de l'eau de pluie. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, (39), oct. 1959.

45. REYGAERTS, J.; GASPER, M.; DUTORDOIR, C. 1200 problemes-erreurs de conception, défauts de construction, dégâts. CSTC Revue, (3):2-6, sept. 1976.
46. REYGAERTS, J. et alii. Comment éviter les dégâts. CSTC Revue, (3):3-10, sept. 1978.
47. SCHILD, E. et alii. Structural failure in residential buildings. New York, John Wiley, 1980. v.2.
48. SOUZA, Roberto de. Avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. Tecnologia de Edificações, IPT, 1:13-6, ago. 1984.
49. SOUZA, Roberto de & FLAUZINO, Wanderley Dias. Depoimento: Nota-se, hoje, pouca preocupação com custo e desempenho dos materiais. Revestimentos, Pini, p.6-7, ago. 1983. Suplemento anual de A Construção.
50. STANDARD method of test for rain water penetration. BRI Research Paper, (55):61-3, 1973.
51. THOMAZ, Êrcio. Trincas em edifícios: causas e mecanismos de formação. Tecnologia de Edificações, IPT, 1:83-8, ago. 1984.
52. TRANSPORT de l'humidité dans les matériaux poreux. Bases theoriques. CSTC Revue, (1):7-12, mars 1982.
53. TURIK, Nelson. Estabelecimento de exigências de desempenho higrotérmico da envolvente de habitações populares térreas. Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, 1985. Diss. maestr.
54. VERÇOZA, Enio José. Impermealização na construção. Porto Alegre, Sagra, 1985.

ANEXO 1

DADOS RELATIVOS ÀS FALHAS NAS EDIFICAÇÕES

TABELA A.1.1 - Origens de falhas em edificações, em alguns países.

Fonte: REYGAERTS et alii⁴⁶.

Origens das falhas	País e período da pesquisa					
	Bélgica 1974- 1975 (%)	Bélgica 1976- 1977 (%)	Grã- Bretanha 1970- 1974 (%)	República Federal Alemã 1970- 1977 (%)	Dinamarca 1972- 1977 (%)	Romênia 1971 1977 (%)
Projeto	49	46	49	37	36	37
Execução	22	22	29	30	22	19
Defeito dos materiais	15	15	11	14	25	22
Erros de utilização	9	8	10	11	9	11
Diversos	5	9	1	8	8	11

TABELA A.1.2 - Natureza das falhas em edificações, em alguns países.

Fonte: REYGAERTS et alii⁴⁶.

Natureza da falha	Bélgica (%)	Grã-Bretanha (%)	Suíça (%)
Umidade	37*	53	10
Descolamento	15	14	28
Fissuração	16	17	27
Instalação	10	-	17
Diversos	22	16	18

* Obs.: No caso do levantamento realizado por REYGAERTS et alii⁴⁵ do total dos 37% relacionados com a umidade tem-se: 57% são devido à absorção e penetração de água de chuva, 27% à condensação, 8% à umidade incorporada durante o processo de construção, 4% à umidade ascensional do solo e 4% a causas diversas como por exemplo, o rompimento de tubulações hidro-sanitárias.

TABELA A.1.3 - Distribuição dos problemas encontrados em pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT em 36 conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo

Fonte: PERES³⁸

Tipo de construção	Idade do edifício	Problemas típicos		
		Umidade	Trincas	Descolamento do revestimento
Casas têrreas	1-3 anos	42%	29%	29%
	4-7 anos	50%	25%	25%
	> 8 anos	37%	35%	28%
Apartamentos	1-3 anos	52%	35%	7%
	4-7 anos	86%	14%	-
	> 8 anos	82%	12%	6%

ANEXO 2

DEFINIÇÕES DOS REVESTIMENTOS DE PAREDE COMUMENTES
USADOS EM EDIFICAÇÕES, SEGUNDO O INSTITUTO DE
PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-
IPT

Definições dos revestimentos de parede:

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT²⁸ os revestimentos de parede podem ser definidos das seguintes maneiras:

Revestimentos em argamassa: revestimentos constituídos por argamassas de naturezas diversificadas, aplicadas em camadas sobre as paredes de modo a constituir superfícies uniformes, com textura lisa ou rugosa.

i) Chapisco: camada irregular obtida pelo salpicamento de argamassa de areia e cimento contra uma base, com a finalidade de melhorar a aderência entre a base e uma camada subsequente de argamassa.

ii) Emboço: camada de argamassa, composta por areia média, aplicada com a finalidade de encorpar o revestimento e constituir base regular para a aplicação do reboco ou outro material de revestimento.

iii) Reboco ou massa fina: camada de argamassa, composta por areia fina, aplicada de maneira a constituir uma superfície lisa e uniforme. O reboco normalmente é aplicado sobre emboço, havendo ocasiões em que é aplicado diretamente sobre bases chapiscadas ou componentes com textura rugosa.

Pastas de revestimento: pasta normalmente à base de gesso (pasta de gesso) ou poli acetato de vinila ("massa corrida"), destinada à substituição do reboco.

Pintura: película aderente com função protetora e/ou decorativa, resultado da aplicação de tinta ou tintas sobre base por meio de pincel, brocha, rolo, revólver, etc.

Papel de parede: papel normalmente estampado e/ou gofrado, tratado com substâncias anti-fungo e às vezes com substâncias impermeabilizantes, destinado a ser colado em paredes e a constituir acabamento decorativo.

Revestimento em madeira: revestimentos executados com tábuas ou placas de madeira maciça, laminada ou compensada, geralmente constituindo lambris e recebendo como proteção uma ou mais camadas de verniz ou cera.

Revestimentos cerâmicos: revestimentos constituídos por peças cerâmicas (azulejos, pastilhas, lajotas, mosaicos ou ladrilhos), empregados em áreas molháveis da edificação com a função de constituírem superfícies impermeáveis ou mesmo em outras áreas com fins estéticos.

Revestimentos plásticos: i) revestimentos constituídos por chapas prensadas de fibras de madeira e resinas sintéticas (basicamente fenóis e aminas), ou ainda por chapas de madeira transformada, recoberta por filmes plásticos; ii) revestimentos à base de resinas sintéticas (naílon, polipropileno, cloreto de polivinila, etc.), constituídos por mantas coladas às paredes ou perfis semi-rígidos aplicados na forma de lambril.

Revestimentos metálicos: revestimentos constituídos por chapas planas ou corrugadas de metal, geralmente alumínio.

Revestimentos de pedras: revestimentos constituídos por pedras lavradas e cortadas, assentadas sobre a parede com argamassa, com ou sem rejuntamento.

Revestimentos em fibro-cimento: revestimentos constituídos por chapas prensadas de cimento reforçado por fibras de naturezas distintas, tais como fibras de vidro, fibras de amianto, etc.

ANEXO 3

AGENTES DE DEGRADAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE PAREDE EM:
PINTURAS E ARGAMASSAS

A.3. Agentes de Degradação dos Revestimentos de Parede

A.3.1. Pinturas

Para as pinturas que revestem as superfícies das paredes, FLAUZINO e UEMOTO¹⁷, apontam os seguintes agentes de de_gradacão:

- i) radiação solar, notadamente a radiação ultravioleta;
- ii) temperatura;
- iii) água: líquida, vapor, condensação;
- iv) constituintes do ar: oxigênio;
- v) contaminantes: SO₂, outros gases;
- vi) fungos, bactérias, etc.

Estes agentes agressivos irão de modo significativo, causar variações em importantes propriedades das pinturas que são:

- i) a variação da capacidade impermeabilizante ou de repelência d'água da pintura;
- ii) variação da resistência mecânica da película de pintura;
- iii) variação do aspecto da pintura mediante a ação de agentes agressivos.

Com a variação destas propriedades, surgirão uma série de problemas, e especialmente para as pinturas externas ocorrerão⁴¹:

- i) perda de aderência, empolamento, descacamento;
- ii) fendilhamento;
- iii) alterações precoces na cor e brilho;
- iv) manchas provocadas pelo crescimento de fungos e bactérias; o que prejudica a estética do edifício e a salubridade da edificação, diminuindo assim a vida útil da edificação e provocando desconforto para o usuário.

A TABELA A.3.1⁴¹ mostra os agentes agressivos que atuam sobre as pinturas, os problemas por eles causados, bem como os possíveis mecanismos de degradação.

TABELA A.3.1 - Agentes agressivos que atuam sobre as pinturas: os defeitos causados e os possíveis mecanismos de degradação.

DEFEITOS	AGENTES	POSSÍVEIS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO
Perda de aderência, empolamento, descascamento	água	- pode ocorrer pela presença de água sob a película de pintura. A baixa permeabilidade ao vapor de água pode permitir o acúmulo de umidade sob a película, que provoca esforços originando os citados problemas.
Perda de aderência, empolamento, descascamento	sais álcalis	- pode estar associado ao ataque de álcalis ou ao surgimento de eflorescência pelo carregamento de sais solúveis em água através da parede, que podem surgir sob a película ou sobre ela.
Fendilhamento e fissuras	intemperismo	- podem ocorrer pela perda da capacidade de flexibilidade da película após a ação da radiação solar particularmente sua parcela de radiação ultravioleta.
	aplicação	- podem ocorrer pela preparação inadequada da base.
Alterações no aspecto	partículas em suspensão no ar	- a retenção de poeira pela pintura e a consequente lavagem pela chuva provoca o surgimento de regiões manchadas.
	intemperismo	- a alteração na cor e brilho da pintura é o resultado da ação de alguns agentes agressivos tais como radiação ultravioleta, água, sais, etc., degradando o pigmento e veículo da pintura.
Manchas escuras na superfície	fungos	- as condições ambientais, umidade e temperatura podem favorecer o crescimento de fungos. Normalmente ocorrem tanto no interior quanto no exterior da edificação nas faces com má ventilação e sem incidência de radiação solar direta.
Umidade	água	- preparação inadequada da base; - aplicação inadequada da pintura; - produto inadequado ao fim a que se destina.

A.3.2. Argamassas

Nas edificações normalmente são observados fenômenos que prejudicam o aspecto estético das paredes, bem como a sua vida útil. Esses fenômenos são⁵:

- i) pintura parcial ou totalmente fissurada;
- ii) descolamento da argamassa do revestimento;
- iii) formação de manchas de umidade, possibilitando o desenvolvimento de fungos (bolor);
- iv) eflorescência formada na superfície da pintura entre a película e o reboco;
- v) superfície do revestimento fissurada com várias conformações;
- vi) superfície do revestimento com vesículas e descolamento da pintura;
- vii) reboco endurecido, empolando progressivamente, descolando-se do emboço.

Esses fenômenos resultam de uma ou mais causas, atuando sobre a argamassa de revestimento, sendo as causas mais comuns: agentes provenientes da atmosfera (água da chuva, umidade, radiação solar, bactérias, fungos, etc.), má aplicação, mal proporcionamento das argamassas e o tipo e qualidade dos materiais empregados no preparo.

Os danos causados nos revestimentos (TABELA A.3.2⁵) têm importância para o usuário do ponto de vista econômico, bem como de sua satisfação.

TABELA A.3.2 - Danos no revestimento em argamassa:
manifestações, aspecto, causas prováveis e reparos.

MANIFESTAÇÕES	ASPECTOS OBSERVADOS	CAUSAS PROVÁVEIS ATUANDO COM OU SEM SIMULTANEIDADE	REPAROS
Eflorescência	manchas de umidade pó branco acumulado sobre a superfície	umidade constante sais solúveis presentes no elemento da alvenaria sais solúveis presentes na água de amassamento ou umidade infiltrada cal não carbonatada	eliminação da infiltração de umidade secação do revestimento escovamento da superfície reparo do revestimento quando pulverulento
Eolor	manchas esverdeadas ou escuras revestimento em desagregação	umidade constante área não exposta ao sol	eliminação da infiltração de umidade lavagem com solução de hipoclorito reparo do revestimento quando pulverulento
Vesículas	empolamento da pintura, apresentando-se as partes internas das empolas na cor: - branca - preta - vermelho-acastanhada	-hidratação retardada de óxido de cálcio da cal; -presença de pirita ou de matéria orgânica na areia -presença de concreções ferruginosas na areia	renovação da camada de reboco
	bolhas contendo umidade no interior	aplicação prematura de tinta impermeável infiltração de umidade	eliminação da infiltração de umidade renovação da pintura
Deslocamento com empolamento	a superfície do reboco descola do emboço formando bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente o reboco apresenta som cavo sob percussão	hidratação retardada do óxido de magnésio da cal	renovação da camada de reboco
Descolamento em placas	a placa apresenta-se endurecida, quebrando com dificuldade sob percussão o revestimento apresenta som cavo	a superfície de contato com a camada inferior apresenta placas frequentes de mica argamassa muito rica argamassa aplicada em camada muito espessa	renovação do revestimento
	a placa apresenta-se endurecida mas quebradiça desagregando-se com facilidade sob percussão o revestimento apresenta som cavo	a superfície da base é muito lisa a superfície da base está impregnada com substância hidrófuga ausência da camada de chapisco	renovação do revestimento: -apicamento da base -eliminação da base hidrófuga -aplicação de chapisco ou outro artifício para melhoria da aderência
	a placa apresenta-se endurecida mas quebradiça desagregando-se com facilidade sob percussão o revestimento apresenta som cavo	argamassa magra ausência da camada de chapisco	renovação do revestimento
Descolamento com pulverulência	a película de tinta descola arrastando o reboco que se desagrega com facilidade o reboco apresenta som cavo sob percussão	excesso de finos no agregado traço pobre traço rico em cal ausência de carbonatação da cal o reboco foi aplicado em camada muito espessa	renovação da camada do reboco
Fissuras horizontais	apresentam-se ao longo de toda a parede descolamento do revestimento em placas, com som cavo sob percussão	expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal expansão da argamassa de assentamento por reação cimento-sulfatos ou devido à presença de argilo-minerais expansíveis no agregado	renovação do revestimento após hidratação completa da cal da argamassa de assentamento a solução a adotar é função da intensidade da reação expansiva
Fissuras mapeadas	as fissuras têm forma variada e distribuem-se por toda a superfície	retração da argamassa de base	renovação do revestimento renovação da pintura