

ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO
FLEXÍVEIS

Marcus Vinícius Cardoso Santos

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Profa. Carina Mariane Stolz

Rio de Janeiro
Agosto de 2023

ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO
FLEXÍVEIS

Marcus Vinícius Cardoso Santos

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

Prof.^a, D. Sc. Carina Mariane Stolz (orientadora).

Prof.^a, D. Sc. Mayara Amario.

Prof.^a, M. Sc. Laryssa Franco de Carvalho Willcox.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO de 2023

Santos, Marcus Vinícius Cardoso.

Estudo Comparativo de Sistemas de Impermeabilização Flexíveis / Marcus Vinícius Cardoso Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2023.

x, 85 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Carina Mariane Stolz

Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil, 2023.

Referências bibliográficas: p. 86-90.

1. Impermeabilização. 2. Silicatos Modificados. 3. Poliuretano. 4. Manta Asfáltica. 5. Execução. 6. Custo.

I. Stolz, Carina. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Engenheiro Civil.

AGRADECIMENTOS

À minha família, aos meus avós já falecidos, que sempre estiveram ao meu lado. À minha mãe, por sempre me dar forças para seguir em frente quando eu perdia as minhas e nunca deixou de acreditar em mim. Ao meu pai, que foi meu exemplo intelectual, à minha companheira, que esteve ao meu lado nos maus e bons momentos nessa caminhada, aos meus gatos, que sempre ao ligar o laptop se deitavam ao lado da tela me encorajando a fazer mais uma página em troca de um carinho, e ao Ser superior que comanda todos nós.

À minha orientadora Carina Stolz pela disponibilidade, apoio e atenção durante o processo de elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos de curso pela amizade e companheirismo que levarei para o resto da vida.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO FLEXÍVEIS

Marcus Vinícius Cardoso Santos

Agosto de 2023

Orientadora: Carina Mariane Stolz

Curso: Engenharia Civil

A água é um elemento utilizado em diversas etapas da construção civil, no entanto, após a entrega da edificação, pode se tornar uma preocupação. Neste sentido, uma etapa de suma importância para o êxito e durabilidade de uma obra é a impermeabilização, pois atua diretamente no controle e proteção da estrutura construída contra líquidos que possam danificá-la e, conseqüentemente, diminuir sua vida útil. Ao longo do tempo, novos materiais vêm sendo desenvolvidos, como aprimoramento aos já consagrados e tradicionais polímeros e asfálticos. Visando disseminar métodos inovadores para impermeabilização flexível e avaliar seus benefícios, este trabalho tem como objetivo apresentar e detalhar um produto e método executivo alternativo: uma solução de silicatos bioquimicamente modificados. Além disso, foi realizado um estudo comparativo deste sistema com outros similares, mais difundidos no mercado brasileiro, como a manta asfáltica e o poliuretano, por sua aplicabilidade em impermeabilizações em lajes de estacionamentos, de forma que será apresentado um exemplo de caso de aplicação do produto alternativo neste tipo de estrutura, visando traçar comparativos de prazo de execução e conclusão do serviço, o custo e a vida útil estimada dos métodos em questão, adicionado as características dos métodos de impermeabilização, comparando-os. Traçou-se uma análise crítica sobre sua aplicação na construção como soluções para a estanqueidade. Como resultado, reforçado pelo exemplo de caso, comprovou-se que o novo método apresenta aspectos vantajosos comparativamente, habilitando-o como possível substituto dos métodos usuais.

Palavras-chave: impermeabilização. silicatos modificados. poliuretano. manta asfáltica. custo. execução.

Abstract of the Graduation Project presented to the Polytechnic School/UFRJ as part of the necessary requirements for obtaining the degree of Civil Engineer.

COMPARATIVE STUDY OF FLEXIBLE WATERPROOFING SYSTEMS

Marcus Vinicius Cardoso Santos

August 2023

Advisor: Carina Mariane Stolz

Course: Civil Engineering

Water is an element used in several stages of civil construction, however, after the delivery of the building, it can become a concern. In this sense, a step of paramount importance for the success and durability of a work is waterproofing, as it acts directly in the control and protection of the built structure against liquids that could damage it and, consequently, reduce its useful life. Over time, new materials have been developed, as an improvement to the already established and traditional polymers and asphalt. Aiming to disseminate innovative methods for flexible waterproofing and evaluate its benefits, this work aims to present and detail an alternative product and executive method: a solution of biochemically modified silicates. In addition, a comparative study of this system was carried out with other similar ones, more widespread in the Brazilian market, such as asphalt blanket and polyurethane, due to their applicability in waterproofing parking slabs, so that an example of an application case will be presented. alternative product in this type of structure, aiming to compare the execution time and completion of the service, the cost and the estimated useful life of the methods in question, adding the characteristics of the waterproofing methods, comparing them. A critical analysis was made of its application in construction as solutions for watertightness. As a result, reinforced by the case example, it was proved that the new method obtained satisfactory and comparatively advantageous aspects and developments, qualifying it as an executive substitute.

Keywords: waterproofing. modified silicates. polyurethane. asphalt blanket. cost. execution.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2	JUSTIFICATIVA	2
1.3	OBJETIVO	3
1.4	METODOLOGIA.....	4
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	4
2	IMPERMEABILIZAÇÃO: MÉTODOS E PROCESSOS	6
2.1	ASPECTOS HISTÓRICO	6
2.2	IMPORTÂNCIA DA IMPERMEABILIZAÇÃO E SUAS FUNCIONALIDADES	9
2.3	MECANISMOS DE ATUAÇÃO DA ÁGUA NAS CONSTRUÇÕES	11
2.3.1	UMIDADE DE INFILTRAÇÃO	12
2.3.2	UMIDADE ASCENSIONAL	13
2.3.3	UMIDADE ACIDENTAL	14
2.3.4	UMIDADE POR CONDENSAÇÃO	15
2.3.5	UMIDADE DE OBRA.....	16
2.4	SOLICITAÇÕES IMPOSTAS SOBRE OS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	16
2.4.1	ÁGUA DE PERCOLAÇÃO.....	16
2.4.2	ÁGUA SOB PRESSÃO UNILATERAL OU BILATERAL.....	17
2.4.3	IMPOSTAS PELA CONDENSAÇÃO DA ÁGUA.....	19
2.4.4	IMPOSTAS PELA UMIDADE DO SOLO	19
2.5	COMPONENTES E ETAPAS DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	19
2.5.1	BASE.....	20
2.5.2	CAMADA DE REGULARIZAÇÃO	20
2.5.3	CAMADA DE BERÇO.....	21
2.5.4	CAMADA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	21
2.5.5	CAMADA DE AMORTECIMENTO	21
2.5.6	CAMADA DE PROTEÇÃO MECÂNICA.....	22
2.5.7	CAMADAS AUXILIARES	22

2.6	DETALHES CONTRUTIVOS	25
2.6.1	RALO	25
2.6.2	CAIMENTOS E REGULARIZAÇÃO	27
2.6.3	RODAPÉS E PLANOS VERTICAIS	28
2.6.4	SOLEIRAS	29
2.6.5	PINGADEIRAS	30
2.6.6	INSTALAÇÕES PREDIAIS	30
2.6.7	JUNTAS DE DILATAÇÃO.....	32
2.7	FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA IMPERMEABILIZAÇÃO	32
3	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	35
3.1	QUANTO AO MATERIAL DA CAMADA IMPERMEÁVEL	36
3.1.1	POLIMÉRICOS	36
3.1.2	CIMENTÍCIO.....	37
3.1.3	ASFÁLTICOS	37
3.2	QUANTO À FLEXIBILIDADE	38
3.2.1	SISTEMAS FLEXÍVEIS.....	38
3.2.2	SISTEMA SEMI-FLEXÍVEIS	39
3.2.3	SISTEMAS RÍGIDOS.....	39
3.3	QUANTO À EXPOSIÇÃO AO INTEMPERISMO	40
3.3.1	RESISTENTES	40
3.3.2	AUTO PROTEGIDOS	40
3.3.3	PÓS PROTEGIDOS	40
3.4	QUANTO À ADERÊNCIA AO SUBSTRATO	40
3.4.1	SISTEMA ADERIDO	40
3.4.2	SISTEMA PARCIALMENTE ADERIDO	41
3.4.3	SISTEMA NÃO ADERIDO	41
3.5	QUANTO À METODOLOGIA DE APLICAÇÃO.....	42
3.5.1	MEMBRANAS	42

3.5.2	MANTAS	42
3.6	QUANTO À TEMPERATURA DE APLICAÇÃO.....	42
3.6.1	A QUENTE	42
3.6.2	A FRIO	42
3.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE A CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	42
3.8	ESCOLHA DO TIPO DE IMPERMEABILIZAÇÃO	43
4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	45
4.1	CAUSAS	45
4.2	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR UMIDADE.....	47
4.2.1	GOTEIRAS E MANCHAS DE UMIDADE.....	48
4.2.2	MOFO E BOLOR.....	49
4.2.3	EFLORESCÊNCIA	50
4.2.4	CARBONATAÇÃO DO CONCRETO E CORROSÃO DAS ARMADURAS 51	
4.2.5	FISSURAS	52
4.2.6	DEGRADAÇÃO DE REVESTIMENTO E PINTURA	52
5	CARACTERÍSTICAS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	54
5.1	MANTA ASFÁLTICAS	54
5.1.1	MATERIAIS	56
5.1.2	MÉTODO EXECUTIVO	57
5.1.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS	60
5.2	MEMBRANA DE POLIURETANO	61
5.2.1	MATERIAIS	61
5.2.2	MÉTODO EXECUTIVO	63
5.2.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS	65
5.3	SILICATO BIOQUIMICAMENTE MODIFICADO	66
5.3.1	MATERIAIS	66

5.3.2	MÉTODO EXECUTIVO	70
5.3.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS	72
5.4	COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	73
5.4.1	ETAPAS NA EXECUÇÃO.....	73
5.4.2	CUSTO X PRODUTIVIDADE X ESPESSURA	74
5.4.3	VANTAGENS X DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	77
6	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	78
6.1	CARACTERIZAÇÃO DA OBRA.....	78
6.2	RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE OS SISTEMAS	82
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A água está presente em diferentes etapas da construção e é um item essencial para todo e qualquer tipo de construção. Pode-se encontrar em um desvio do lençol freático, nas misturas para produzir materiais construtivos como concreto, gesso, argamassa, ou então no abastecimento de uma unidade habitacional, por exemplo. Porém se ela não for devidamente controlada, poderá atuar como potencial geradora de manifestações patológicas. Segundo dados do IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2017), as consequências da umidade inoportuna representam 85% das causas de manifestações patológicas na construção brasileira.

A camada que consiste na proteção de materiais, áreas, estruturas ou objetos contra a ação indesejada da infiltração de líquido sobre elas é a impermeabilização. Com isso, tornou-se uma das principais etapas da construção pois garante a preservação da vida útil da obra, impede a corrosão da armadura do concreto, protege as superfícies contra umidade, manchas, fungos e garante ambientes salubres (VEDACIT, 2016).

Pode-se definir a impermeabilização, como um conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), compostas por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade NBR 9575 (ABNT, 2010).

No contexto da história do Brasil, as técnicas pioneiras de impermeabilização se desenvolveram com a chegada dos portugueses no século XVI, a partir da utilização de óleo de baleia misturado com areia e cal, formando uma argamassa que era empregada na construção de fortalezas, as quais ficavam em contato com as águas marinhas, garantindo uma grande resistência à ação de ondas e maresia, e assim proporcionando maior durabilidade (ARANTES, 2007). Era também costume a utilização de óleo de baleia na mistura das argamassas de tijolos e revestimento de paredes para resistir às infiltrações, tornando-as estanques.

Com o decorrer dos anos, a exigência com as construções e o seu produto foram aumentando. Associado às inovações tecnológicas com pesquisas e testes, foram surgindo modernas técnicas e novos produtos impermeabilizantes, aumentando sua eficiência, diminuindo os prazos, custos e aumentando a vida útil e proteção dos elementos construtivos. Essa evolução dos produtos nas últimas décadas pode ser observada na Figura 1.1.

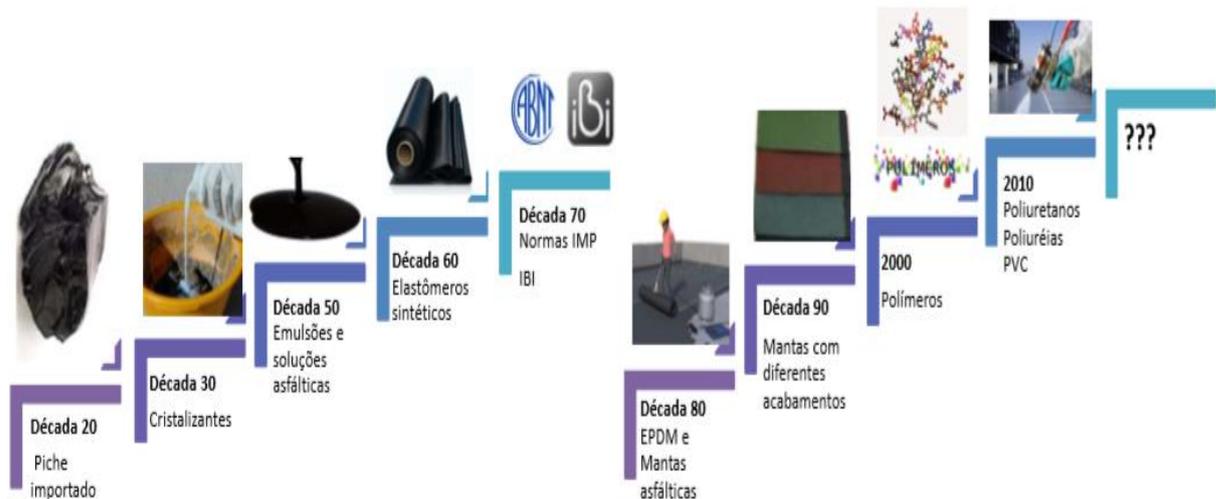


Figura 1.1 Evolução dos produtos impermeabilizantes (PINI, 2008).

1.2 JUSTIFICATIVA

Como abordado anteriormente, a impermeabilização é uma das principais etapas da construção, protegendo a estrutura e seus elementos construtivos contra a ação indesejada de líquidos que possam danificar e/ou diminuir sua vida útil, utilizando produtos e métodos executivos para tal.

Quando a impermeabilização é executada durante os estágios iniciais da obra aliado a projetos e sistemas dimensionados, planejados adequadamente para os ambientes da edificação e executados por uma mão de obra qualificada, seu custo se torna muito menor do que caso fosse realizada após a manifestação de problemas e manifestações patológicas (SILVA e OLIVEIRA, 2018). Segundo dados da empresa Vedacit (2012), seu custo de implantação possui uma participação de 1% a 3% em relação ao custo total do empreendimento. Entretanto, caso a adversidade apareça após a entrega da obra e necessite de alguma intervenção em virtude da ineficiência ou não existência de algum método de impermeabilização, esse valor pode chegar a aumentar em até 15 vezes em relação ao orçamento inicial (RIGHI, 2009), comportamento que pode ser observado na Figura 1.2.

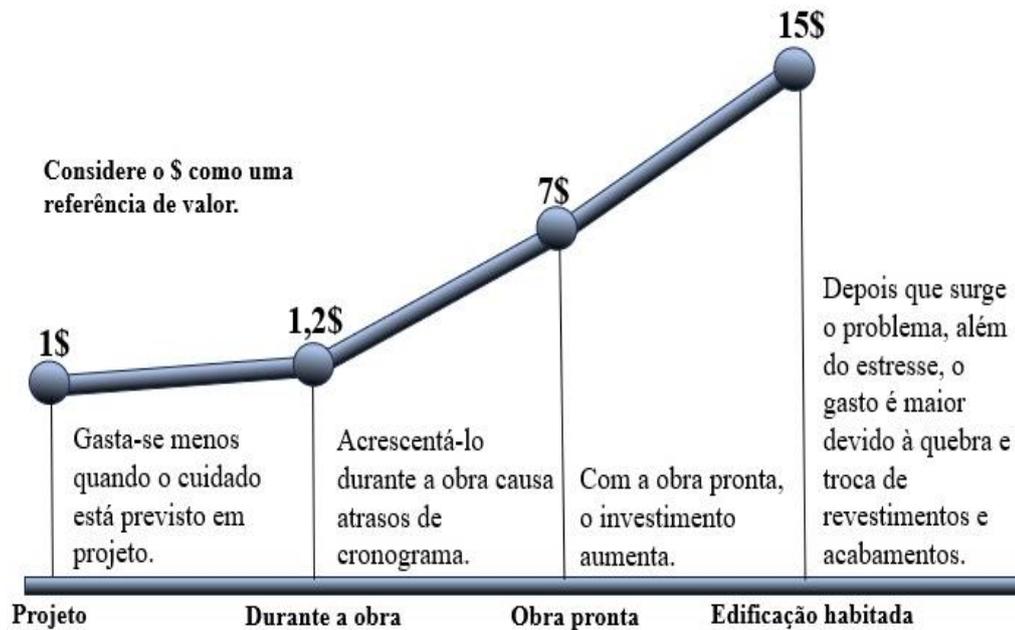


Figura 1.2 Evolução dos gastos de acordo com as fases da edificação (adaptado de RIGHI, 2009).

Ao longo das décadas, em paralelo com estudos tecnológicos, os métodos foram evoluindo e sendo aprimorados como forma de otimizar o processo. Custos, prazos, qualidade e a vida útil do serviço tornaram-se motivações para a melhoria contínua do sistema. Além disso, a questão ambiental, que ganha conotações cada vez mais relevante na sociedade, revolucionou práticas e pensamentos sobre as atividades da construção civil.

No entanto, alguns métodos inovadores são pouco disseminados ou são desconhecidos para a grande parte dos trabalhadores do setor. Uma parte conservadora prefere continuar trabalhando com os métodos tradicionais por receio ou por comodidade, e outra parte pela ausência de interesse ou por mero desconhecimento das inovações reveladas sobre o sistema de impermeabilização.

Portanto, a importância que a impermeabilização tem para a construção e os benefícios que a evolução dos métodos executivos do sistema pode causar no setor serviram como motivação para a elaboração desse tema do Projeto de Graduação.

1.3 OBJETIVO

Visando disseminar métodos inovadores para impermeabilização e avaliar seus benefícios e desvantagens, este trabalho tem como objetivo comparar sistemas de impermeabilização flexíveis convencionais de manta asfáltica e membrana de poliuretano com um sistema não usual de solução de silicatos bioquimicamente modificados para então concluir

sobre a possibilidade de implementação e substituição do método alternativo sobre os já tradicionais nas construções atuais.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia usada para a realização desse trabalho foi a revisão de literatura sobre os sistemas de impermeabilização através de fontes bibliográficas, normas, dissertações, artigos, monografias e consulta em institutos e associações especializados no tema.

Através de conversa com profissionais da área, definiram-se os dois sistemas mais tradicionalmente utilizados para a impermeabilização de lajes de estacionamento atualmente: manta asfáltica e membrana de poliuretano. Estes sistemas foram então aprofundados, visando compará-los através dos custos, prazos, vida útil e suas características executivas, com o sistema não usual que a empresa de impermeabilização consultada está utilizando a base de silicatos bioquimicamente modificados.

Após o levantamento de informações sobre os produtos, foi realizado um estudo de caso através de um acompanhamento da execução do sistema de impermeabilização incomum. Foram coletados com a empresa responsável dados dos serviços como custo, prazo, qualidade, vida útil estimada e etapas executivas. Com esses dados, foram feitas as análises comparativas entre os três sistemas impermeabilizantes estudados, de forma a identificar as vantagens e desvantagens deles quanto a sua aplicabilidade, viabilidade econômica, durabilidade, manutenções, entre outros.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em 7 capítulos: Introdução, Métodos e Processos da Impermeabilização, Classificação dos Sistemas, Manifestações Patológicas e Características dos Sistemas, Estudo de Caso e Considerações Finais.

A Introdução faz uma abordagem sobre a contextualização do tema, as motivações que levaram a escolher esse assunto, os objetivos pretendidos a partir da elaboração do trabalho e a maneira como explorar e expor o tema.

Em Métodos e Processos são realizadas as abordagens e apresentações dos principais conceitos relacionados ao tema, além das normas técnicas envolvidas, para um melhor entendimento sobre o assunto. É abordado o aspecto histórico da impermeabilização,

mecanismos de atuação da água nas construções e suas solicitações, componentes e etapas da impermeabilização, os detalhes construtivos, as ferramentas e equipamentos utilizados.

Em Classificação dos Sistemas é realizado a diferenciação entre eles de acordo com as suas características em relação ao seu material constituinte, flexibilidade, exposição ao intemperismo, aderência ao substrato, metodologia e temperatura de aplicação.

No capítulo de Manifestações Patológicas é feito uma abordagem explicando a definição do item, os principais causadores, além de citar e explicar as principais manifestações patológicas que surgem através da umidade inoportuna no sistema.

Em Características dos Sistemas é descrito as particularidades de cada sistema com suas composições de materiais, etapas executivas e vantagens e desvantagens. Posteriormente é feito um comparativo entre a espessura do material instalado, a produtividade de aplicação e os custos entre eles.

Em Estudo de Caso é relatado um trabalho realizado a partir de uma amostra de execução do serviço de impermeabilização para coletar dados que viabilize a elaboração de um quadro comparativo com os determinados métodos executivos para possibilitar a conclusão sobre o assunto através de seus custos, qualidade, prazo e vida útil.

E por fim, nas Considerações Finais é realizada uma análise conclusiva sobre o tema do trabalho a partir dos dados comparativos coletados no Estudo de Caso, dos conceitos da Revisão Bibliográfica, recomendações e sugestões para futuros projetos de graduação.

2 IMPERMEABILIZAÇÃO: MÉTODOS E PROCESSOS

2.1 ASPECTOS HISTÓRICO

A importância e o uso da impermeabilização na vida do Homem não são recentes. Com a preocupação em proteger as estruturas contra a ação indesejada da água e suas consequências nocivas, desde os antigos impérios e civilizações, já eram observadas técnicas utilizadas para exercer essa função nas construções dos mais variados tamanhos. Os primeiros relatos de materiais utilizados nas construções foram os óleos e betumes naturais, que forneciam características impermeabilizantes (DA SILVA, 2022). Além disso, como bem explicitado pela Associação de Engenharia de Impermeabilização (AEI, 2020), existem referências a processos impermeabilizantes na Bíblia no livro de Gênesis, com passagens que demonstram o uso de betume para impermeabilizar barcos, e segundo os Livros Apócrifos, Noé utilizou a mesma técnica com o casco da sua arca.

Outros exemplos a serem citados, acerca da utilização do mesmo material são: a Muralha da China; as piscinas das termas romanas; e os Jardins da Babilônia. Já os egípcios utilizavam óleos aromáticos para proteger os sarcófagos. Na Era Romana, o material impermeabilizante era a “albumina”, composta por clara de ovo, sangue, óleos, entre outros, e tinha como função impermeabilizar saunas e aquedutos (PICCHI, 1986).

Durante a Era Medieval na Europa, as técnicas utilizadas eram a do adobe corrido e do *wattle and daub* (Figura 2.1). A primeira era elaborada a partir de solo argiloso misturado com areia, palha e água, que era pisoteada por bois ou homens em valas e depois utilizados para erguer sobre pedras muros e paredes, assim prevenindo danos pela água da chuva e umidade. Já a segunda era aplicada na construção de moradias através de madeira trançada e recoberta por solo molhado, areia, argila, esterco animal e palha, atuando como dissipador de umidade durante os períodos de chuva, por possuir uma alta taxa de evaporação na superfície (CARVALHO e PINTO, 2020).



Figura 2.1 Técnica de *wattle and daub* (THE MUDHOME, 2022).

Segundo Pozolli (1991), as primeiras impermeabilizações executadas no Brasil, foram em edificações construídas pelos portugueses no século XVI, como as fortalezas que ficavam em contato com o mar. O “Forte de São Marcelo” na cidade de Salvador (BA) e o “Forte dos Reis Magos” na cidade de Natal (RN) (Figura 2.2), são exemplos de obras realizadas com impermeabilização para proteger a estrutura da ação indesejada da água, e que se mantém estanque até os dias atuais. Nesses casos foram utilizadas a técnica da aplicação de óleo de baleia misturado com cal e areia, formando uma argamassa de grande durabilidade e de baixa permeabilidade. Foi um diferencial significativo em relação à maioria das construções da época, que eram de pau-a-pique, mais comumente chamada de barro armado ou adobe, que são grandes blocos confeccionados com barro cru, materiais extremamente perecíveis ao ataque das águas.



Figura 2.2 Forte dos Reis Magos que utiliza impermeabilização com óleo de baleia (BLOGDOBG, 2020).

Com a Revolução Industrial no século XIX, marcada por um acelerado processo de desenvolvimento de materiais e tecnologias, e com o aparecimento do concreto armado no século XX, novas técnicas de impermeabilização tiveram que ser desenvolvidas para acompanhar as transformações e modernização nas edificações. De acordo com Rezende (1991), com as construções utilizando esse novo tipo de técnica construtiva, estando mais esbeltas e sofrendo influência de mais esforços de flexão, novos métodos de impermeabilização e estratégias tiveram que ser estudados e desenvolvidos, capazes de atenuar as movimentações da estrutura, como revestimentos em borracha, resinas, que melhoravam o desempenho dos impermeabilizantes líquidos, e poliéster.

LRWA (2018) comenta que a partir do século XIX, começaram a ser empregadas impermeabilizações metálicas elaboradas com chapas de cobre, bastante empregadas na Europa e que persistiram até o início do século XX. Algumas das edificações onde essa técnica foi executada são os teatros municipais de São Paulo e do Rio de Janeiro. E no final do século XIX, foi iniciado o desenvolvimento das primeiras impermeabilizações a partir de piche, alcatrão e asfalto, executadas por especialistas europeus. Nesse cenário, por volta de 1930, foram concebidas as primeiras emulsões asfálticas para impermeabilização, empregadas até hoje (BARBOSA, 2018).

A partir da década de 60, sobretudo com as obras do metrô da cidade de São Paulo iniciadas em 1968 e com o surgimento de grandes obras e projetos de impermeabilização, se mostrou necessária a criação de normas para fabricantes e executores dos serviços, que até então não existiam, de modo a padronizar os procedimentos e serviços (ARANTES, 2007). Os pesquisadores trabalharam arduamente durante 8 anos com o objetivo de criar a normatização necessária, que deu origem às atuais (POZOLLI, 1991).

No ano de 1975, foi criado o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI) que ficou responsável pelos testes, pesquisas, desenvolvimento de produtos e serviços de impermeabilização voltados à construção civil. Outra atuação essencial foi na divulgação e disseminação das normas, sendo as primeiras criadas nesse mesmo ano, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) referentes à impermeabilização para fabricantes, aplicadores, consumidores e construtores, o que se mantém até hoje (DA SILVA, 2022).

Após uma recessão na economia, que afetou diretamente a construção civil nos últimos anos, atualmente o setor está voltando a ter um aumento significativo no volume de obras e isso aumenta a importância da impermeabilização na proteção das construções, tanto pelo volume, qualidade, prazo e custos do serviço. E isso acarreta uma melhoria na execução com qualificação de mão de obra e nos métodos executivos.

O segmento vem se atualizando constantemente, utilizando produtos e métodos inovadores através de novas tecnologias, atendendo a demanda crescente aos conceitos de sustentabilidade, produzindo materiais mais confiáveis, com desempenhos físicos e mecânicos melhores que os antigos tradicionais.

2.2 IMPORTÂNCIA DA IMPERMEABILIZAÇÃO E SUAS FUNCIONALIDADES

A impermeabilização é uma etapa fundamental para que uma construção tenha uma proteção adequada contra os efeitos danosos que líquidos possam causar na estrutura ou nos elementos construtivos através da infiltração.

A NBR 9575 (ABNT, 2010) define impermeabilização como o produto resultante de um conjunto de componentes e elementos construtivos que objetivam proteger as construções, contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade para garantir a estanqueidade, durabilidade e habitabilidade da construção. É um conjunto de camadas e serviços aplicados à execução do preparo das superfícies, como camadas separadoras, amortecedoras e proteção primária e mecânica, conferindo impermeabilidade às partes construtivas.

A impermeabilização deve ser realizada de forma a NBR 9575 (ABNT, 2010):

- a) Evitar a passagem de fluidos e vapores nas construções pelas partes que requeiram estanqueidade, podendo ser integrados ou não a outros sistemas construtivos;
- b) Proteger os elementos e componentes construtivos que estejam expostos ao intemperismo;
- c) Proteger o meio ambiente de agentes contaminantes por meio da utilização de sistemas de impermeabilização;
- d) Possibilitar sempre que possível acesso à impermeabilização, com o mínimo de intervenção nos revestimentos sobrepostos a ela, de modo a ser evitada, tão logo seja percebido falhas do sistema impermeável, a degradação das estruturas e componentes construtivos.

De acordo com a NBR 9574 (ABNT, 2008), todas as partes que necessitam de estanqueidade devem ser totalmente impermeabilizadas. Somado a isso, na NBR 15575-3 (ABNT, 2021), é estabelecida a estanqueidade nas áreas molhadas (aquelas que possuem condições de uso e exposição que podem resultar na formação de lâminas de água, como banheiros e áreas descobertas) e molháveis (as que recebem apenas respingos de água, sem formação de lâmina de água, como lavabos e cozinhas).

Quando a impermeabilização não é feita corretamente, aumenta a possibilidade de ocorrer infiltração na estrutura e nos elementos construtivos, resultando no aparecimento das manifestações patológicas. Pode-se citar como exemplos a corrosão das armaduras (Figura 2.3b), a eflorescência, a degradação do concreto e argamassa, o empolamento, as bolhas na tinta (Figura 2.3a), dentre outras, gerando alto custo na manutenção e na recuperação dos citados problemas. Segundo Da Silva (2022), executá-la durante a obra em andamento possui maior facilidade e menores custos quando comparado com o caso da obra já finalizada e entregue,

visto que, quando a impermeabilização não está executada como camada visível, é necessária a demolição e nova execução de camadas superiores, como por exemplo revestimentos e argamassa, para que possa alterá-la ou repará-la.



Figura 2.3a Bolhas na pintura (TINTASSÃOMIGUEL, 2018);

Figura 2.3b Corrosão da armadura (AXFIBER, 2016).

Adiciona-se a isso, os transtornos causados ao cliente, como sujeira, deslocamento para outro imóvel, restrição de movimentação, barulho e falta de privacidade que uma obra de reparação algumas vezes resulta. Por isso, a notoriedade em realizar a impermeabilização de maneira correta durante a obra evitando tais despesas e transtornos posteriormente a obra finalizada, é indiscutível.

Além disso, a impermeabilização contribui de maneira ativa para a garantia da salubridade dos ambientes da construção, assegurando os índices e critérios de higiene do local, evitando o aparecimento de fungos e mofo, assim como contribui para evitar o desgaste físico e mental do morador com o surgimento dos eventos patológicos (SOARES, 2014).

Portanto, é de suma importância que essa etapa da obra seja feita por mão de obra qualificada, projeto definido, com produtos eficientes e que siga as normas e procedimentos para um resultado satisfatório do serviço, para que com isso gere uma prevenção contra o surgimento de patologias que resulta em maior custo na solução do problema e no retrabalho, e evite a diminuição da vida útil da construção.

Os elementos da construção que necessitam de impermeabilização são aqueles que podem sofrer, voluntario ou involuntariamente, ação de água ou fluidos, que em contato com a estrutura em questão possa causar danos ou prejuízos em sua função, como por exemplo (BLOK, 2021):

- a) Estruturas da fundação (vigas baldrame, fundação radier, sapatas);
- b) Telhados e coberturas planas;
- c) Terraços e áreas descobertas;
- d) Calhas de escoamento das águas pluviais;

- e) Caixas d'água, piscinas e floreiras;
- f) Pisos molhados, como banheiros, áreas de serviços, lavanderias etc.;
- g) Marquises;
- h) Paredes externas sob efeito de intempéries (chuvas, neve, ventos etc.);
- i) Junta de dilatação estrutural e lesões em estruturas;
- j) Esquadrias, peitoris de janelas e soleiras de portas externas;
- l) Muros de arrimos;
- m) Subsolos.

2.3 MECANISMOS DE ATUAÇÃO DA ÁGUA NAS CONSTRUÇÕES

A água é um dos maiores geradores de manifestações patológicas nos elementos construtivos, quer seja de forma direta ou indireta, no seu estado sólido, líquido ou gasoso. Ela pode trabalhar como um agente de degradação ou como um meio de instalação de outros agentes (QUERUZ, 2007).

Deste modo, tanto a água em forma líquida quanto em vapor está envolvida com as reações químicas que causam degradação, além de possibilitar com que seja realizado o transporte de um componente químico em direção a outro, ocasionando em um contato físico capaz de provocar uma reação química (NAPPI, 2002). Então, visto que sua presença pode ser em diferentes estados e origens independentes/simultâneas (chuva, do solo, instalações hidossanitárias), suas ações e efeitos podem ocorrer de diversas maneiras numa mesma construção, influenciando nos métodos de proteção a estrutura que serão utilizados (SOARES, 2014).

Uma ilustração que mostra as diversas formas de atuação da água em uma construção, pode ser observado na Figura 2.4.

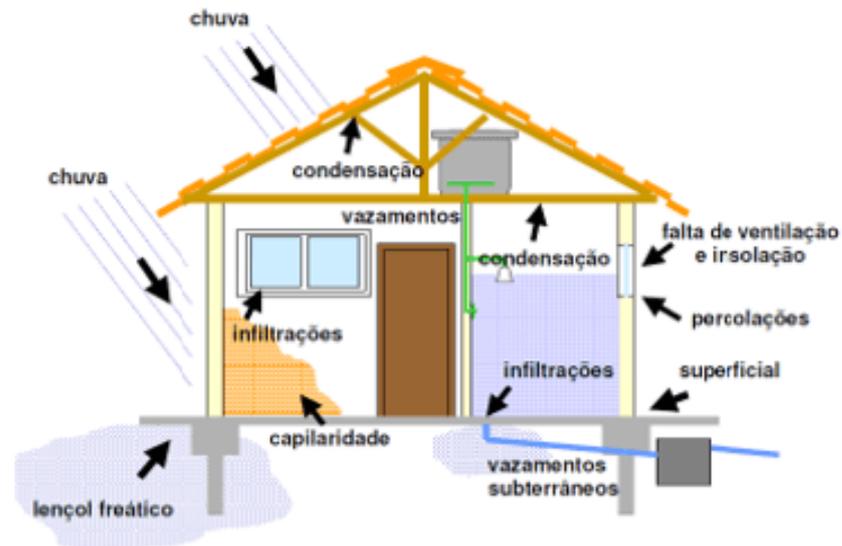


Figura 2.4 Formas presentes possíveis da água na edificação (CASA D'ÁGUA, 2013).

Portanto, o mapeamento das possíveis formas de atuação da água na construção torna-se essencial para determinar o local, métodos, e técnicas mais apropriadas de impermeabilização para realizar a proteção da obra contra os danos indesejáveis da água.

Além disso, de acordo com o detalhamento de Lersch (2003), a umidade nas edificações pode se manifestar através da umidade de infiltração, ascensional, acidental, por condensação e de obra.

2.3.1 UMIDADE DE INFILTRAÇÃO

Encontrada também com o nome de umidade de precipitação, trata-se da passagem da umidade da face externa para a parte interna da construção, através de pequenas trincas, aberturas ou falhas de interfaces dos elementos construtivos (Figura 2.5). Como por exemplo, vedação insuficiente, falhas nos planos das paredes, portas ou janelas, facilitando a percolação da água (RIGHI, 2009).



Figura 2.5 Umidade por infiltração parede/basculante devido a falha no elemento construtivo (SHUTTERSTOCK, 2017).

Ela é proveniente sobretudo das águas das chuvas, as quais podem causar outras formas de infiltração e são intensificadas com as ações dos ventos, aumentando a suscetibilidade a danos como, por exemplo, a percolação por elementos da cobertura, entre calhas e platibandas ou agravando a pressão de infiltração em planos (QUERUZ, 2007).

Além disso, essa umidade também é provocada pela má ou inexistente execução de sistema de impermeabilização das coberturas e selamento de paredes, proporcionando a infiltração de fluidos devido às condições climáticas (SILVA JUNIOR E LEAL JUNIOR, 2018).

2.3.2 UMIDADE ASCENSIONAL

Segundo Magalhães (2008) a umidade do terreno, ou umidade ascensional, pode ter como origem o lençol freático no terreno ou a água contida no próprio terreno devido a fenômenos sazonais. Dessa forma, ele define a umidade ascendente como o fluxo vertical de água que consegue ascender do solo por capilaridade para uma estrutura permeável. Os vasos capilares pequenos permitem que a água suba até que ela obtenha um equilíbrio com a força de gravidade (Figura 2.6).



Figura 2.6 Fluxo da capilaridade do solo subindo a construção (PRODUTOIMPERMEABILIZANTE, 2012).

A altura que a água se eleva pelo vaso capilar (Figura 2.7) varia de acordo com o seu diâmetro: quanto menor, maior a altura (QUERUZ, 2007). Esta ocorrência é percebida especialmente em paredes e pisos. Apesar disso, conforme Soares (2014) expõe, pode também

acontecer em virtude do excesso de vapores e umidade, como em banheiros onde não foi executada a impermeabilização da parte inferior da parede.

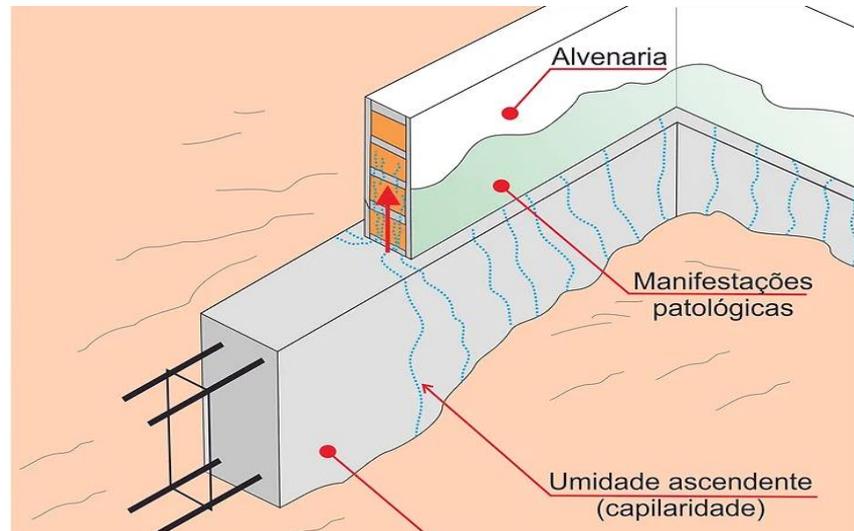


Figura 2.7. Mecanismo de capilaridade ascendente da água pelo solo para alvenaria (JMENGDIAGNOSTICA, 2020).

Há uma divergência entre o alcance que a capilaridade pode alcançar. De acordo com Queruz (2007) nas vedações verticais essa manifestação não costuma se estender por mais de 0,8m em relação ao nível do solo, enquanto Lersch (2003) descreve que podem se estabelecer entre 0,8m até 1,5m.

2.3.3 UMIDADE ACIDENTAL

A umidade acidental é proveniente de falhas nos sistemas de tubulações, como águas pluviais, esgoto e água potável, que conseqüentemente geram infiltrações (Figura 2.8). Este tipo de umidade requer uma importância especial quando presentes em edificações existentes a um longo período. Esta ocorrência é consequência da presença de materiais que podem apresentar desgastes ou com seu tempo de vida já excedido como, por exemplo, sistemas de impermeabilizações e tubulações (dutos de ferro para água potável ou manilhas cerâmicas para águas servidas), que não costumam ser contempladas em planos de manutenção predial (LERSCH, 2003). Ainda pode ocorrer devido a falhas de projeto, má conservação ou intervenções equivocadas, podendo causar sérios danos quando ocorrer após a obra estar concluída.



Figura 2.8 Vazamento de tubulações resulta em umidade acidental (NEOIPSUM, 2021).

Uma observação relevante, é que quando a umidade acidental ocorre em construções com alto valor histórico, deve ter um grau significativo de importância, já que em tais edificações é notável a presença de revestimentos e materiais que, devido à idade, não são de fácil obtenção ou manutenção, acrescenta Righi (2009). A mesma lógica pode ser aplicada para obras de alto padrão.

2.3.4 UMIDADE POR CONDENSAÇÃO

A umidade por condensação ocorre normalmente nos locais em que há ocorrência de variações de temperaturas, ocasionando mudança de estado físico da água em contato com outra superfície, como saunas e frigoríficos. Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), essa forma de origem é proveniente da água presente no ambiente sobre a superfície de um elemento construtivo, ocorrendo a condensação do ar atmosférico determinado por condições de temperatura e pressão, sendo transformada do estado gasoso para o líquido (Figura 2.9).



Figura 2.9 Umidade de condensação em sauna (ECOSAUNA, 2020).

2.3.5 UMIDADE DE OBRA

A terminologia umidade de obra caracteriza-se pela umidade que ficou no interior dos materiais, em razão da sua execução, que acaba por se externar em decorrência do equilíbrio estabelecido entre o material e o ambiente. Essa forma de umidade se origina devido à má seleção, armazenamento e utilização dos materiais no canteiro de obras (SILVA JUNIOR e LEAL JUNIOR, 2018).

Um exemplo da umidade de obra, segundo Queruz (2007), é a umidade existente nas argamassas utilizadas para emboço, que, após a execução dele, transferem o excesso de umidade para as alvenarias, necessitando de um tempo maior do que a cura do emboço para estabelecer o equilíbrio com o meio.

2.4 SOLICITAÇÕES IMPOSTAS SOBRE OS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

A partir do Quadro 2.1, e de acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2010), as solicitações sobre os elementos podem se manifestar das seguintes maneiras: pelo fluido sob pressão unilateral ou bilateral; pela água de percolação; pela água de condensação; pela umidade do solo.

Quadro 2.1 Atuação dos fluidos (Freire, 2007).

IMPOSIÇÃO	FORMA DE ATUAÇÃO
ÁGUA DE PERCOLAÇÃO	CHUVA, LAVAGEM
ÁGUA SOB PRESSÃO	UNILATERAL OU BILATERAL
UMIDADE DE SOLO	ÁGUA CAPILAR
ÁGUA DE CONDENSAÇÃO	SAUNAS, CAMARAS FRIGORÍFERAS

Cada superfície, ao receber impermeabilização, deve ser analisada e projetada para cada caso visando às solicitações impostas pela água na estrutura (SILVA JUNIOR E LEAL JUNIOR, 2018). Deste modo, pode-se elaborar uma tabela que resume as formas de atuação da água na construção. Ao longo do item 2.4, será explicado o funcionamento de cada imposição com sua forma de atuação.

2.4.1 ÁGUA DE PERCOLAÇÃO

Segundo Silva Junior e Leal Junior (2018), a água de percolação é algo muito comum. Aproximando-se um elemento saturado de água com outro seco, pode-se observar que até

mesmo sem o contato entre eles a transferência de umidade acontece. Este fenômeno acontece pela passagem de água de um corpo para outro por transmissão de grão a grão. Outro exemplo a ser dado é o de uma parede de alvenaria, onde a água em uma determinada região começa a encharcar o grão ao redor de determinada zona.

Conforme a NBR 9575 (ABNT, 2010), a pressão da água de percolação sobre superfícies exerce pressão hidrostática inferior a 1kPa ou 0,1m.c.a. Dessa forma, segundo Cunha e Neumann (1979), ela não aplica pressão sobre os elementos construtivos, escorrendo sobre as superfícies em direção determinada e atuando em locais como terraços, fachadas e coberturas.

2.4.2 ÁGUA SOB PRESSÃO UNILATERAL OU BILATERAL

Esse fenômeno acontece mediante o excesso de pressões, sendo elas unilaterais (positivas e negativas) ou bilaterais, que a água atua em determinadas superfícies. Locais como piscinas, subsolos, reservatórios e caixas d'água são exemplos em que a água pode ser observada nessa situação, na qual o fluido exerce uma força hidrostática sobre a impermeabilização. Nos reservatórios de água, por exemplo, com seu volume máximo, a água exerce em suas paredes pressões pelo fato dela estar confinada em todas as direções. Quando a água sob pressão encontra alguma fragilidade como fissuras, trincas e rachaduras na estrutura, faz com que o fluido atravesse essas superfícies, retirando a eficiência de determinados elementos (SILVA JUNIOR E LEAL JUNIOR, 2018).

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), a pressão unilateral positiva ocorre em estruturas que estejam suscetíveis a água, confinada ou não, que exerce pressão hidrostática superior a 1kPa ou 0,1m.c.a. e atua de forma direta à impermeabilização, ou seja, que exerce pressão no sentido de dentro para fora do elemento. Ela pode ser observada em locais como reservatórios suspensos e piscinas suspensas. A Figura 2.10 demonstra essa pressão.

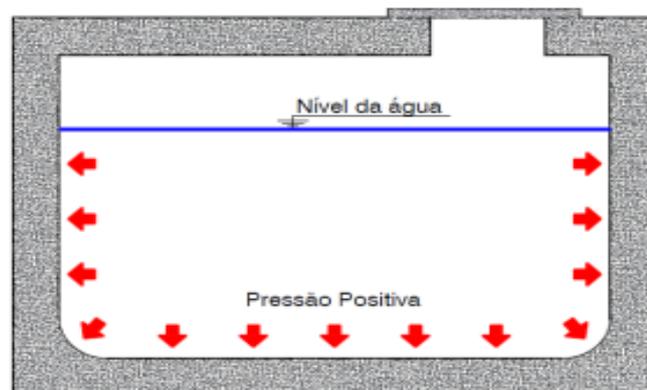


Figura 2.10 Ilustração pressão unilateral positiva (SILVA JUNIOR e LEAL JUNIOR, 2018).

Na pressão unilateral negativa, por outro lado, a mesma norma define que é imposta pela água que pode estar confinada ou não, exercendo pressão hidrostática também superior a 1 kPa ou 0,1m.c.a., porém se diferenciando da positiva no que tange o sentido, sendo de forma inversa à impermeabilização. Em resumo, segundo Silva Junior e Leal Junior (2018), “tem como origem a parte externa dos elementos impermeabilizados, exercendo pressões de fora para dentro”. Essa pressão pode se manifestar em estruturas como garagens no subsolo. Neste caso, normalmente é devido a presença do lençol freático próximo. A Figura 2.11 demonstra essa pressão.

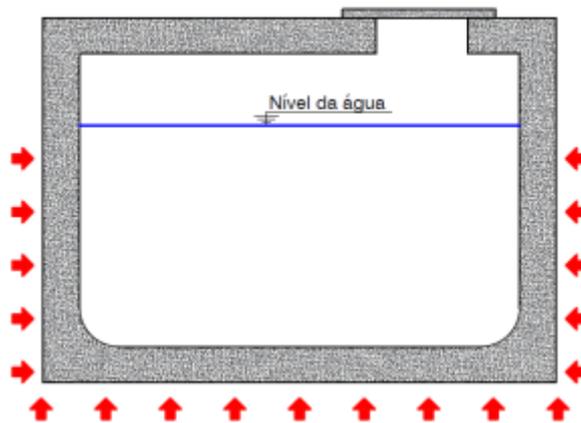


Figura 2.11. Ilustração pressão unilateral negativa (SILVA JUNIOR e LEAL JUNIOR, 2018).

E por último, segundo Da Silva (2022), a pressão bilateral ocorre em estruturas que sofrem tanto a pressão positiva quanto a negativa simultaneamente, atuando tanto na parte interna quanto na parte externa do elemento. Uma estrutura que pode representar esse fenômeno são os dos reservatórios enterrados, como as cisternas, que representa uma estrutura sujeita a pressão bilateral, tanto da água no reservatório exercendo pressão positiva, quanto do solo atuando com pressão negativa ao mesmo tempo. A ilustração que demonstra essa pressão se encontra na Figura 2.12.

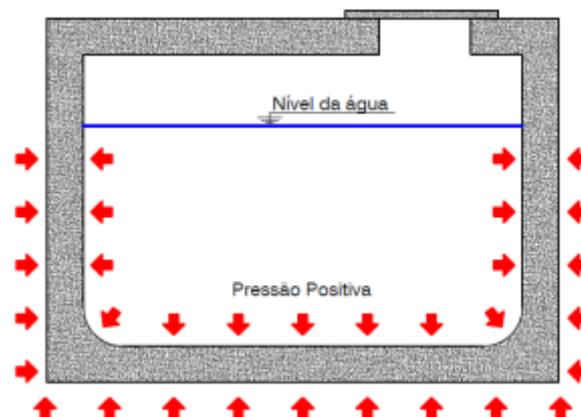


Figura 2.12 Ilustração pressão bilateral (SILVA JUNIOR e LEAL JUNIOR, 2018).

2.4.3 IMPOSTAS PELA CONDENSAÇÃO DA ÁGUA

É a água proveniente da condensação de água presente no ambiente saturado de umidade sobre a superfície de um elemento construtivo, sob determinadas condições de temperatura e pressão, como define a NBR 9575 (ABNT, 2010). Pode ser encontrado em determinados ambientes, como em saunas a vapor.

Nesse caso, segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), o vapor de água do ambiente se condensa ao encontrar uma superfície com diferenças físicas (temperatura ou pressão) formando um acúmulo de água no material (paredes, teto e piso).

2.4.4 IMPOSTAS PELA UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo atua por capilaridade dos materiais. Na construção, usa-se materiais muito porosos, quando há contato com o solo úmido, somada a falta ou incorreta impermeabilização nos elementos da fundação, possibilita a transmissão de água do solo até outro ponto mais distante de acordo com a pressão, através do fenômeno da capilaridade (MAGALHÃES, 2008).

Como lembra Da Silva (2022), de acordo com o Guia Comentado e Ilustrado da Impermeabilização da Associação de Empresas de Impermeabilização - AEI (AEI, 2021), durante o estudo e elaboração do projeto arquitetônico do empreendimento, a umidade do solo deve ser um ponto a ser considerado e previsto, visto que, após ocorrer a manifestação patológica em algum ponto da construção, a manutenção e tratamento se mostram como medidas somente de caráter paliativo.

2.5 COMPONENTES E ETAPAS DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

De acordo com Da Silva (2022), um sistema de impermeabilização tradicional é realizado em etapas, de acordo com o local em que deseja realizar a estanqueidade da construção. Ao término do trabalho, resulta em uma superfície de camadas sobrepostas sucessivas com suas determinadas funções. Cada camada tem seu próprio método executivo específico para compor o sistema de impermeabilização.

A demonstração dessas camadas está ilustrada na Figura 2.13, são separadas em 6 camadas básicas e cada uma possui as devidas funções e especificidades, como mencionado anteriormente. São elas: camada de base, camada de regularização, camada de berço, camada

de impermeabilização, camada de amortecimento e camada de proteção mecânica (SOARES, 2014).

Porém, deve-se salientar que existem sistemas de impermeabilização que possuem menos camadas funcionais, como a membrana de poliuretano, e os que não produzem camadas sobre o concreto, como o produto inovador que será apresentado mais adiante. Neste último caso o produto impermeabilizante trabalha dentro do concreto.

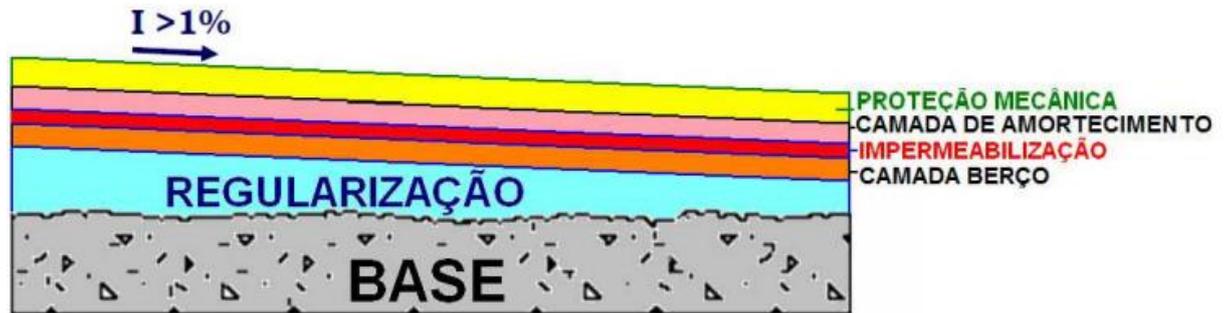


Figura 2.13 Camadas que compõem o sistema de impermeabilização (CUNHA, 2021).

2.5.1 BASE

É a camada mais inferior do sistema e uma das cruciais para o bom desempenho do sistema de impermeabilização, a qual a função é resistir as imposições ou exigências das cargas e movimentações, deformações das estruturas, absorvendo e distribuindo os esforços estáticos ou dinâmicos que atuam sobre as camadas do sistema de impermeabilização (SILVA JUNIOR e LEAL JUNIOR, 2018).

Então, bases com diferentes características exigem diferentes sistemas de impermeabilização, condicionando na determinação de exigências do sistema impermeabilizante devido a fatores como o grau de fissuração, geometria, movimentação em virtude de variações de temperatura e deformações por esforços mecânicos (CUNHA, 2021).

2.5.2 CAMADA DE REGULARIZAÇÃO

Segundo Soares (2014), essa camada tem a função de regularização do substrato da base, proporcionando à camada de impermeabilização uma superfície sem deformidades, deixando a base mais uniforme e limpa para a correta ancoragem da camada impermeável.

Uma etapa de grande importância para o resultado do sistema de impermeabilização é a realização dos caimentos e declividades para o direcionamento das águas ou fluidos para algum

sistema de captação como ralos ou drenos. Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), “a inclinação do substrato das áreas horizontais deve ser no mínimo de 1% em direção aos coletores de água. Para as calhas e áreas internas é permitido o mínimo de 0,5%”. Além disso, nos cantos vivos e arestas deve ser feito o arredondamento para facilitar a execução, a performance do sistema e a aderência à camada impermeabilizante.

2.5.3 CAMADA DE BERÇO

A camada de berço é uma camada intermediária, que fica sobre a camada de regularização e possui a finalidade de apoio e proteção da camada de impermeabilização contra ações deletérias oriundas do substrato (ABNT, 2010). Segundo Soares (2014), ela é executada em conjunto com a de amortecimento, atuando como estratos posicionados entre a camada impermeável em sistemas não aderidos, nos quais a camada de impermeabilização não é executada diretamente sobre a regularização.

Alguns dos materiais que são empregados nessa camada são o adesivo elastomérico e asfáltico, poliestireno expandido e geotêxtil de poliéster (FREIRE, 2007).

2.5.4 CAMADA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

A NBR 9575 (ABNT, 2010) aponta que a camada impermeabilizante tem como objetivo “resistir às pressões hidrostáticas, de percolação, coluna d’água e umidade de solo, bem como deslocamento ocasionado pela perda de aderência”.

Em outras palavras, a camada de impermeabilização possui a função de atuar como a verdadeira barreira contra a passagem de fluidos e vapores, possuindo diferentes composições químicas (DA SILVA, 2022).

2.5.5 CAMADA DE AMORTECIMENTO

De acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2010), a camada de amortecimento atua como proteção contra os danos provocados por esforços estáticos e dinâmicos que são impostos sobre a camada de impermeabilização, possuindo mesma finalidade da camada de proteção mecânica, só que pelo lado inferior.

Podem-se destacar alguns materiais usados nessa camada, como as emulsões asfálticas com borracha triturada, poliestireno expandido e misturas de cimento, areia e emulsão asfáltica.

2.5.6 CAMADA DE PROTEÇÃO MECÂNICA

A camada de proteção mecânica é executada logo após a camada impermeabilizante, tendo uma variada composição de materiais na sua utilização. Em alguns casos é utilizada argila expandida, como esclarecem Silva Junior e Leal Junior (2018), mas de maneira geral usa-se argamassa, concreto, solo, agregado, metal ou geotêxtil.

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), esse estrato do sistema impermeabilizante possui a finalidade de “absorver e dissipar os esforços estáticos ou dinâmicos atuantes por sobre a camada impermeável, de modo a protegê-la contra a ação deletéria destes esforços”. Dessa forma atua como uma barreira física para garantir a integridade da impermeabilização.

A camada de proteção mecânica pode ser classificada em três tipos: primária, definitiva e acabada. Na primária, ela é executada com função temporária com o intuito de proteger a camada de impermeabilização até que seja realizada a camada de contrapiso sobre ela. Por outro lado, na definitiva, a própria camada já age como um contrapiso no qual será assentado o revestimento de piso. E por fim, na acabada, a argamassa age como piso final além de atuar como proteção, sendo recomendada a consideração de juntas de movimentação e dilatação (MC-BAUCHEMIE, 2020).

Além disso, como aponta Soares (2014), também são usados sistemas impermeabilizantes que não necessitam da execução da proteção mecânica devido a já possuírem acabamento superficial incorporado na fabricação, como é o caso das mantas asfálticas ardosiadas ou com acabamentos granulares e aluminizados, porém devem somente ser utilizadas em áreas sem tráfego, como coberturas sem acesso de pessoas.

2.5.7 CAMADAS AUXILIARES

Em muitos casos, é necessário a execução de camadas auxiliares e complementares àquelas já apresentadas para otimizar a eficiência do sistema de impermeabilização. Alguns exemplos são a camada de imprimação, camada drenante, camada separadora e camada de proteção térmica (DA SILVA, 2022).

De acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2010), a camada de imprimação tem como função aprimorar a aderência entre o substrato a ser impermeabilizado e a camada impermeável, podendo ser utilizada solução, emulsão e cimentícia como tal estrato. A camada drenante (Figura 2.14) atua como facilitadora do escoamento de fluidos que agem junto à camada de impermeabilização, aliviando as pressões hidrostáticas sobre as estruturas, evitando o acúmulo e confinamento de água (AEI, 2021). Podem ser utilizados materiais como geotêxtil, geocomposto e polipropileno.

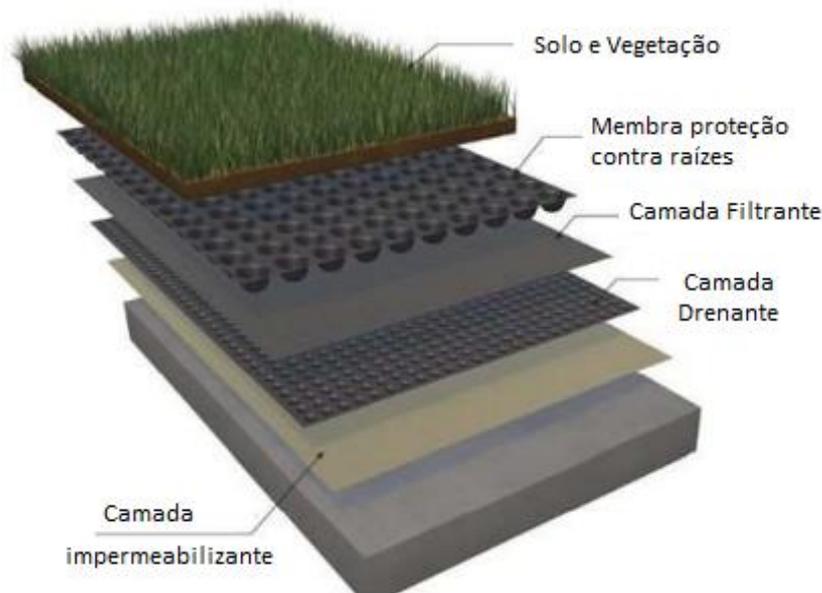


Figura 2.14 Uso da camada drenante como camada auxiliar no sistema de impermeabilização (JOSIANEGUSS, 2013).

A camada separadora é o estrato executado com a finalidade de evitar que ocorra a aglutinação de outros materiais sobre a camada impermeável NBR 9575 (ABNT, 2010), impossibilitando assim com que sejam transmitidas as tensões atuantes devido a contrações e dilatações da proteção mecânica para a camada impermeável, fato que pode comprometer sua durabilidade e provoque fissuras e rachaduras (VIAPOL, 2022). Como materiais, podem ser aplicados filme polietileno, papel Kraft betumado ou sobre camada geotêxtil como estrato de separação. É recomendada sua utilização em áreas sujeitas a grandes movimentações de piso, sobretudo em locais externos que sofrem com maiores contrações e dilatações devido às variações de temperatura no decorrer do dia (MC- BAUCHEMIE, 2021).

Na Figura 2.15 é apresentado um exemplo da ordem de aplicação de tais camadas para um sistema de manta asfáltica.

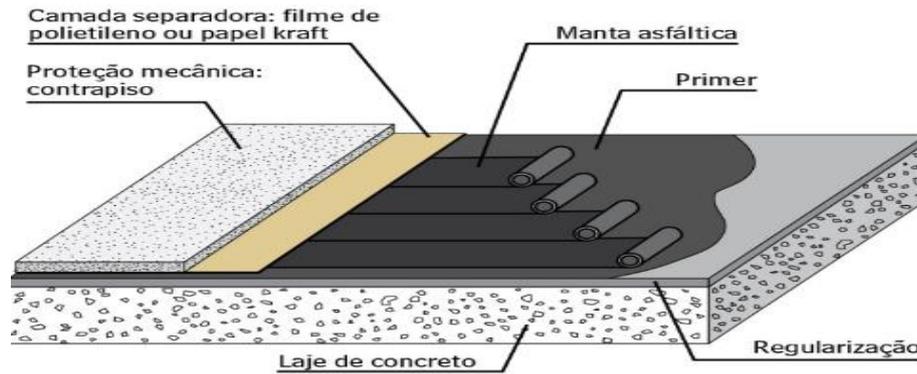


Figura 2.15 Camadas impermeabilizantes com proteção mecânica para um sistema de manta asfáltica (PINTEREST, 2023).

A camada de proteção térmica (Figura 2.16), a qual pode ser executada com materiais como lã de rocha, concreto celular, lã de vidro, mineral expandido, dentre outros, tem como função a redução da diferença de temperatura que atua sobre a camada de impermeabilização, a protegendo dos efeitos deletérios de altas e baixas temperaturas, as quais podem causar deformações, rachaduras e fissuras no material. Dessa forma, sua aplicação deve ser em elementos que estejam localizados em áreas que sofrem intensamente com intempéries como neve, calor e exposição ao sol excessiva ou geada (CUNHA, 2021). Além disso, tal estrato promove a economia de energia na edificação além do aumento da durabilidade e da vida útil dos demais elementos construtivos (FREIRE, 2007), além de garantir maior conforto aos usuários.

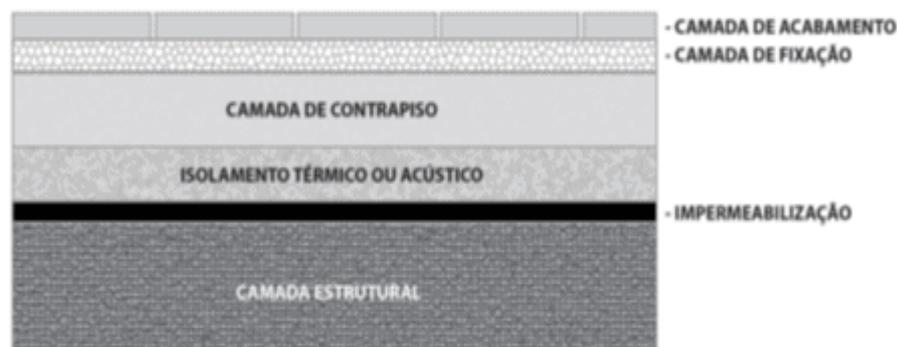


Figura 2.16 Camadas impermeabilizantes com isolamento térmico (BLOGDALIGA, 2020).

2.6 DETALHES CONSTRUTIVOS

No processo de impermeabilização, com o passar dos anos, foram sendo destacados alguns pontos críticos em que apareciam as maiores incidências de problemas e falhas, gerando as manifestações patológicas. Então, alguns detalhes construtivos foram sendo destacados, pois grande parte dos problemas de impermeabilização se dá nas bordas, encontros de ralos, juntas, mudanças de planos, passagens de dutos e outros (PICCHI, 1986). Portanto, para que o sistema impermeabilizante consiga exercer sua função com eficiência, é necessário que a estanqueidade seja garantida, e com especial cuidado, nesses pontos considerados críticos.

Para a melhoria do resultado da impermeabilização, segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), é salientado alguns detalhes construtivos críticos que devem ser considerados na sua execução.

2.6.1 RALO

A importância na execução de arremates de ralos na impermeabilização, segundo Righi (2009), é fundamental, visto que grande parte de problemas em sistemas de impermeabilização tem origem nos ralos.

Para os sistemas rígidos, como cristalizantes e argamassas poliméricas, o arremate dos ralos deve ser feito com o uso de telas de reforço. Uma alternativa é utilizar uma canaleta, de aproximadamente 1 cm de largura por 1 cm de profundidade, fazendo o seu preenchimento com um selante de características flexíveis, normalmente à base de poliuretano ou asfalto elastomérico (BARBOSA, 2018). É indicado a utilização de tela de poliéster estruturante entre a primeira e a segunda demãos aplicando na tela o corte do tipo pizza (Figura 2.17).

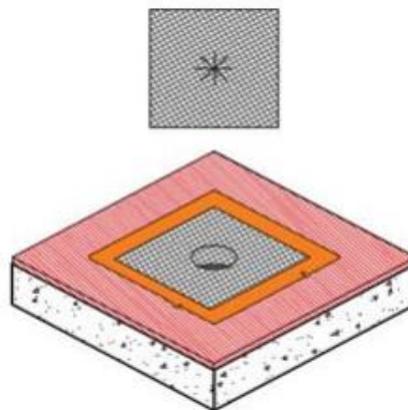


Figura 2.17 Utilização de tela de poliéster como material estruturante com corte do tipo pizza (VEDACIT, 2012).

No caso de sistemas de membranas flexíveis, o arremate é executado através da aplicação de sucessivas demãos que adentram a abertura no piso, podendo receber ou não reforços estruturantes como a tela de poliéster (BARBOSA, 2018). Segundo o mesmo autor, o arremate de ralo em sistemas pré-fabricados, que utilizam mantas como a manta de PVC, pode ser feito com o emprego de peças pré-fabricadas que se adaptam aos ralos ou utilizando o sistema convencional no qual o arremate é feito com a própria manta. É recomendado a utilização de uma manta própria utilizando o corte margarida seguido do corte em pizza para impermeabilização de ralos (Figura 2.18 e 2.19). Deve ser garantido um diâmetro, sendo de 75 mm o nominal mínimo, nos coletores que garanta a manutenção da seção nominal após a finalização da impermeabilização.

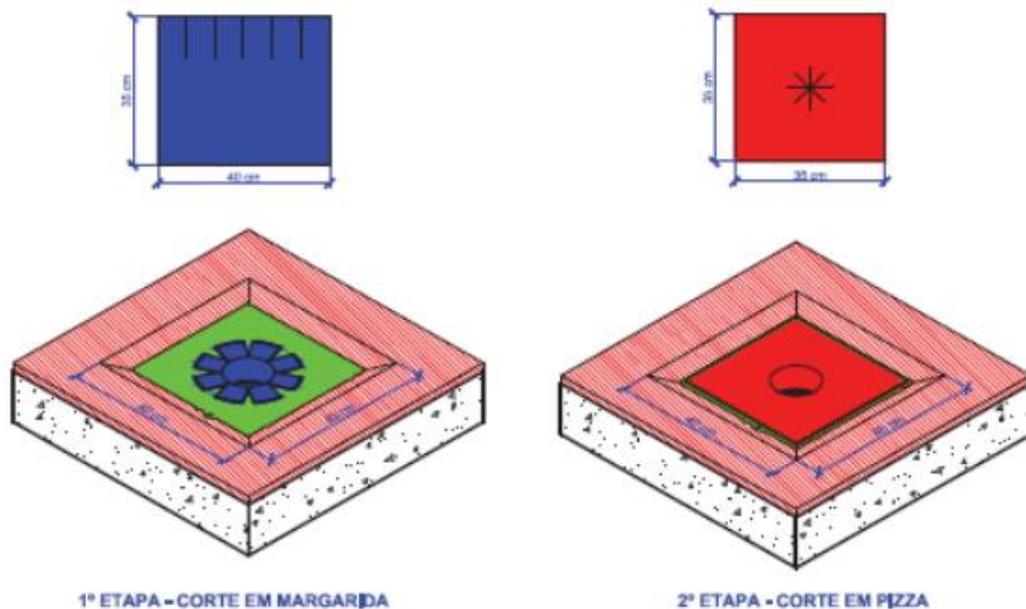


Figura 2.18 Aplicação de manta em corte margarida seguido de corte em pizza (VEDACIT, 2012).

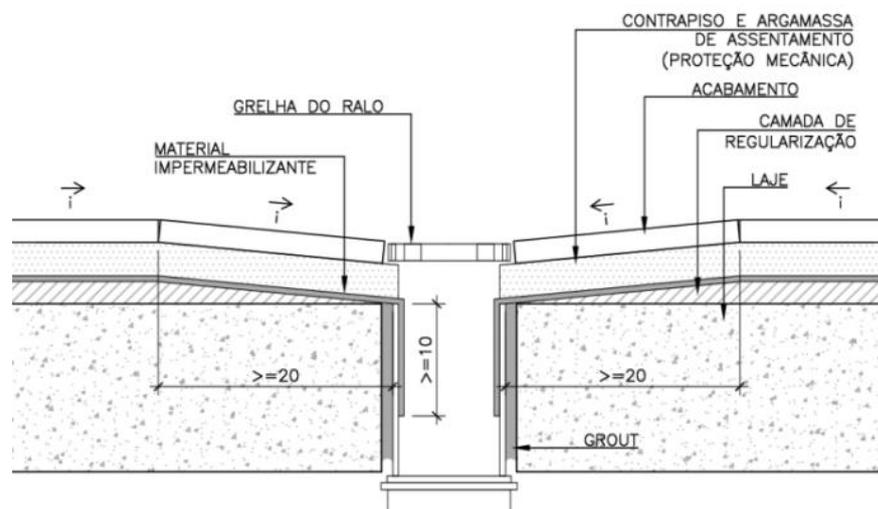


Figura 2.19 Perspectiva em corte após a finalização (SUDECAP, 2019).

Além disso, também existe uma opção utilizando ralo pré-fabricado (Figura 2.20) como complemento a impermeabilização. Segundo a empresa Viapol (2023), o produto é um bocal pré-fabricado, confeccionado em borracha sintética de etileno-propilenodieno-monômero (EPDM), que apresenta um arremate prático e ágil para tubos de drenagem de águas pluviais em calhas, telhados pré-moldado, lajes, *sheds* e jardineiras. É utilizado para arremate em ralos, no processo do sistema de impermeabilização com Mantas Asfáltica, Manta EPDM ou Butílica e nos sistemas de Membranas Acrílica e Asfáltica.

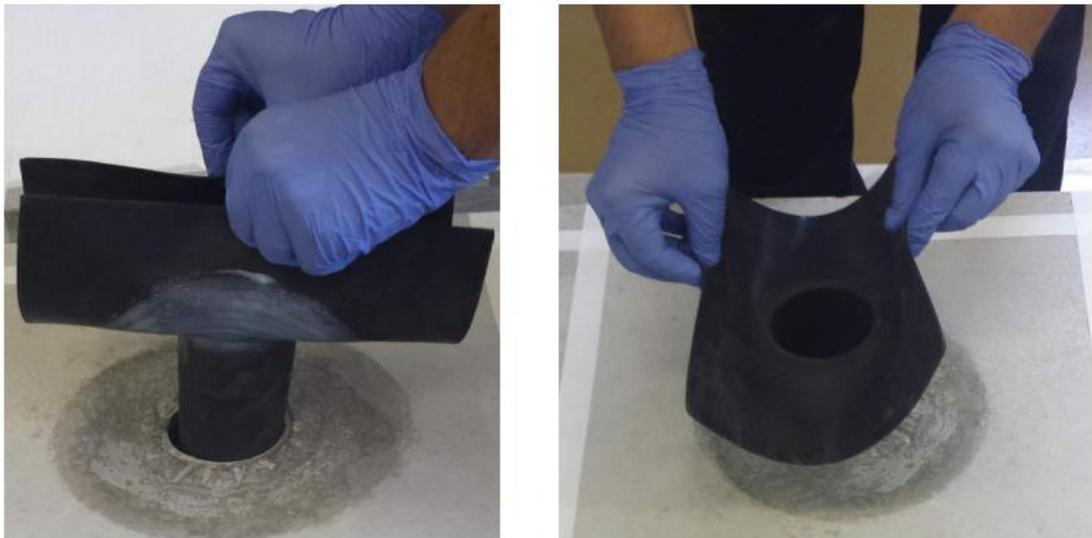


Figura 2.20 Ralo pré-fabricado usado na complementação da impermeabilização (VIAPOL, 2023).

O seu processo de aplicação é rápido e eficiente, além de proporcionar maior segurança, evitando infiltrações nas regiões dos ralos. As áreas em volta dos ralos devem estar rebaixadas, como nos métodos anteriores. Realiza-se a impermeabilização da região e aplica-se, por exemplo, a manta asfáltica. Em seguida é encaixado o ralo pré-fabricado na tubulação, amolecendo a manta com o maçarico para facilitar o encaixe e a aderência entre os materiais (VIAPOL, 2023).

2.6.2 CAIMENTOS E REGULARIZAÇÃO

Através de estudos de escoamento, o substrato em áreas horizontais deve possuir inclinação mínima de 1% direcionada aos coletores de água, enquanto para calhas e áreas internas o mínimo admitido é de 0,5% (SOARES, 2014).

Além disso, outro ponto relevante é o contrapiso em que for realizado a impermeabilização, pois ele deve estar totalmente aderido ao substrato evitando deslocamentos que possam provocar trincas e fissuras (DA SILVA, 2022).

Outro ponto de atenção são os cantos vivos e arestas, pois dependendo da exigência do sistema utilizado, é necessário que eles estejam arredondados, de forma a possibilitar melhor aderência e escoamento dos fluidos (Figura 2.21).

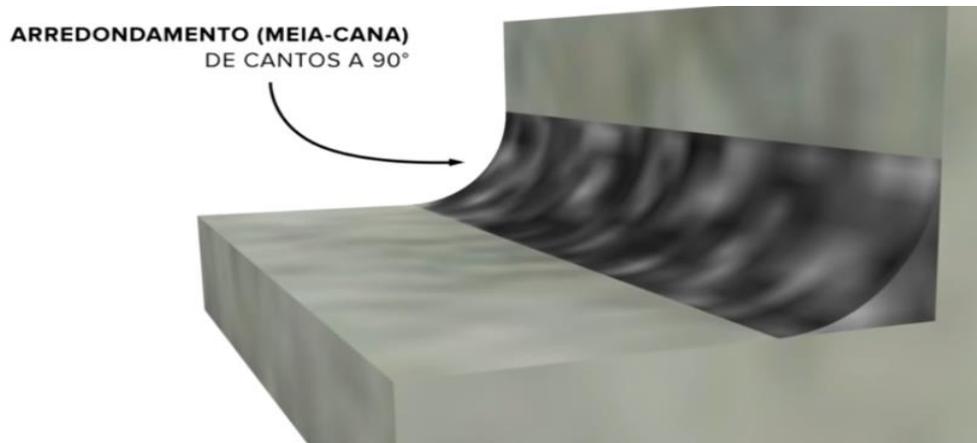


Figura 2.21 Arredondamento dos cantos vivos e arestas para impermeabilização (CONSTRUIRSOZINHO, 2023).

2.6.3 RODAPÉS E PLANOS VERTICAIS

De acordo com Barbosa (2018), os rodapés são regiões de interseção entre pisos e paredes, por isso se tornam regiões relevantes nos sistemas de impermeabilização. Isso porque o fluxo de água na horizontal pode se transformar em fluxo vertical ascendente caso não haja a devida impermeabilização na interface entre os elementos verticais e horizontais. Também pode ocorrer pelo fluxo inverso, da vertical para a horizontal.

A NBR 9575 (ABNT, 2010) relata que deve ser realizado o embutimento da impermeabilização nos planos verticais com uma altura mínima de 20 cm do piso acabado ou então a 10 cm acima da cota máxima de água que possa ser atingida. Os planos verticais que serão impermeabilizados devem ser executados com elementos rigidamente solidarizados nas estruturas, prevendo-se os reforços caso necessário, até a cota final de impermeabilização.

Assim, de acordo com Da Silva (2022), realizando tal detalhe no embutimento (Figura 2.22) da impermeabilização, é garantido que os fluidos que caem sobre as alvenarias possam ser coletados e direcionados corretamente, evitando com que consigam penetrar lateralmente e infiltrar nas camadas inferiores.

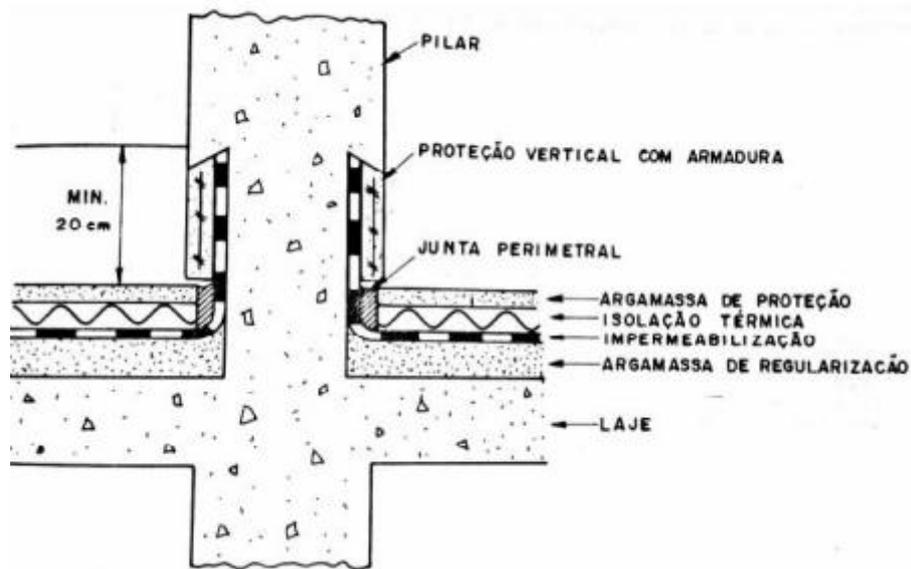


Figura 2.22 Impermeabilização rodapé com embutimento no plano vertical (PICCHI, 1986).

2.6.4 SOLEIRAS

De acordo com a Norma NBR 9575 (2010), nas delimitações entre áreas internas e externas impermeabilizadas deve existir uma diferença de cota de 6 cm, sendo executada uma barreira física no limite interno de contramarco, caixilhos e batentes de forma a garantir a ancoragem da impermeabilização, com declividade para a área externa.

Em Picchi (1986), é apresentado que a camada impermeabilizante deve adentrar em no mínimo 50 cm para a região interna, subindo 3 cm. Dessa forma é evitada que a água que fluir pela esquadria seja capaz de danificar algum elemento construtivo, como detalhado na Figura 2.23.

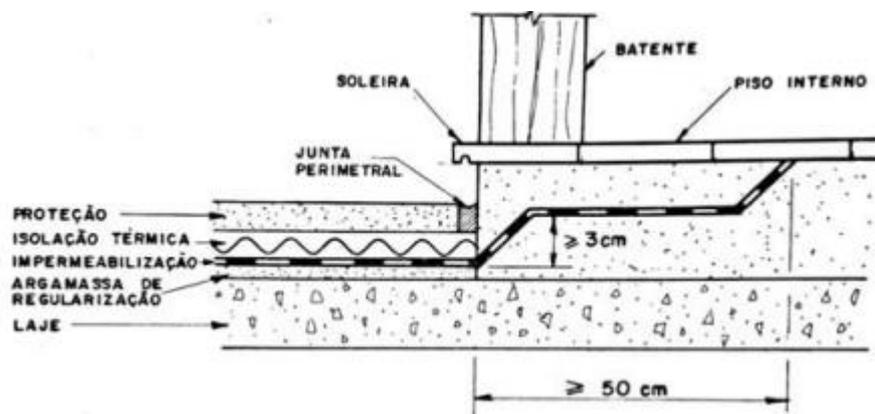


Figura 2.23 Detalhamento da impermeabilização soleira (PICCHI, 1986).

2.6.5 PINGADEIRAS

Segundo Righi (2009), as pingadeiras são recursos construtivos utilizados para impedir o escoamento de água nas estruturas verticais, de maneira a evitar a penetração do fluxo de água no arremate de impermeabilização. Sua instalação é recorrente em muretas, platibandas, parapeitos, bordas de sacadas e terraços em que exerce essa função.

O material impermeabilizante deve subir através do elemento vertical e ter uma extensão abaixo da pingadeira para que não haja possibilidade de a água penetrar por debaixo da camada impermeabilizante (CRUZ, 2003), como ilustrado na Figura 2.24.

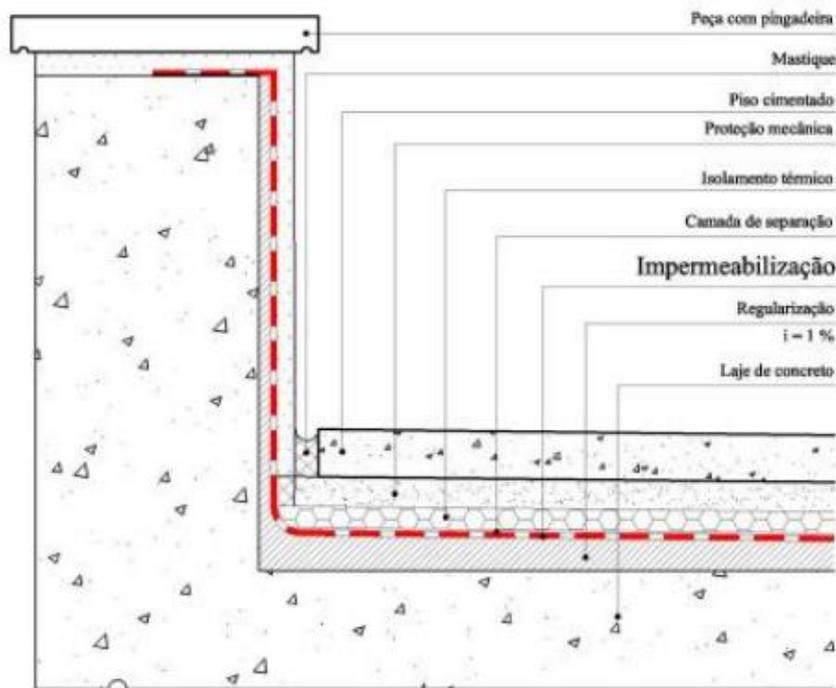


Figura 2.24 Detalhamento da impermeabilização pingadeira (CRUZ, 2003).

2.6.6 INSTALAÇÕES PREDIAIS

Segundo Da Silva (2022), quando houver tubulações hidrossanitárias, elétricas ou de gás que possuam trajeto paralelo a laje, devem ser realizadas sobre a camada de impermeabilização e nunca sob ela. No caso das aparentes, devem estar posicionadas minimamente a 10 cm do nível acabado do piso após a finalização dos serviços. Deve ser prevista, quando houver tubulações embutidas na alvenaria, proteção adequada para garantir a fixação da impermeabilização.

De acordo com a Norma NBR 9575 (2010), toda a tubulação emergente que atravesse a camada impermeabilizante, utilizando-se manta, deve ser fixada na estrutura e possuir detalhes

específicos de arremate e reforços na impermeabilização, como o caso dos ralos, pois cria uma área vulnerável a possível infiltração e água. Além disso, quando estiverem externas às paredes, as tubulações devem estar afastadas dos planos verticais em no mínimo 10 cm.

No manual Vedacit (2016), em sistemas cimentícios e que utilizam membranas, após a primeira demão de impermeabilizante, faz-se um reforço com material estruturante (tela de poliéster) na região do tubo, através de um corte do tipo pizza. Após a colocação do reforço aplica-se as demãos subsequentes, ilustrado na Figura 2.25. Já no caso das mantas, é feito um arremate com manta aplicando primeiro uma manta na base do tubo com o corte do tipo pizza e então é aplicada outra manta em parte de sua superfície utilizando-se o corte margarida, como foi detalhado na Figura 2.26.

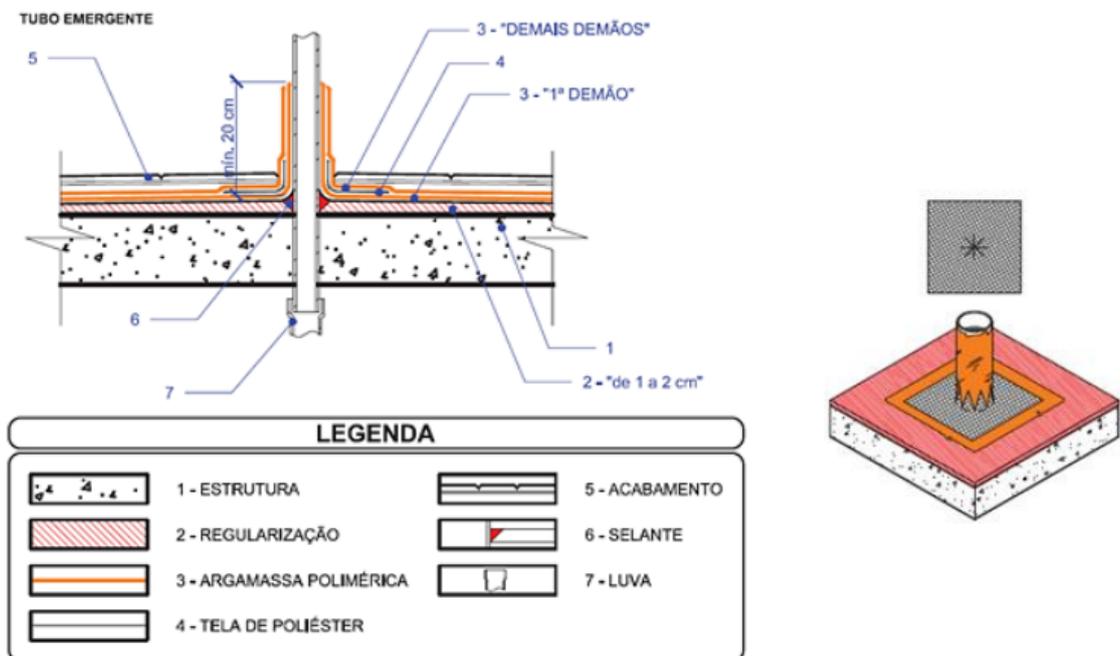


Figura 2.25 Impermeabilização de tubos passantes em sistemas rígidos (VEDACIT, 2016).

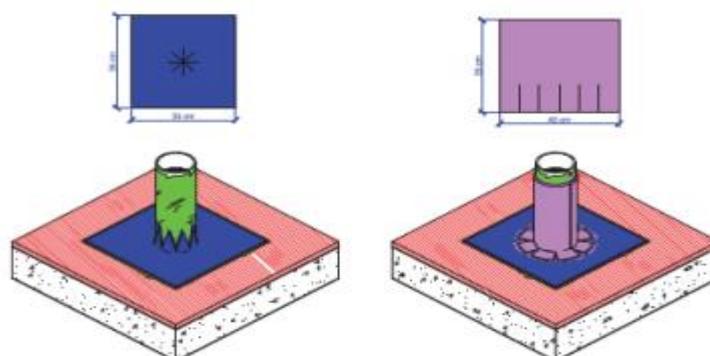


Figura 2.26 Arremate da impermeabilização de tubos passantes (VEDACIT, 2016).

2.6.7 JUNTAS DE DILATAÇÃO

Nas proteções mecânicas, devem ser previstas juntas de dilatação constituídas por materiais que possibilitem a deformação devido a variações térmicas, sobretudo em locais de mudanças de piso e planos. As juntas de dilatação são elementos projetados para absorver a variação volumétrica da estrutura, além de vibrações e deslocamentos, evitando grandes danos (BARBOSA, 2018).

Ainda de acordo com Barbosa (2018), na junta de dilatação, a impermeabilização deve ser feita com a aplicação de um masticue envolvido por mantas que fazem sobreposições com a impermeabilização corrente. Além disso, é indicado a utilização de um material compressível, flexível no preenchimento da junta que permitem a movimentação da estrutura. Também é executado realizando uma dobra na manta no vão da junta de dilatação, e coberta por mais duas camadas de manta (Figuras 2.27).

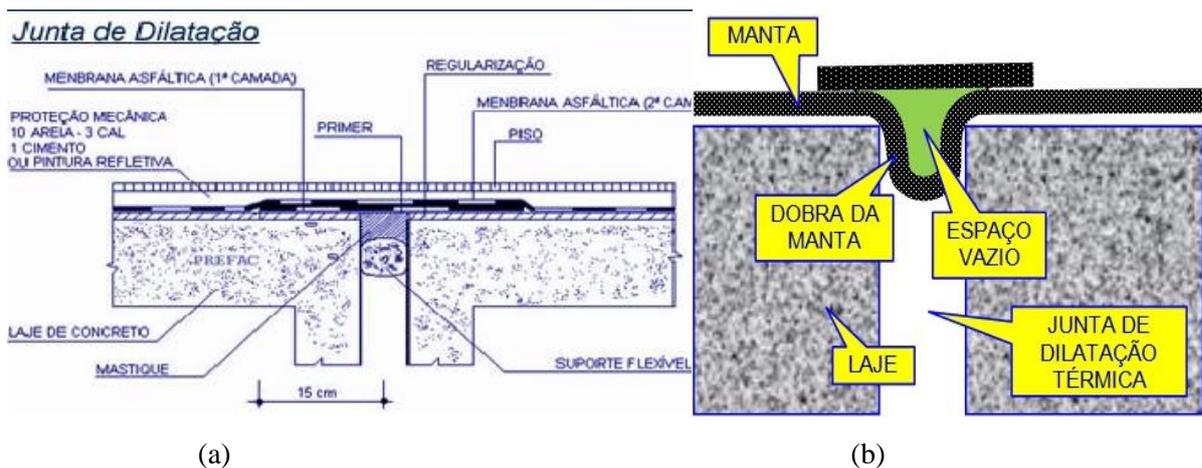


Figura 2.27a Detalhe impermeabilização da junta de dilatação (RCPISOSEREVESTIMENTOSRJ, 2023);

Figura 2.27b Detalhe executivo de dobra da manta asfáltica na junta de dilatação (EBANATA, 2016).

2.7 FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA IMPERMEABILIZAÇÃO

A construção civil engloba um ambiente de trabalho que, em alguns casos, é muito suscetível a acidentes. No canteiro de obra, por exemplo, trafegam diversas pessoas nos mais diversos serviços e, qualquer descuido pode ocasionar em um acidente.

A segurança dos funcionários é essencial para o satisfatório desenvolvimento do trabalho. Para isso, são realizados treinamentos e orientações para o uso do Equipamento de Proteção Individual (EPI) e para a execução da impermeabilização é aconselhado o uso do mesmo. Na Figura 2.28 são dados exemplos de EPI como botas, luvas (PVC ou borracha),

capacetes, óculos de segurança, máscaras de proteção (para aplicação de imprimação e produtos à base de solvente) e uniformes (FREIRE, 2007).



Figura 2.28 Equipamentos de Proteção Individual (EPI) – (COBLI, 2023)

Durante a execução da impermeabilização, de acordo com o método a ser empregado, são utilizadas variadas ferramentas e equipamentos (Figura 2.29), como desempenadeira, trincha e pincel largo, vassoura e vassourão de pelo macio, colher de pedreiro, rolo para pintura e rolo dentado, sapato de prego, baldes, aquecedores, maçarico, caldeiras e o esfregão de mupíá, o qual é capaz de resistir a altas temperaturas por ser composto por fibras de tecido reforçado.

Abaixo são mostrados alguns desses equipamentos:



(a)

(b)

Figura 2.29a: Trincha para aplicação argamassa polimérica (FIXERCOMASSA, 2021);

Figura 2.29b: Rolo (MASTERHOUSESSOLUÇÕES, 2023).



(c)

(d)

Figura 2.29c: Maçarico (JORNAL DA CONSTRUÇÃO, 2023);

Figura 2.29d: Esfregão de Mupιά (FREIRE, 2007).

3 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Visto que os sistemas de impermeabilizações são projetados e escolhidos de acordo com o local de aplicação e devido a forças atuantes em cada situação, pode-se pressupor que existe uma grande diversidade de produtos e técnicas empregadas para tal. E por consequência, são classificados de acordo com suas características em comum. Porém, ao longo dos anos e com as modernizações dos produtos e métodos executivos, as classificações foram se atualizando.

Anteriormente, a partir das normas NBR 9575 (ABNT, 2003) e NBR 9575 (ABNT, 2010), a maior diferença entre os sistemas de impermeabilização era em relação a sua resistência à movimentação da estrutura e sua flexibilidade, sendo classificados basicamente em flexível ou rígido.

No entanto, segundo Da Silva (2022), após atualizações e revisões na versão da NBR 9575 (ABNT, 2010), tal alteração resultou na categorização a ser realizada a partir da composição principal do elemento impermeável, sendo classificado como asfáltico, cimentício ou polimérico. Além disso, os sistemas de impermeabilização podem ter mais de uma forma de classificação e subgrupos. Critérios como, aderência ao substrato, necessidade ou não de proteção, método de aplicação ou semelhanças características são determinantes também para enquadrá-los em determinado grupo.

No Quadro 3.1, observa-se de maneira sucinta, as classificações, tipos e os respectivos exemplos de materiais impermeabilizantes.

Quadro 3.1: Classificação dos sistemas impermeabilizantes por categorias (adaptado DA SILVA, 2022).

CLASSIFICAÇÃO	TIPO	EXEMPLOS
Material Constituinte	Polimérico	Membrana epoxídica, Manta de PEAD
	Cimentício	Argamassa polimérica, argamassa com aditivo impermeabilizante
	Asfáltico	Manta asfáltica, membrana de emulsão asfáltica
Flexibilidade	Flexível	Mantas e membranas
	Rígido	Argamassa polimérica, concreto impermeável
Exposição ao Intemperismo	Resistentes ao Intemperismo	Mantas de PEAD e PVC, membrana acrílica
	Auto Protegidos	Manta de alumínio e manta ardosiada
	Pós Protegidos	Mantas e membranas asfálticas, argamassas poliméricas
Aderência ao Substrato	Aderido	Argamassa polimérica, membrana asfáltica
	Parcialmente Aderido	Manta asfáltica aderido à quente com maçarico
	Não Aderido	Manta de EPDM, manta de PVC
Metodologia de Aplicação	Membranas	Cimentos poliméricos, emulsão asfáltica
	Mantas	Manta asfáltica, manta de PVC
Temperatura de Aplicação	A Quente	Manta asfáltica aderida com asfalto e com maçarico
	A Frio	Argamassa polimérica, membrana epóxi

A seguir, pode-se observar as diferentes classificações dos sistemas de impermeabilização.

3.1 QUANTO AO MATERIAL DA CAMADA IMPERMEÁVEL

A partir do material constituinte principal da camada impermeável, de acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2010), os impermeabilizantes distinguem-se em três categorias: poliméricos, cimentícios e asfálticos.

3.1.1 POLIMÉRICOS

São os materiais impermeabilizantes na forma de manta ou membrana que apresentam polímeros como constituinte da camada impermeável. Exemplos dessa classificação são as membranas epoxídicas, mantas de policloreto de vinila (PVC), as mantas de polietileno de alta densidade (PEAD) e as membranas de poliuretano (Figura 3.1) (SOUZA, 1997).



Figura 3.1. Aplicação de membrana de poliuretano (MARTEL, 2019)

3.1.2 CIMENTÍCIO

São aqueles materiais que têm o cimento como base da camada impermeabilizante. São aplicados em forma pastosa, que quando secos formam uma camada impermeável sobre a estrutura em que foi aplicado. Pode-se citar o cimento modificado com polímero, a argamassa com aditivo impermeabilizante e a argamassa polimérica (Figura 3.2).



Figura 3.2 Aplicação de argamassa polimérica (FIBERSALS, 2020).

3.1.3 ASFÁLTICOS

São aqueles materiais que têm como base da camada impermeabilizante produtos à base de asfalto, podendo ser moldados no local ou pré-fabricados. Alguns exemplos são as mantas asfálticas (Figura 3.3) e as membranas de emulsão asfálticas.



Figura 3.3 Aplicação de manta asfáltica (FIBERSALS, 2021).

3.2 QUANTO À FLEXIBILIDADE

A impermeabilização com relação a flexibilidade da sua estrutura pode ser classificada em flexível ou rígido, dependendo da sua capacidade de resistir às retrações e descontrações da estrutura, ou seja, da possibilidade ou não das partes construtivas sofrerem alguma forma de fissuração ou trinca de acordo com sua resistência à movimentação estrutural. Portanto essa classificação de impermeabilização é discriminada de acordo com a estrutura a ser impermeabilizada (SOARES, 2014).

3.2.1 SISTEMAS FLEXÍVEIS

Conforme a NBR 9575 (ABNT, 2010), a impermeabilização flexível é o “conjunto de matérias ou produtos que apresentam características de flexibilidade compatíveis e aplicáveis às partes construtivas sujeitas à movimentação do elemento construtivo”. Ou seja, esse tipo de sistema é capaz de absorver deformações sem apresentar fissuras, rasgamentos e outras falhas, pois tem uma facilidade de acompanhar a movimentação das estruturas, melhorando o material impermeabilizante contra as contrações, dilatações térmicas e movimentações que as estruturas estão sujeitas.

Segundo Ferreira (2012), a sua elasticidade faz com que sejam mais indicados para serem aplicados em estruturas sujeitas a movimentações, vibrações, insolação e variações térmicas. Então, os locais que são normalmente usados são lajes, banheiros, cozinhas, terraços e reservatórios elevados.

São apresentados dois tipos possíveis de sistemas flexíveis. Um pode ser moldado in loco por meio de processos sob calor ou a frio sem possuir emendas, denominadas membranas. E a outra são as pré-fabricadas, necessitando de colagem entre si, conhecidos como mantas (RIGHI, 2009).

3.2.2 SISTEMA SEMI-FLEXÍVEIS

Algumas empresas fornecedoras consideram uma terceira classificação com características e propriedades intermediárias, denominados semi-flexíveis, que são muito eficientes para superfícies sujeitas a rachaduras e fissuras. Este tipo de sistema, contudo, ainda não está descrito nas normas técnicas brasileiras (FIBERSALS, 2023).

Possuem polímeros que possibilitam uma certa flexibilidade, maior aderência e a impermeabilidade da região. Pode-se citar as argamassas poliméricas e resinas epóxi flexibilizadas classificadas como tal. As indicações do uso de impermeabilização semi-flexível são locais de baixa movimentação térmica. Geralmente são aplicadas em saunas, vigas baldrame e demais elementos de fundação, contrapisos sujeitos à solos com umidade, fontes, floreiras, reservatório de água, regiões de subsolo sem influência do lençol freático, muros de arrimo e poço de elevador, banheiros, piso de cozinhas, áreas molháveis dentre outros (FREIRE, 2007).

3.2.3 SISTEMAS RÍGIDOS

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), a impermeabilização rígida é o “conjunto de materiais e produtos que não apresentam características de flexibilidade compatíveis e aplicáveis às partes construtivas não sujeitas à movimentação do elemento construtivo”. Isso ocorre devido sua baixa capacidade de absorver deformações da base da estrutura a ser impermeabilizada, principalmente deformações concentradas como fissuras e trincas, ou seja, materiais ou produtos que aplicados em determinadas estruturas não tem o comportamento elástico, fazendo com que a camada de impermeabilização sofra algum tipo de rompimento na movimentação do elemento o qual está estruturada.

Os sistemas rígidos possuem limite de utilização haja vista a possibilidade de ruptura por movimentação, então sua aplicação é recomendada em partes mais estáveis da edificação, como nas fundações, pisos internos em contato com o solo, contenções, cisternas e piscinas enterradas. Alguns exemplos desse tipo de impermeabilização são as argamassas poliméricas,

concretos impermeáveis, argamassas com aditivos impermeabilizantes e cimentos cristalizantes.

3.3 QUANTO À EXPOSIÇÃO AO INTEMPERISMO

3.3.1 RESISTENTES

São os sistemas que não apresentam incorporada uma camada de autoproteção nem recebem camadas sobrepostas como camada de amortecimento, separadora ou proteção mecânica primária, final ou definitiva (MENEZES, 2019). Então, possuem a capacidade de resistência à exposição solar, chuvas e neve. Alguns exemplos são as mantas de PEAD e PVC, membranas acrílicas e PU surgem como exemplos de tal classe (TORRES, 2016).

3.3.2 AUTO PROTEGIDOS

Denominados aqueles que são fabricados com uma camada de autoproteção em sua composição, resistindo ao trânsito eventual de manutenção e exposição aos raios ultravioletas, proporcionando durabilidade do sistema. Alguns exemplos desse sistema são as mantas de alumínio e as ardosiadadas (MORAES, 2002).

3.3.3 PÓS PROTEGIDOS

São assim classificados por necessitarem de execução de camadas de proteção mecânica sobre a camada impermeável de modo a garantir a integridade da mesma quando exposta às intempéries (IBI, 2018), como é o caso das mantas e membranas asfálticas e argamassas poliméricas.

3.4 QUANTO À ADERÊNCIA AO SUBSTRATO

3.4.1 SISTEMA ADERIDO

Quando o material impermeabilizante é totalmente fixado ao substrato, seja por fusão do próprio material ou por colagem com adesivos, asfalto quente ou maçarico (MORAES, 2002).

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), o sistema aderido é composto pelo conjunto de materiais e produtos aplicados aos elementos construtivos que estão completamente aderidos ao substrato. A sua principal vantagem, a partir de sua total e perfeita aderência a base, é a de

facilitar o reconhecimento de um vazamento em virtude de uma má execução do sistema já que o fluido não se espalhará por uma área extensa, se restringindo assim à região de falha (TORRES, 2016). Por outro lado, a sua principal desvantagem, pode ser considerada a de não serem indicados a locais que sofrem com grandes deformabilidades ou fissuração excessiva, visto que podem assim comprometer a integridade do material (VEDACIT, 2012).

Alguns exemplos são as mantas asfálticas aderidas com asfalto quente, argamassas poliméricas, membranas asfálticas e acrílicas (TORRES, 2016).

3.4.2 SISTEMA PARCIALMENTE ADERIDO

É o caso em que a aderência do substrato no sistema de impermeabilização é parcial e localizada em alguns pontos específicos, como platibandas e ralos (MORAES, 2002).

Deste modo, de acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2010), a impermeabilização parcialmente aderida é o conjunto de materiais ou produtos aplicáveis às partes construtivas, parcialmente aderidos ao substrato. Um exemplo de grande relevância desses materiais é a manta asfáltica aderida à quente com maçarico.

Segundo a empresa Vedacit (2012), possuem desde usos muito específicos, sendo majoritariamente empregadas com fixações laterais ou fitas em emendas intermediárias, ou em locais mais gerais, como lajes e banheiros.

3.4.3 SISTEMA NÃO ADERIDO

É o caso em que a impermeabilização é totalmente desligada do substrato. Utilizada em estruturas de grande deformabilidade, também conhecida como sistemas flutuantes. Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), a impermeabilização não aderida é o conjunto de materiais ou produtos aplicáveis as partes construtivas, totalmente não aderidos ao substrato. Nesse caso, a aderência ao substrato ocorre apenas nos pontos de ralos, tubulações, peças emergentes, nos rodapés e beirais (BARBOSA, 2018).

Com isso, são geralmente empregadas em ambientes onde as movimentações dos elementos construtivos são grandes ou onde ocorre alguma limitação de obra ou projeto, como o caso de membranas especiais empregadas diretamente sobre o solo em túneis e subsolos ou mantas de EPDM, butil, PVC e PEA (VEDACIT, 2012).

Para Torres (2016), a maior vantagem deste sistema é o fato de que a movimentação da estrutura impermeabilizada exerce pouca influência neste sistema impermeabilizante, que por isso é menos exigido quanto à flexibilidade e elasticidade.

3.5 QUANTO À METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

3.5.1 MEMBRANAS

Se baseia nos sistemas os quais são executados *in loco*, na forma pastosa ou líquida, em diversas camadas, obtendo um sistema sem emendas, podendo ser aplicados a quente ou a frio, e aplicado por rolo ou jato. Alguns exemplos são os cimentos poliméricos, emulsões asfálticas e asfalto oxidado (TORRES, 2016).

3.5.2 MANTAS

Se baseia em sistemas industrializados previamente fabricados, com espessura controlada através de controle de qualidade, comercializados em rolos e podendo ser aplicados por meio de colagem ou soldagem (MENEZES, 2019). Alguns exemplos de grande relevância são as mantas asfálticas, de PEAD, de PVC e de EPDM.

3.6 QUANTO À TEMPERATURA DE APLICAÇÃO

3.6.1 A QUENTE

São os sistemas em que o calor é fator essencial para a aplicação do material no substrato, como é o caso da implantação das mantas asfálticas como sistema impermeabilizante, executadas utilizando maçarico e asfalto (VASCONCELLOS, 2015).

3.6.2 A FRIO

Nesse caso, segundo Vasconcellos (2015), para realizar a aplicação do sistema impermeabilizante, não é necessário o aumento da temperatura. São utilizadas a água ou solventes durante o processo. São exemplos do método executivo a frio, a aplicação das argamassas poliméricas, concretos impermeáveis e membranas epóxi.

3.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Devido à grande variação da classificação dos métodos e elementos impermeabilizantes, muitos têm características que se configuram em mais de uma categoria. A aplicação de manta asfáltica com maçarico, por exemplo, pode ser classificada simultaneamente como um sistema

flexível, asfáltico, parcialmente aderido, pós protegido, pré-fabricado e aplicado à quente (DA SILVA, 2022).

3.8 ESCOLHA DO TIPO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

De acordo com Barros (2020), as etapas de impermeabilização por vezes não ganham a devida atenção em certas obras da construção civil, o que acarreta problemas como falta de projeto, falta de profissionais treinados e falta de planejamento. Tais problemas podem influenciar diretamente na qualidade de execução, como resultar em dificuldades executivas durante os serviços de instalação das impermeabilizações.

Barros (2020) continua que, por ser uma etapa extremamente importante, também existem dificuldades executivas associadas ao tipo de obra, seja ela uma ponte, túnel, barragem, edificação, rodovia ou via urbana, assim como referentes ao tipo de impermeabilização escolhida para os elementos da obra. Quando se inicia o serviço de impermeabilização, normalmente é realizada concomitantemente com outras etapas da obra, o que pode gerar dificuldade nos trabalhos da equipe, ou mesmo danos indiretos provocados por queda de materiais de outras atividades sobre a superfície da impermeabilização em execução.

Em obras de pontes, túneis e edificações são comuns dificuldades na instalação de impermeabilização em áreas como juntas e arremates tanto por parte da execução como também pela falta de detalhamento em projeto, o que pode provocar equívocos de instalação dos materiais e, posteriormente problemas de infiltrações (BARROS, 2020). Já em obras de barragens as dificuldades executivas estão relacionadas ao processo construtivo de seus elementos impermeabilizantes, os quais envolvem dificuldades com as grandes movimentações de terra para a sua construção (DA SILVA, 1991).

Por outro lado, em rodovias e vias urbanas, a impermeabilização está intrinsicamente relacionada aos materiais usados na pavimentação e no escoamento da água. Dessa forma, as principais dificuldades estão diretamente ligadas à execução do pavimento e consistem em adversidades climáticas, realização de juntas, compacidade adequada e excesso de umidade no solo (BARROS, 2020).

A definição do tipo de impermeabilização mais adequado será de acordo com as condições e requisitos aos o substrato ou base estará sujeito, devendo garantir a proteção contra a passagem de vapores e fluidos (DA SILVA, 2022).

De acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2010), as solicitações impostas pela água de condensação, pela água de percolação, pela umidade do solo e pelo fluido sobre pressão

unilateral ou bilateral sobre os elementos construtivos, determinam o sistema mais apropriado a ser empregado. Freire (2007) comenta que os sistemas rígidos são indicados para locais que sofram influência da pressão unilateral positiva e negativa, e bilateral, enquanto os flexíveis para a unilateral positiva.

Além disso, outras condições de exposição devem ser levadas em consideração, como forma da estrutura, exposição ao sol, a cargas e intempéries, extensão da aplicação, movimentação da base, frequência de umidade, interferência com instalações e complexidade da superfície (SABABATINI et al., 2006).

Em paralelo a tais requisitos, o conhecimento acerca das características e comparativos entre cada sistema de impermeabilizante é de suma importância para essa seleção. Segundo Souza e Melhado (1998) e Cunha (2021) durante o processo de escolha do método mais adequado, os aspectos como facilidade de construtibilidade, custos de execução, formas de aplicação, flexibilidade, resistência mecânica, manutenibilidade devem ser consideradas, buscando sempre a racionalização construtiva, custos e prazos condizentes e compatíveis com os da obra.

No Quadro 3.2, observam-se as principais situações e ações envolvidas, assim como as soluções de impermeabilização que poderiam ser adotadas para cada cenário.

Quadro 3.2 Critérios para definição da impermeabilização (adaptado de SIQUEIRA, 2018).

SITUAÇÃO	AÇÃO DOS AGENTES	EXEMPLOS	TIPOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO
Atuações da água	Percolação	Lajes frias, terraços, coberturas, marquises, parapeitos	Rígida e/ou Flexível
	Umidade do solo	Muros de arrimo, paredes em subsolos	Rígida
	Água sob pressão hidrostática	Caixas de água, cisternas, reservatórios, piscinas	Rígida e/ou Flexível
Comportamento dos elementos da superfície	Sujeitos à esforços externos	Trincas e fissuras devido a cargas dinâmicas externas de temperatura, carregamentos temporários, tráfego de veículos	Flexível
	Sujeitos a trincas e fissuras	Estruturas com trincas e fissuras devido a variação volumétrica, recalques, fadiga e movimentações estruturais	Flexível

4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Na construção civil, patologia é a área de estudo dos defeitos das edificações, análogas às doenças do corpo humano, tais como manchas, rachaduras, deformações, rupturas e outros. Sob essa perspectiva, as manifestações patológicas constituem-se nas consequências decorrentes da deterioração da edificação (BARBOSA, 2018).

De acordo com Mello (2005), para prevenção de possíveis prejuízos e manifestações patológicas, desde a concepção até a entrega final do empreendimento, alguns pontos devem receber relevância e a devida atenção em prol da garantia do bom desempenho da impermeabilização. Pode-se destacar:

- a) Contratação de empresa capacitada e especializada;
- b) Exigência de metodologia de trabalho;
- c) Escolha do sistema correto de impermeabilização de acordo com as características do local;
- d) Controle de qualidade dos produtos, materiais e sistemas utilizados;
- e) Verificação de dimensionamento;
- f) Compatibilização com projetos de instalações prediais e elementos da edificação;
- g) Execução correta dos detalhes construtivos;
- h) Realização de ensaios e testes de estanqueidade.

4.1 CAUSAS

As origens dos defeitos provenientes da impermeabilização podem advir de diferentes origens. Uma delas pode ser causada por erros de projeto, que envolvem primordialmente escolha incorreta do sistema e/ou má quantificação do material que constitui o sistema de impermeabilização. Também comum, podem ser originados pela má execução do sistema em campo, uma vez que nem sempre as equipes de construção Civil envolvidas no serviço estão plenamente qualificadas ou detêm de domínio categórico dos processos executivos. Assim, conhecer os tipos recorrentes de manifestações patológicas em edificações é de fundamental importância para a seleção e quantificação correta do impermeabilizante que pode evitar tal patologia (MAGALHÃES et al., 2019).

Segundo Barbosa (2018), a maior parte dos problemas de manifestações patológicas nas edificações estão atrelados às falhas nas fases de projeto e execução, somando 68% nestes dois casos. Sendo que a fase de projeto, de responsabilidade exclusivamente da engenharia,

corresponde a 40% das fontes de manifestações patológicas, conforme o gráfico da Figura 4.1 (HELENE e FIGUEIREDO, 2003).

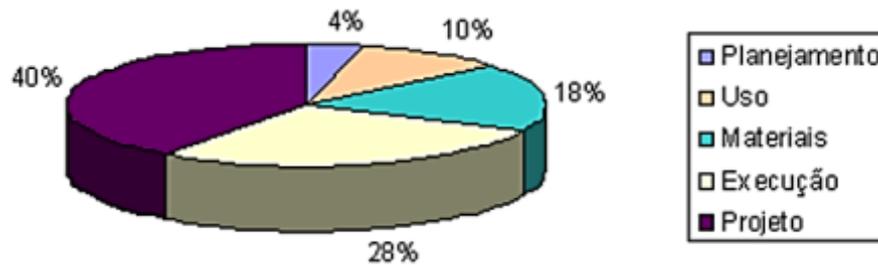


Figura 4.1 Origens das patologias em impermeabilização (HELENE e FIGUEIREDO, 2003).

Os principais apontamentos para as falhas causadas pelo projeto podem ser levantados pela própria ausência do projeto, especificações e escolhas inadequadas de sistemas impermeabilizantes, ausência de compatibilização com outros projetos (hidráulico, elétrico e estrutural), além do dimensionamento inadequado do número de coletores de águas pluviais que provocam o acúmulo e escoamento ineficiente de água (MELLO, 2005).

Tais equívocos demandam a adoção de medidas como retrabalho de instalações hidráulicas, alterações no dimensionamento final dos acabamentos, enchimentos desnecessários e manutenções futuras que diminuem a vida útil dos sistemas impermeabilizantes (SCHREIBER, 2012).

Na execução da impermeabilização, um fator determinante para a ocorrência de falhas, é o emprego de mão de obra não especializada em sistemas mais complexos, que não seguem as recomendações dos fabricantes ou as normas vigentes do assunto. Com isso, mesmo utilizando um material que cumpre todos os requisitos de qualidade, a vida útil total esperada não é atingida (FIBERSALS, 2018). Além disso, o conhecimento das características e a correta opção pelo método executivo é essencial para a otimização do serviço, evitando desperdícios e a garantia da durabilidade.

De acordo com Righi (2009), os relevantes defeitos durante a execução da impermeabilização que podem ser destacados são: o não arredondamento de arestas e cantos vivos, ausência de camadas de regularização, execução de métodos asfálticos sobre substrato úmidos que não permitem a aderência efetiva e formação de bolhas, uso de camadas grossas de emulsões que dificultam a cura, falhas em emendas, perfurações acidentais de mantas devido a materiais cortantes, carrinhos de mão e circulação excessiva de trabalhadores.

Segundo Cruz (2003), as falhas devido à má utilização e manutenção da impermeabilização passa pela perfuração de mantas asfálticas pela ação de sapatos inadequados

na obra, rodas de carrinho de mão e materiais pontiagudos. Além dos danos causados pela excessiva colocação de peso (entulho e equipamentos) sobre a impermeabilização, na perfuração do serviço sem qualquer reparo quando há a necessidade na execução de antenas, piscinas, grades e varais. E uma situação muito recorrente, são os danos causados à impermeabilização na troca de pisos e queda de objetos sobre a área impermeabilizada, contribuindo para a possibilidade da ocorrência das manifestações patológicas.

Com a falsa sensação de economia imediata, na maioria dos casos em que qualidade dos materiais é fator contribuinte para o surgimento das patologias, é escolhido um material ou produto com qualidade inferior, em algumas situações sem o devido controle de qualidade, adulterado na indústria ou pelo próprio fabricante, que acaba necessitando de reparos e manutenções precoces (FIBERSALS, 2018).

Com isso, a economia que foi gerada utilizando esse tipo de material vai se transformar em despesa com reparos e retrabalhos, possíveis perdas de objetos e moveis e, em último caso, até risco a própria vida. Diversas consequências negativas podem ser provocadas sobre a edificação, como por exemplo: danos funcionais e estruturais (inclusive necessitando de recuperação estrutural), aos bens internos do imóvel e sobre a saúde dos usuários (MORAES, 2002).

Portanto, esses fatores são as principais causas para o surgimento das manifestações patológicas.

4.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR UMIDADE

A abordagem subsequente tratará de alguns tipos recorrentes de manifestações patológicas em edificações dentre os comumente encontrados, como é analisado na Figura 4.2. Dentre elas, destacam-se a eflorescência, o mofo, as bolhas, as fissuras, as manchas de umidade e descolamento de revestimento.

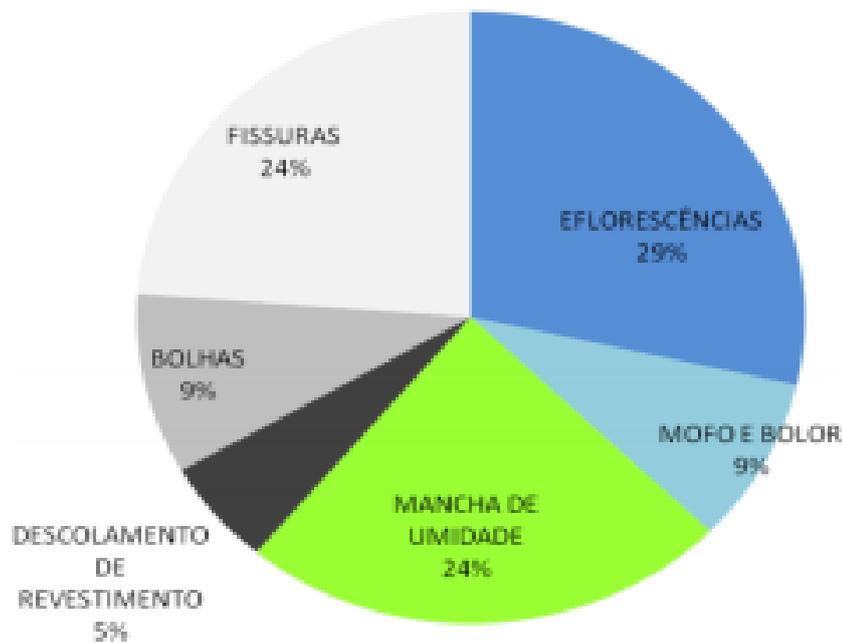


Figura 4.2 Principais tipos de manifestações patológicas provenientes de infiltrações em edificações (FERNANDES, 2018).

As consequências atribuídas às manifestações patológicas podem surgir no decorrer da obra, ou na maioria dos casos, quando a obra já foi finalizada.

4.2.1 GOTEIRAS E MANCHAS DE UMIDADE

Pode-se verificar que as manchas e goteiras presentes nas edificações que passam por processo de inspeção, geralmente aparecem ou se intensificam nos dias de chuva ou após as chuvas, constatando que este problema ocorre devido ao defeito de impermeabilização (VERÇOZA, 1991). No entanto, também podem surgir por defeitos nas instalações prediais (hidráulica, esgoto, pluviais).

Quando a água consegue atravessar uma barreira imposta, ela potencialmente ficará aderente àquela superfície e isso ocasionará uma mancha, ou, dependendo da quantidade de água infiltrada, esta pode deixar o material na forma de gotas, até na forma de jorro de água. A umidade permanente deteriora os materiais de construção e neste contexto, as goteiras e as manchas são as manifestações mais comuns devido à infiltração da água (SCHÖNARDIE, 2009).

De acordo com BAUER (2008) “as manchas podem se apresentar com colorações diferenciadas, como marrom, verde e preta, entre outras, conforme a causa. Os revestimentos frequentemente estão sujeitos à ação da umidade e de microrganismos, os quais provocam o

surgimento de algas e mofo, e o conseqüente aparecimento de manchas pretas ou verdes. As manchas marrons, geralmente, ocorrem devido à ferrugem”.

A umidade, caso não houver intervenção apropriada, deteriora qualquer material de construção, gerando como consequência secundária o aspecto estético desagradável e a desvalorização do imóvel. Goteiras e manchas (Figura 4.3) são defeitos mais comuns das infiltrações e que se procura interromper com a impermeabilização (MAGALHÃES et al., 2019).



Figura 4.3 Mancha de umidade (MAGALHÃES et al., 2019).

4.2.2 MOFO E BOLOR

O bolor ou mofo é entendido como a colonização por diversas populações de fungos filamentosos sobre vários tipos de substrato, citando-se inclusive as argamassas inorgânicas. Sendo vegetais, os fungos que geram mofo e apodrecimento, precisam de ar e água. Até mesmo nas alvenarias eles causam danos, porque conseguem ali aderir. Não proliferam em ambientes absolutamente secos. Logo, o mofo e apodrecimento também são decorrentes da umidade (SHIRAKAWA, 1995).

São provenientes do alto teor de umidade de obra, umidade ascensional, infiltrações, condensação de vapor de água, alterando a superfície dos materiais e contribuindo para o desenvolvimento de microrganismos. Segundo Campos e Soares (2015), ocorre majoritariamente em paredes e tetos, podendo causar danos à estrutura da edificação e à saúde dos usuários sobretudo caso possuam alguma alergia.

O que ocorre em vista dessa manifestação é o escurecimento das superfícies (Figura 4.4) e com o tempo, o desagregamento das mesmas, ocorrendo muitas vezes o esfarelamento do revestimento, em especial, se for pintura (LERSCH, 2003).



Figura 4.4 Manchas de mofo pela umidade (CONSTRUDEIA, 2013).

4.2.3 EFLORESCÊNCIA

“A eflorescência é decorrente de depósitos salinos principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalinos-terrosos (cálcio e magnésio) na superfície de alvenarias, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais e/ou componentes da alvenaria e pisos” (BAUER, 2008).

Devido a umidade e ascensão da água, são carregados sais provenientes do próprio solo e atmosfera ou até mesmo dos materiais de construção utilizados, como cimentos, areias, argamassas e concreto, os quais se cristalizam na superfície de alvenarias, pisos e tetos (RODRIGUES, 2016). Segundo Silva e Oliveira (2018), podem além de alterar a aparência dos elementos afetados, surgindo trechos esbranquiçados, também causar sua degradação, como demonstrado na Figura 4.5. Pode ocorrer o descolamento de cerâmicas, azulejos e pastilhas.



Figura 4.5 Eflorescência: a) piso (TOTALCONTRUÇÃO, 2020); b) parede (VIVADECORA, 2022).

4.2.4 CARBONATAÇÃO DO CONCRETO E CORROSÃO DAS ARMADURAS

Para que a carbonatação aconteça, três fatores precisam estar dentro do concreto: umidade, gás carbônico e oxigênio. De acordo com Fernandes et al. (2019), devido a reação de dióxido de carbono na atmosfera com os compostos do cimento nas superfícies expostas do concreto, é formado o carbonato de cálcio, propiciando a diminuição de sua alcalinidade.

Com o tempo, acaba sendo iniciado o processo de corrosão das armaduras, provocada em função da presença da umidade, de eletrólito, agentes agressivos, do oxigênio e da diferença de potencial, formando óxidos/hidróxidos de ferro (AMARIO, 2021).

Portanto o processo de carbonatação das estruturas de concreto consiste na diminuição da alcalinidade do concreto com o tempo. Essa diminuição deve-se à reação que ocorre devido ao contato entre o componente de caráter básico em maior quantidade (Ca(OH)_2) do concreto com o CO_2 e eventuais gases ácidos (SO_2 e H_2S) presentes na atmosfera. O hidróxido de cálcio ao reagir com o gás carbônico, na presença de água, forma o carbonato de cálcio (CaCO_3), que possui pH baixo, favorecendo a corrosão da armadura. A reação principal acontece da seguinte forma (FERREIRA, 2000). Esse fenômeno pode ser visto na Figura 4.6.



Figura 4.6. Carbonatação do concreto (TECNOSIL, 2023).

A corrosão da armadura é analisada como uma relação destrutiva de um material com o meio ambiente, como consequências de natureza química ou eletroquímica. Os problemas nas armaduras podem provocar problemas na estrutura, como manchas, fissuras e destacamento do concreto de cobertura. Por ser um mecanismo eletroquímico, sua reação corrosiva se estabelece em presença de água ou ambiente úmido (HELENE, 1992).

Um motivo fundamental a ser considerado, é a penetração de cloretos proveniente do contato direto com a água do mar ou maresia. No estado sólido, os íons implantam-se gradativamente na superfície do concreto. Outro fator determinante para o aparecimento desse problema é a falta de cobertura da armadura.

Sendo assim, a corrosão em armaduras de concreto ocorre em locais mais expostos à umidade ou em regiões com falhas de concretagem que pode ocasionar a penetração de agentes agressivos. (COPLAS, 2021).

4.2.5 FISSURAS

Segundo Thomaz (1996), o aumento do teor de umidade provoca variações dimensionais nos materiais porosos integrantes dos elementos construtivos, enquanto a redução do teor de umidade é responsável pela contração do material, tais movimentos podem provocar fissuras nos materiais, chamadas fissuras higroscópicas.

Devido a alterações na umidade higroscópica, a qual altera a dimensão dos materiais de alta porosidade empregados na construção, é ocasionada a contração ou expansão do material, contribuindo assim para o surgimento de fissuras, principalmente caso possua alguma restrição de movimentação (THOMAZ, 1996).

4.2.6 DEGRADAÇÃO DE REVESTIMENTO E PINTURA

Essa manifestação patológica é provocada devido a ação direta da água, como vazamentos provenientes de tubulações hidráulicas ou infiltrações de água sobre materiais e locais que não estão protegidos, ou pela ação dos sais presentes na composição dos materiais de construção empregados, de acordo com Trento (2019). Com isso resultará em danos às pinturas através de esfrelamentos e desagregação.

Em relação à deterioração de revestimentos, ela pode ocorrer devido ao acúmulo de fluidos possibilitando o surgimento de manchas d'água na superfície dos revestimentos cerâmicos, afetando esteticamente a edificação ou até mesmo apresentar riscos à segurança dos habitantes (FERNANDES et al., 2019). Ela pode surgir através de deslocamentos causado pela criptoflorescência, que em virtude do acúmulo de umidade, os sais do interior de alvenarias aumentam de volume e expandem, separando e diminuindo a coesão do material que reveste a parede (Figuras 4.7a e 4.7b).

Pode-se mencionar como causas também as movimentações do suporte, variações de temperatura, negligências como assentamento sobre superfície contaminada, argamassa colante com tempo aberto excedido ou pelo traço inadequado da argamassa VIEIRA, 2020).



(a)

(b)

Figura 4.7 Desplacamento (a) cerâmico (REMASTER, 2020); (b) pintura (DANSOLUÇÃO, 2022).

5 CARACTERÍSTICAS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

São diversos materiais comercializados para a utilização em impermeabilização de edificações. Neste capítulo serão abordadas as características de três sistemas de impermeabilização flexíveis, sendo que dois deles são utilizados com recorrência na impermeabilização de lajes de estacionamento na construção civil brasileira: a manta asfáltica e a membrana de poliuretano, e um sistema de impermeabilização considerado inovador para este uso, a base de silicato bioquimicamente modificado.

5.1 MANTA ASFÁLTICAS

De acordo com Barros (2020), o sistema de impermeabilização com manta asfáltica, devido à sua grande confiabilidade, é um dos sistemas mais usados na construção civil. Além disso, já possui um método executivo disseminado com mão de obra especializada e material suficiente a demanda. Esse produto garante a estanqueidade da estrutura e se adaptam bem às movimentações sofridas por ela.

As mantas asfálticas são classificadas como sistemas de impermeabilização flexíveis, como visto anteriormente. Segundo o SIDUSCON-MG (2016), é um produto industrializado com dimensões pré-definidas de fábrica, comercializado na forma de rolos, podendo ser aplicada com asfalto quente ou com maçarico. Possui o asfalto modificado como base, além de polímeros e estruturantes em fibra de vidro, poliéster ou polietileno.

Segundo a fabricante Vedacit (2016), mantas asfálticas “trata-se de um sistema de impermeabilização industrializada por calandragem do asfalto modificado e estruturado com armadura de poliéster ou fibra de vidro”. O processo consiste no aquecimento do asfalto por volta de 200 °C, o qual posteriormente é armazenado em um tanque onde é inserido o estruturante que fica impregnado pelo asfalto. Depois, entra em um processo que define a espessura da manta e o posicionamento do estruturante, para por fim ser resfriado, ocorrer a aplicação do material de acabamento e, por último, o embobinamento.

As mantas asfálticas têm como principais características a alta resistência aos esforços mecânicos, elevada flexibilidade, elevada durabilidade, estabilidade térmica e dimensional, alta resistência no funcionamento estático e dinâmico (GUARIZO, 2008). Por isso, os principais locais recomendados para sua aplicação, segundo Menezes (2019), são diversos; abrangendo desde lajes de pisos, coberturas e lajes em geral, áreas molhadas e molháveis, piscinas, até reservatórios elevados e pisos de estacionamentos.

Esse tipo de impermeabilização pode ainda ser classificado como plastomérico ou elastomérico. O primeiro é obtido com o acréscimo de substâncias que fazem com que o sistema apresente boa resistência mecânica, térmica e química, as substâncias adicionais que compõem. Já o segundo tipo, fazem com que a manta seja mais elástica (BARBOSA, 2018).

As mantas asfálticas são classificadas baseando-se em dois parâmetros fundamentais que caracterizam sua efetividade: tração e alongamento. Tais características são organizadas em tipos I, II, III e IV (Quadro 5.1), e pela sua flexibilidade a baixa temperatura em classes A, B e C. Elas podem ter acabamento superficial de diferentes tipos, de acordo com a NBR 9952 (2014 – Manta asfáltica para Impermeabilização), sendo: granular, geotêxtil, metálico, polietileno, areia de baixa granulometria e plástico metalizado.

Outros tipos de acabamento também podem ser utilizados, desde que atendam aos requisitos mínimos desta norma NBR 9952 (ABNT, 2014). Os fatores que irão condicionar a escolha da classe e tipo de manta mais adequado a determinado local são fatores como presença de trânsito de pedestres ou veículos, exposição ao sol e água e movimentação estrutural. A mesma norma estabelece desempenhos mínimos às diferentes categorias de massa asfáltica, independentemente do polímero utilizado em sua composição, objetivando definir uma durabilidade do sistema no dimensionamento do projeto de impermeabilização. O Quadro 5.1 demonstra as classificações das mantas com suas características e indicações de aplicabilidade.

Quadro 5.1. Classificação das Mantas Asfálticas

TIPO	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
I	São mantas de desempenho básico. Com resistência mecânica e elasticidade mais baixas, são indicadas para locais com pouco trânsito e carregamentos livres. Este tipo não é usado nas obras brasileiras praticamente não é usado nas obras brasileiras.	Pequenas lajes não expostas ao sol, banheiros, cozinhas, varandas, baldrames, vigas-calha, etc.
II	Produto com resistência mecânica adequada a solicitações leves e moderadas, como o de áreas internas residenciais, pequenas lajes e fundações. Também podem ser usadas em impermeabilizações com mantas duplas.	Lajes sob telhados, banheiros, cozinhas, varandas, baldrames, etc.
III	Mantas de elasticidade e resistência mecânica elevadas, desenvolvidas para a impermeabilização de estruturas sujeitas a movimentações e carregamentos típicos de um edifício residencial ou comercial.	Lajes maciças, pré-moldadas, <i>steel deck</i> , terraços, piscinas, camadas de sacrifício em sistemas de dupla manta etc.
IV	Trata-se de material de alto desempenho e maior vida útil. São indicados para estruturas sujeitas a maiores deformações por dilatação ou por grandes cargas, como obras viárias e de infraestrutura.	Lajes de estacionamentos, tanques e espelhos d'água, túneis, viadutos, rampa, helipontos, etc.

A Figura 5.1 relaciona a classificação com seus parâmetros de ensaio, conforme a NBR 9952 (ABNT, 2014).

Ensaio		Unidades	Tipos			
			I	II	III	IV
Espessura (mínimo)		mm	3 mm	3 mm	3 mm	4 mm
Resistência à tração e alongamento - (longitudinal e transversal)	Tração (mínimo)	N	80	180	400	550
	Alongamento (mínimo)	%	2	2	30	35
Absorção d'água – Variação em massa (máximo)		%	1,5	1,5	1,5	1,5
Flexibilidade a baixa temperatura	Classes	A	- 10	- 10	- 10	- 10
		B	- 5	- 5	- 5	- 5
		C	0	0	0	0
Resistência ao impacto a 0°C (mínimo)		J	2,45	2,45	4,90	4,90
Escorrimento (mínimo)		°C	95	95	95	95
Estabilidade dimensional (máximo)		%	1%	1%	1%	1%
Envelhecimento acelerado	Mantas asfálticas expostas	Os corpos-de-prova, após ensaio, não devem apresentar bolhas, escorrimento, gretamento, separação dos constituintes, deslocamento ou delaminação.				
	Mantas asfálticas protegidas ou autoprotégidas					
Flexibilidade após envelhecimento acelerado	Classes	A	0	0	0	0
		B	5	5	5	5
		C	10	10	10	10
Estanqueidade (mínimo)		m.c.a.	5	10	15	20
Resistência ao rasgo (mínimo)		N	50	100	120	140

Figura 5.1 Parâmetros de ensaio das classificações das mantas asfálticas NBR 9952 (ABNT, 2014).

5.1.1 MATERIAIS

De acordo com Figueiredo (2016), a estrutura básica das mantas asfálticas são produtos à base de asfalto modificado e polímeros estruturados. Para oferecer a característica de impermeabilização é adicionado o asfalto, já que possui naturalmente essa característica. Embora o asfalto seja o material principal da composição, são os materiais adicionados que dão ao material petroquímico as propriedades de desempenho necessárias para cumprir sua função, como flexibilidade em baixas temperaturas, alongamento, resistência ao escorrimento e à fadiga mecânica e envelhecimento. Como em todos os processos químicos, o balanceamento correto entre os compostos é o que confere o desempenho esperado.

Esse balanceamento entre o asfalto e polímeros é, sem dúvida alguma, o fator que mais confere interferência direta no desempenho final. Ainda, de acordo Silva et al. (2003) “os

principais compostos empregados são elastoméricos (SBS, estireno-butadienoestireno) e plastoméricos (APP, polipropileno atático). Os primeiros dão resistência de 80°C de temperatura de escorrimento, enquanto os plastoméricos podem chegar à 130°C. Há ainda os asfaltos policondensados (sem polímeros, apenas cimento asfáltico), que resistem entre 80°C e 95°C”.

Outros materiais constituintes do sistema como um todo, além do material asfáltico, variam de acordo com a necessidade, porém os materiais complementarem geralmente são filme polietileno, borracha, poliéster e fibras de vidro. Cada um desses materiais estruturantes possui características próprias, podendo conferir à manta asfáltica maior resistência à perfuração, menor custo, ou maior resistência ao puncionamento, entre outras características. (FIBERSALS, 2019).

5.1.2 MÉTODO EXECUTIVO

Inicialmente, deve-se realizar a limpeza do substrato a receber a aplicação. Esse procedimento é imprescindível para garantir a boa adesão do material à superfície e conseqüentemente a obtenção de bons resultados. Além disso, deve-se remover ou tratar qualquer interferência que venha a prejudicar a eficiência do sistema impermeabilizantes, por exemplo: para ferros expostos devem ser previstos tamponamento dos furos das barras de ancoragem com produto adequado. Outra verificação de suma importância é a checagem por manifestações patológicas de qualquer espécie, como realizar o tratamento de trincas e fissuras em estrutura de concreto (caso houver) além de promover a escariação e limpeza das trincas ou fissuras. Além disso, é preciso observar que a aplicação das mantas asfálticas só deve ser realizada após 28 dias da cura do concreto (VIAPOL, 2017).

“O substrato deve se encontrar firme, coeso, seco, regular, limpo, isento de corpos estranhos, restos de fôrmas, pontas de ferragem, restos de produtos desmoldantes ou impregnantes, falhas e ninhos, com declividade nas áreas horizontais de no mínimo 1 % em direção aos coletores de água. Para calhas e áreas internas é permitido o mínimo de 0,5 %. Cantos devem estar em meia cana e as arestas arredondada” (ABNT, 2008).

Após a realização dos serviços preliminares, deve-se dar sequência com a aplicação do primer (Figura 5.2), que é uma tinta de ligação que garantirá a adesão entre a manta e o local de aplicação. Aplicar uma demão do produto de imprimação com rolo de lã de carneiro, broxa ou trincha, de forma homogênea, aguardando a sua secagem NBR 9574 (ABNT, 2014). Normalmente, utiliza-se o primer fornecido pelo fabricante.

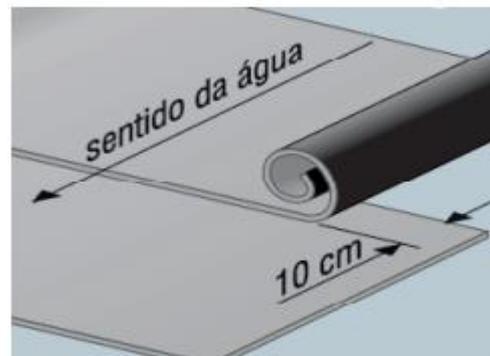


Figura 5.2 Imprimação com rolo de lã de carneiro (FREIRE, 2007).

Quando o primer estiver seco, deve-se desenrolar a manta asfáltica e a posicionar sob o local de instalação. Com a ajuda de um maçarico, a manta deve ser colada na superfície de aplicação através do seu aquecimento, de modo a se obter uma melhor aderência da manta com a superfície (Figura 5.3a). Para fazer o arremate, a intensidade da chama do maçarico deve ser diminuída. Com a espátula, a manta deve ser assentada de forma que fique bem fixa, sem vãos por onde possa entrar água. Quando um rolo de manta terminar, desenrola-se outra manta e realiza a soldagem sobre a outra. Nas emendas, é preciso sobrepor uma manta sobre a outra. As sobreposições devem ser no mínimo de 10 cm, formando uma “escada” descendente no sentido do fluxo de água (ABNT, 2014), como demonstrado na Figura 5.3b.



a)



b)

Figura 5.3a Aplicação manta asfáltica com maçarico (PORTOGENTE, 2019);

Figura 5.3b Detalhe de sobreposição de manta (VEDACIT, 2016).

A norma informa que a aplicação pode ser feita de quatro modos distintos: Aplicada com chama de maçarico a GLP, aplicada com asfalto a quente, aplicada com adesivos e auto-adesivas. Para cada uma delas, a norma indica o procedimento de arremate na aplicação, de forma que as sobreposições sejam unidas de maneira segura. Rodapé, soleiras, ralos, juntas de dilatação e peças que atravessam a cobertura são comumente executados com esse sistema de

impermeabilização de mantas asfáltica e tem suas aplicações específicas abordado nos detalhes construtivos no item 3.8.

Após a instalação da manta asfáltica na área a ser impermeabilizada, é necessário a realização do teste de estanqueidade. Segundo o fornecedor e fabricante Viapol (2017), “para cada manta, enche-se os locais impermeabilizados com água, mantendo o nível por no mínimo 72 horas (Figura 5.4). Recomenda-se lâmina de 10 cm de água no ponto mais alto da área impermeabilizada”. Após o teste e com a superfície já seca, aplicar um banho de asfalto em todas as emendas para reforço e correção de possíveis falhas de colagem da manta. Caso houver pontos de correção e falhas de colagem da manta, após os reparos, deve-se executar novamente os testes de estanqueidade para dupla verificação.

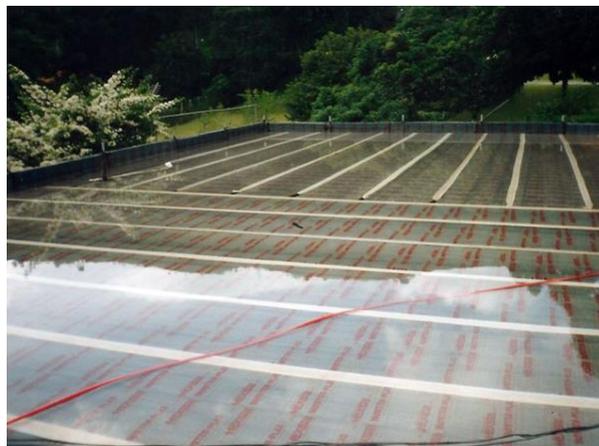


Figura 5.4 Teste de estanqueidade manta asfáltica (DISTEL, 2016).

Por fim, dentro do sistema de impermeabilização é aplicada a camada de proteção mecânica da manta, que pode ser feita com argamassa de cimento e areia ou concreto armado. Essa camada é importante porque absorve e ajuda a dissipar esforços estáticos ou dinâmicos que acontecem na área impermeabilizada, formando uma verdadeira barreira de proteção. Isso evita que esta seja danificada pela ação do tempo (especialmente raios solares), tráfego de veículos e pessoas, além de queda de objetos sobre sua superfície.

Esta proteção mecânica normalmente é feita sobre uma camada separadora e/ou drenante de papel kraft ou feltro asfáltico, entre a manta e a camada protetora. Se a área não for acessível (não há tráfego sobre ela), pode-se utilizar proteção mecânica com material solto, como brita, argila expandida, dolomita, entre outros (SCHEIDEGGER, 2019).

As camadas de proteção mecânica são classificadas em (MC-BAUCHEMIE, 2020):

- a) Camada de proteção primária, quando é aplicada como uma função temporária, para proteger a impermeabilização durante um período até que a camada de contrapiso seja instalada;
- b) Camada de proteção definitiva, quando a camada já atua como um contrapiso para assentamento ou colocação do revestimento de piso;
- c) Camada de proteção acabada, quando a argamassa além de proteção, atua também como piso final (cimentado). Neste caso, é importante considerar as juntas de movimentação.

Segundo a NBR9574 (ABNT, 2014), “Deve haver proteção quando sujeita à incidência dos raios ultravioleta e proteção mecânica estruturada com tela de fios de arame galvanizado ou plásticos nas áreas verticais”. A Figura 5.5 ilustra as camadas de um sistema de manta asfáltica.

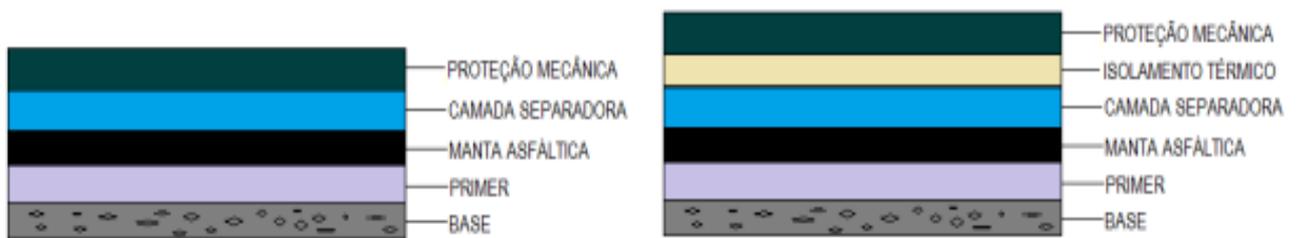


Figura 5.5 Etapas e camadas em impermeabilização em manta asfáltica (JOFFILY, 2013).

5.1.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

As principais vantagens do uso da manta asfáltica em relação aos demais tipos de impermeabilização em edificações são (SOUZA, 1997):

- a) Maior desempenho devido à presença de polímeros no asfalto;
- b) Maior resistência aos raios UV;
- c) Maior elasticidade;
- d) Maior resistência à fadiga.

As principais desvantagens do uso da manta asfáltica, em relação aos demais tipos de impermeabilização em edificações são (SOUZA, 1997):

- a) Vida útil de 5 a 10 anos em média;
- b) Necessidade de mão de obra especializada;
- c) Necessidade de regularização e proteção mecânica;
- d) Dificuldades de execução em ambientes de formato complexo.

5.2 MEMBRANA DE POLIURETANO

É uma impermeabilização moldada *in loco*, que consiste na aplicação de um produto impermeabilizante líquido bicomponente (A+B, hidroxila + isocinatos), que são misturados e formam uma membrana impermeável e resistente com grande capacidade de aderência a variados substratos (AEI, 2021), que depois de seco se converte numa membrana.

5.2.1 MATERIAIS

Em geral, as membranas de poliuretano são bicomponentes formados pela reação de um componente formado por hidroxilas (polióis) e outro formado por isocianatos, ambos líquidos com baixa viscosidade. Depois de misturados tem-se o tempo de manuseio para o espalhamento da solução no substrato. “Formam membranas flexíveis que apresentam grande estabilidade química, elasticidade, resistência a temperaturas elevadas e aderência a diversas superfícies” (CICHINELLI, 2013). No mercado a solução de hidroxila é conhecida como composto A e a de isocianatos como composto B, cada um com suas características específicas (Quadro 5.2).

Quadro 5.2 Compostos da membrana de poliuretano (VILLAR, 2002).

COMPONENTES	A	B
Soluções	A base de polioliol (hidroxila) (**)	A base de isocianatos (***)
Informações	Trata-se da solução que normalmente dá origem às espumas flexíveis	Trata-se de um complemento do impermeabilizante com a função de cataboliza-lo, isto é, fazer com que ele endureça rapidamente
(*) Ambos os compostos são inicialmente do estado líquido e depois de misturados a solução é catabolizada e após o tempo de manuseio se torna sólida	(**) Possui elevada elasticidade, boa resistência química e ao ser misturado com o componente B ele ganha propriedades de aderência ao substrato e cura rápida	(***) É necessário pois caso não for misturado com o impermeabilizante, mesmo depois de aplicado, o composto A continuará na sua forma inicial, ou seja, no estado líquido

Pela flexibilidade característica, são sistemas indicados para estruturas sujeitas a movimentações, vibrações, insolação e dilatações e contrações decorrentes de variações térmicas (CICHINELLI, 2014). Nessa linha, Ferreira (2012) acrescenta que o sistema de membrana de poliuretano pode ser utilizado em lajes e áreas molháveis, tanques de efluentes industriais e esgotos e reservatórios de água potável.

Segundo Fibersals (2021), possui as características de ser aplicado de maneira monolítica, dispensando juntas de dilatação e emendas, e por apresentar uma camada final fina e flexível capaz de acompanhar as movimentações dos elementos construtivos. Além disso, resiste à pressão hidrostática bilateral, água de percolação, de condensação e umidade ascendente do solo (FREIRE, 2007).

Para o uso do poliuretano é necessário levar em consideração a classificação quanto a sua área de aplicação por kg/m² (Tabela 5.1), conforme a Denver (2017).

Tabela 5.1 Classificação do poliuretano quanto ao local de aplicação (DENVER, 2017).

Local de aplicação	Área x Consumo (kg/m²)
Tanques e reservatórios	4,0
Áreas frias, jardineiras e áreas internas não sujeitas a movimentações por efeito térmico (*)	1,6
Lajes, marquises, calhas piscinas e áreas sujeitas a grandes movimentações por efeito térmico (**)	2,5
(*) Sem tela de poliéster	(**) Com 1 tela de poliéster

Levando em consideração a classificação da área de aplicação por kg/m², comercialmente existem três tipos diferentes de poliuretano, conforme apresentado na Tabela 5.2:

Tabela 5.2 Classificação do poliuretano quanto ao local de aplicação (POXPUR, 2014).

Poliuretano	PU-150	PU-250	PU-400
Informações	Produto com 150% de alongamento	Produto com 250% de alongamento	Produto com 400% de alongamento
	Indicado para áreas de pequenos vãos entre juntas	Indicado para áreas com vão de até seis metros de distância entre as juntas	Indicado para grandes áreas onde a movimentação exige mais dos produtos
	1,5 kg/m ²	2,5 kg/m ²	4,0 kg/m ²

5.2.2 MÉTODO EXECUTIVO

Para a aplicação do poliuretano é necessário limpar a superfície, deixando-a seca, completamente curada, isenta de óleos, graxas e partículas soltas de qualquer natureza. Caso a superfície não esteja conforme (lisa), deve-se executar a regularização (Figura 5.6a), calafetando os ralos, juntas e trincas com argamassa de Proporcionamento 1:3 (cimento:areia) (DENVER, 2017).

Depois do preparo da superfície é feita a mistura dos componentes A e B (Figura 5.6b), em seguida é aplicada a primeira demão (DENVER, 2017). Caso necessário, aplicar sobre a superfície uma demão de imprimação e aguardar a secagem antes de aplicar a primeira demão do poliuretano.



Figura 5.6a Preparação da superfície (ALMEIDA, 2019);

Figura 5.6b Mistura dos componentes poliuretano (CARVALHO, 2018).

Após a aplicação da primeira demão, é necessária a colocação da tela de poliéster nos rodapés (Figura 5.7), ralos e tubulação passante da superfície com intuito de agir como estruturante para impermeabilização. Em seguida se aplica as eventuais demãos adicionais nos rodapés, ralos e tubos emergentes até o total recobrimento do véu de poliéster (DENVER, 2017).



Figura 5.7 Colagem da tela de poliéster nos rodapés (CARVALHO, 2018).

Caso o intervalo entre uma demão e outra for superior a 72 horas, é necessário lixar a superfície para dar aderência a próxima demão, caso contrário não terá ligação entre as camadas (EBI, 2016). A garantia civil da impermeabilização por membrana de poliuretano é de 5 anos, porém algumas empresas oferecem 15 anos de garantia em seus produtos de poliuretano.

A Figura 5.8 ilustra a execução da impermeabilização de uma laje com membrana de poliuretano.



Figura 5.8. Execução de membrana de poliuretano (ALMEIDA, 2019).

Após serem aplicados as seguintes demãos segundo o manual do produto e o cobrimento das telas de poliéster, é feita a proteção da superfície de acordo o projeto. Normalmente é feita uma camada fina de areia (Figura 5.9). Se a área impermeabilizada for receber acabamento de placas cerâmicas, será necessário a aplicação de uma camada de areia fina enquanto a última demão ainda estiver no estado líquido, com o intuito de criar aderência entre a superfície e o revestimento.



Figura 5.9 Aplicação de areia fina sobre o poliuretano (CARVALHO, 2018).

Na execução de impermeabilização com membrana de poliuretano, o tratamento da junta de dilatação é realizado utilizando um limitador de profundidade impermeável e flexível (normalmente de polietileno - tarucel) dentro do vão da junta. Após esse procedimento, é aplicado o primer nas laterais da junta e, quando secar, é realizado o preenchimento do vão com selante de PU ou mastique, como explicado pelo Eng. Silvio de Andrade e ilustrado na Figura 5.10.

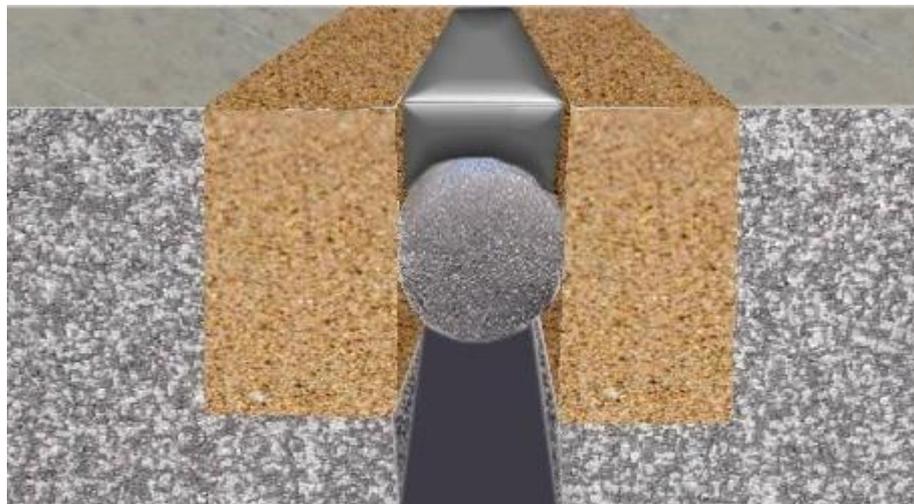


Figura 5.10 Tratamento de junta na impermeabilização de membrana de poliuretano (SASOLUÇÕES, 2016).

5.2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Denver (2017) lista as seguintes vantagens para o sistema:

- a) Produto autonivelante;

b) Fácil aplicação com rolo, trincha, rodo ou vassoura de pelo, sem emendas e molda facilmente a superfície, cura rápida;

c) Aplicado a frio, forma uma membrana monolítica flexível de excepcional resistência à exposição ultravioleta e ao meio agressivo, conferindo elevada vida útil.

Alguns pontos negativos foram levantados por Quini e Ferraz (2015):

a) A aplicação requer cuidados quanto a mistura;

b) Em caso de pressão negativa deve ser usado um primer para evitar o deslocamento da membrana;

c) Não pode ser aplicado diretamente sobre substrato úmido.

5.3 SILICATO BIOQUIMICAMENTE MODIFICADO

Após muitos anos em que os sistemas tradicionais de impermeabilização dominavam o mercado da construção civil, com o aumento da competitividade, importância com a otimização do serviço e elevada preocupação com o meio ambiente, criou-se oportunidades e necessidades para surgimentos de novos métodos impermeabilizantes. Este item apresentará um inovador método impermeabilizante, ainda pouco difundido no mercado nacional, que abrange essas importantes características na execução do serviço de impermeabilização.

O produto se apresenta há mais de 40 anos no mercado mundial uma evolução em tecnologia de proteção em impermeabilização de estruturas de concreto, uma vez que não é necessário a utilização de membrana ou de proteção mecânica para garantir a estanqueidade ou proteção da estrutura de concreto. No Brasil o Sistema de Silicato Bioquimicamente Modificado, apresenta seus resultados de proteção e impermeabilização de estruturas de concreto há mais de 20 anos, porém ainda não muito disseminado no Brasil.

5.3.1 MATERIAIS

O produto é uma solução de silicatos bioquimicamente modificados que fornece impermeabilização de longo prazo e benefícios para a durabilidade de estruturas em concreto. O produto quando aplicado na estrutura, penetra no concreto curado e reage à temperatura ambiente com os íons de Cálcio Livre da hidratação do cimento e água. A solução resulta um Complexo de Silicatos de Cálcio Hidratado, sob a forma de um gel flexível, que penetra nos poros, fissuras e capilares, formando uma barreira sob a superfície que impedirá a penetração de água e elementos agressivos ao concreto (ALCHEMCO, 2023).

O produto impermeabilizante tem como principal característica reagir quimicamente com o cálcio livre presente na pasta de cimento, produzindo o gel C-S-H, fundamental para manter o concreto são.

Por possuir um PH igual a 11,7, o silicato bioquimicamente modificado auxilia na conservação do pH do concreto elevado, mantendo desta forma as condições propícias para a manutenção da passivação das armaduras.

As Figuras 5.11 e 5.12 ilustram como funciona a reação quando o produto é aplicado no concreto e a posterior hidratação do sistema.



Figura 5.11 Processo químico do produto com o cálcio livre do concreto na aplicação do produto (ALCHEMCO, 2023).

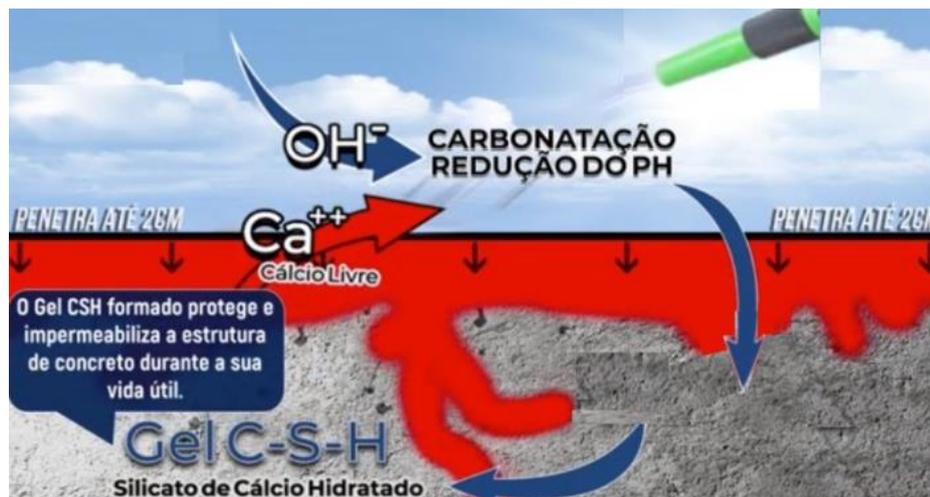


Figura 5.12 Processo químico do produto com o cálcio livre do concreto na hidratação formando o gel C-S-H (ALCHEMCO, 2023).

Segundo informações e ensaios fornecidos pelo fabricante, o silicato bioquimicamente modificado penetra até 20mm dentro do concreto, nas fissuras e trincas passivas que já existem

ou venham a ocorrer. Ao reagir com o cálcio livre da pasta de cimento, forma o gel C-S-H quando em contato com a umidade, que tampona os poros vazios e capilares presentes dentro da estrutura física do concreto, impermeabilizando-o e protegendo-o contra diversas agressividades presentes no ambiente. Essa reação química não se desgasta com o passar do tempo e desta forma há uma proteção contínua.

Com isso, o produto proporciona propriedades regenerativas definitivas (auto cicatrizantes ativas), uma vez que a formação do gel C-S-H permanece ativa ao entrar em contato com a umidade, permitindo acompanhar o trabalho realizado pela estrutura de concreto armado, vedando poros, vazios, capilares, fissuras passivas existentes de até 2,0mm e, após a realização da aplicação, fissuras futuras passivas de até 0,4mm de largura.

De acordo com a fabricante, além de impermeabilizar a estrutura, esse material ao retirar o cálcio livre de até 20mm da sua superfície do concreto, acaba por impedir que agentes agressivos do meio ambiente reajam com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento e iniciem o processo deletério da estrutura de concreto armado. Como reações de eflorescência e carbonatação necessitam do cálcio para ocorrer, e uma vez que o cálcio não esteja disponível ou com quantidade reduzida disponível, essas reações não ocorrem ou com incidência muito branda (ALCHEMCO, 2023).

As informações obtidas com o fabricante permitem dizer que realmente é um sistema de proteção e impermeabilização de concreto ativo, ou seja, possui uma determinada capacidade de acompanhar as movimentações da estrutura e formar o gel C-S-H enquanto a estrutura assim o permitir, fornecendo assim uma impermeabilização de longo prazo.

Outras características relevantes do silicato bioquimicamente modificado são que este líquido deve ser pulverizado na estrutura de concreto armado curado, o material é atóxico, inodoro, é ambientalmente correto, não gera resíduos, não altera a potabilidade da água e aumenta a resistência do concreto em 37% à ensaios de compressão axial (comparado a um corpo de prova de referência de 25MPa) e a abrasão.

O sistema de impermeabilização inovador necessita da utilização do poliuretano para complementar a estanqueidade nas estruturas que não são de concreto, tais como alvenaria, blocos, tubulações, além de ralos, cantos de parede, pilar e junta de dilatação, complementando assim o sistema de impermeabilização. O silicato bioquimicamente modificado somente pode ser utilizado na estrutura de concreto armado, em que reage com o seu cálcio livre e, ao entrar em contato com a umidade, forma o gel C-S-H que expande dentro dos poros vazios e capilares da estrutura, de acordo com a composição física interna da estrutura de concreto. A expansão

do gel C-S-H vai depender dos poros, vazios e capilares dentro da estrutura de concreto para ter espaço para se expandir.

Portanto, o tratamento da estrutura com o silicato bioquimicamente modificado tem como características (ALCHEMCO, 2023):

- a) Proteção Definitiva - ao entrar em contato com a umidade, há a formação do Gel C-S-H sob a superfície de concreto, essa reação não se desgasta com o passar do tempo, tornando o prazo da sua vida útil o mesmo da vida útil da estrutura, não sendo necessário reaplicação após decorrido algum período e estando em conformidade com a VUP Superior de acordo com a NBR 15.575 - Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais;
- b) Impermeabiliza Trincas Passivas Existentes com aberturas de até 2.0 mm; Impermeabiliza Fissuras Passivas Futuras (que ocorram após a sua aplicação) com aberturas até 0,4mm; - Em conformidade com a NBR 6118:2007;
- c) Penetração no Concreto - penetração média de 2 cm dentro do concreto;
- d) Não há a necessidade de camadas de regularização de superfície, camadas de drenagem, primers, camadas separadoras, ou camadas de proteção mecânica pois se incorpora ao concreto;
- e) pH altamente alcalino = 11,7, mantendo o pH do concreto elevado e conseqüentemente a passivação das armaduras;
- f) Aumento da Dureza do Concreto de 6 para 8 (na escala de dureza Moh), reduzindo o seu índice de fissuração, melhorando assim performance da estrutura;
- g) Redução de 89% do coeficiente de difusão de cloreto para 3,5 ($10^{-12}m^2/s$);
- h) Pressões Hidrostáticas Adequado para altas pressões (testado até 71,00 m de altura de coluna d'água), de acordo com a NBR 10.787:2011;
- i) O produto é reativado formando o gel C-S-H tanto com pressão hidrostática positiva e/ou negativa;
- j) Potabilidade da Água - Produto atóxico, adequada para aplicações em água potável, inodoro, incolor; em conformidade com a NBR 12.170:2017 - Materiais de impermeabilização - Determinação da potabilidade da água após o contato;
- k) Resistência Química a produtos químico com pH > 3,5;
- l) Abrasão - não se desgasta, pois, a formação do gel ocorre dentro do concreto;
- m) Não emissão de VOC (composto Orgânico Volátil);
- n) Resistência a Raios UV e a variação térmica;
- o) Sustentabilidade ambientalmente correto, certificação LEED;

- p) Não altera as características da superfície de concreto;
- q) Não forma filme ou película sobre a superfície e não gera resíduos;
- r) Não acrescenta sobrecarga ou espessura às áreas tratadas.

A utilização do produto é indicada para lajes de estacionamento, lajes de cobertura, plataformas e áreas de manobra, estruturas marinhas, atracadouros de navios, pátios industriais, reservatórios de água potável, estações de tratamento de efluentes, torres de resfriamento, clarificadores e estações de dessalinização, decantadores, tanques em geral, barragens, fachadas em concreto, arenas esportivas, obras de arte especiais, entre outras, prolongando assim a vida útil das estruturas de concreto, através da sua proteção e impermeabilização.

5.3.2 MÉTODO EXECUTIVO

A execução do sistema de impermeabilização a base de silicatos bioquimicamente modificados seguem os seguintes passos:

- a) Preparo da Superfície: O produto deverá ser aplicado à superfície do concreto estrutural:
 - i. Limpa e seca, livre de óleos e poeiras, com idade mínima de 28 dias;
 - ii. Quaisquer materiais que impeçam a penetração do produto (compostos de cura química, por exemplo) deverão ser removidos antes da aplicação do produto;
 - iii. Remover ponta de ferragens e madeiras totalmente, se não for possível, escariar 2 cm abaixo do nível da laje;
 - iv. Vazios de concretagem ou segregação aparentes devem ser escarificados e então tratados com o produto e reparados com groute cimentício estrutural antes da aplicação total da área;
 - v. Boas práticas na concretagem devem ser seguidas, como cura adequada, lançamento e vibração;
 - vi. Colocar a área em teste ou lavar com bomba de alta pressão antes da aplicação do produto, para verificação de fissuras, trincas e vazamentos;
 - vii. Visualizar parte inferior da laje para identificação de vazamentos;
 - viii. Usar fita adesiva na parte inferior para cobrir as trincas e fissuras aonde foram identificados os vazamentos mais importantes;
 - ix. Certifique-se que a área de trabalho esteja livre de veículos, se necessário, use plástico para cobrir os veículos.

A Figura 5.13 ilustra etapas desse processo inicial.



Figura 5.13. Limpeza da superfície e tratamento de ferragens no concreto (ALCHEMCO, 2023)

- b) Aplicação: O produto deverá ser aplicado à superfície de concreto:
- i. Sob a forma de spray - aspersor manual ou bomba motorizada de baixa pressão (agitar antes de utilizar);
 - ii. Localizar as fissuras existentes e aplicar o produto até a saturação (taxa de 3,0 metros lineares /litro);
 - iii. Aplicar o produto ao restante das áreas à taxa de: → 4,0 m/l para superfícies porosas; → 5,0 m/ l para superfícies regulares; → até 6,0 m/ l para superfícies espelhadas;
 - iv. Quando a superfície estiver seca ao toque (entre 02 e 06 - horas do início da aplicação, dependendo das condições de vento ou temperatura ambiente), hidratar generosamente as áreas tratadas. Se a superfície não estiver seca em até 06 horas, obrigatoriamente conduzir a hidratação;
 - v. 24 horas após a aplicação do produto, efetuar a 2ª hidratação. Caso necessário, proceder com o pré-tratamento utilizando o produto “Agente Acelerador” para restabelecer o nível de cálcio necessário para a reação com o silicato bioquimicamente modificado;
 - vi. 48 horas após a aplicação do produto, efetuar a 3ª e última hidratação. Executar o teste de estanqueidade por no mínimo 72 horas.

A Figura 5.14 mostra algumas etapas do processo de aplicação.



Figura 5.14 Aplicação do silicato bioquimicamente modificado e a 1ª hidratação (ALCHEMCO, 2023).

O produto “Agente Acelerador” é uma solução baseada em cálcio que pode ser utilizado como parte do Sistema de Impermeabilização, de forma a acelerar e potencializar o desempenho do silicato bioquimicamente modificado, na sua relação com a estrutura em que está sendo aplicado. O produto “Agente Acelerador” deve ser utilizado em estruturas de concreto mais antigas ou carbonatadas. Ele aumenta o nível de Cálcio na estrutura de concreto e permite uma efetividade maior do silicato bioquimicamente modificado.

A empresa Alchemco divulga que a taxa média de aplicação do produto é de 1.500m²/dia por aplicador.

É importante salientar a importância da utilização desse sistema para a proteção e aumento da vida útil da estrutura e não só para impermeabilização, para isso é essencial realizar a aplicação do produto o quanto antes após a cura do concreto, pois um de seus benefícios é reduzir a incidência de fissuras na estrutura. Aplicando o produto na estrutura após a cura do concreto, além de proteger e evitar algumas manifestações patológicas na estrutura, a obra continuará executando os seus serviços normalmente e poderá acompanhar o desempenho da proteção e impermeabilização aplicada no concreto durante o restante do tempo de execução do empreendimento e não somente como uma etapa final para entrega do empreendimento.

5.3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

As principais vantagens do sistema são (ALCHEMCO, 2023):

- a) Aplicação rápida e ágil;
- b) Maior performance e garantia;
- c) Custo de impermeabilização mais econômico do que os pares tradicionais;
- d) Maior durabilidade;

e) Facilidade de detectar e corrigir problemas na aplicação.

Alguns pontos negativos podem ser levantados (ALCHEMCO, 2023):

- a) Funcionamento apenas no concreto (não funciona no contrapiso, por exemplo);
- b) Não entrega acabamento estético, não altera aparência da estrutura;
- c) Área tem que estar seca para a aplicação.

5.4 COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Neste item são realizados comparativos entre os sistemas de impermeabilização flexíveis aplicadas com membrana poliuretano, manta asfáltica e o produto silicato bioquimicamente modificado.

5.4.1 ETAPAS NA EXECUÇÃO

O Quadro 5.3 mostra as etapas executivas de cada sistema impermeabilizantes para uma melhor comparação entre eles.

Quadro 5.3 Etapas de execução de cada impermeabilizante (adaptado CARVALHO, 2018).

Impermeabilizante	Etapas de execução
Manta asfáltica	1. Limpeza/regularização/arremate da superfície
	2. Aplicação do primer
	3. Aplicação do asfalto a alta temperatura (opcional)
	4. Aplicação da manta asfáltica
	5. Teste de estanqueidade
	6. Aplicação da camada separadora
	7. Aplicação da proteção mecânica
Membrana de poliuretano	1. Limpeza/regularização/arremate da superfície
	2. Aplicação da primeira demão
	3. Aplicação da tela de poliéster
	4. Aplicação das demais demãos
	5. Teste de estanqueidade (opcional)
	6. Aplicação de areia fina
Silicato Bioquimicamente Modificado	1. Limpeza/arremate da superfície
	2. Aplicação do produto
	3. 1a hidratação da área aplicada com água
	4. 2a hidratação da área aplicada com Agente Acelerador
	5. 3a hidratação da área aplicada com água

Partindo deste quadro e da execução realizada na obra, observa-se que a manta asfáltica possui detalhes construtivos mais complexos que a membrana de poliuretano. Enquanto a manta possui diversas camadas de diferentes materiais, o poliuretano possui um sistema monolítico, usando apenas um material, o que tecnicamente é mais fácil e rápido de se executar, além de diminuir a probabilidade de futuros problemas. Já o silicato bioquimicamente modificado, além de ter detalhes construtivos simplificados, o produto penetra no concreto e fica estanque em menos etapas.

5.4.2 CUSTO X PRODUTIVIDADE X ESPESSURA

Com o objetivo de realizar um levantamento de custos médios dos serviços de impermeabilização por manta asfáltica e membrana de poliuretano, foi realizada uma consulta com base nos valores da EMOP no mês mar/2023 para se obter um preço médio por metro quadrado. Na Tabela 5.3 estão os somatórios finais dos custos de cada método de impermeabilização.



16.021.0003-0

IMPERMEABILIZACAO COM MEMBRANA A BASE POLIURETANO VEGETAL,ISENTO DE SOLVENTES,BAIXO TEOR VOC,BICOMPONENTE,APLICADO A FRI Q,2 OU 3 DEMAOS,CONSUMO DE 2KG/M2,REFORCO TELA POLIESTER,APLICADA SOBRE 1ª DEMAQ,MALHA 2X2MM								
DATA	ESTADO	UNIDADE			PREÇO UNITÁRIO			
03/2023	Rio de Janeiro	M2			R\$ 215,41			
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TIPO	UNIDADE	VALOR UNIT	COEFICIENTE	PERCENTUAL	PREÇO UNITÁRIO	
I 01999	MAO DE OBRA DE SERVENTE DA CONSTRUCAO CIVIL, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	18.31	0,9000	3,0000	16,9734	
I 06914	MAO DE OBRA DE IMPERMEABILIZADOR, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	25.34	0,9000	3,0000	23,4902	
I 00988	TELA DE POLIESTER	Equipamento para Aquisição Permanente	M2	4.7881	1,1000	0.0	5,2569	
I 14299	MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE A BASE DE POLIURETANO VEGETAL, ISENTO DE SOLVENTES, COM BAIXO TEOR DE VOC BICOMPONENTE	Equipamento para Aquisição Permanente	KG	84.8377	2,0000	0.0	169,6754	

Figura 5.11 Tabela EMOP de custo serviço para membrana de poliuretano (EMOP, 2023).

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TIPO	UNIDADE	VALOR UNIT	COEFICIENTE	PERCENTUAL	PREÇO UNITÁRIO
C 07.002.0025-1	ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA, NO TRACO 1:3, PREPARO MECANICO	ARGAMASSAS, INJEÇÕES E CONSOLIDAÇÕES	m³	458,87	0,0150	0,0	6,8831
I 01968	MAO DE OBRA DE PEDREIRO, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	25,34	0,7200	3,0000	18,7921
I 01999	MAO DE OBRA DE SERVENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	18,31	0,6900	3,0000	13,0129
I 01999	MAO DE OBRA DE SERVENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	18,31	1,0400	3,0000	19,6137
I 06914	MAO DE OBRA DE IMPERMEABILIZADOR, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	25,34	1,0400	3,0000	27,1442
I 07254	PRIMER ASFALTICO A BASE DE AGUA OU SOLVENTE	Equipamento para Aquisição Permanente	L	17,4894	0,4000	0,0	6,9958
I 14293	MANTA A BASE DE ASFALTO MODIFICADO COM POLIMEROS, TIPO III-B, ESPESSURA DE 4MM	Equipamento para Aquisição Permanente	M2	46,0794	2,3000	0,0	105,9826
C 07.002.0030-1	ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA, NO TRACO 1:4, PREPARO MECANICO	ARGAMASSAS, INJEÇÕES E CONSOLIDAÇÕES	m³	439,05	0,0300	0,0	13,1716
I 01968	MAO DE OBRA DE PEDREIRO, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	25,34	0,5500	3,0000	14,3551
I 01999	MAO DE OBRA DE SERVENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL, INCLUSIVE ENCARGOS SOCIAIS	Equipamento	H	18,31	0,5500	3,0000	10,3726

Figura 5.12 Tabela EMOP de custo serviço para manta asfáltica (EMOP, 2023).

Na Figura 5.11 é detalhado as estimativas do custo da aplicação da membrana de poliuretano com seus respectivos valores de material, mão de obra e encargos. Já na Figura 5.12 está detalhado os valores para a aplicação de manta asfáltica, regularização, e proteção mecânica com material, encargos e mão de obra.

Para obter o preço médio de aplicação do produto a base de silicato bioquimicamente modificado, foi pedido à empresa que produz e aplica o produto, um orçamento para impermeabilização de uma laje de estacionamento.

Tabela 5.3 Custos totais por m² dos serviços de impermeabilização.

Impermeabilizante	Custo unitário (R\$/m ²)
Manta Asfáltica	236,33
Membrana de Poliuretano	215,41
Silicato Bioquimicamente Modificado	160

Pode-se observar que o custo para cada m² de área impermeabilizada aplicada com manta asfáltica, levando-se em consideração a mão de obra e o material, foi 9,7% maior do que com membrana de poliuretano. Enquanto o custo para cada m² aplicado do produto de silicato bioquimicamente modificado, foi 47,7% menor do que com a aplicada com manta asfáltica.

A Tabela 5.4 expõe a espessura da camada final da estrutura com a impermeabilização finalizada.

Tabela 5.4 Espessura acabada final por método de impermeabilização.

Impermeabilizante	Espessura final (cm)
Manta Asfáltica	10
Membrana de Poliuretano	0,25 (5 demãos)
Silicato Bioquimicamente Modificado	0

É possível observar-se que a espessura final da manta foi 40 vezes maior que a do poliuretano. Enquanto o produto de silicato não produz camada sob o concreto, trabalhando dentro dele.

Para consulta sobre as produtividades dos serviços de impermeabilização, neste caso colagem da manta asfáltica e aplicação de membrana de poliuretano, foi realizado uma entrevista com a Eng. Juliana, funcionária e sócia de uma empresa de impermeabilização no Rio de Janeiro, para uma aplicação de 2.000 m² (Tabela 5.5). A produtividade do produto Silicato Bioquimicamente Modificado foi divulgado pela empresa Alchemco Brasil.

Tabela 5.5 Produtividade por serviço de impermeabilização.

Impermeabilizante	Área de aplicação (m ²)	Dias úteis de execução	Funcionários (ajudante+profissional)	Área por tempo de aplicação (m ² /dia)
Manta Asfáltica	2000	10	2	200
Membrana de Poliuretano	2000	5,7	2	380
Silicato Bioquimicamente Modificado	2000	2	2	1500

Verifica-se então que o m² executado por dia de trabalho com poliuretano é quase o dobro do que o da manta asfáltica, porém deve-se considerar que não é aplicada apenas 1 demão de membrana de poliuretano para tornar a estrutura estanque. Por outro lado, ela não precisa de proteção mecânica como a manta asfáltica. Enquanto a aplicação do produto de silicato tem a produtividade 7,5 vezes maior do que a aplicação de manta asfáltica e não precisa de proteção mecânica.

5.4.3 VANTAGENS X DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Com os dados apresentados nos itens anteriores, pode-se elaborar um quadro comparativo entre vantagens e desvantagens dos sistemas em questão (Quadro 5.4).

Quadro 5.4 Comparativo das vantagens e desvantagens de ambos os impermeabilizantes.

	Vantagem	Desvantagem
Manta Asfáltica	Alta flexibilidade	Espessura final relevante
	Pode ser aplicada na laje sem a necessidade de que ela esteja lisa ou polida	Várias camadas de diferentes materiais
		Necessita de mão de obra especializada
		Necessita de proteção mecânica
		Aplicação demorada e perigosa pelo uso de maçarico.
		Precisa de emendas, muitos recortes em rodapés, cantos, ralos, tubulação
	Elevado custo para mão de obra e materiais	
		Precisa que a superfície esteja seca para aplicação
Membrana de Poliuretano	Espressura final irrelevante	Dependendo da superfície necessita de mais demãos, do que o calculado, até que a área fique homogênea
	Sistema monolítico sem emendas, moldada exatamente igual a superfície aplicada;	Precisa que a superfície esteja seca para aplicação
	Fácil aplicação	Precisa que a superfície esteja polida ou lisa o suficiente para aplicá-la
	Não necessita de proteção mecânica	
	Aplicação limpa, rápida e segura	
	Alta flexibilidade	
Silicato Bioquimicamente Modificado	Ambientalmente correto	Precisa que a superfície esteja seca para aplicação
	Aplicação limpa, rápida e segura	Seu desenvolvimento é superior apenas no concreto
	Vida útil alta vinculada ao concreto	Não entrega acabamento estético, não altera aparência da estrutura
	Menor custo de aplicação/material	
	Não necessita de proteção mecânica	
	Não necessita de regularização	
	Espressura final vinculada a estrutura	
	Mantém pH do concreto elevado, protegendo a passivação das armaduras	
	Excelente em áreas com grande variação térmica	
	Facilidade em detectar e corrigir problemas na aplicação	
	Única aplicação	

6 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

No presente capítulo é apresentado o um exemplo de aplicação em relação a uma execução de impermeabilização usando o produto de solução de silicato bioquimicamente modificado. Tal sistema impermeabilizante foi adotado em uma construção de uma edificação residencial de médio padrão na cidade do Rio de Janeiro, no bairro da Penha. Utilizando-se dos conhecimentos técnicos, normativos e adquiridos através da revisão bibliográfica, além do material e entrevistas realizados com o fornecedor e aplicador do material inovador em questão, pode-se discorrer sobre as motivações e vantagens para o emprego do sistema impermeabilizante para o local a ser protegido, destacando os procedimentos, materiais utilizados, detalhes e boas práticas executadas, acompanhados e supervisionados durante quase um ano de construção, inclusive, por meio de registros fotográficos.

Além disso, foi realizada uma avaliação dos custos, qualidade e produtividade comparativamente com outros sistemas impermeabilizantes tradicionais, como manta asfáltica e membrana de poliuretano.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

Como objeto de estudo da aplicabilidade do método executivo de impermeabilização, foi realizado o acompanhamento do serviço de impermeabilização de um empreendimento de uma construtora no bairro da Penha, especificamente de uma laje de estacionamento (Figura 6.1).

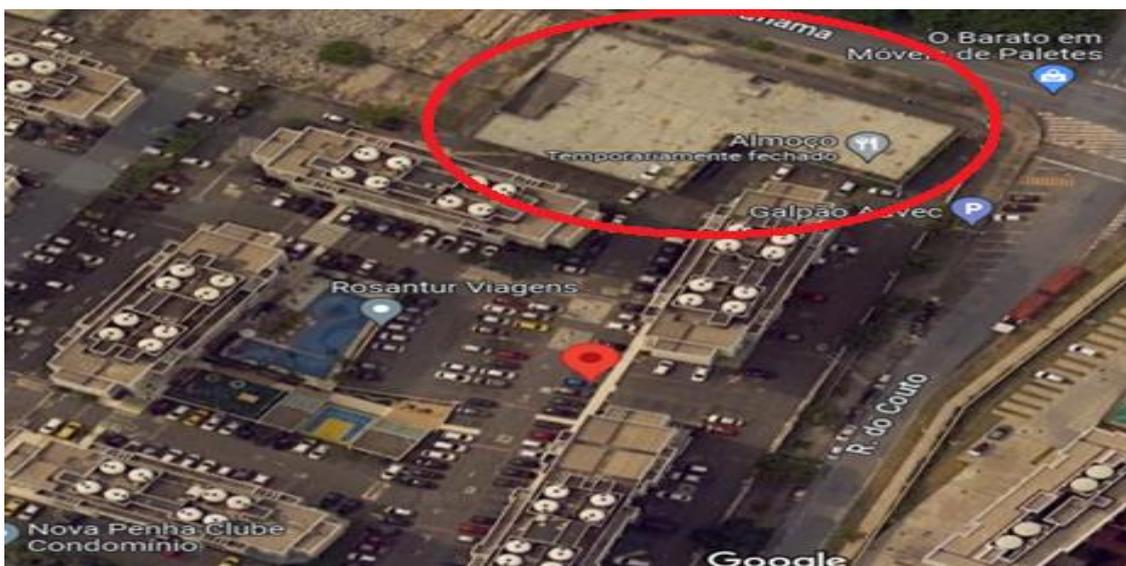


Figura 6.1 Localização da laje de estacionamento (adaptado de GOOGLE EARTH, 2023).

A área contratada para execução do serviço foi de 2.479 m² (Figura 6.2), com perímetro de 600m de encontros entre piso e parede. Segundo informações da empresa executora, o valor total do serviço de impermeabilização da laje de estacionamento foi de R\$396.640,00 corrigidos a valor presente. A média R\$/m² foi de R\$160,00 (valores para agosto de 2023).



Figura 6.2 Laje a ser impermeabilizada do empreendimento (AUTOR).

A equipe da empresa contratada para executar o serviço de impermeabilização da laje de estacionamento com o produto de silicato bioquimicamente modificado era constituída por 3 funcionários (1 profissional e 2 ajudantes). A duração total da execução foi de 14 dias e foi distribuído da seguinte forma:

- a) 3 dias para limpeza e preparação da estrutura:

Foi realizado o teste para determinar a capacidade do concreto para aceitar o produto e a inspeção prévia para identificar as condições do local, do concreto e possíveis defeitos na estrutura. Iniciou-se a limpeza e a organização da área com a preparação para a aplicação do produto. Aliado a isso, foi retirado todas as pontas de ferro, tintas, argamassas e foram escareados locais necessários para uma satisfatória aplicação do produto;

- b) 3 dias para a aplicação do produto (com 2 funcionários):

Realizou-se a divisão da área em planos menores para controlar o consumo do produto. Foi aplicado o produto nos locais escariados e cobriu-se com Groute. Após essa preparação, foi iniciado a aplicação do produto (Figura 6.3) em toda superfície, observando fissuras passivas e concentrando a aplicação nessas áreas.



Figura 6.3 Desenvolvimento da aplicação do produto na laje de estacionamento (AUTOR).

- c) 2 dias de hidratação da estrutura com o produto: Quando o produto aplicado na estrutura secou ao toque (entre 02 e 06 - horas do início da aplicação), iniciou o procedimento de hidratação do sistema nas áreas tratadas. Foi aguardado 24 horas após a aplicação do produto e realizou-se a segunda hidratação com o agente acelerador para restabelecer o nível de cálcio necessário para a reação com o silicato bioquimicamente modificado. Depois das 48 horas após a aplicação do produto silicato, foi efetuada a terceira e última hidratação.
- d) 3 dias para fazer os arremates de ralos e cantos de piso com parede com poliuretano (Figura 6.4): Após os tratamentos pontuais de fissuras ativas e passivas, das juntas de concretagem, furos de travamentos e falhas de concretagem, iniciou-se a aplicação do poliuretano nos ralos, base de pilar, tubulações e demais locais escareados. Foram aplicadas 3 demãos de poliuretano, até cobrir a rede de poliéster nesses locais.



Figura 6.4 Tratamento dos cantos entre piso e parede com aplicação de poliuretano (AUTOR).

- a) 3 dias teste de estanqueidade: Depois de finalizados o tratamento complementar dos locais detalhados com poliuretano e tela de poliéster, a estrutura ficou liberada para o teste de estanqueidade (Figura 6.5). O sistema ficou em teste durante 72 horas para a verificação de possíveis vazamentos e falhas na impermeabilização.



Figura 6.5 Teste de estanqueidade do sistema por 72 horas (AUTOR).

No teste de estanqueidade consegue-se identificar se alguma área não foi tratada corretamente. A vantagem do produto é a possibilidade de consertar pontualmente qualquer vazamento (diferente da manta, que a água pode percolar por vazios de aplicação). O produto demora alguns dias para selar completamente as trincas maiores. Posteriormente, a área foi liberada para outros serviços e o serviço de impermeabilização foi finalizado.

Foram observados pontos com margem para serem evoluídos. Um ponto foi que a liberação para aplicação do produto é feita apenas se a estrutura de concreto estiver seca, semelhante às tradicionais membranas de poliuretano e manta asfáltica. E outro ponto em

questão é que o produto só obtém performance satisfatória com concreto, realizando suas reações para a formação do gel. Quando se depara com outra superfície, é utilizado outro produto complementar ou então um aditivo.

6.2 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE OS SISTEMAS

Com o estudo de caso, foi possível obter alguns resultados e características para comparar os sistemas de impermeabilização analisados.

Para melhor demonstrar o comparativo entre os sistemas, foi elaborado uma tabela com os 3 métodos de impermeabilização a partir dos dados do Estudo de Caso e as informações trazidas ao longo deste trabalho. Com isso, levantou-se as eventuais vantagens e desvantagens técnico-financeiras de cada sistema de impermeabilização.

No Quadro 6.1 foram listados alguns itens comparativos que foram analisados. Para o prazo de trabalho estimado com membrana de poliuretano e manta asfáltica, foi pedida uma estimativa média dos serviços executados por 3 funcionários (mesmo número do Estudo de Caso) para a Engenheira de uma empresa de impermeabilização do Rio de Janeiro.

Quadro 6.1. Quadro comparativo entre os sistemas impermeabilização

ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO E FINANCEIRO - SISTEMAS IMPERMEABILIZANTES				
LAJE DE ESTACIONAMENTO DESCOBERTO BAIRRO: PENHA EMPREENDIMENTO: MÉDIO PADRÃO ÁREA PREVISTA (PISO): 2.479 M ² PERÍMETRO: 600 M				
ITEM	SISTEMAS	MANTA ASFÁLTICA	MEMBRANA DE POLIURETANO	SISTEMA Silicato Bioquimicamente Modificado
1	NECESSITA PREPARAÇÃO PRÉVIA DO SUBSTRATO?	SIM (ABERTURA ABAULAMENTO DE ENCONTRO PISO X PAREDE)	NECESSITA LIXAMENTO PARA MELHORIA DA ADERÊNCIA E OU CORREÇÃO DE REGULARIDADE	DISPENSA
2	NECESSITA RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS PRÉ EXISTENTES?	SE NECESSÁRIO (TAMPONAMENTO DE BROCAS E ARMADURAS EXPOSTAS)	SE NECESSÁRIO (TAMPONAMENTO DE BROCAS, ARMADURAS EXPOSTAS, FISSURAS E TRINCAS)	SE NECESSÁRIO (TAMPONAMENTO DE BROCAS, ARMADURAS EXPOSTAS, FISSURAS E TRINCAS)
3	NECESSITA PROTEÇÃO MECÂNICA E REBOCO DE PAREDES?	SIM	DISPENSA	DISPENSA
4	NECESSITA DE PISO DE SOBREPOSIÇÃO (CONCRETO OU INTER-TRAVADO) PARA TRÂNSITO DE VEÍCULOS?	SIM	DISPENSA	DISPENSA
5	NECESSITA ALGUM CUSTO ADICIONAL A CARGO DA CONTRATANTE PARA COMPOSIÇÃO ACESSÓRIA DO SISTEMA?	SIM (FORNECIMENTO DE GEOTÊXTIL PARA CAMADA DE TRANSIÇÃO, TELA GALVANIZADA PARA REBOCO DE PAREDES, ÁGUA PARA TESTE DE ESTANQUEIDADE E ENERGIA ELÉTRICA PARA EQUIPAMENTOS DA CONTRATADA)	SIM (ÁGUA PARA TESTE DE ESTANQUEIDADE)	SIM (FORNECIMENTO DE ÁGUA EM CAMINHÕES PIPA PARA PROCEDIMENTOS DE HIDRATAÇÕES, ÁGUA PARA TESTE DE ESTANQUEIDADE E ENERGIA ELÉTRICA PARA EQUIPAMENTOS DA CONTRATADA)
6	PRAZO DE EXECUÇÃO ESTIMADO (DIAS CORRIDOS)	35	24	14
7	IMPERMEABILIZAÇÃO SEM PROTEÇÃO MECÂNICA PODE RECEBER CARGA DE OBRA (FERRAGEM, PALET'S, BLOCOS, ETC)?	NÃO	NÃO	SIM
8	GARANTIA (CIVIL)	5 ANOS	5 ANOS	5 ANOS
9	DURABILIDADE (VIDA ÚTIL ESTIMADA)	20	10	30 ANOS (PROPORCIONAL À VIDA ÚTIL DA ESTRUTURA)
10	EM CASO DE PATOLOGIA PÓS-OBRA, QUAL É O ÍNDICE DE CUSTO DE MANUTENÇÃO?	MUITO ALTO	MODERADO	BAIXO
11	RESISTÊNCIA À ABRASÃO E COMPRESSÃO APÓS TODO O SISTEMA INSTALADO E PROTEGIDO	ALTO	MODERADO	ALTO
12	NECESSITA MANUTENÇÃO PREVENTIVA PERIÓDICA?	NÃO	SIM	NÃO
13	RESISTÊNCIA À ATAQUES QUÍMICOS (CLORETOS, CARBONATAÇÃO etc.)	BAIXA	MODERADA	ALTA
14	PROMOVE ENDURECIMENTO DA SUPERFÍCIE DO CONCRETO?	NÃO	NÃO	SIM
15	PROTEÇÃO ESTRUTURAL CONTRA FISSURAÇÃO	NÃO	NÃO	SIM
16	TRABALHABILIDADE	MÉDIA	ALTA	ALTA
17	AMBIENTAL / SUSTENTABILIDADE	BAIXA	MÉDIA	ALTA
18	CUSTO PREVISTO POR METRO QUADRADO - PISO DE ESTACIONAMENTO PRONTO PARA USO	236,33	215,41	160
19	CUSTO TOTAL PREVISTO DA OBRA - PISO DE ESTACIONAMENTO PRONTO PARA USO	R\$ 585.862,07	R\$ 534.001,39	R\$ 396.640,00
ITENS EM VANTAGEM		4	5	17

Após o preenchimento do Quadro 6.1, observa-se uma grande diferença de itens em vantagem obtido pelo produto silicato bioquimicamente modificado. Neste caso, em todo o processo, desde a preparação prévia do substrato e da estrutura até o custo estimado final do sistema, o produto inovador mostrou-se com itens, em sua maioria, vantajosos.

Alguns aspectos analisados nesse quadro comparativo, como produtividade do serviço, vida útil estimado do sistema de impermeabilização atrelado ao do concreto, menor custo de aplicação, respeito ao aspecto ambiental, foram expressivos para habilitar o método inovador como uma opção relevante aos tradicionais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A competitividade na indústria da construção civil, principalmente relacionada à de empreendimentos residenciais e comerciais, está cada vez mais acirrada e a necessidade por redução de custos e aumento de produtividade aliada a qualidade, são fatores primordiais para melhorar a relação do custo-benefício do empreendimento. Entretanto, a opção por um sistema de impermeabilização em detrimento de outro não pode se basear exclusivamente no caráter financeiro, pois cada sistema possui seus locais recomendados de aplicação, diferentes produtividades e cada um possui sua vida útil recomendada.

No setor da construção, principalmente no Rio de Janeiro, percebe-se ainda um grande conservadorismo pela aplicação de impermeabilização pelos métodos tradicionais. Em muitos casos, o receio de inovar, progredir e se desenvolver, cria uma barreira imaginária pela evolução de alguns serviços.

No entanto, problemas relacionados à impermeabilização de edificações são realidade para o setor da construção civil. A preocupação e cuidado com esse serviço deve ser proporcional ao dano que ela pode causar a obra e ao cliente. Com isso, o surgimento de novos produtos e técnicas devem ser acompanhadas de fiscalização e controles rígidos através de testes, experimentos laboratoriais e normas técnicas, para criar segurança na aplicação desses produtos inovadores, resguardando o profissional e o cliente de possíveis problemas e danos.

O trabalho demonstrou a importância da impermeabilização para a construção civil e demonstrou um produto alternativo aos tradicionais, membrana de poliuretano e manta asfáltica, com suas características e resultados. O produto de silicato bioquimicamente modificado cumpriu as normas técnicas, obtendo produtividade maior que os métodos tradicionais, maior vida útil do sistema (vinculado ao do concreto), respeitando o aspecto

ambiental e com menor custo de aplicação e manutenção. Esses resultados apontam uma tendência desse produto ser um potencial substituto evolutivo a esses sistemas tradicionais, visto que ainda não é muito difundido no Brasil.

A sugestão para trabalhos futuros é que sejam feitos estudos laboratoriais com esses novos sistemas de impermeabilização, para comprovação *in loco* da sua performance e características. Com esse aprofundamento, em alguns casos, pode-se criar oportunidades até de novos métodos impermeabilizantes serem criados através de testes e estudos exclusivos laboratoriais. Deste modo, poderá contribuir para inovação e melhoria nos índices da construção civil, como produtividade, qualidade, performance, vida útil e custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCHEMCO, 2023, Sistema Techcrete2500. Disponível em:

<https://alchemco.com.br/home/techcrete-2500/>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ALMEIDA, J. H., 2019, Viabilidade Técnica e Econômica da Membrana de Poliuretano na impermeabilização de lajes e poços de elevador. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Goiás – Uni-Anhanguera, Goiás

AMARIO, M., 2021, Notas de aula da disciplina Tecnologia Avançada de Concreto - Manifestações patológicas das estruturas de concreto armado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ARANTES, Y. de K.. 2007. Uma Visão Geral Sobre Impermeabilização na Construção Civil. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, 2008, NBR 9574: Execução de Impermeabilização. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, 2014, NBR 9574: Execução de Impermeabilização. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, 2010, NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e Projeto. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, 2013, NBR 15575-3: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, 2014, NBR 9952: Manta asfáltica para impermeabilização. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, 2015, NBR 11905: Argamassa polimérica industrializada para impermeabilização. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO DE ENGENHARIA DE IMPERMEABILIZAÇÃO - AEI. Guia Prático e Ilustrado de Projeto de Impermeabilização, 2021, 1. ed., Rio de Janeiro

BARBOSA, R. M. E., 2018, Patologia de impermeabilização de edificações: Aspectos técnicos e metodológicos. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BARROS, M. T., 2020, Estudo das causas e consequências das principais patologias identificadas nas atividades de impermeabilização em obras de construção civil. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CARVALHO, T. R., 2018, Comparativo entre sistemas de impermeabilização em poliuretano e manta asfáltica. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiás.

CARVALHO, Y. M.; PINTO, V. G., 2020, Panorama histórico do combate à umidade na Construção Civil: das paredes de adobe à aurora do Terceiro Milênio. Revista Thema, [s. l.], v. 17, p. 45-46. Disponível em: . Acesso em: 27 jul. 2022.

CICHINELLI, Gisele. 2013. Saiba como executar reparos de vazamentos com gel impermeabilizante. Disponível em:
<http://techne17.pini.com.br/engenhariacivil/200/artigo301338-1.aspx>. Acesso em: 07/11/2022.

CRUZ, Júlio Henrique Pinto. 2003. Manifestações patológicas de impermeabilizações com uso de sistema não aderido de mantas asfálticas: Avaliação e análise com auxílio de sistema multimídia. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre.

CUNHA, A, G. da; NEWMANN, W. Manual de impermeabilização e isolamento térmico: como projetar e executar. 2ed. Rio de Janeiro: argus, 1979. 156p.

CUNHA, E. H., 2021, Impermeabilização Turma C01Disc. Construção Civil II, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás.

DA SILVA, D.S.N., 2022, Impermeabilização de uma edificação residencial de alto padrão: Métodos executivos e aplicabilidade. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro.

DA SILVA, F. C., 1991, Tapetes Impermeabilizantes a Montante de Barragens sobre Aluviões Permeáveis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

EBI – IMPERMEABILIZAÇÕES E CONSTRUÇÕES. Orçamento de serviços de impermeabilização ORC IMP – 029/016 – R1. Goiânia, Goiás, 2016. Acesso em: 24/10/2022

DENVER. Informativo Técnico – Denverpren PU – Impermeabilizante a base de poliuretano com asfalto. 11. ed. Suzano, São Paulo, 2017. Acesso em: 08/11/2022.

FERNANDES, L. A., 2018. Patologias Originadas Pela Umidade Em Edificações E Seus Tratamentos. Unicesumar - Centro Universitário De Maringá, Maringá/PR.

FERNANDES, M. A.; ESTANISLAU, N. B. G. L., MENDES, M. T., 2019, Técnicas de impermeabilização para assegurar a durabilidade das edificações. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni

FERREIRA, Romário, 2012. Conhecendo os impermeabilizantes. Disponível em:
<http://equipedebra.pini.com.br/construcao-reforma/44/conhecendo-osimpermeabilizantes-veja-quais-sao-os-sistemas-de-245388-1.aspx>. Acesso em: 15/12/2022.

FIBERSALS, 2018, Falhas na impermeabilização. Disponível em:
<https://fibersals.com.br/blog/mantas-x-membranas-na-impermeabilizacao/> . Acesso em: 30 abr. 2022.

FIBERSALS, 2019, Mantas x Membranas. Disponível em: <https://fibersals.com.br/blog/mantas-x-membranas-na-impermeabilizacao/> . Acesso em: 24 abr. 2022.

FIGUEREDO, E. A. (2016). Asfalto. <https://www.infoescola.com/quimica/asfalto/#:~:text=Sua%20principal%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20na,do%20rei%20Nabopolassar%2C%20na%20Babil%C3%B4nia.>

FREIRE, M. A., 2007, Métodos executivos de impermeabilização de um empreendimento comercial de grande porte. 2007. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GUARIZO, E. A., 2008, Impermeabilização Flexível. 59f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco, Itatiba.

HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ª ed - São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P.; FIGUEIREDO, E. P. 2003. Introdução In: DEGUSSA. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. Red Rehabilitar, São Paulo. Cap. Introdução, pág 19 a 34.

LIMA, Patrick Alves Silva. Et al. **Patologias recorrentes em sistema de impermeabilização – Vitória da Conquista – BA.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 12, Vol. 13, pp. 32-55. Dezembro de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/sistema-de-impermeabilizacao>

LIQUID ROOFING AND WATERPROOFING ASSOCIATION, LRWA, 2018, History of Liquid Waterproofing. Disponível em: Acesso em: 16 jan. 2022.

MAGALHÃES, D, T., 2008. Inspeção, 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.

MAGALHÃES, R. A., ASSUNÇÃO, R. F., SILVA, L. S., FERREIRA, M. S. (2019). Estudo de caso de patologias causadas pela umidade face a inexistência de implantação do sistema de impermeabilização nas garagens do 1º e 2º subsolo de um edifício residencial multifamiliar de múltiplos pavimentos em Belém/PA. RCT- Revista de Ciências e Tecnologias.

MC BAUCHEMIE, 2020, Camada de proteção mecânica para impermeabilização. Disponível em: <https://www.mc-bauchemie.com.br/mclopedia/os-tipos-de-camada-de-prote%C3%A7%C3%A3o-mec%C3%A2nica-para-impermeabiliza%C3%A7%C3%A3o.html>. Acesso em: 31 jan. 2023.

MELLO, L. S. L. de, 2005, Impermeabilização - materiais, procedimentos e desempenho. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo.

MENEZES, M., 2019, Projeto de impermeabilização: Sistemas e conceitos. In: Seminário Regional de Impermeabilização, VII, Balneário Camburiú.

MORAES, C. R. K., 2002, Impermeabilização de lajes de cobertura: Levantamento dos principais fatores envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PICCHI, Flávio Augusto.,1986, Impermeabilização de cobertura, Pini Ltda., São Paulo

POZOLLI, 1991, Impermeabilização, Relatório Especial: As primeiras obras de impermeabilização. Informe Técnico, O Empreiteiro. São Paulo

QUERUZ, Francisco. 2007. Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria.

QUINI, Josué Garcia; FERRAZ, Paulo Roberto Leite. 2013. Impermeabilização com membranas moldadas in loco para ambientes químicos agressivos. Disponível em: http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2013/08/19-16.06_11H45_782_-Impermeabiliza%C3%A7%C3%A3o-com-membranas-moldadas-in-loco-paraambientes-qu%C3%ADmicos-agressivos.pdf. Acesso em: 06/11/2022.

REZENDE, P. I., 1991, O prazo de garantia relativo à restauração do serviço de impermeabilização, Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, São Paulo.

RIGHI, G. V. , , 2009, Estudos dos sistemas de impermeabilização: Patologias, prevenções e correções: Análise de casos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria.

RODRIGUES, R. et al, 2016, Erros, diagnósticos e soluções de impermeabilização na construção civil. Revista InterScientia, v. 4, n. 2, p. 19-33.

SABBATINI, F. H. et al., 2006, Material de aula da disciplina PCC-2436 – Tecnologia da Construção de Edifícios II, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHEIDEGGER, G. M., 2019, Impermeabilização de edificações: mantas asfálticas e argamassas poliméricas. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 03, Vol. 05, pp. 126-151.

SCHREIBER, P. A.de A., 2012, Impermeabilização de lajes de cobertura: caracterização, execução e manifestações patológicas. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SHIRAKAWA, M. A. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Goiânia, 1995. Anais p.402-10.

SILVA, F. L., OLIVEIRA, M.do P. S. L., 2018. Manifestações patológicas causadas pela ausência ou falha de impermeabilização. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 11, Vol. 01, pp. 76-95.

SILVA, Adriano de Paula e; JONOV, Cristiane Machado Parisi. 2016. Manifestações patológicas nas edificações. Curso de especialização em construção civil. UFMG.

SILVA, C. M., JUNIOR, T. L., HOLANDA, E. P., 2019. Sistemas De Impermeabilização Na Construção Civil: Caracterização, Importância E Métodos De Execução. Ciências Exatas E Tecnológicas, 5(2), Pp. 315-328.

SILVA JUNIOR, A. J. da; LEAL JUNIOR, V., 2018, A importância do projeto de impermeabilização para redução de manifestações patológicas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça.

SINDUSCON - MG, 2016 Programa Qualimat: Manta Asfáltica. Belo Horizonte.

SIQUEIRA, V. de., 2018, Impermeabilização em obras de construção civil: Estudos de caso manifestações patológicas e correções. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça.

SOARES, F.F., 2014, A importância de projetos de impermeabilização em obras de construção civil. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro.

SOUZA, J. C. S. MELHADO, S. B., 1998, Diretrizes para uma metodologia de projeto de impermeabilização de pisos do pavimento tipo de edifícios. Congresso LatinoAmericano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Soluções Para o Terceiro Milênio, São Paulo.

SUDECAP, 2019, Obras e infraestrutura. Disponível em:
https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Capitulo_9_R9.pdf . Acesso em: 30 jan. 2023.

TRENTO, G. A., 2019, Estudo de caso sobre os impermeabilizantes disponíveis no Brasil, com foco nos tipos, manifestações patológicas e manuseio. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça.

THOMAZ, E., 1996, Trincas em edifícios. São Paulo, Editora Pini, 194p

TORRES, L., 2016. Notas de aula da disciplina Técnicas das Construções. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VEDACIT, 2012, Manual Técnico de Impermeabilização de Estruturas. 7. ed. [S. l.: s. n.]. Disponível em: . Acesso em: 8 fev. 2022.

VEDACIT, 2016. Manual Técnico. 48ª edição. Disponível em:
<http://www.vedacit.com.br/uploads/biblioteca/manual-tecnico-vedacit-5.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2022.

VILAR, D.W. Química e Tecnologia dos Poliuretanos. 3 ed. Capítulo 1 - Reagentes e Fundamentos. Rio de Janeiro, 2002. Acesso em: 30/08/2022.

