



**COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS
IMPERMEABILIZANTES FRENTE À ABSORÇÃO DE ÁGUA POR
CAPILARIDADE EM CONCRETO**

AMERICANA
2020



CELSO JOSÉ BARCELLOS LEITE
LUIZ FELLIPE DIAS CAMARGO SORROCHE

**COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS
IMPERMEABILIZANTES FRENTE À ABSORÇÃO DE ÁGUA POR
CAPILARIDADE EM CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia nas Obras Civas, Pós-Graduação *lato sensu*, do IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca

AMERICANA
2020

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil prof. De Luca pela valiosa colaboração no estudo deste trabalho.

Ao engenheiro civil prof. José Mário que sempre disponibilizou seu tempo e nos acompanhou nessa jornada.

A todos os nossos mestres professores que disponibilizaram seus conhecimentos e lições tão importantes ao nosso conhecimento técnico e humano.

Em agradecimento a Deus, que nos deu força, saúde e que colocou em nossos caminhos tantos amigos, pessoas maravilhosas com que durante estes anos pudemos conviver e crescer no conhecimento e na amizade verdadeira.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

“O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice.

Colhe, pois a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã.”

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

No Brasil, devido à facilidade de execução e ao baixo custo, são muito utilizados como solução para impermeabilização de fundações, principalmente em vigas baldrame, materiais como as argamassas poliméricas e membrana de emulsão asfáltica, seja na primeira impermeabilização ou em serviços de reparo. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho e a eficiência destes dois tipos de materiais frente à absorção por capilaridade quando aplicados em estruturas de concreto em contato direto com a água. Para tanto, foram produzidos 21 (vinte e um) corpos-de-prova de concreto, nos quais foram aplicados os materiais impermeabilizantes utilizando diversas configurações, os quais foram monitorados quanto à absorção de água por capilaridade quando em contato com uma lâmina d'água de 5 ± 1 mm de altura. Para tal avaliação, empregou-se dois métodos distintos: o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade: a NBR 9779 modificada, e equipamento medidor de umidade superficial de pinos. Por fim chegou-se que a aplicação combinada de argamassa polimérica e emulsão asfáltica é a solução mais eficiente, podendo reduzir em até 68% a absorção de água por capilaridade e em até 97% a elevação capilar no interior dos corpos-de-prova. O equipamento medidor de umidade não se mostrou eficaz para estimar os valores de absorção de água por capilaridade, devido à sua limitação de capacidade de leitura em profundidade, de até 19 mm, o que pode ter prejudicado seu desempenho.

Palavras chave: Absorção por capilaridade. Argamassa polimérica. Emulsão asfáltica. Patologias da impermeabilização.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Fissuras horizontais na alvenaria provenientes da expansão dos tijolos: o painel é solicitado à compressão na direção horizontal. (THOMAZ, 1989).....	21
Figura 02: Expansão dos tijolos por absorção de umidade provocada pelo fissuramento vertical da alvenaria, no canto do edifício. (THOMAZ, 1989)	22
Figura 03: Trinca vertical no terço médio da parede, causada por movimentação higroscópica de tijolos de solo-cimento. (THOMAZ, 1989).....	22
Figura 04: Destacamento entre argamassa e componentes de alvenaria. (THOMAZ, 1989)	22
Figura 05: Trinca horizontal na base da alvenaria por efeito de umidade do solo. (THOMAZ, 1989)	23
Figura 06: Destacamento da argamassa no topo do muro, causado pela absorção de umidade. (THOMAZ, 1989).....	23
Figura 07: Fissuras horizontais no revestimento provocadas pela expansão da argamassa de assentamento. (THOMAZ, 1989)	23
Figura 08: Presença de mofo na parede, devido à umidade ascendente. (MOREIRA, 2010)	25
Figura 09: Descolamento da pintura provocado por umidade constante na parede. (MOREIRA, 2010)	26
Figura 10: Criptoflorescência em parede de alvenaria (CONSTRUÇÃO CIVIL, 2018)	26
Figura 11: Parede de alvenaria com sinais de umidade ascendente (AUTORES, 2020)	27
Figura 12: Trinca na base da alvenaria devido à movimentação higroscópica (AUTORES, 2020)	27
Figura 13: Origens dos problemas nas construções (Adaptado de HELENE e FIGUEIREDO, 2003)	31

Figura 14: Método de impermeabilização com solução cristalizante (DENVER, 2000)	35
Figura 15: Injeção de cristalizante em parede com umidade ascendente (ABATTE, 2003).....	36
Figura 16: Esquema de soluções para problemas de impermeabilização em estruturas enterradas (RIGHI, 2009)	37
Figura 17: Substituição de impermeabilização em bases de paredes (DENVER, 2000)	39
Figura 18: Introdução de material impermeável na alvenaria (TORRES, 2014)	40
Figura 19: Linha de sucessivas perfurações no método de Massari (TORRES, 2014)	41
Figura 20: Séries de furos na aplicação do método de Massari (BRITO, 2003).....	41
Figura 21: Introdução forçada de chapa metálica (BRITO, 2003).....	42
Figura 22: Exemplo de medição de umidade com umidímetros de pinos (PROTIMETER, 2020).....	44
Figura 23: Corpos-de-prova após moldagem (AUTORES, 2020)	45
Figura 24: Corpos-de-prova com aplicação de emulsão asfáltica e argamassa polimérica (AUTORES, 2020).....	48
Figura 25: Corpos-de-prova no tanque de ensaio (PERRARO e PIVA, 2017)	48
Figura 26: Fluxograma do programa experimental	49
Figura 27: Altura de elevação capilar no interior de um corpo-de-prova (AUTORES,2020)	50
Figura 28: Pontos de medição da umidade com umidímetros (AUTORES, 2020)	51
Figura 29: Procedimento de medição com umidímetro de pinos (FLIR, 2020)	51
Figura 30: Medidor de umidade MR 176 (FLIR, 2020)	52
Figura 31: Gráfico de absorção de água por capilaridade (g/cm ²). (AUTORES, 2020)	54

Figura 32: Gráfico de absorção de água por capilaridade ao longo das horas para os grupos com aplicação de impermeabilizantes nas laterais. (AUTORES, 2020).....	55
Figura 33: Gráfico de absorção de água por capilaridade ao longo das horas para os grupos com aplicação de impermeabilizantes nas laterais e fundo. (AUTORES, 2020)	56
Figura 34: Gráfico de elevação capilar nos corpos-de-prova (cm). (AUTORES, 2020)	57
Figura 35: Gráfico das medidas de WME. (AUTORES, 2020).....	59
Figura 36: Gráfico de calibração do umidímetros (PROTIMETER, 2020).....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Locais vulneráveis às infiltrações de água nas construções. (Adaptado de Moreira, 2010)	20
Tabela 02: A umidade em cada área da edificação (IBI, 2017)	34
Tabela 03: Comparação entre método de medição de umidade (adaptado de Domingues, 2016)	43
Tabela 04: Características dos impermeabilizantes empregados	47
Tabela 05: Valores medidos de umidade relativa e temperatura.....	53
Tabela 06: Absorção por capilaridade dos corpos-de-prova e valor médio por grupo (g/cm ²).....	54
Tabela 07: Medidas de elevação capilar nos corpos-de-prova (cm)	56
Tabela 08: Medidas de WME nos corpos-de-prova	58

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS.....	10
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.2.1. Objetivo Geral.....	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. HIPÓTESE	15
1.4. JUSTIFICATIVAS	15
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. HISTÓRICO.....	18
2.2. UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES	19
2.2.1. Propriedade higroscópica dos materiais	20
2.3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DEVIDO A FALHAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	21
2.4. FALHAS NOS SISTEMAS IMPERMEABILIZANTES	28
2.5. PROCEDIMENTOS DE PREVENÇÃO DE UMIDADE POR ASCENSÃO CAPILAR.....	31
2.5.1. Argamassa polimérica	33
2.5.2. Emulsão asfáltica.....	33
2.6. PROCEDIMENTOS DE REPARO DE UMIDADE POR ASCENSÃO CAPILAR.....	34
2.6.1. Impermeabilização com Solução Cristalizante.....	35

2.6.2.	Impermeabilização com argamassa polimérica e emulsão asfáltica...	36
2.6.3.	Substituição de impermeabilização danificada	38
2.6.4.	Substituição parcial de alvenarias	40
2.6.5.	Método de Massari	41
2.6.6.	Método de Schöner Turn	42
2.7.	MEDIDAS DA UMIDADE EM EDIFICAÇÕES	42
2.7.1.	Método de resistência elétrica.....	44
3.	PROGRAMA EXPERIMENTAL	45
3.1.	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE, COM NBR 9779 MODIFICADA	49
3.2.	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA COM UMIDÍMETRO DE PINOS	51
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
4.1.	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE, COM A NBR 9779 MODIFICADA	54
4.2.	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA COM UMIDÍMETRO DE PINOS	58
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	APÊNDICE.....	67

1. INTRODUÇÃO

A temática central deste trabalho é a comparação do desempenho de produtos impermeabilizantes frente à absorção de água por capilaridade, situação a que geralmente estão expostos os elementos de fundação, paredes e pisos térreos, e da qual decorrem diferentes manifestações patológicas, muitas vezes de difícil correção (BERTOLINI, 2010).

Os elementos de fundações, em geral, estão sempre em contato com o solo, que se trata, por sua vez, de um meio poroso onde a umidade existente, quando absorvida pelo concreto das fundações, pode migrar para os demais elementos, como paredes e pisos, causando deslocamento dos revestimentos cerâmicos, surgimento de fungos, deterioração das pinturas e do revestimento argamassado, deterioração de móveis, além de afetar as armaduras de aço das estruturas. A umidade é responsável pela maioria das manifestações patológicas encontradas em edificações (BERTOLINI, 2010), reduzindo com isso seu tempo de vida útil. A estanqueidade à água, garantida por meio de um sistema de impermeabilização adequado, é fundamental, portanto, para evitar a absorção de água e garantir a integridade das estruturas, melhorando sua durabilidade, funcionabilidade e as condições de habitabilidade.

O sistema de impermeabilização se resume em um pequeno percentual do custo de uma construção, cerca de 2%, mas quando não previsto ou incorretamente executado, é objeto de custos elevados para execução das intervenções corretivas, podendo atingir 10% do custo total da obra (IBI, 2009).

Devido às muitas manifestações patológicas causadas pela umidade ascendente por capilaridade nas fundações, o foco deste estudo é avaliar o desempenho de dois materiais de uso corriqueiro em obras de pequeno e médio portes, argamassa polimérica e emulsão asfáltica, quanto à sua eficácia na impermeabilização de vigas baldrame de concreto.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual sistema de impermeabilização (membrana de emulsão asfáltica ou argamassa polimérica) é mais eficaz no combate à absorção por capilaridade da umidade proveniente do solo em uma estrutura de fundação impermeabilizada?

1.2. OBJETIVOS

Neste item serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é comparar o desempenho dos diferentes materiais impermeabilizantes aplicados (membrana de emulsão asfáltica e argamassa polimérica) frente à absorção por capilaridade da umidade proveniente do solo em estruturas de fundação de concreto.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Verificar a altura de elevação por capilaridade da água nos corpos-de-prova nas seguintes condições:

- a) Sem aplicação de impermeabilizantes;
- b) Com aplicação de argamassa polimérica;
- c) Com aplicação de membrana de emulsão asfáltica;
- d) Com aplicação combinada de argamassa polimérica e membrana de emulsão asfáltica.

- Verificar a ocorrência de absorção capilar nos corpos-de-prova, nas condições já apresentadas, empregando equipamento de medição de umidade por pinos.

1.3. HIPÓTESE

Acredita-se que o sistema impermeabilizante que combina argamassa polimérica e membrana de emulsão asfáltica seja o mais eficiente na prevenção da absorção de água por capilaridade.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Bertolini (2010) afirma que os fenômenos de degradação da alvenaria e outros materiais porosos, como concretos e argamassas, somente ocorrem, em sua maioria, devido à presença de umidade, de forma que a água é o principal agente de degradação desses materiais e subsistemas de uma edificação. Caporrino (2018) cita a NBR 15575 e a obrigação de considerar-se no projeto de alvenarias a prevenção de infiltração de umidade do solo, promovendo a impermeabilização de porões, subsolos, jardins e quaisquer paredes em contato com o solo, bem como fundações e pisos.

Fica evidente, então, a relevância do estudo da eficácia dos sistemas de impermeabilização mais aplicados na prevenção da umidade ascendente em estruturas de concreto.

A presença de umidade nas alvenarias é um dos principais indutores da degradação das paredes de um edifício. A umidade por elevação capilar é a mais frequente em construções antigas, seja pela não aplicação de sistemas de proteção ou degradação dos mesmos ao longo do tempo, e trata-se de uma causa de manifestações patológicas difícil de ser tratada (BERTOLINI, 2010).

Sendo um indutor de possível comprometimento estético e funcional das edificações, cujos efeitos podem manifestar-se já nas primeiras idades da estrutura, justifica-se o estudo das melhores maneiras de proteger as alvenarias da umidade por elevação capilar, vislumbrando os interesses dos construtores dos edifícios e de seus usuários. As argamassas poliméricas e as emulsões asfálticas são materiais de custo acessível e de fácil aplicabilidade, não necessitando do emprego de mão-de-obra extremamente especializada.

Falhas ou ausência de impermeabilização que resultam na presença de umidade em paredes podem causar diversos inconvenientes, prejudicando as condições de habitabilidade das edificações (BERTOLINI, 2010). Dentre os prejuízos destacam-se os de natureza higiênica e econômica, como o crescimento de fungos relacionados a doenças respiratórias no interior dos ambientes, umedecimento de móveis e revestimentos das paredes, além da redução da capacidade de isolamento térmico das alvenarias, com consequente desvalorização do imóvel e necessidade de gastos com serviços de reparo.

Sendo a umidade por elevação capilar uma anomalia bastante presente em edificações antigas, cabe também salientar a importância de sua prevenção e correção na conservação do patrimônio histórico e cultural, com evidentes reflexos culturais, sociais e econômicos.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia para atingir os objetivos deste trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica acerca do tema de patologia em impermeabilizações e umidade ascendente, bem como materiais e técnicas de recuperação.

Consistiu, ainda, na realização de ensaios para determinação da melhor técnica de impermeabilização dentre aquelas estudadas, por meio de ensaios em corpos-de-prova de concreto, nos quais foram aplicados os materiais impermeabilizantes.

O primeiro ensaio consistiu na determinação de absorção de água por capilaridade, com algumas adaptações no procedimento da NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade

O segundo ensaio consistiu na determinação de absorção de água por capilaridade empregando um medidor de umidade (umidímetro) de pinos, do modelo FLIR MR 176.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este item trata resumidamente do conteúdo de cada capítulo, como se mostra a seguir:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre a origem da umidade nas paredes, os tipos e sistemas de impermeabilização aplicáveis, o diagnóstico das falhas de impermeabilização e métodos de reparo, abordando aspectos históricos e tecnológicos das diferentes técnicas apresentadas. Descreve as principais características dos materiais mais comuns de impermeabilização de fundações e alicerces, e os métodos de avaliação empregados.

O **Capítulo 3** trata sobre os experimentos realizados neste trabalho, apresentando a descrição dos corpos-de-prova, equipamentos e procedimentos adotados.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo com base na altura de elevação capilar e medida de umidade com umidímetro de pinos nos corpos-de-prova, descrevendo os principais indícios encontrados e a avaliação das técnicas empregadas na impermeabilização dos componentes.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresenta-se as bases teóricas deste estudo e a revisão da literatura acerca da temática abordada.

2.1. HISTÓRICO

Em levantamentos realizados junto a setores ligados à construção civil, de acordo com o IBI (2009), a água é a grande responsável por 85% dos problemas das edificações. A água tem um grau de agressividade que varia de acordo com cada um dos estados físicos (sólido, líquido e gasoso). A impermeabilização é a providência tomada pelo projetista e pelo executor para proteção das obras e edificações visando deixá-las estanques, mantendo a água onde se deseja.

De acordo com o manual da Vedacit (2010), romanos e incas empregavam albumina (clara de ovo), sangue, óleos, entre outros produtos para impermeabilizar saunas e aquedutos.

Segundo Picchi (1986), em 1790, na Suécia, fez-se a primeira utilização de material betuminoso em coberturas de tábuas revestidas com papel e impermeabilizadas com alcatrão. Muitas fábricas da Inglaterra tiveram suas lajes impermeabilizadas com asfalto, já que o betume era um material com uso difundido na época (PIRONDI, 1988).

No Brasil, as primeiras impermeabilizações utilizavam óleo de baleia na mistura das argamassas, para o assentamento de tijolos e revestimentos das paredes das obras que necessitavam desta proteção, como cita o manual da Vedacit (2007).

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, por causa das obras em sistemas de metrô, publicou a primeira norma técnica brasileira de impermeabilização em 1975, sendo fundado neste mesmo ano o IBI para prosseguir com os trabalhos de normalização e iniciar um processo de divulgação da importância da impermeabilização (IBI, 2009).

2.2. UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES

Os sistemas construtivos estão sujeitos à umidade proveniente de diferentes origens. Bertolini (2010) aprofunda-se nesta questão, explicando que é comum subdividir a umidade nas edificações em função da causa que a gera, como segue:

- Umidade por elevação: ligada ao fenômeno da capilaridade, resulta do contato da superfície do material com a água líquida, proveniente de aquíferos superficiais, tubulações danificadas ou águas pluviais estagnadas. Manifesta-se principalmente na forma de manchas, e é o tipo de umidade mais frequente em velhos edifícios, que dificilmente tinham suas fundações impermeabilizadas.
- Umidade por vapor: ocorre quando a superfície do material está em contato com uma atmosfera úmida, ocorrendo o fenômeno de condensação capilar, ligado à microestrutura dos poros do material, à umidade relativa, à temperatura da superfície e à temperatura ambiente.
- Umidade descendente: umidade proveniente das águas de chuva, que atingem a superfície do material e infiltram-se através de fissuras ou devido a falhas de projeto de coberturas e beirais.
- Umidade de construção: deve-se à água empregada na fabricação dos sistemas construtivos, como na hidratação do cimento e cura do concreto e argamassas. A água que permanece no estado livre é lentamente cedida ao ambiente, o que pode ser dificultado devido às condições ambientais, como umidade e temperatura, bem como pela aplicação prematura de revestimentos impermeáveis, que dificultam a evaporação e podem acabar por se degradar.

Na Tabela 01 constam alguns locais vulneráveis à infiltração de água nas construções.

Tabela 01: Locais vulneráveis às infiltrações de água nas construções. (Adaptado de Moreira, 2010)

INFRAESTRUTURA	Fundações e alicerces
SUPRA-ESTRUTURA	Paredes de alvenaria ou blocos de concreto, calhas não vedadas, rejuntas, paredes de divisa, pisos de concreto, telhas quebradas, lajes fissuradas, jardineiras, soleiras, janelas e portas mal vedadas, pisos molhados
OBRAS HIDRÁULICAS	Caixas d'água, cisternas, reservatórios elevados, piscinas

2.2.1. Propriedade higroscópica dos materiais

A quantidade de água absorvida por um material de construção depende de dois fatores, porosidade e capilaridade, sendo o mais importante a capilaridade, pois gera forças de sucção responsáveis por conduzir a água até a superfície do componente, onde posteriormente ela será evaporada.

Como cita Thomaz (1989), as forças de sucção são inversamente proporcionais às aberturas dos poros, de forma que, quando dois materiais diferentes são colocados em contato, o de poros de menor dimensão absorverá água do de poros de maior dimensão.

Um material poroso, quando exposto a uma condição de umidade e temperatura constante, devido ao fenômeno da difusão, tem seu teor de umidade estabilizado e conseqüentemente atinge o equilíbrio higroscópico, que depende da capilaridade existente em cada material.

Ainda segundo Thomaz (1989), as variações no teor de umidade provocam movimentações reversíveis, que ocorrem por variação do teor de umidade do material, e irreversíveis, que ocorrem após a fabricação do material com perdas e ganhos de água até que se atinja seu equilíbrio higroscópico.

2.3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DEVIDO A FALHAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Comumente, há uma compreensão errônea do conceito de patologia, atribuindo-se os efeitos de uma ocorrência (umidade, trincas, etc.) ao termo patologia, enquanto tratam-se de manifestações patológicas.

Para Silva (2011), a patologia é uma ciência que estuda e procura explicar os mecanismos de degradação, anomalias ou problemas de uma construção. Estes mecanismos podem ser ocasionados na concepção do projeto (ausência de detalhes), durante a execução da obra (má execução, material inadequado, etc.) ou mesmo ao longo da sua vida útil (ausência de manutenções preventivas). Ainda segundo Silva (2011), manifestação patológica é a expressão resultante de um mecanismo de degradação (eflorescência, fissura, etc.).

Segundo Thomaz (1989), as mudanças higroscópicas causam variações dimensionais nos materiais porosos componentes das construções. Com o aumento do teor da umidade há uma expansão destes materiais e conforme o teor de umidade diminui se dá sua contração, podendo daí resultar fissuras, se houver a existência de vínculos que restrinjam as movimentações dos componentes do sistema construtivo.

Algumas configurações típicas de trincas e fissuras com origem em movimentações higroscópicas dos materiais são mostradas nas figuras 01 a 07.

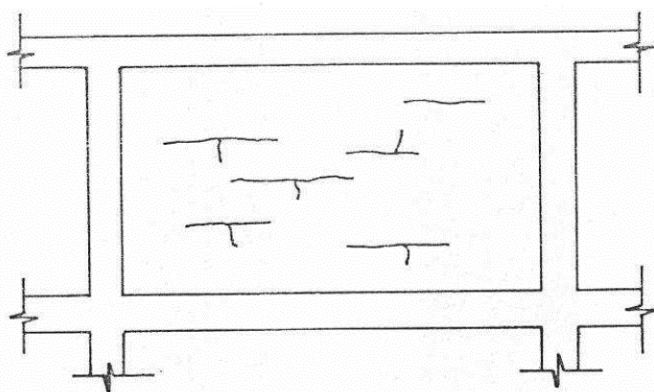


Figura 01: Fissuras horizontais na alvenaria provenientes da expansão dos tijolos: o painel é solicitado à compressão na direção horizontal. (THOMAZ, 1989)

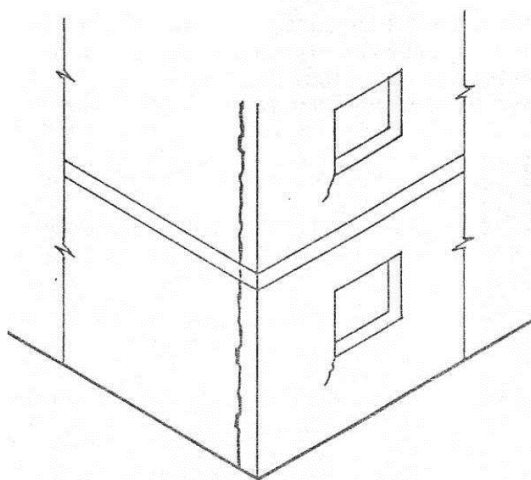


Figura 02: Expansão dos tijolos por absorção de umidade provocada pelo fissuramento vertical da alvenaria, no canto do edifício. (THOMAZ, 1989)

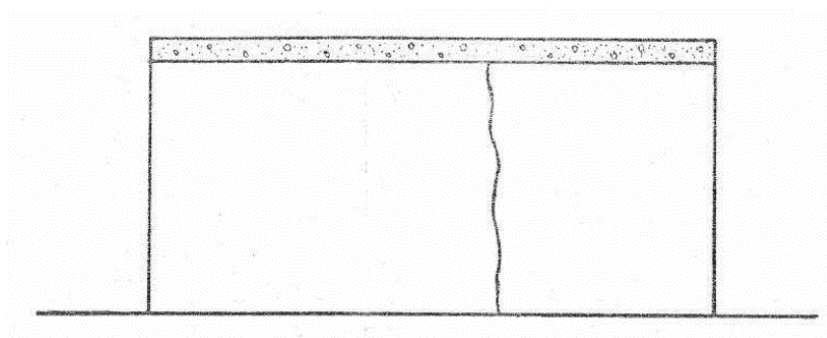


Figura 03: Trinca vertical no terço médio da parede, causada por movimentação higroscópica de tijolos de solo-cimento. (THOMAZ, 1989)

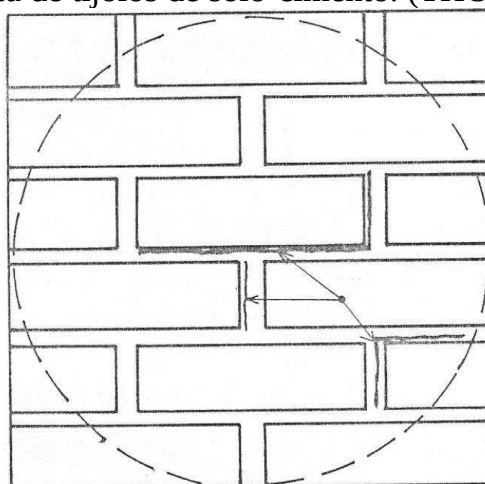


Figura 04: Destacamento entre argamassa e componentes de alvenaria. (THOMAZ, 1989)

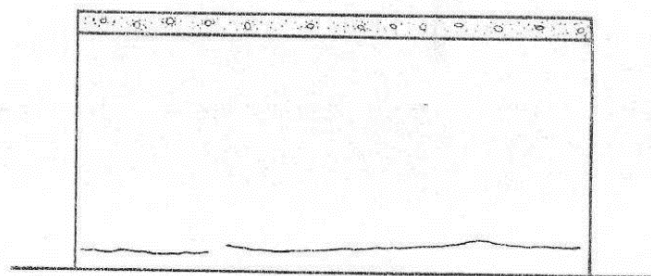


Figura 05: Trinca horizontal na base da alvenaria por efeito de umidade do solo. (THOMAZ, 1989)

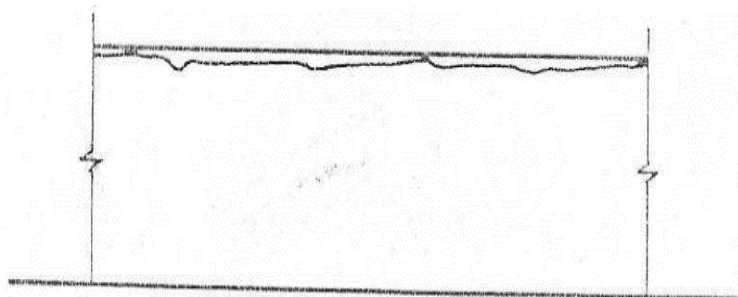


Figura 06: Destacamento da argamassa no topo do muro, causado pela absorção de umidade. (THOMAZ, 1989)

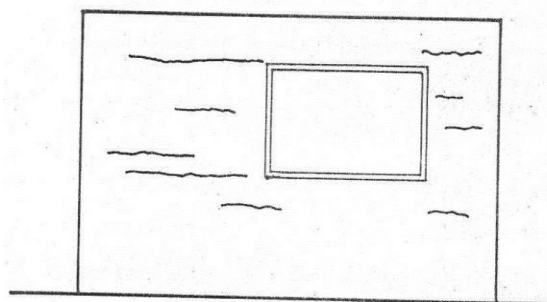


Figura 07: Fissuras horizontais no revestimento provocadas pela expansão da argamassa de assentamento. (THOMAZ, 1989)

As trincas provocadas por variação de umidade dos materiais de construção são muito semelhantes àsquelas provocadas pelas variações de temperatura, variando suas aberturas em maior ou menor grau em função da sensibilidade higrotérmica dos materiais e da amplitude de variação de umidade e temperatura.

Verçosa (1987) apud Cruz (2003) cita que goteiras, manchas, mofo e apodrecimento, ferrugem, eflorescências, criptoflorescências e gelividade são alguns dos principais sintomas de deterioração de uma edificação por ação da umidade.

Cruz (2003) define algumas das manifestações patológicas mais comuns devido a falhas de impermeabilização e absorção de água pelos componentes da edificação:

- **Eflorescência:** acúmulo de sais minerais na superfície dos materiais. Os sais podem ser formados por partículas de cálcio, sódio, potássio, magnésio e ferro que integram os metais. Quando há um fluxo de água, ou seja, de umidade dentro da estrutura, ocorre a dissolução dos sais e estes são carreados para a superfície das estruturas;
- **Manchas esbranquiçadas:** causadas devido à presença da umidade com sulfatos de sódio, potássio, cálcio e magnésio e resultam em manchas que não desagregam o substrato, mas possuem um aspecto visual ruim;
- **Mofo/bolor:** crescimento de fungos e vegetais não clorofilados, presentes nas fissuras, que normalmente se associam à umidade. Eles secretam enzimas que agem como agente ácidos que deterioram e degradam as superfícies dos materiais;
- **Criptoflorescência:** formação de incrustações salinas que estão presentes no interior das estruturas e que quando em contato com a umidade causam a degradação dos elementos construtivos;
- **Gelividade:** se dá devido ao processo de congelamento e descongelamento nos vasos capilares, fissuras e rachaduras e causa esfarelamento e degradação dos concretos e argamassas, sendo perceptível ao passar dos anos;
- **Esfarelamento:** patologia que ocorre devido à desagregação dos grãos do revestimento e está associada à presença de umidade, criptoflorescências e gelividade;

- Manchas de umidade: se caracteriza por uma superfície impregnada por água e que apresenta cor diferente do restante do local;
- Crescimento de vegetação: crescimento de plantas em determinados pontos da estrutura, forma-se devido à presença de umidade e fissuras;
- Vesículas: formação de bolhas na pintura e que podem apresentar em seu interior as cores branca, preta e vermelho acastanhado.

Martins (2006) destaca que a fissuração na impermeabilização é uma patologia de difícil reparo, mesmo em casos de fissurações localizadas e/ou acidentais. Complementa dizendo que a presença de qualquer fissura pode ser indicadora do início do “desfalecimento” generalizado do revestimento e que neste caso, refazer completamente é a solução mais indicada, de outro modo, se apenas efetuar-se o reparo, a fissuração poderá tornar a aparecer.

Trauzzola (1998, apud Cruz, 2003) comenta que o desenvolvimento do bolor ou mofo, é um problema de grande importância econômica e uma ocorrência comum em áreas tropicais. As alterações provocadas nas superfícies emboloradas exigem, muitas vezes, recuperação ou reaplicação de revestimentos.



Figura 08: Presença de mofo na parede, devido à umidade ascendente. (MOREIRA, 2010)



Figura 09: Descolamento da pintura provocado por umidade constante na parede.
(MOREIRA, 2010)



Figura 10: Criptoflorescência em parede de alvenaria (CONSTRUÇÃO CIVIL, 2018)



Figura 11: Parede de alvenaria com sinais de umidade ascendente (AUTORES, 2020)



Figura 12: Trinca na base da alvenaria devido à movimentação higroscópica (AUTORES, 2020)

Almeida (2008, apud Righi, 2009) cita que as patologias ocorrentes na construção civil geralmente mostram-se através de manifestações externas, que seguem padrões característicos. Sua análise mais profunda permite investigar sintomas, mecanismos, causas, origens e estimar prováveis consequências vinculadas devido à evolução de cada manifestação patológica, e consequentemente diagnosticar e aplicar as adequadas soluções para sanar os problemas.

2.4. FALHAS NOS SISTEMAS IMPERMEABILIZANTES

Segundo Picchi (1986), no Brasil as principais causas de falhas de impermeabilização são:

a) falhas devido a projeto;

- Ausência de projeto;
- Escolha inadequada de materiais ou sistemas;
- Dimensionamento;
- Detalhamento insuficiente:
 - Ausência ou mau dimensionamento de juntas;
 - Não execução de rodapés de impermeabilização 20 cm acima do piso acabado;
 - Não consideração da argamassa de regularização para previsão da cota de passagem d'água por vigas invertidas;
 - Falta de proteção mecânica.

b) falhas devidas à qualidade dos materiais;

- Materiais não normalizados, de propriedades inadequadas à utilização;
- Materiais adulterados; ausência de controle de qualidade;
- Alteração do fornecedor e/ou aplicador.

c) falhas devidas à execução;

- Falta de argamassa de regularização, ocasionando a perfuração da impermeabilização;

- Não arredondamento de cantos e arestas;
 - Execução da impermeabilização sobre base empoeirada ou úmida, comprometendo a aderência e gerando bolhas, deslocamento e ruptura da camada de impermeabilização;
 - Juntas travadas por tábuas ou pedras, com cantos cortantes que podem “mastigar” a impermeabilização; arremate da aresta da junta executado com argamassa que pode desprender-se pela ação do mástique;
 - Uso de camadas grossas na aplicação de pinturas impermeabilizantes para economia de tempo, dificultando a cura do material;
 - Falhas em emendas, pouco transpasse, mau uso do maçarico de ar quente (mantas de PVC);
 - Perfuração de mantas pela ação de sapatos com areia, carrinhos, etc.
- d) falhas devidas à má utilização e/ou manutenção;
- Danos causados na obra pela colocação de peso excessivo (entulho, equipamentos) sobre a impermeabilização, quando sobre esta existe apenas uma proteção provisória;
 - Perfuração da impermeabilização, sem qualquer reparo, após instalação de antenas, varais, etc.;
 - Danos causados à impermeabilização no advento da troca de pisos.

Devido à má qualidade dos materiais utilizados no processo de impermeabilização, pode-se citar como consequências para a edificação, de acordo com Vicentini (1997, apud Moraes, 2002):

- Danos funcionais;
- Danos à saúde dos usuários;
- Danos aos bens internos do imóvel;
- Desgastes entre cliente final/construtora/aplicador;
- Ações na justiça;

- Grandes gastos para reparos totais;
- Desvalorização do imóvel;
- Necessidade de recuperação estrutural.

Os defeitos devidos à má utilização e/ou manutenção estão relacionados ao usuário. Cantu (1997, apud Moraes, 2002) destaca:

- Danos causados na obra em função da colocação de peso excessivo (entulho e equipamentos) sobre a impermeabilização;
- Perfuração da impermeabilização, sem qualquer reparo, após instalação de antenas, varais, grades e outros.
- Troca de pisos;
- Instalação de floreiras na cobertura de modo a possibilitar a penetração de água por cima do rodapé impermeabilizado.

Para Bértolo (2001), uma impermeabilização bem executada pode ser prejudicada por falhas na concretagem, má execução do revestimento ou chumbamento inadequado de peças e equipamentos. Nesses casos é inevitável o aparecimento de anomalias, podendo ser necessário reaplicar toda a impermeabilização.

A Figura 13 ilustra em qual etapa da construção concentram-se a maior parte das origens das anomalias, isto é, na fase de projeto (40%). É preciso ter em mente que o conforto dos usuários das edificações em sua plenitude é cada vez mais exigido à medida que padrões de qualidade estão cada vez mais disseminados e normas como a de desempenho (NBR 15575) estão em vigor.

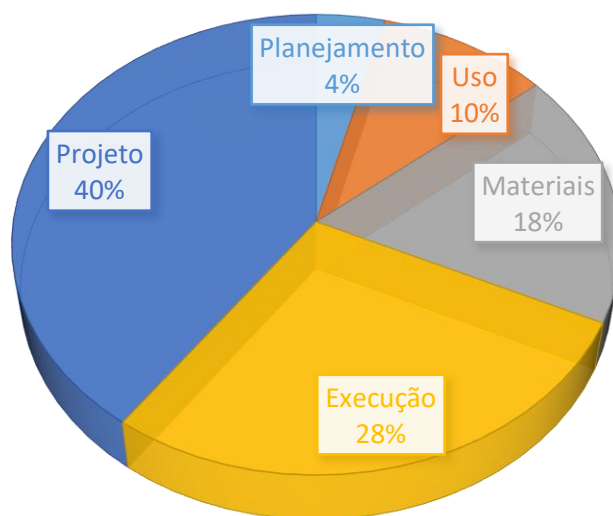


Figura 13: Origens dos problemas nas construções (Adaptado de HELENE e FIGUEIREDO, 2003)

2.5. PROCEDIMENTOS DE PREVENÇÃO DE UMIDADE POR ASCENSÃO CAPILAR

Materiais naturais ou sintéticos de baixíssima permeabilidade à água podem ser utilizados na impermeabilização de superfícies de alvenaria e concreto para evitar a absorção da água em sua fase líquida ou na forma de vapor d'água (BERTOLINI, 2010).

Segundo o manual da Viapol (2008), o sistema impermeabilizante adotado deve atender às exigências de desempenho abaixo relacionadas:

- a) resistir às cargas estáticas atuantes no plano normal e no plano da impermeabilização;
- b) resistir aos efeitos dos movimentos de dilatação e retração do substrato, ocasionados por variações térmicas, antes e após a execução da proteção mecânica;
- c) resistir à degradação ocasionada por influências climáticas, térmicas, químicas ou biológicas, decorrentes da ação de água, gases ou ar atmosférico;
- d) resistir às pressões hidrostáticas, de percolação, coluna d'água e à umidade do solo;

e) apresentar aderência, flexibilidade, resistência e estabilidade físico-mecânica compatíveis com as solicitações previstas em projeto;

f) apresentar vida útil compatível com as condições previstas em projeto;

g) resistir ao puncionamento ocasionado pelo impacto de objetos que atuam perpendicularmente ao plano da impermeabilização;

h) resistir ao fendilhamento ocasionado pelo dobramento ou rigidez excessiva do sistema impermeabilizante, ou pelo impacto de objetos pontuais, sobre qualquer sistema;

i) resistir à ruptura por tração ocasionada por esforços tangenciais ao plano da impermeabilização, devido à ação de frenagem, aceleração de veículos ou pela movimentação do substrato;

j) resistir ao desgaste ocasionado pela abrasão devido à ação de movimentos dinâmicos ou pela ação do intemperismo;

k) resistir aos descolamentos ocasionados pelas ações mecânicas que atuam no seu plano de aderência;

l) resistir ao esmagamento ou redução drástica da espessura, ocasionado por carregamentos ortogonais ao plano da impermeabilização;

m) em caixas d'água, devem atender ao ensaio de potabilidade, de acordo com a NBR 12170;

n) em cozinhas industriais, devem apresentar resistência química à ação de óleos orgânicos, óleos vegetais, detergentes e outros agentes de limpeza;

o) devem apresentar resistência química e térmica previstas em tanques, lagoas de efluentes, pisos sujeitos a derramamento ou respingos de produtos químicos;

p) apresentar resistência à baixa temperatura, para sua aplicação em tanque de água gelada, câmara frigorífica, pista de patinação de gelo, etc.

A umidade que provém do solo e ascende por capilaridade é a maior responsável pelas manifestações patológicas das fundações e na região dos rodapés de paredes e alvenarias. Assim se faz necessário a prevenção com adoção dos sistemas de

impermeabilização adequados. Recomenda-se um estudo a ser adotado para cada situação em que se implantará a edificação. Os fatores importantes a se atentar são de verificação do tipo de solo, tipo de fundação a ser adotado e o nível do lençol freático.

Como solução de impermeabilização pode-se usar de sistemas rígidos ou flexíveis. Para as fundações como blocos, sapatas e vigas baldrame é recomendável a utilização de impermeabilização flexível, que acomoda as possíveis movimentações da estrutura.

2.5.1. Argamassa polimérica

Segundo a NBR 9575, trata-se de um “tipo de impermeabilização industrializada, aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes”, classificada como do tipo cimentício. Trata-se, ainda, de um sistema de impermeabilização rígido.

Sua fabricação em território nacional deve satisfazer aos requisitos da NBR 11905: Argamassa polimérica industrializada para impermeabilização, que especifica como característica integrante deste material a estanqueidade à passagem de água na forma líquida, mas não ao vapor d’água.

2.5.2. Emulsão asfáltica

Segundo Bertolini (2010), os materiais asfálticos estão entre os mais tradicionais para impermeabilização. Antes disponíveis na natureza, com a escassez atual de suas reservas naturais tem sido fabricados artificialmente com derivados de petróleo.

A emulsão asfáltica não é senão o “produto resultante da dispersão de asfalto em água, através de agentes emulsificantes” (ABNT, 2008). Sua fabricação em território nacional deve satisfazer aos requisitos da NBR 9685: Emulsão asfáltica para impermeabilização. Devido à sua constituição asfáltica, é comumente classificada como um sistema flexível e estanque à passagem de água na forma líquida ou gasosa.

2.6. PROCEDIMENTOS DE REPARO DE UMIDADE POR ASCENSÃO CAPILAR

Caso o empreendimento já tenha passado por toda a fase construtiva e começar a apresentar presença de umidade em paredes após a sua ocupação, pode-se usar de algumas soluções técnicas para a correção dos problemas encontrados.

Na Tabela 02 são apresentadas algumas anomalias e as soluções indicadas para cada elemento.

Tabela 02: A umidade em cada área da edificação (IBI, 2017)

Elemento	Manifestações patológicas	Solução indicada
Fundações	Umidade ascendente com deterioração do revestimento das paredes	Impermeabilização rígida (cristalizantes e argamassas poliméricas) ou flexível (membranas de asfalto ou mantas asfálticas)
	Infiltração de água e inundação de áreas próximas	
	Insalubridade do ambiente	
Lajes em contato com o solo	Ascensão de umidade por capilaridade com deterioração de acabamentos, pisos e carpetes	Internamente, impermeabilização rígida (cristalizantes e argamassas poliméricas)
	Destacamento de RAD e bolhas em pisos de alta resistência	
	Insalubridade do ambiente	
Revestimento argamassado	Pulverulência e desagregação	Remoção do revestimento, impermeabilização da base e reaplicação do revestimento
	Eflorescências, mofo	

Pintura	Formação de bolhas e destacamento	Remoção da pintura, impermeabilização da base e reaplicação da pintura
	Eflorescências, mofo	

2.6.1. Impermeabilização com Solução Cristalizante

Trata-se de uma solução empregada para paredes de tijolos maciços ou concreto. Não é aplicada em paredes de blocos vazados pois haveria grande desperdício de material para preenchimento dos furos.

A solução é definida pelo IBI (1995) como a aplicação de um líquido de base mineral que, injetado em estruturas de concreto ou alvenaria de tijolos maciços, penetra por osmose nos capilares da estrutura, formando um gel que se cristaliza, incorporando ao elemento compostos cristalinos estáveis e insolúveis, bloqueando, assim, a passagem da água.

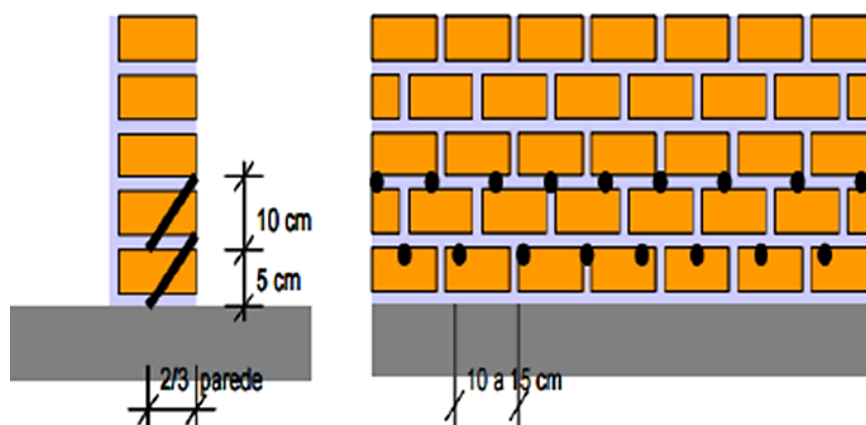


Figura 14: Método de impermeabilização com solução cristalizante (DENVER, 2000)

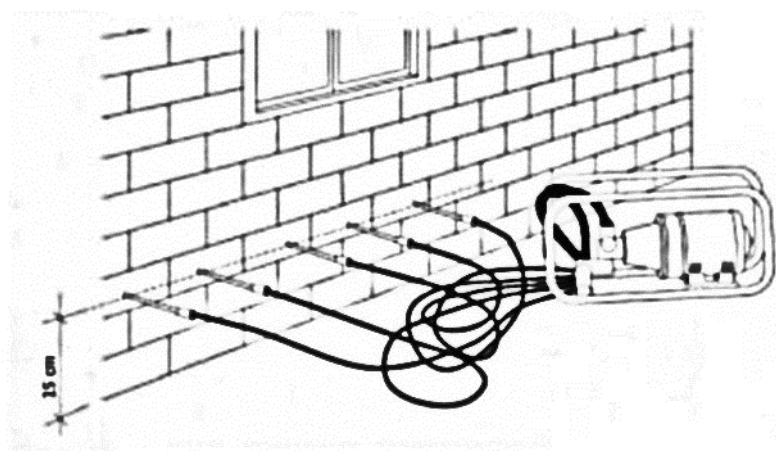


Figura 15: Injeção de cristalizante em parede com umidade ascendente (ABATTE, 2003)

- Procedimentos de reparo:

Preparar a superfície retirando o revestimento existente até a altura onde se encontra a umidade (aproximadamente 50 cm). Mede-se 5 cm a partir do piso e com uma furadeira executa-se a sequência de perfuração, com espaçamento entre 10 a 15 cm. Trabalhar com brocas de diâmetro entre 10 e 20 mm para execução dos furos, sempre com inclinação de 45° e profundidade equivalente a 2/3 da espessura da parede. Medir 10 cm acima dos primeiros furos e fazer outra sequência de perfurações intercalando os furos como mostra a figura acima.

Aplicar água nos furos até saturar bem a parede, retirar o excesso de água dos furos e aplicar o aditivo cristalizante, até a saturação. Após 24 horas, escarear os furos com a própria broca e repetir a aplicação do aditivo cristalizante. Após o término da aplicação, vedar superficialmente os furos e aguardar a secagem da parede, por período entre 10 a 30 dias.

(DENVER, 2000)

2.6.2. Impermeabilização com argamassa polimérica e emulsão asfáltica

RIGHI (2009) indica o emprego da argamassa polimérica para correção de problemas causados pela falha ou falta de impermeabilização em estruturas enterradas. Já Bertolini (2010) afirma que os materiais asfálticos são os mais tradicionais nos sistemas de impermeabilização.

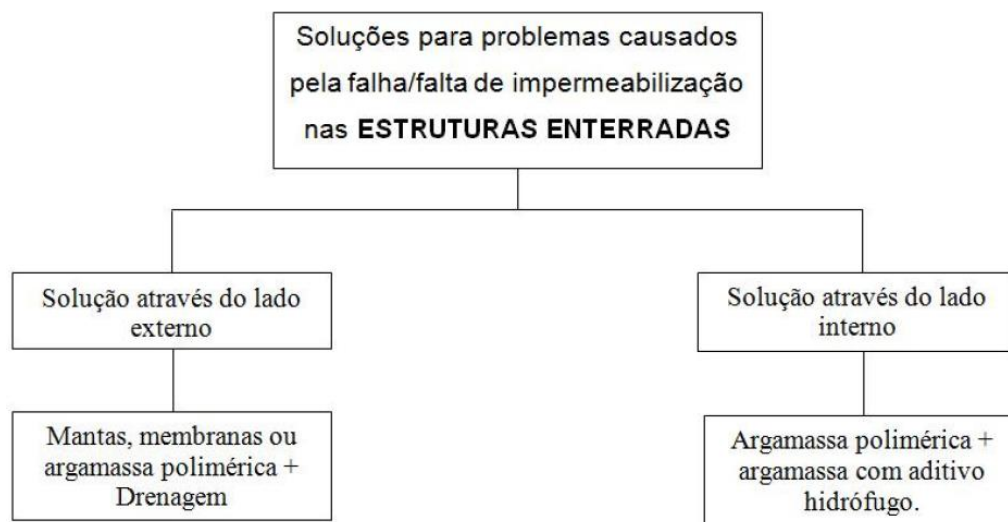


Figura 16: Esquema de soluções para problemas de impermeabilização em estruturas enterradas (RIGHI, 2009)

Argamassa polimérica e emulsão asfáltica são produtos que podem ser aplicados na forma de pintura, com trincha ou brocha. Segundo a NBR 9574 (ABNT, 2008), devem ser aplicadas em demãos cruzadas, em tantas quantas recomendar o fabricante, sobre substrato limpo e isento de poeira, incrustações e quaisquer contaminantes. A argamassa polimérica deve ser curada por 72 horas.

Deve-se prever proteção mecânica conforme o uso pretendido para o local impermeabilizado. Necessariamente, a emulsão asfáltica deve ser protegida da incidência solar.

Para utilizar alguns desses materiais na correção da umidade ascendente, deve-se:

- a) Delimitar a área a ser tratada, marcando uma faixa com pelo menos 30 cm acima da linha d'água, em toda a extensão de parede em que aparece a umidade ascendente;
- b) Nessa área demarcada deve-se remover todo o revestimento da parede, expondo a alvenaria;
- c) Fechar as irregularidades com uma argamassa bem desempenada e, com a parede molhada, aplicar uma demão de argamassa polimérica;

d) Após um intervalo de seis horas entre cada demão, aplicar mais três demãos, totalizando quatro demãos;

e) Executa-se novamente o revestimento. Para um melhor desempenho deve-se usar argamassa com aditivo hidrófugo;

f) Depois de solucionado o problema, deve-se evitar perfurações no revestimento que foi tratado, como a colocação de rodapés no ambiente, pois pode-se danificar a impermeabilização e possibilitar a volta do problema.

2.6.3. Substituição de impermeabilização danificada

De acordo com RIPPER (1984 apud SANTOS, 2010), o procedimento para sanar as paredes úmidas, devido às falhas da impermeabilização entre alicerces e alvenaria, é a substituição total ou parcial desta impermeabilização, seja em paredes de tijolos maciços ou blocos vazados, conforme etapas a seguir:

- **Procedimentos de reparo:**

Executar cortes na alvenaria de 15 cm de altura (uma ou duas fiadas), ao longo de toda a base da alvenaria em trechos de 1 metro de comprimento e espaçados 80 cm um do outro;

Retirar o material da impermeabilização deficiente, limpar e regularizar a superfície do alicerce o da viga baldrame;

Aplicar duas camadas de feltro asfáltico, colados com asfalto oxidado a quente ou uma camada de butil ou similar em toda a extensão do rasgo;

Aplicar uma camada de proteção de argamassa de cimento e areia 1:4 e reconstruir a alvenaria encunhada em 80 cm do trecho de 1 m deixando 10 cm para cada lado para o transpasse;

Executar os rasgos no trecho de 80 cm alternados e repetir os passos anteriores, inclusive sobre os transpasses;

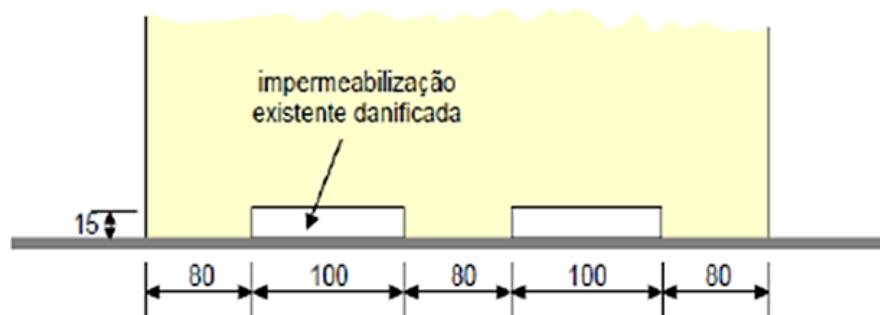
Retirar o revestimento úmido até 60 cm de altura, nas paredes internas e externas;

Deixar secar a alvenaria, protegendo-a contra intempéries;

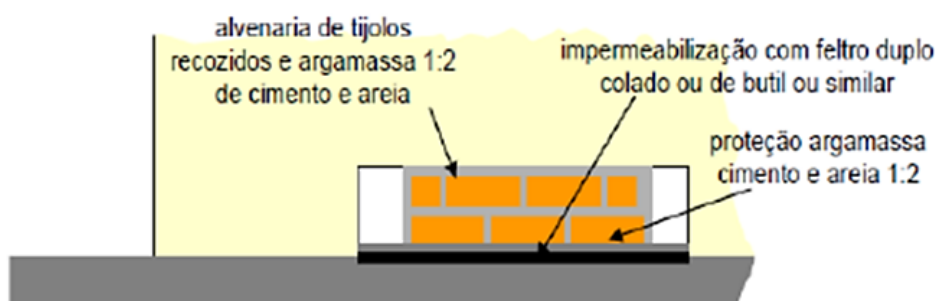
Executar o revestimento interno com argamassa comum (emboço) e externamente com argamassa aditivada com impermeabilizante.

(DENVER, 2000)

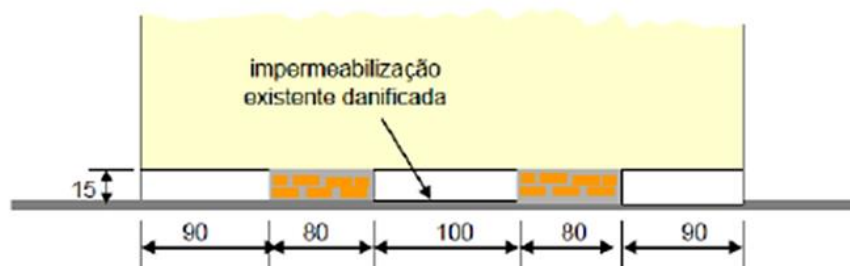
1ª etapa – corte do rasgo na base da parede



2ª etapa – impermeabilização e reconstrução do rasgo



3ª etapa – corte do rasgo nos intervalos na base da parede



4ª etapa – impermeabilização e fechamento do rasgos dos intervalos

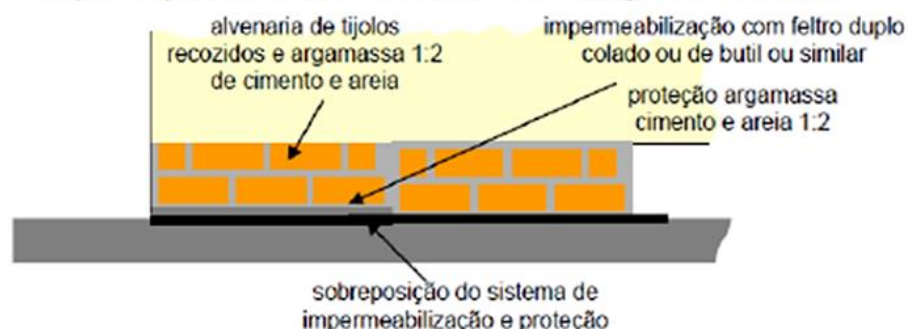


Figura 17: Substituição de impermeabilização em bases de paredes (DENVER, 2000)

2.6.4. Substituição parcial de alvenarias

Consiste na substituição de alguns elementos de alvenaria por materiais não capilares ou impermeáveis, em cerca de 20 a 30 cm de altura em toda a espessura da parede ao longo de uma faixa pré-definida. que pode ser feita por blocos de alvenaria impermeabilizados e mais densos na sua constituição, com utilização de aditivo hidrófugo na argamassa (TORRES, 2014; BRITO, 2013).

Magalhães (2008) defende que este processo é eficaz quando bem utilizado embora seja moroso e de difícil execução. O autor ensina que se podem utilizar também membranas betuminosas ou placas de chumbo como camadas impermeáveis, no entanto, se faz necessário o cuidado para que os espaços livres sejam preenchidos de modo a garantir que não haja assentamentos posteriores.

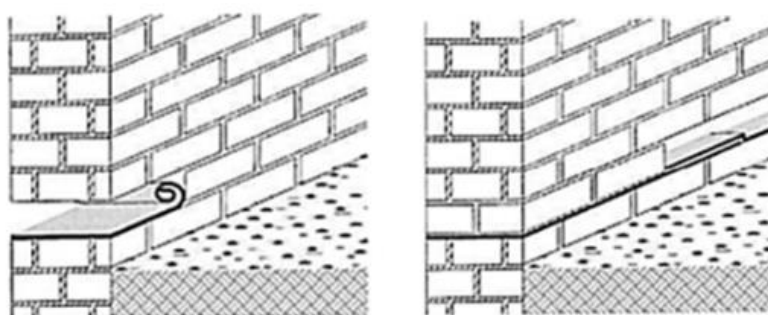


Figura 18: Introdução de material impermeável na alvenaria (TORRES, 2014)

Outra maneira de realizar a barreira física é fazendo cortes mecânicos na alvenaria com cerca de 1m de comprimento que vão sendo preenchidos por materiais estanques como membranas betuminosas, folhas de polietileno ou de PVC e argamassas de ligantes sintéticos, após efetuada a limpeza das aberturas com o objetivo de assegurar a aderência do produto. Deve-se tomar cuidado também para que não haja assentamentos posteriores (TORRES, 2014).

2.6.5. Método de Massari

Em 1965, Massari desenvolveu um processo com o objetivo de ser mais prático do que o método anterior. O método de Massari é baseado na execução de uma linha de sucessivas perfurações de cerca de 45 a 50cm de comprimento (TORRES, 2014).

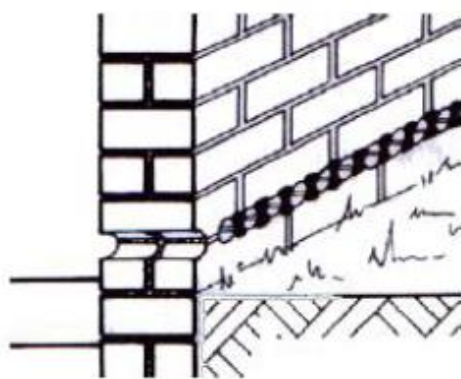


Figura 19: Linha de sucessivas perfurações no método de Massari (TORRES, 2014)

Segundo Magalhães (2008) “o diâmetro nominal das furações deve ser de 3,5 cm e devem ser executadas em duas séries alternadas. Na primeira série os furos devem ser executados regularmente espaçados uns dos outros ao longo do comprimento. A segunda série de furos deve ser executada de maneira secante, de forma a terem o centro na metade da distância entre os anteriores”, conforme a Figura 20.

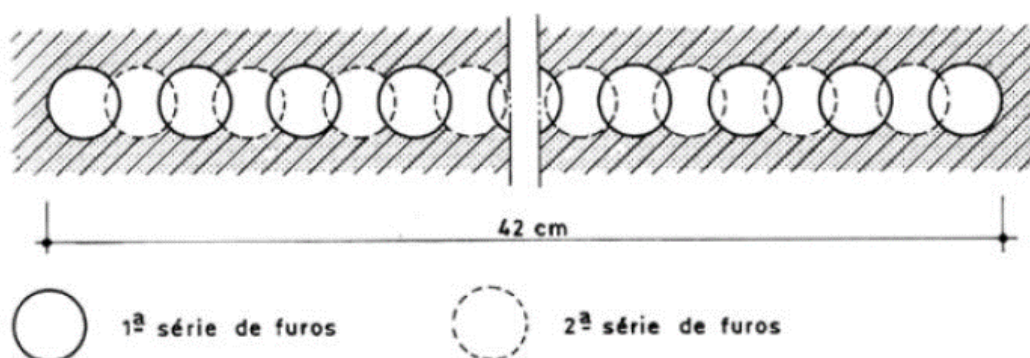


Figura 20: Séries de furos na aplicação do método de Massari (BRITO, 2003)

Nos espaços obtidos, procede-se, após limpeza, à introdução de uma argamassa de ligantes sintéticos, constituída por pó de mármore, areia fina e uma mistura de resina de poliéster com carbonato de cálcio (BRITO, 2003).

2.6.6. Método de Schöner Turn

O método consiste na introdução forçada de chapas metálicas na alvenaria (Figura 21) como chapas de aço inoxidável onduladas, com a utilização de martelos pneumáticos (TORRES, 2014). Segundo Magalhães (2008) “esta técnica está restringida a alvenarias executadas com elementos regulares com juntas contínuas e bem definidas, nas quais as chapas metálicas são inseridas. Tem como inconveniente as vibrações causadas pelos martelos, não sendo por isso adequada a construções históricas”.



Figura 21: Introdução forçada de chapa metálica (BRITO, 2003)

2.7. MEDIDAS DA UMIDADE EM EDIFICAÇÕES

Avaliar o conteúdo de umidade nas paredes e elementos estruturais é essencial para estabelecer as origens da umidade e especificar corretamente as intervenções necessárias (BERTOLINI, 2010). Para tanto, métodos destrutivos e não-destrutivos podem ser aplicados.

Domingues (2016) estudou diversos métodos para determinação da umidade em materiais porosos e elaborou um quadro comparativo com suas características, vantagens e desvantagens.

Tabela 03: Comparação entre método de medição de umidade (adaptado de Domingues, 2016)

Parâmetros	Métodos						
	Resistência Elétrica	Gravimétrico	Carbonato de Cálcio	Capacitância	Microondas	Raios Gama	NMR
Natureza	Não destrutivo (pouco invasivo)	Destrutivo	Destrutivo	Não destrutivo	Não destrutivo	Não destrutivo (in situ)	Não destrutivo (in situ)
Profundidade de alcance das medições	Praticamente superficial	Variável / igual à espessura da amostra	Variável / igual à espessura da amostra	Pouco abaixo da superfície	20 a 30 cm	Igual à espessura da amostra	20 a 30 cm
Tempo de medição	Imediato	Moroso (>3h)	10 minutos	Imediato	Imediato	Imediato	Imediato
Aplicável/ aconselhado a que material?	Materiais porosos (aconselhável para madeira)	Qualquer	Materiais porosos (concreto, argamassa, gesso)	Materiais porosos	Materiais porosos	Materiais porosos	Materiais porosos
Custo do equipamento	Baixo	Elevado	Médio	Baixo	Elevado	Muito elevado	Muito elevado
Equipamento portátil	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Precisão	Reduzida (satisfatória para madeira)	Elevada	Satisfatória	Reduzida	Boa	Elevada	Elevada
Facilidade de execução	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Difícil	Fácil
Facilidade de interpretação	Fácil	Fácil	Média	Fácil	Fácil	Difícil	Fácil
Documentos normativos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Documentos normativos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não

2.7.1. Método de resistência elétrica

O método de resistência elétrica é o mais difundido, embora não forneça valores precisos do teor de umidade, mas medidas indicativas e qualitativas, permitindo estabelecer se um elemento está seco ou se contém água em quantidade excessiva (BERTOLINI, 2010).

A resistência elétrica é uma propriedade que varia com o teor de água presente no material, com medidas mais assertivas para valores entre 5% e 25%. Acima deste percentual, os resultados são meramente indicativos. Temperatura e tipo de material também são interferências significativas, para os quais são geradas curvas de correlação para chegar-se ao resultado final.

Os aparelhos empregados, geralmente chamados umidímetros, trabalham com duas sondas ou pinos que, quando encostados à superfície do material, indicam o teor de umidade a até cerca de 2 cm de profundidade. Em alguns casos, o aparelho é calibrado para utilização em madeira, produzindo então uma leitura denominada WME (sigla em inglês para *wood moisture equivalent*, ou equivalente de umidade da madeira, em tradução livre), que indica o teor de umidade com que um pedaço de madeira atingiria o equilíbrio de umidade quando em contato com o material testado.



Figura 22: Exemplo de medição de umidade com umidímetros de pinos (PROTIMETER, 2020)

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental consistiu em verificar a eficiência de dois produtos impermeabilizantes muito empregados na construção de pequenos e médios edifícios, a argamassa polimérica (AP) e a emulsão asfáltica (EA). Os testes foram realizados com o objetivo de verificar a eficiência dos impermeabilizantes das seguintes maneiras:

a) Determinar a absorção de água por capilaridade, utilizando a adaptações da NBR 9779:2012 Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade;

b) Verificar a absorção da água empregando aparelho medidor de umidade.

Para tanto, foram confeccionados 21 (vinte e um) corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com 10 (dez) centímetros de diâmetro e 20 (vinte) centímetros de altura. Empregou-se o traço volumétrico medido em latas, para 1 saco de cimento, de 5,5 latas de areia média, 5 latas de brita nº 1 e 1,8 lata de água, com resistência esperada aos 28 dias de 20 MPa. Os corpos-de-prova foram curados por 28 dias em tanque de cura com água e cal.



Figura 23: Corpos-de-prova após moldagem (AUTORES, 2020)

A NBR 9779 prevê que seja realizada a secagem dos corpos-de-prova em estufa antes de serem colocados em contato com a água. No entanto, devido à indisponibilidade do equipamento, tal procedimento foi substituído pela secagem ao ar, em local sem incidência direta de luz solar.

Uma vez secos, os corpos-de-prova foram divididos em sete grupos, os quais receberam os seguintes tratamentos com impermeabilizantes:

- 1 – Sem impermeabilizantes
- 2 – Argamassa polimérica apenas na lateral (AP Lateral)
- 3 – Emulsão asfáltica apenas na lateral (EA Lateral)
- 4 – Argamassa polimérica na lateral e fundo (AP Total)
- 5 – Emulsão asfáltica na lateral e fundo (EA Total)
- 6 – Argamassa polimérica e emulsão asfáltica apenas na lateral (AP + EA Lateral)
- 7 – Argamassa polimérica e emulsão asfáltica na lateral e fundo (AP + EA Total)

A argamassa polimérica empregada, indicada para impermeabilização de áreas frias (cozinhas, banheiros, áreas de serviço), pisos e rodapés, paredes externas, reservatórios e alicerces, é um composto de base cimentícia combinado com minerais e polímeros. A densidade do produto empregado é de 1,5 g/cm³. Para fundações, o consumo mínimo especificado é de 3,0 kg/m² de superfície a ser impermeabilizada, que deve ser atingido com a aplicação de 3 a 4 demãos.

A emulsão asfáltica empregada é um produto asfáltica emulsionado em água, que forma uma película impermeável, indicada para aplicação em alicerces, fundações, paredes de encosta, entre outros. Sua densidade é de 1 g/cm³. Para fundações, o consumo mínimo é de 650 mL/m² de superfície a ser impermeabilizada, que deve ser atingido com a aplicação de 2 a 3 demãos. Cada demão não deve superar 1,5 mm de espessura, para não ocasionar a secagem parcial do produto e perda de desempenho do mesmo.

Tabela 04: Características dos impermeabilizantes empregados

Material	Argamassa polimérica	Emulsão asfáltica
Composição	Cimento, minerais e polímeros	Emulsão asfáltica à base d'água
Indicações de uso	Impermeabilização de áreas frias, pisos e rodapés, paredes externas, reservatórios e alicerces	Impermeabilização de alicerces, fundações, paredes de encosta, paredes externas
Densidade	1,5 g/cm ³	1,0 g/cm ³
Consumo mínimo	3,0 kg/m ² em fundações	650 mL/m ² em fundações
Demãos	3 a 4	2 a 3 (espessura mínima de 1,5mm por demão)

A aplicação dos impermeabilizantes estendeu-se por 7 ± 1 cm de altura nas laterais dos corpos-de-prova. Foram aplicadas 3 demãos cruzadas de cada material, seguindo-se também as demais instruções dos fabricantes. Nos grupos 6 e 7, aguardou-se 4 dias antes da aplicação da emulsão asfáltica sobre a argamassa polimérica. Desta forma, aguardou-se, no total, 7 dias para cura dos materiais impermeabilizantes (frisa-se que o tempo mínimo indicado pelos fabricantes para testes de estanqueidade é de 5 dias). Para a argamassa polimérica foi realizada cura com aspersão de água, cuidando-se para que não houvesse respingos no concreto não impermeabilizado.

Optou-se pela aplicação da emulsão asfáltica sobre a argamassa polimérica por aquela apresentar aderência sobre substratos cimentícios, ao passo em que esta não é indicada para aplicação sobre substratos asfálticos. Com o emprego de três demãos de material, atingiu-se um consumo de argamassa polimérica de 3,3 kg/m². Para a emulsão asfáltica, atingiu-se aproximadamente 800 mL/m².



Figura 24: Corpos-de-prova com aplicação de emulsão asfáltica e argamassa polimérica (AUTORES, 2020)

Uma vez impermeabilizados, os corpos-de-prova foram pesados (0h) e posicionados em um tanque, onde foi adicionada uma lâmina d'água de 5 ± 1 mm, como ilustrado na Figura 25.



Figura 25: Corpos-de-prova no tanque de ensaio (PERRARO e PIVA, 2017)

A Figura 26 apresenta o fluxograma do programa experimental desenvolvido.

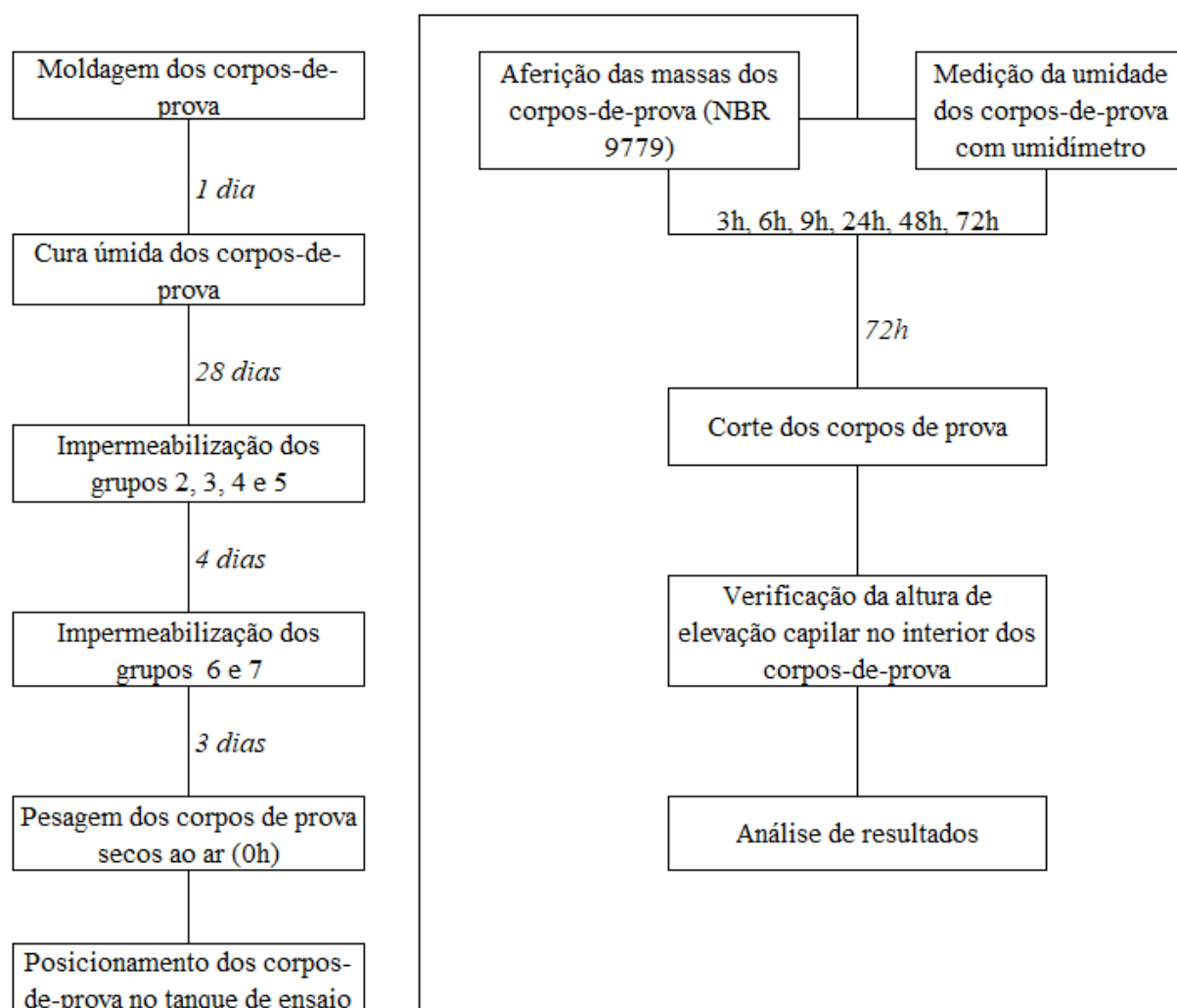


Figura 26: Fluxograma do programa experimental

3.1. DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE, COM NBR 9779 MODIFICADA

Cada corpo-de-prova foi retirado da água, seco com pano macio e pesado tendo-se passado 3 horas, 6 horas, 9 horas, 24 horas, 48 horas e 72 horas de contato com a água. Completada cada etapa, os corpos-de-prova retornavam imediatamente ao recipiente com água, que era coberto com tampa para evitar a evaporação da água.

Para cada corpo-de-prova foi calculada a absorção por capilaridade (C), dada pela Equação 01:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (1)$$

Onde:

C = absorção por capilaridade, em g/cm²;

m_{sat} = massa saturada do corpo de prova às 72 horas, em g;

m_s = massa seca do corpo de prova (foi considerada a massa às 0h), em g;

S = área da seção transversal do corpo-de-prova, em cm².

A NBR 9779 previa que após as 72 horas de ensaio fosse realizado o rompimento dos corpos-de-prova por compressão diametral, empregando o procedimento da NBR 7222 – Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos – Método de ensaio. Entretanto, devido à indisponibilidade do equipamento, optou-se por realizar seu corte no sentido longitudinal empregando disco de corte diamantado. Foi verificada e desenhada a altura de elevação capilar em cada um deles, conforme ilustra a Figura 27.



Figura 27: Altura de elevação capilar no interior de um corpo-de-prova (AUTORES,2020)

3.2. DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA COM UMIDÍMETRO DE PINOS

Em cada corpo-de-prova foram marcados 3 pontos, igualmente distribuídos ao longo de suas circunferências, logo acima da camada de material impermeabilizante, conforme ilustra a Figura 28.

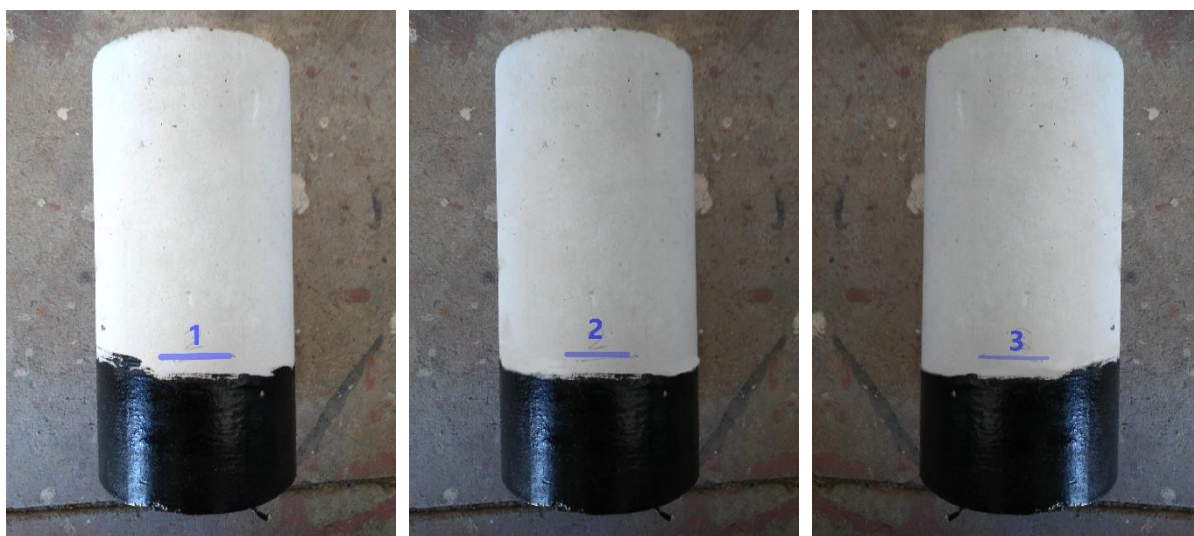


Figura 28: Pontos de medição da umidade com umidímetros (AUTORES, 2020)

Nos horários já indicados, foram registrados os valores de WME mostrados no medidor de umidade, utilizando a opção de leitura com sonda de pinos, conforme ilustrado na Figura 29.



Figura 29: Procedimento de medição com umidímetro de pinos (FLIR, 2020)

Também foram registrados os valores da temperatura ambiente, em graus Celsius, e da umidade relativa do ar, em porcentagem.

Na Figura 30 é mostrado o medidor de umidade empregado.



Figura 30: Medidor de umidade MR 176 (FLIR, 2020)

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no programa experimental e a análise dos dados compilados.

A Tabela 05 apresenta os dados de umidade relativa e temperatura ambiente aferidos no momento de cada medição.

Tabela 05: Valores medidos de umidade relativa e temperatura

	UR (%)	T (°C)
0h	72,0	22,8
3h	65,0	26,1
6h	70,0	24,2
9h	66,3	24,8
24h	57,5	22,7
48h	69,4	23,3
72h	72,0	23,8

A umidade relativa variou entre 57,5% e 72,0%, com média de 67,5%. A temperatura ambiente variou entre 22,7°C e 26,1°C, com média de 24,0°C.

Houve uma pequena divergência entre a prescrição da NBR 9779 no tocante à temperatura durante o ensaio, quando se prevê que seja mantida a temperatura ambiente constante de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, isto é, entre 21°C e 25°C. Entretanto, por tratar-se de análise comparativa entre as diversas formas de aplicação dos materiais impermeabilizantes, e por estarem todos os corpos-de-prova submetidos às mesmas condições ambientais, acredita-se não haver prejuízo para a análise pretendida.

Para os ensaios aqui desenvolvidos, não há prescrição normativa nacional quanto à umidade relativa do ambiente.

4.1. DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE, COM A NBR 9779 MODIFICADA

Passadas 72 horas, a absorção por capilaridade, calculada pela Equação 01, atingiu os valores mostrados na Tabela 06 e na Figura 31, em g/cm². A média da absorção de água em massa e a variação relativa (Δc) de cada grupo estudado em relação ao grupo 1 (sem impermeabilizante) também foram tabuladas na Tabela 06.

Tabela 06: Absorção por capilaridade dos corpos-de-prova e valor médio por grupo (g/cm²)

Grupo	Revestimento	CP1	CP2	CP3	Média	Δc (%)
1	Sem imper	0,41	0,55	0,56	0,51	0%
2	AP Lateral	0,39	0,39	0,43	0,41	-19%
3	EA Lateral	0,38	0,39	0,32	0,36	-28%
4	AP Total	0,31	0,36	0,33	0,33	-34%
5	EA Total	0,15	0,20	0,14	0,17	-67%
6	AP + EA Lateral	0,25	0,22	0,25	0,24	-52%
7	AP + EA Total	0,22	0,11	0,15	0,16	-68%

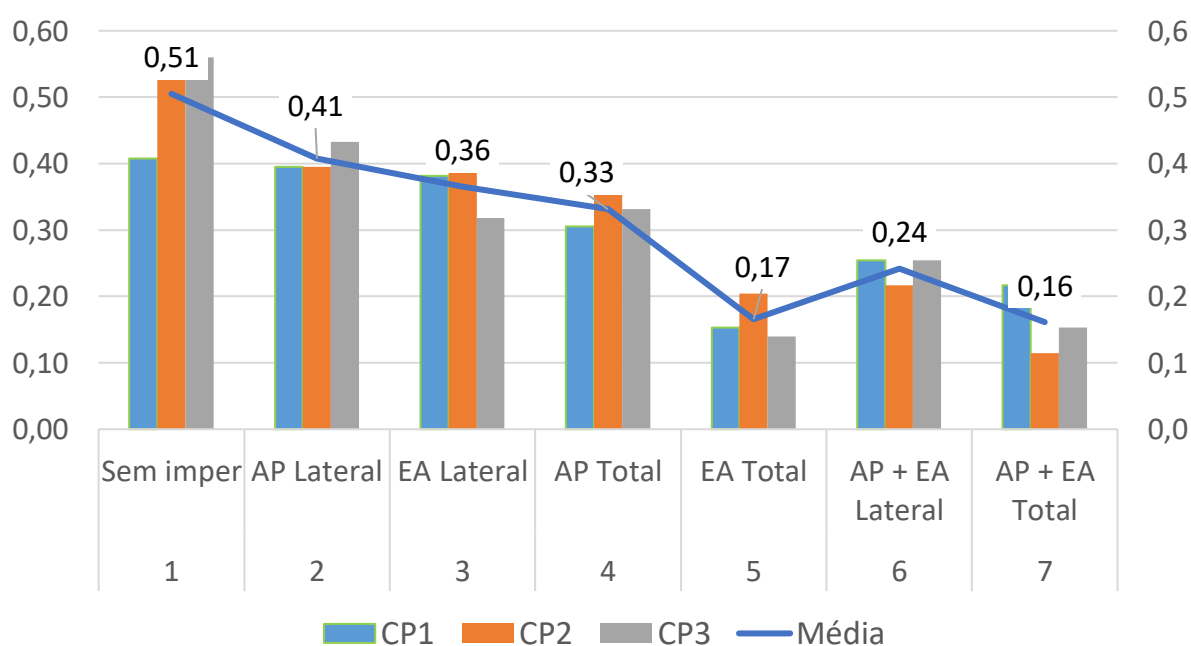


Figura 31: Gráfico de absorção de água por capilaridade (g/cm²). (AUTORES, 2020)

Depreende-se da análise da Tabela 06 e da Figura 31 que, mesmo quando aplicados somente nas laterais, os materiais impermeabilizantes contribuíram para reduzir a absorção de água por capilaridade nos corpos-de-prova, em porcentagens que variaram de 19% (AP Lateral) a 52% (AP + EA Lateral). As reduções mais significativas ocorreram nos grupos em que foi aplicada a emulsão asfáltica em todas as faces do corpo-de-prova em contato com a água, isto é, grupos 5 e 7, com variações que atingiram 67% e 68%, respectivamente.

As Figuras 32 e 33 ilustram o acréscimo na absorção por capilaridade de cada grupo ao longo do experimento.

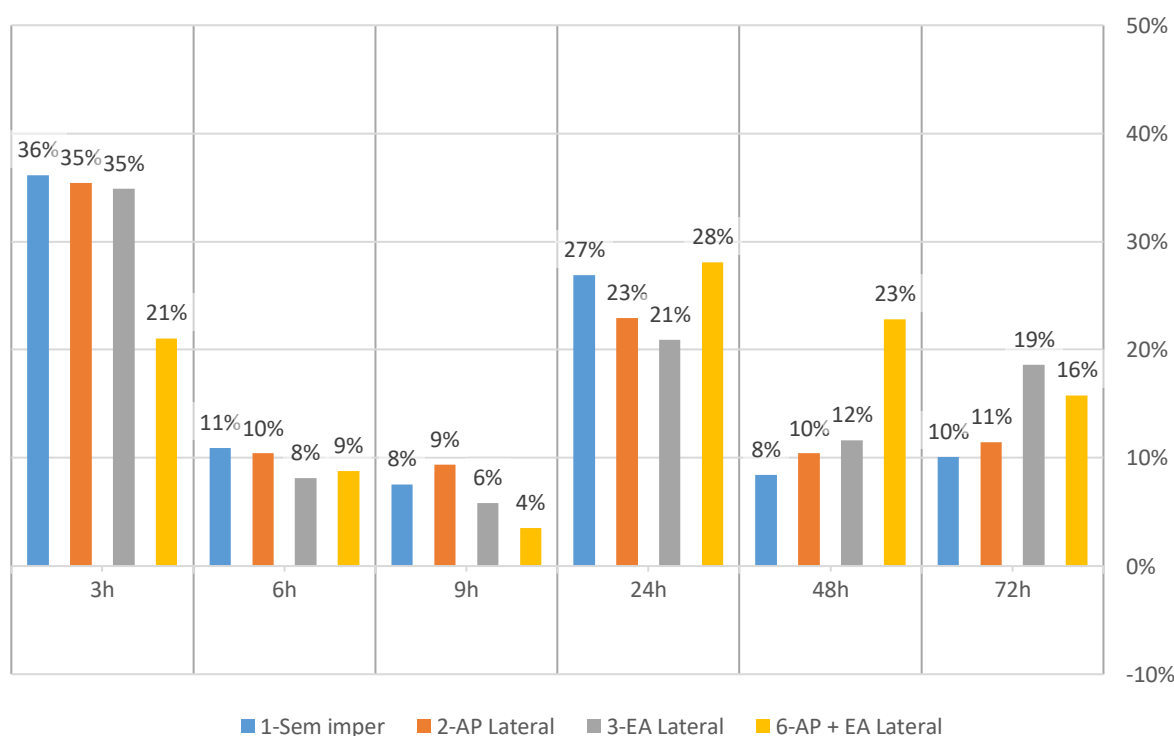


Figura 32: Gráfico de absorção de água por capilaridade ao longo das horas para os grupos com aplicação de impermeabilizantes nas laterais. (AUTORES, 2020)

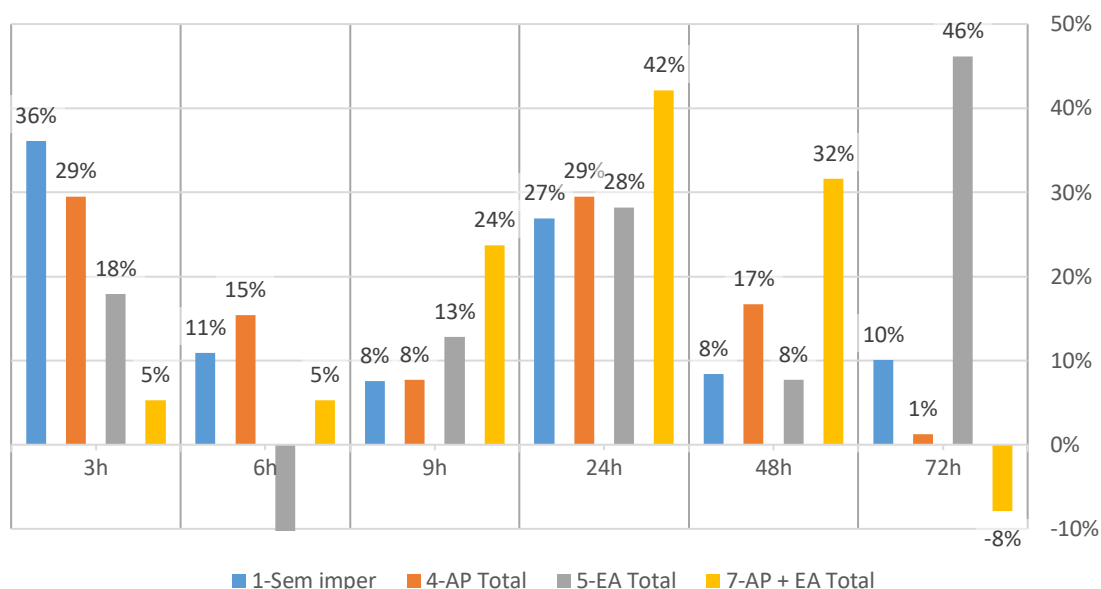


Figura 33: Gráfico de absorção de água por capilaridade ao longo das horas para os grupos com aplicação de impermeabilizantes nas laterais e fundo. (AUTORES, 2020)

Observa-se nas Figuras 32 e 33 que os grupos em que foi aplicada emulsão asfáltica apresentaram maiores acréscimos de umidade após as 24 horas de contato com a água. Os grupos sem impermeabilizantes e somente com argamassa polimérica apresentaram a maior parte da absorção nas primeiras 24 horas. Houve redução de massa média do grupo 5 às 6h e do grupo 7 às 72h.

Na Tabela 07 são apresentadas as medidas obtidas após o corte e análise da altura de elevação da água no interior dos corpos-de-prova. A Figura 34 ilustra esses dados.

Tabela 07: Medidas de elevação capilar nos corpos-de-prova (cm)						
Grupo	Revestimento	CP1	CP2	CP3	Média	Δh (%)
1	Sem imper	10,00	10,00	9,00	9,67	0%
2	AP Lateral	6,20	5,00	6,00	5,73	-41%
3	EA Lateral	5,00	5,00	4,80	4,93	-49%
4	AP Total	6,50	6,50	6,50	6,50	-33%
5	EA Total	3,50	3,50	2,00	3,00	-69%
6	AP + EA Lateral	5,00	3,50	1,50	3,33	-66%
7	AP + EA Total	0,00	0,00	1,00	0,33	-97%

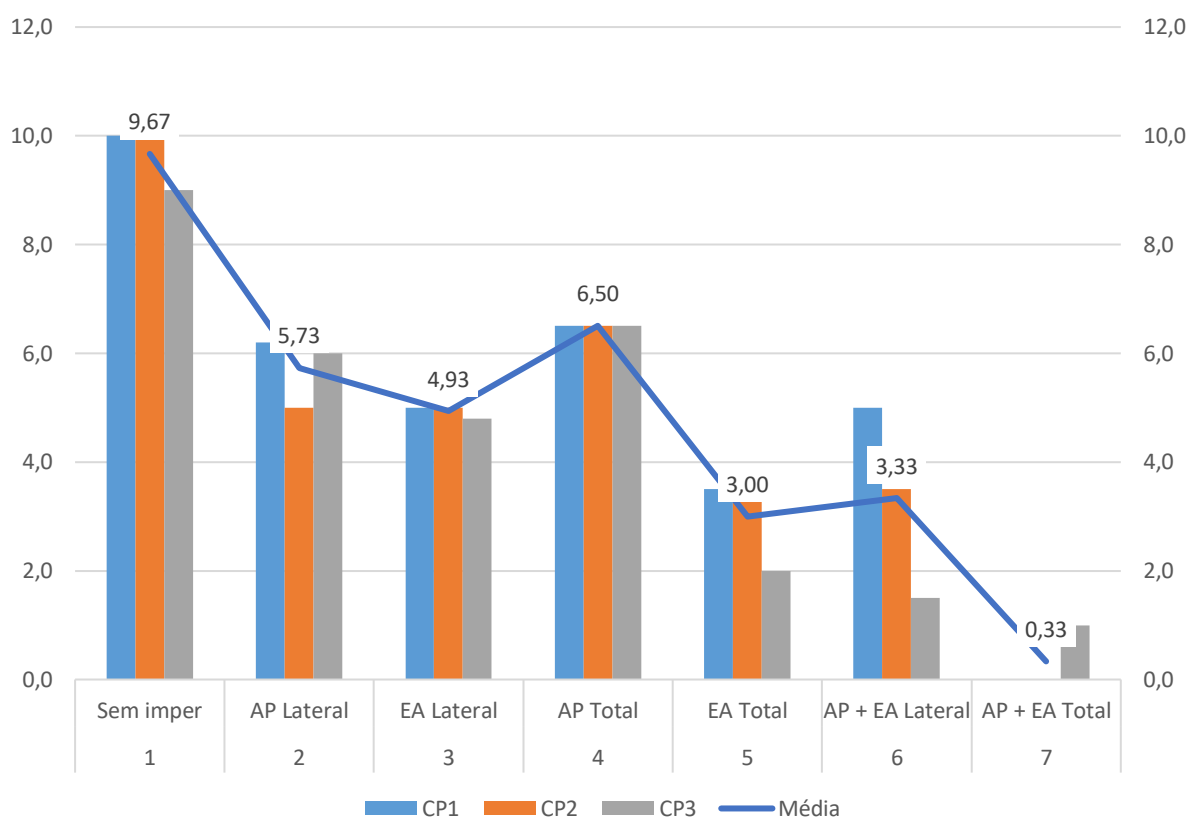


Figura 34: Gráfico de elevação capilar nos corpos-de-prova (cm). (AUTORES, 2020)

Observa-se na Tabela 07 e na Figura 34 que todos os grupos em que foi aplicado algum impermeabilizante apresentaram elevação capilar inferior ao grupo sem impermeabilizantes. Nota-se, ainda, que nos grupos em que foi aplicada somente a emulsão asfáltica obteve-se valores menores que aqueles em que foi aplicada somente a argamassa polimérica. O grupo 7, entretanto, que combinou a aplicação de argamassa polimérica e emulsão asfáltica na lateral e fundo, apresentou o menor valor de elevação capilar, sendo nula em dois dos corpos-de-prova, e com uma redução média de 97% em relação ao grupo 1.

Se analisados somente os dados de absorção por capilaridade em g/cm², tende-se a concluir que o emprego de emulsão asfáltica é mais eficiente que o de argamassa polimérica, pois os valores encontrados quando aplicada somente a argamassa polimérica são maiores que aqueles quando aplicada somente a emulsão. A combinação

dos dois materiais, contudo, quando aplicados em toda a superfície do corpo-de-prova em contato com a água, praticamente eliminou a elevação de água por capilaridade no interior dos corpos-de-prova do grupo 7.

Considerando que o tempo de cura da argamassa polimérica foi de 7 dias, embora superior aos 5 dias indicados pelo fabricante, é possível que tenha havido absorção de água pela camada impermeabilizante, durante o experimento ou durante a cura do material, o que justifica os valores semelhantes de absorção dos grupos 5 e 7. A água absorvida, entretanto, não ultrapassou a camada impermeabilizante no grupo 7, confirmando o bom efeito de sua aplicação.

4.2. DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA COM UMIDÍMETRO DE PINOS

A Tabela 08 apresenta os valores médios de WME às 0h e após 72h dos corpos-de-prova em contato com a água. Os mesmos dados estão ilustrados na Figura 35. Os resultados das demais medições encontram-se no Apêndice.

Tabela 08: Medidas de WME nos corpos-de-prova

Grupo	Revestimento	0h	72h
1	Sem imper	10,23	11,53
2	AP Lateral	9,73	11,73
3	EA Lateral	10,17	11,13
4	AP Total	10,03	11,60
5	EA Total	9,40	11,17
6	AP + EA Lateral	9,70	11,00
7	AP + EA Total	9,27	11,03

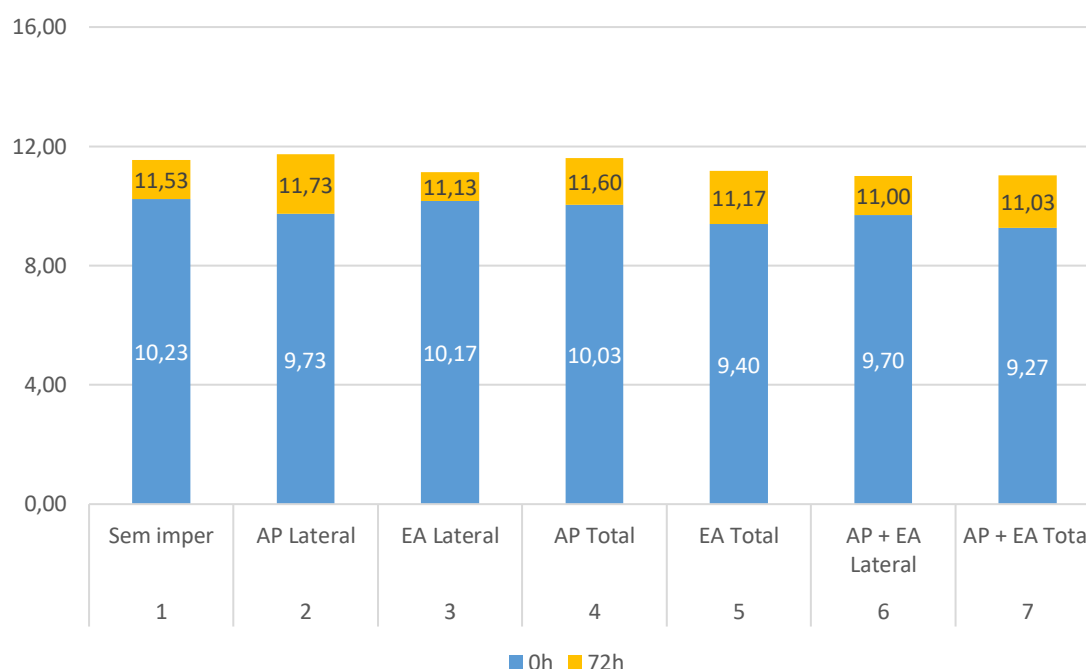


Figura 35: Gráfico das medidas de WME. (AUTORES, 2020)

Analisando os dados da Tabela 08 e da Figura 35, observa-se que o aparelho medidor de umidade não detectou variações significativas no teor de umidade no interior dos corpos-de-prova. Provavelmente, isso se deve ao fato de a elevação capilar não ter atingido alturas superiores à camada impermeabilizante em quase todos os grupos, com exceção dos grupos 01 (sem impermeabilizante) e 04 (argamassa polimérica nas laterais e fundo). Entretanto, mesmo nesses grupos, o valor médio aferido após 72h foi de 11,53 e 11,6, respectivamente.

Uma análise conjunta com a Figura 36 indica que o concreto permaneceu seco durante todo o experimento, o que não é corroborado pelos resultados do ensaio de absorção por capilaridade. É possível, também, que a capacidade do equipamento de leitura em profundidade (cerca de 19 mm), tenha prejudicado seu desempenho.

O medidor de umidade mostrou-se, portanto, ineficaz para detectar a absorção de água por capilaridade no concreto, sem prejuízo de aplicação para outros fins.

Equilibrium moisture content - %mc guidance values								
Environment or material condition	%rh	generic wood	generic plaster	generic brick	generic cement mortar	generic sand & cement screed	generic concrete	Protimeter WME
safe air dry	25	6						6
	30	7						7
	35	8						8
	40	9						9
	45	10						10
	50	11						11
	55	12				4.7	3.9	12
	60	13				5.1	4.2	13
	65	14	0.1	1.0	1.5	5.5	4.5	14
	70	15	0.2	1.3	2.0	5.9	4.8	15
at risk	75	17	0.4	1.6	3.0	6.4	5.2	17
	80	18	0.6	2.4	4.0	6.8	5.4	18
damp	85	20	1.0	3.0	5.0	7.3	5.7	20
	90	23	1.5	4.0	6.0	8.0	6.0	23
	95	26	2.2	5.5	7.7	9.0	7.0	26
	100							27
								28
								relative
								relative
								relative
								100

Figura 36: Gráfico de calibração do umidímetros (PROTIMETER, 2020)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido e sugestões para futuras pesquisas sobre a mesma temática.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foram atingidos os objetivos propostos no início desta pesquisa, e que a hipótese foi corroborada.

Uma edificação deve satisfazer todos os requisitos para os quais foi projetada ao longo de sua vida útil, inclusive aqueles que se referem à estanqueidade, conforto e salubridade dos ambientes. Ficou evidente que anomalias decorrentes da ação da umidade por absorção capilar podem ser evitadas empregando-se técnicas de impermeabilização adequadas em vigas baldrame e paredes em contato com o solo.

Os resultados comprovaram a importância do emprego de impermeabilizantes quando se deseja diminuir ou evitar a absorção por capilaridade em estruturas de concreto enterradas e demais elementos em contato com o solo, uma vez que os corpos-de-prova desprotegidos apresentaram os maiores valores de absorção e de elevação capilar. Considerando a situação de vigas baldrame, imagina-se que um tempo de exposição maior e a maiores teores de umidade do que os de ensaio fariam com que a altura de elevação chegasse a atingir a alvenaria, sendo indispensável, assim, o emprego da impermeabilização.

Os resultados mostraram, ainda, que a combinação entre argamassa polimérica e emulsão asfáltica obteve o melhor desempenho, praticamente anulando a elevação capilar. Ficou, desta forma, comprovada a hipótese de que os materiais combinados seriam mais eficientes, pois formam uma barreira de estanqueidade à água em suas formas líquida e gasosa.

A metodologia adotada conforme a NBR 9779 mostrou-se eficaz para avaliar a ocorrência de absorção por capilaridade, mesmo com o uso de impermeabilizantes nos corpos-de-prova.

O emprego do aparelho medidor de umidade, por sua vez, não se mostrou eficaz para determinar se ocorria absorção de água, nem se ocorria elevação capilar no interior dos corpos-de-prova. É possível que em um experimento com maior duração, ou com uma lâmina d'água maior do que a utilizada, o equipamento produzisse leituras mais assertivas. Entretanto, devido à sua capacidade de leitura em profundidade de 19 mm, continuaria limitada sua capacidade de resposta.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, para futuros trabalhos, analisar o impacto financeiro nas obras que adotarem o sistema combinado de impermeabilização, visto haver repercussões no cronograma de execução devido aos tempos de espera para cura dos materiais, custos de mão-de-obra e materiais.

Sugere-se, ainda, investigar os outros métodos de determinação da umidade em materiais porosos citados por Domingues (2016) para detecção e prevenção da absorção de água por capilaridade.

Propõe-se, ainda, realizar os experimentos com uma taxa de consumo maior de argamassa polimérica e verificar se ocorrem melhorias significativas no combate à absorção de água por capilaridade.

Por fim, propõe-se realizar os experimentos em um período maior de tempo, a fim de verificar se o contato contínuo dos impermeabilizantes com a água pode prejudicar seu desempenho quanto à absorção de água por capilaridade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATTE, V. **Ralo é ponto vulnerável a infiltrações**. Técnica, São Paulo, n. 71 p. 70-71, fev. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574**: Execução de impermeabilização. 2008.

_____. **NBR 9575**: Impermeabilização: Seleção e projeto. 2010.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. 2013.

AUSTRALIAN INSTITUTE OF WATERPROOFING – AIW. 2016. *The History of Waterproofing*. Disponível em: <http://www.waterproof.org.au/the-history-of-waterproofing/>. Acesso em 18 mai 2020.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção, patologia, reabilitação e prevenção**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

BÉRTOLO, T. **A prova d`água**. Técnica, São Paulo, n. 51, p. 20-23, mar/abr. 2001.

BRITO, J. **Humidade ascendente em paredes térreas de edifícios**. Dissertação de Mestrado em Construção. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2003.

s

CAPORRINO, C. F. **Patologias em alvenarias**. São Paulo: Oficina de textos, 2. Edição, 2018.

CRUZ, J.H.P **Manifestações patológicas de impermeabilizações com uso de sistema aderido de mantas asfálticas: avaliação e análise com auxílio de sistema multimídia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

DENVER – Disponível em: <<http://www.denverimper.com.br>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

DOMINGUES, A. O. M. **Medição do teor de humidade e sua importância no diagnóstico.** Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2016.

GOMIDE, T. L. F.; NETO, J. C. P. F.; GULLO. M. A. **Engenharia Diagnóstica em Edificações.** São Paulo, Editora Pini, 2. Edição, 2015.

HELENE, P.; FIGUEIREDO, E. P. Manual de reabilitação de estruturas de concreto: reparo, reforço e proteção. CYTED – XV-F. 2003.

IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização. **Projetos, Produtos e Aplicação.** 2017. Disponível em: <<http://www.ibibrasil.com.br/projetos>>. Acesso em mai.2020.

KANO, M. H. **Procedimentos para análise de projeto e controle da execução de impermeabilização de edificações.** 160 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2017.

MAGALHÃES, D. T. **Inspecção, diagnóstico e controle da ascensão capilar de águas do terreno pelas alvenarias: Aplicação na Igreja de Cidadelhe.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro – UTAD, Vila Real, 2008.

MARTINS, J.G. **Impermeabilizações:** Condições técnicas de Execução. Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2006.

MORAES, C.R.K. **Impermeabilização em lajes de cobertura: levantamento dos principais fatores envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre.** 2002, 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRGS, Porto Alegre, 2002.

MOREIRA, K. A. W. **Sistemas de impermeabilização de estruturas,** 2010. Disponível em < <https://vespedi3.files.wordpress.com/2010/06/aula-mro-09-impermeabilizacao-estruturas.pdf> >. Acesso em 18 de mai. 2020.

PICCHI, F. A. **Impermeabilização de coberturas.** São Paulo, Editora Pini, 1986, 220p.

RIGHI, G.V. **Estudos dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções – análise de casos.** Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2009.

RIPPER, E. **Como evitar erros na construção.** São Paulo. Pini, 1984, 122p

PERRARO, P. A.; PIVA, J. H. **Avaliação da absorção de água por capilaridade em tintas usadas na construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil, UNESC, Criciúma, 2017.

PINTO, J.A.N. **Patologias de impermeabilização.** Santa Maria: Multipress, 1996. 270 p.

PIRONDI, Z. **Manual Prático de Impermeabilização.** São Paulo: Editor e Arte gráfica Ltda, 1979.

PIRONDI, Z. **Manual prático da impermeabilização e de isolamento térmica.** Contribuição à execução do projeto de impermeabilização, conforme a norma da ABNT-NBR 0575. 2ª edição. São Paulo: Pini/IBI, 1988.

SANTOS, C. B. **Sistemas de impermeabilização: Estudo de casos de impermeabilização de pé de parede na pós-ocupação e de laje de terraço em Feira de Santana-Ba.** 2010. 102f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil - área de Sistema de Impermeabilização) - Curso de Graduação de Engenharia Civil. UEFS, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, F. M. da C.; SOUZA, J. C. **Patologias em Placas Pétreas de Revestimentos Externos na Região Litorânea do Recife.** Estudos Geológicos (UFPE), v. 18, p. 70-90, 2011.

THOMAZ. E. **Trincas em Edificações causas, prevenção e recuperação.** São Paulo, Editora Pini, 1989.

TORRES, Rui Jorge de Moraes Monteiro. **Humidades ascensionais em paredes de alvenaria de edifícios antigos**. Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2014.

TRAUZZOLA, N.M. **A patologia nas edificações ocasionadas por infiltrações** - estudo de caso. 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Mackenzie, São Paulo, 1998.

VEDACIT – **Manual técnico de impermeabilização de estruturas**. 6 ed. Disponível em: <<http://www.vedacit.com.br>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

VERÇOZA, E.J. **Impermeabilização na construção**. Porto Alegre: Editora Sagra, 1983. 151p.

VIAPOL – Disponível em: <<http://www.viapol.com.br>>. Acesso em 18 mai.2020.

**APÊNDICE - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE, COM A
NBR 9779 MODIFICADA**

CP	Revestimento	Massa (g)							H (cm)
		0h	3h	6h	9h	24h	48h	72h	
1	Nenhum	3510	3522	3525	3526	3537	3538	3542	10,0
2	Nenhum	3489	3505	3507	3512	3521	3528	3532	10,0
3	Nenhum	3417	3432	3440	3443	3455	3457	3461	9,0
4	AP lateral	3510	3520	3526	3528	3534	3537	3541	6,2
5	AP lateral	3493	3506	3507	3511	3518	3522	3524	5,0
6	AP lateral	3518	3529	3532	3535	3544	3547	3552	6,0
7	EA lateral	3457	3471	3475	3474	3480	3483	3487	5,0
8	EA lateral	3507	3516	3519	3522	3530	3532	3538	5,0
9	EA lateral	3509	3516	3516	3519	3523	3528	3534	4,8
10	AP total	3541	3549	3553	3553	3560	3564	3565	6,5
11	AP total	3565	3574	3579	3582	3588	3595	3593	6,5
12	AP total	3574	3580	3583	3586	3596	3598	3600	6,5
13	EA total	3519	3521	3519	3520	3525	3530	3531	3,5
14	EA total	3350	3353	3351	3353	3356	3352	3366	3,5
15	EA total	3523	3525	3524	3526	3529	3531	3534	2,0
16	AP + EA lateral	3330	3336	3336	3338	3342	3346	3350	5,0
17	AP + EA lateral	3501	3503	3507	3505	3509	3514	3518	3,5
18	AP + EA lateral	3399	3403	3404	3406	3414	3418	3419	1,5
19	AP + EA total	3398	3398	3399	3402	3412	3417	3415	0,0
20	AP + EA total	3542	3544	3543	3547	3549	3552	3551	0,0
21	AP + EA total	3424	3424	3426	3428	3432	3436	3436	1,0

RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE COM UMIDÍMETRO DE PINOS

CP	Revestimento	WME						
		0h	3h	6h	9h	24h	48h	72h
1	Nenhum	9,7	11,5	12,1	11,5	11,1	11,6	11,4
2	Nenhum	10,3	12,1	11,4	11,2	12,3	11,6	11,7
3	Nenhum	10,7	11,2	12,1	11,8	11,0	11,6	11,5
4	AP lateral	10,2	11,6	10,7	11,8	11,7	11,4	11,6
5	AP lateral	9,8	12,2	12,1	11,7	11,6	11,8	11,7
6	AP lateral	9,2	11,5	11,7	11,6	12,2	11,8	11,9
7	EA lateral	10,2	9,7	10,8	11,1	10,7	10,9	10,9
8	EA lateral	9,4	10,3	10,9	11,0	11,0	11,0	11,0
9	EA lateral	10,9	10,8	11,1	11,4	11,6	11,4	11,5
10	AP total	10,7	14,2	11,2	11,8	11,4	11,5	11,6
11	AP total	9,5	10,7	10,2	12,3	11,7	11,4	11,8
12	AP total	9,9	11,2	11,0	11,3	11,5	11,3	11,4
13	EA total	9,3	12,2	10,7	11,4	10,8	11,0	11,1
14	EA total	9,5	11,8	10,5	10,9	11,4	10,9	11,1
15	EA total	9,4	11,4	11,3	11,1	11,5	11,3	11,3
16	EA lateral	9,6	10,2	10,9	11,2	11,1	11,1	11,1
17	EA total	10,0	11,7	10,7	11,3	10,8	10,9	11,0
18	AP + EA total	9,5	10,9	11,3	9,9	11,8	11,0	10,9
19	AP + EA total	9,1	11,7	10,8	10,1	10,9	10,6	10,5
20	AP + EA total	9,4	11,4	10,8	11,1	11,8	11,2	11,4
21	AP + EA total	9,3	11,3	11,0	11,0	11,4	11,1	11,2

**REGISTRO DA ALTURA DE ELEVAÇÃO DA ÁGUA NO INTERIOR DOS
CORPOS-DE-PROVA**

