

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TÚLIO RABELO CARVALHO

**COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM
POLIURETANO E MANTA ASFÁLTICA: ESTUDO DE CASO**

JATAÍ
2018

TÚLIO RABELO CARVALHO

**COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM
POLIURETANO E MANTA ASFÁLTICA: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Linha de Pesquisa: Materiais e Tecnologia da Construção Civil

Orientadora: Prof^a. Ma. Marina Augusta Malagoni de Almeida

Coorientador: Eng. Laurentino Borges Muniz

JATAÍ
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

CAR/com	Carvalho, Túlio Rabelo. Comparativo entre sistemas de impermeabilização em poliuretano e manta asfáltica: estudo de caso / Túlio Rabelo Carvalho. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2018. 70 f.; il. Orientadora: Prof^a. Ma. Marina Augusta Malagoni de Almeida. Coorientador: Eng. Laurentino Borges Muniz. Bibliografias. 1. Impermeabilizantes. 2. Sistema flexível. 3. Manta asfáltica. 4. Membrana de poliuretano. I. Almeida, Marina Augusta Malagoni de. II. Muniz, Laurentino Borges. III. IFG, Câmpus Jataí. IV. Título. CDD 624
---------	--

Autorizo, para fins de estudo e de pesquisa, a reprodução e a divulgação total ou parcial desta dissertação, em meio convencional ou eletrônico, desde que a fonte seja citada.

TÚLIO RABELO CARVALHO

**COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM
POLIURETANO E MANTA ASFÁLTICA: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Coordenação do curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí,
como parte dos requisitos para a aprovação na
disciplina TCC II (Trabalho de Conclusão de
Curso II).

Este trabalho foi defendido e aprovado, em 19 de fevereiro de 2018, pela
banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Marina Augusta Malagoni

Prof. Ma. Marina Augusta Malagoni de Almeida
Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí

Laurentino Borges Muniz

Eng. Laurentino Borges Muniz
Coorientador

Impercom projetos e impermeabilizações

Sauany

Prof. Esp. Ronan de Oliveira Lopes Júnior
Examinador Interno

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí

Flb

Eng. Esp. Saulo Floriano Gomes Filho
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos meus parentes, amigos e colegas de trabalho que me acompanharam durante a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por ter tornado tudo isso possível e por todo o apoio que me deram para continuar dando o melhor de mim.

Aos meus amigos por ter proporcionado momentos incríveis nessa trajetória da faculdade.

A empresa Habitat Incorporadora junto aos meus colegas de trabalho por ter me proporcionado incrível experiência de estágio na obra do Residencial New Life.

A empresa EBI – Impermeabilizações e Construções por todo o apoio para concluir este trabalho.

A todos professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Jataí-GO que garantiram a bagagem de conhecimento que tenho hoje.

E por último, e não menos importante, aos meus orientadores que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

EPIÍGRAFE

Se

Se és capaz de manter a tua calma quando
Todo o mundo ao teu redor já a perdeu e te culpa;
De crer em ti quando estão todos duvidando,
E para esses no entanto achar uma desculpa;
Se és capaz de esperar sem te desesperares,
Ou, enganado, não mentir ao mentiroso,
Ou, sendo odiado, sempre ao ódio te esquivares,
E não parecer bom demais, nem pretensioso;

Se és capaz de pensar --sem que a isso só te
atires,
De sonhar --sem fazer dos sonhos teus senhores.
Se encontrando a desgraça e o triunfo consegues
Tratar da mesma forma a esses dois impostores;
Se és capaz de sofrer a dor de ver mudadas
Em armadilhas as verdades que disseste,
E as coisas, por que deste a vida, estraçalhadas,
E refazê-las com o bem pouco que te reste;

Se és capaz de arriscar numa única parada
Tudo quanto ganhaste em toda a tua vida,
E perder e, ao perder, sem nunca dizer nada,
Resignado, tornar ao ponto de partida;
De forçar coração, nervos, músculos, tudo
A dar seja o que for que neles ainda existe,
E a persistir assim quando, exaustos, contudo
Resta a vontade em ti que ainda ordena:
"Persiste!";

Se és capaz de, entre a plebe, não te corromperes
E, entre reis, não perder a naturalidade,
E de amigos, quer bons, quer maus, te defenderes,
Se a todos podes ser de alguma utilidade,
E se és capaz de dar, segundo por segundo,
Ao minuto fatal todo o valor e brilho,
Tua é a terra com tudo o que existe no mundo
E o que mais --tu serás um homem, ó meu filho!

(Rudyard Kipling)

RESUMO

A impermeabilização é uma das principais causas de problemas na construção civil, seu conhecimento é extremamente importante para evitar patologias e consequentemente grandes gastos. No comércio há diversos tipos de impermeabilizantes disponíveis para diferentes tipos de locais, cabe ao consumidor escolher aquele que possui maior desempenho em custo/benefício. Diante desta ideia, a partir do estudo de caso realizado na obra do residencial New Life e bibliografias de vários autores, este trabalho teve como objetivo comparar dois grandes produtos usualmente presentes no mercado, a manta asfáltica e a membrana de poliuretano. Levando em conta que ambos os impermeabilizantes podem ser aplicados em superfícies flexíveis, permitindo assim que sejam usados com as mesmas condições de âmbito, seu comparativo foi baseado em suas características, desempenho, vantagens e desvantagens, tempo de execução e seus custos de mercado. Concluindo-se que a membrana de poliuretano é um impermeabilizante mais satisfatório quando comparado com a manta asfáltica.

Palavras-chave: impermeabilizantes, sistema flexível, manta asfáltica, membrana de poliuretano.

ABSTRACT

Waterproofing is one of the main causes of problems in construction. The knowledge of this subject is extremely important to avoid pathologies and, thereafter, big costs. There are several types of waterproofing available in commerce for different types of places. It is the consumer's decision to choose the one that offers the best performance in cost/benefit. According to this idea, from the case study performed in the Residencial New Life construction site and the bibliographies from several authors, this essay has, as a main purpose, to compare two big products usually available in the market, the Asphalt Coating and the Polyurethane Membrane. Taking into account that both waterproofings can be applied in flexible surfaces, therefore allowing both to be applied with the same scope conditions, their comparison was based in their characteristics, performances, advantages and disadvantages, runtimes and market costs, concluding that Polyurethane Membrane is a more satisfying waterproofing when compared to the Asphalt Coating.

Keywords: waterproofing, flexible system, asphaltic coating, polyurethane membrane.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Origens dos problemas de impermeabilização	12
Figura 2 - Tipos de impermeabilização	14
Figura 3 - Pressão unilateral positiva	17
Figura 4 - Pressão unilateral negativa.....	17
Figura 5 - Pressão bilateral positiva e negativa	17
Figura 6 - Camadas para aplicação da manta asfáltica.....	23
Figura 7 - Corrosão em armaduras	30
Figura 8 - Viga com a exposição da armadura e com o processo de corrosão iniciado	31
Figura 9 - Eflorescências já com a formação de estalactites	32
Figura 10 - Manifestação causando descolamento da pintura	32
Figura 11 – Foto ilustrativa do edifício New Life	34
Figura 12 - Local de aplicação do poliuretano	35
Figura 13 - Local de aplicação da manta asfáltica.....	35
Figura 14 - Local de aplicação da manta asfáltica acima da laje da área comum	36
Figura 15 – Mapeamento dos trechos da manta asfáltica.....	39
Figura 16 – Manta asfáltica utilizada	40
Figura 17 – Primer utilizado para manta asfáltica.....	43
Figura 18 – Detalhe de execução dos rodapés com manta asfáltica.....	43
Figura 19 – Detalhe dos ralos com manta asfáltica	44
Figura 20 – Asfalto utilizado para manta asfáltica	44
Figura 21 – Caldeira eléctrica para aquecimento do asfalto usado para manta asfáltica	45
Figura 22 – Equipamentos utilizados para colagem da manta asfáltica. (a) Maçarico e (b) Botijão de gás.	46
Figura 23 – Aplicação da manta asfáltica.....	46
Figura 24 – Teste de estanqueidade da manta asfáltica.....	47
Figura 25 – Altura da lâmina d’água do teste de estanqueidade da manta asfáltica	47
Figura 26 – Camada separadora sobre a manta asfáltica.....	48
Figura 27 – Preparo da proteção mecânica sobre a camada separadora da manta asfáltica.....	48
Figura 28 – Área de aplicação do poliuretano do deck da área de lazer	50
Figura 29 – Membrana de poliuretano bi componente utilizada	53
Figura 30 – Regularização da superfície	54
Figura 31 – Mistura dos componentes do poliuretano	55
Figura 32 – Aplicação da primeira demão de poliuretano.....	56
Figura 33 – Colagem da tela de poliéster nos rodapés	57
Figura 34 – Colagem da tela de poliéster nos ralos	57
Figura 35 – Lona plástica sobre a superfície para evitar umidade	58
Figura 36 – Resultado após aplicação da quinta demão de poliuretano	59
Figura 37 – Areia fina sobre a membrana de poliuretano	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos sistemas de impermeabilização	13
Tabela 2 - Tipos de impermeabilização rígida e flexível	15
Tabela 3 - Tipos de solicitações impostas pelos fluídos.....	16
Tabela 4 - Impermeabilizantes para solicitação sob pressão	18
Tabela 5 - Impermeabilizantes para solicitação pela água de percolação	19
Tabela 6 - Impermeabilizantes para solicitação pela água de condensação	20
Tabela 7 - Impermeabilizantes para solicitação pela umidade do solo	21
Tabela 8 - Classificação das mantas asfálticas	22
Tabela 9 - Tipos de camadas separadoras para manta asfáltica	24
Tabela 10 - Aspectos para escolha da manta asfáltica	24
Tabela 11 - Compostos da membrana de poliuretano	25
Tabela 12 - Classificação do poliuretano quanto ao local de aplicação pela Denver.....	26
Tabela 13 - Classificação do poliuretano quanto ao local de aplicação pela Poxpur.....	26
Tabela 14 - Espessuras mínimas de cobrimento pelas normas NB1/60, NBR 6118:2003 e CEB/90	29
Tabela 15 - Itens considerados para realização do comparativo dos impermeabilizantes estudados	37
Tabela 16 - Características da manta asfáltica indicada para aplicação pelo projeto.....	38
Tabela 17 – Troca de manta asfáltica realizada na obra.....	40
Tabela 18 - Características da manta asfáltica utilizada.....	41
Tabela 19 - Informações do contrato para manta asfáltica.....	42
Tabela 20 – Cronograma de execução da manta asfáltica.....	49
Tabela 21 – Valor final da aplicação da manta asfáltica no trecho referente.....	49
Tabela 22 – Características da membrana de poliuretano utilizada	52
Tabela 23 - Informações do contrato para a membrana de poliuretano	52
Tabela 24 – Cronograma de execução do poliuretano	60
Tabela 25 – Valor final da aplicação da membrana de poliuretano no trecho referente	61
Tabela 26 – Comparativo entre os dois impermeabilizantes quanto aos custos.....	62
Tabela 27 – Comparativo entre dois impermeabilizantes orçados em uma casa de luxo no Guarujá-SP	62
Tabela 28 – Comparativo da espessura final de cada impermeabilizante estudado.....	63
Tabela 29 – Comparativo entre os dois impermeabilizantes quanto ao tempo de execução....	63
Tabela 30 – Etapas de execução de cada impermeabilizante	64
Tabela 31 – Comparativo das vantagens e desvantagens de ambos os impermeabilizantes	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira
PVC	Policloreto de vinila
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de Normalização)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
IIR	Poliisobutileno isopreno
SBS	Estireno-butadieno-estireno
EVA	Acetato de etilvinila
PEAD	Polietileno de alta densidade
EPDM	Elastomérica de etilenopropilenodieno-monômero
CEB	Comité euro-international du béton (Euro-Internacional Comitê para Concreto)
CO₂	Dióxido de carbono
CaCO₃	Carbonato de cálcio
pH	Potencial de hidrogênio
PIB	Produto Interno Bruto
CAP	Cimento asfáltico de petróleo
PU	Poliuretano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Justificativa da pesquisa	8
1.2 Objetivos.....	8
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	<i>8</i>
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	<i>9</i>
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Histórico da impermeabilização no Brasil	10
2.2 Tipos de impermeabilização – Rígida e Flexível.....	12
2.3 Seleção do tipo de impermeabilização	16
2.3.1 <i>Solicitação sob pressão.....</i>	<i>16</i>
2.3.2 <i>Solicitação pela água de percolação</i>	<i>19</i>
2.3.3 <i>Solicitação pela água de condensação</i>	<i>20</i>
2.3.4 <i>Solicitação pela umidade do solo.....</i>	<i>21</i>
2.4 Informações - Manta Asfáltica	22
2.5 Informações – Membrana de Poliuretano.....	25
2.6 Patologias da impermeabilização	27
2.6.1 <i>Corrosão das armaduras e carbonatação do concreto</i>	<i>28</i>
2.6.2 <i>Eflorescências</i>	<i>31</i>
2.6.3 <i>Trincas e fissuras em estruturas de concreto.....</i>	<i>32</i>
3 METODOLOGIA.....	34
4 ESTUDO DE CASO	38
4.1 Manta Asfáltica.....	38
4.2 Membrana de poliuretano	50
5 CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Buscando uma melhor qualidade na construção civil, a impermeabilização surgiu para “controlar” uma das principais causadoras de patologias em obras, a água.

Desde os primórdios a sociedade lida com problemas relativos à presença de água (líquida, gasosa e sólida) em lugares indesejados, diante disso, os estudos sobre impermeabilização foram se aprofundando a ponto de se poder classificar os seus diversos tipos de impermeabilizantes de acordo com suas condições de uso e de aplicação (ver Capítulo 2.2).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), visando normalizar todo o processo, desde a escolha até a execução da impermeabilização, criou junto a outras entidades, diversas condutas a serem seguidas em prol de evitar-se problemas, conforme apresentado abaixo:

- NBR 9574: Execução de Impermeabilização;
- NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e projeto;
- NBR 9952: Manta asfáltica para impermeabilização;
- NBR 9685: Emulsão asfáltica para impermeabilização;
- NBR 13724: Membrana asfáltica para impermeabilização com estruturante aplicada a quente;
- NBR 15414: Membrana de poliuretano com asfalto para impermeabilização;
- NBR 15487: Membrana de poliuretano para impermeabilização.

Dentre as normas citadas, existem diversas outras, com variados tipos de impermeabilizantes presentes no mercado, algumas delas são revisadas e outras foram canceladas à medida que foram se tornando ultrapassadas.

Neste trabalho será apresentado o comparativo entre os sistemas de impermeabilização usando a membrana de poliuretano e a manta asfáltica, sendo que ambos são da mesma classificação de impermeabilizante (flexíveis) e podem ser usados em locais de mesma natureza.

1.1 Justificativa da pesquisa

A impermeabilização sempre foi uma das maiores preocupações na construção civil, já que a sua má execução pode causar diversas manifestações patológicas. Em alguns casos, devido à contenção de custos, falta de informação, má execução ou não execução, patologias podem surgir durante e/ou no pós-obra o que, conseqüentemente, pode gerar custos até quinze vezes maiores do que se fosse executado no andamento da obra (RIGHI, 2009).

O seu estudo é extremamente importante para garantir uma obra "saudável", sem infiltrações e vazamentos. Diante disso, vários sistemas de impermeabilização foram surgindo para suprir a demanda da construção civil. Existem sistemas específicos para determinadas funções, assim como há sistemas que podem ser usados em várias outras, por exemplo, em um estacionamento aberto podem ser usados diversos tipos de impermeabilizantes (ver Capítulo 2.2) como a manta asfáltica, membrana de poliuretano, membrana líquida híbrida, mantas de policloreto de vinila (PVC), entre outros.

Com toda essa demanda de sistemas, o mais importante para o engenheiro civil, quando parte do projeto de arquitetura para realizar o de impermeabilização de uma obra, é identificar qual é o mais eficaz quando se trata de custos, qualidade e tempo de execução. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo comparativo entre dois sistemas de impermeabilização: à base de manta asfáltica e à base de poliuretano.

1.2 Objetivos

A seguir são apresentados os objetivos do presente trabalho, divididos em objetivos gerais e específicos.

1.2.1 *Objetivo geral*

O objetivo principal do trabalho é realizar uma análise comparativa entre dois sistemas de impermeabilização utilizados na construção civil, a manta asfáltica que já é bastante conhecida no comércio, e o poliuretano que está ganhando seu espaço no mercado mais recentemente.

1.2.2 *Objetivos específicos*

Com o intuito de alcançar o objetivo principal proposto, foram definidos os seguintes escopos:

- 1 Apresentar as vantagens e desvantagens de cada sistema;
- 2 Apresentar as características dos impermeabilizantes estudados;
- 3 Verificar e apresentar o desempenho de cada tipologia na área de aplicação;
- 4 Realizar o comparativo de custos;
- 5 Verificar o tempo de execução de ambos os sistemas de impermeabilização levando-se em consideração a área aplicada e o número de trabalhadores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo são apresentados um breve histórico acerca da impermeabilização no Brasil, os tipos de sistemas impermeabilizantes, são feitas considerações sobre a etapa de seleção do tipo de impermeabilização e, por fim, são apresentadas as possíveis patologias desses sistemas.

2.1 Histórico da impermeabilização no Brasil

No Brasil, o Século XX foi um período de transformação marcado pela evolução científica e tecnológica, no qual a Revolução de 1930 instaurou um novo modelo de desenvolvimento industrial estimulado pelos efeitos da crise de 1929 (FAUSTO, 1998).

Nesse período Getúlio Vargas¹ foi eleito o presidente do país, e uma das suas principais condutas foi o forte incentivo à industrialização, impulsionando assim a abertura do mercado brasileiro para o exterior.

Assim, uma das primeiras empresas internacionais a se instalar no Brasil foi a Sika², a qual Kaspar Winkler fundou, sendo ela a primeira empresa no país a utilizar aditivos de impermeabilização no concreto e em argamassas (CAMPITELI, 2016).

Com essa grande evolução nas pesquisas e tecnologias, muitos materiais foram aprimorando suas formas e técnicas de utilização e um deles foi a impermeabilização. Na década de 50, por exemplo, começou-se a utilização de emulsões asfálticas, mantas butílicas, resinas epoxídicas e mantas de PVC no Brasil. No início da década de 60 já havia obras empregando sistemas de impermeabilizantes com elastômeros sintéticos de neoprene e hypalon em solução (CAMPITELI, 2016).

Em pleno século XXI já se tem diversos sistemas impermeabilizantes que atendem desde estruturas rígidas até estruturas flexíveis, ambas com suas devidas características em particular.

¹ Presidente do Brasil no período de 1930 e 1945, governo marcado pelo autoritarismo, populismo, nacionalismo, trabalhismo e industrialismo (FAUSTO, 1998).

² Empresa produtora de sistemas e materiais para fixação, vedação, amortecimento, reforço e proteção no setor de construção e na indústria de veículos automotores.

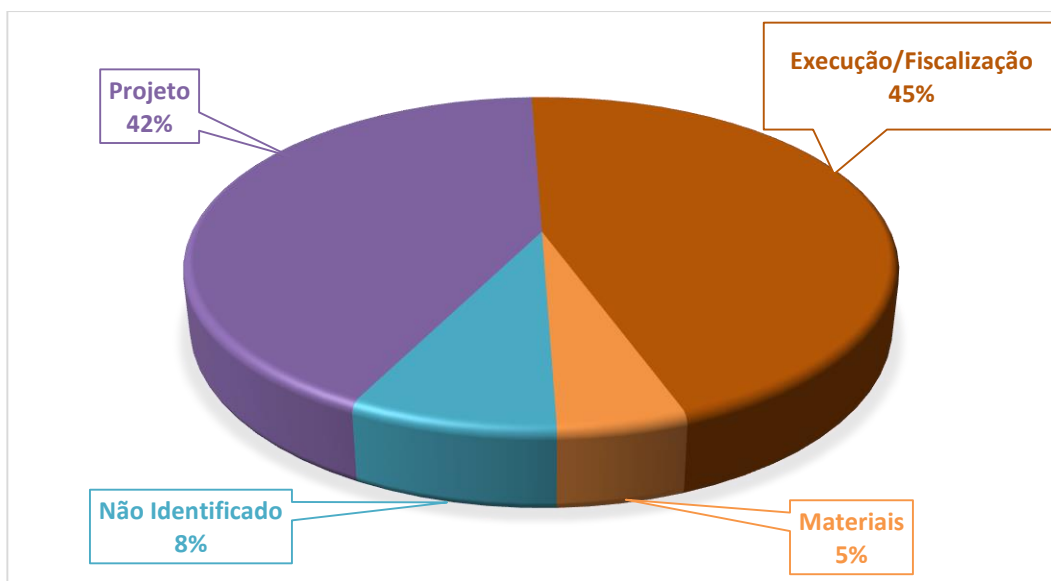
Porém, não basta apenas criar novos sistemas e aplicá-los no mercado, é necessário passar por toda uma avaliação teórico-prática para o produto ser validado no comércio. Para isso, em 1971, o Engenheiro Curt Otto Baumgart juntamente com outros profissionais, através de estudos e aprimoramentos em alguns processos de impermeabilização, apresentaram à comissão da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estudos baseados em normas internacionais (DIN e ASTM) e estudos nacionais conduzidos por engenheiros ligados ao setor. Em seguida, o Eng. Baumgart assumiu a presidência dos trabalhos na elaboração da NB-279, que posteriormente originou a NBR 9575, a qual estabelece as exigências relativas à seleção de materiais e ao projeto de impermeabilização (VEDACIT, 2012).

A partir dessa norma esperava-se que fossem atendidas as condições mínimas de proteção da construção contra a passagem de fluidos, melhorando a segurança e o conforto dos usuários, garantindo a estanqueidade da construção.

Entretanto, por mais que essas informações estejam abertas à sociedade, não são todos que fazem proveito delas. Estudos mostram que a má ou não aplicação da impermeabilização em uma construção pode gerar problemas que afetam o capital do cliente, da ordem de 5 a 10% do custo da obra. Em contrapartida, o custo da impermeabilização, de forma correta e na hora certa, é estimado entre 1 a 3% do valor total (PIRONDI, 1988).

No estágio de construção da obra, a má ou não aplicação da impermeabilização pode ocasionar diversas patologias. Segundo Antonielli et al. (2012), em seu levantamento de dados feitos nos edifícios habitados de Goiânia-GO, os problemas de impermeabilização tiveram suas origens principalmente nas etapas de projeto e de execução/fiscalização, conforme mostra o gráfico apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Origens dos problemas de impermeabilização



Fonte: Antonelli et al. (2002)

Pela análise do gráfico, entendemos a importância do projeto e da execução da impermeabilização, assim, pode-se dizer que é essencial que ambos, projetista e executor, sejam capacitados e qualificados para a realização do serviço.

Caso a execução, o projeto e os materiais não atendam à etapa de impermeabilização, patologias serão desenvolvidas com o decorrer do tempo, podendo se apresentarem na forma de manchas, eflorescências, corrosões, mofos, bolores, perdas de pinturas, dentre outros. Todos esses problemas possuem algo em comum, a umidade.

Umidade (do latim, *Humidus* significa “estar molhado”), segundo Curotto (2008), é a água que está impregnada em um corpo que, vaporizada, se mistura com o ar. Podendo também ser encontrada nos materiais de construção, no solo, na madeira, no aço, dentre outros, ela se torna um problema quando apresentada em excesso.

2.2 Tipos de impermeabilização – Rígida e Flexível

Conforme os estudos sobre impermeabilização foram se desenvolvendo, descobriu-se que alguns impermeabilizantes não atendem certos casos (Figura 2). Em outras palavras, é necessário avaliar o comportamento físico do elemento (fragilidade do componente da base à ocorrência de fissuras e trincas) e a atuação da água sobre o elemento para assim escolher o tipo de impermeabilização mais indicado para cada situação (PIRONDI, 1988). Levando em

conta essas duas considerações, a classificação dos tipos de impermeabilizantes foi dividida em dois sistemas, o rígido e o flexível (FERREIRA, 2013). Conforme apresentado na Tabela 1.

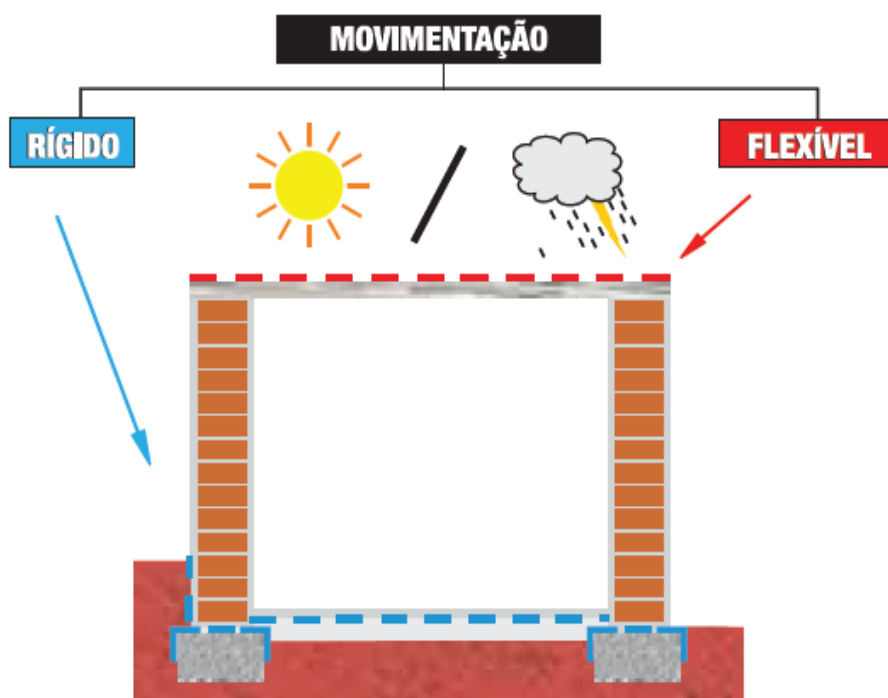
Tabela 1 - Classificação dos sistemas de impermeabilização

Tipo de sistema	Rígidos	Flexíveis
Aplicações indicadas	Sua aplicação é recomendada para as partes mais estáveis da edificação. São locais menos sujeitos ao aparecimento de trincas e fissuras, que poderiam comprometer a impermeabilização.	A elasticidade desses produtos faz com que eles sejam mais indicados para estruturas sujeitas a movimentações, vibrações, insolação e variações térmicas (dilatações e contrações).
Como são vendidos	Como aditivos químicos para argamassa ou como argamassa industrializada. Também são encontradas misturas aplicadas em forma de pintura, formando um revestimento impermeável.	Os sistemas flexíveis são encontrados na forma de mantas, aderidas ou não à estrutura. Também fazem parte desse grupo misturas moldadas no local, que, depois de secas, formam uma membrana elástica protetora.
Exemplos de impermeabilizantes	• Argamassas impermeabilizantes; • Cimentos poliméricos; • Cristalizantes; • Resinas epóxi; • Concreto impermeável.	• Mantas asfálticas; • Membranas asfálticas, moldadas no local (a quente ou a frio); • Mantas de PEAD, PVD, EPDM; • Membranas de poliuretano, de poliureia, resinas acrílicas, etc.
Exemplos de aplicação	• Fundações; • Pisos internos em contato com o solo; • Contêntes; • Piscinas enterradas; • Reservatórios inferiores; • Poços de elevadores; • Muros de arrimo.	• Lajes (térreo e cobertura); • Banheiros; • Cozinhas; • Terraços; • Reservatórios elevados; • Calhas de concreto; • Áreas de serviço; • Abóbadas.

Fonte: Ferreira (2013)

Em resumo, segundo Vedacit (2010) os sistemas rígidos são aqueles que não se movimentam ou que não sofrem deformações e os flexíveis são aqueles que estão sujeitos à movimentação, como indicado na Figura 2.

Figura 2 - Tipos de impermeabilização



Fonte: Vedacit (2010, p. 15)

A Tabela 2 apresenta os tipos de impermeabilizantes segundo a classificação proposta pela NBR 9575 (ABNT, 2003).

Tabela 2 - Tipos de impermeabilização rígida e flexível

Tipo de sistema	Rígido	Flexível
Tipos de impermeabilizantes	• Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo; • Argamassa modificada com polímero; • Argamassa polimérica; • Cimento cristalizante para pressão negativa; • Cimento modificado com polímero; • Membrana epoxídica.	• Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero; • Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico; • Membrana de emulsão asfáltica; • Membrana de asfalto elastomérico em solução; • Membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado; • Membrana elastomérica de poliisobutileno isopreno (I.I.R), em solução; • Membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno (S.B.S.); • Membrana de poliuretano; • Membrana de poliuréia; • Membrana de poliuretano modificado com asfalto; • Membrana de polímero modificado com cimento; • Membrana acrílica; • Manta asfáltica; • Manta de acetato de etilvinila (E.V.A.); • Manta de policloreto de vinila; • Manta de polietileno de alta densidade (P.E.A.D.); • Manta elastomérica de etilenopropilenodieno-monômero (E.P.D.M.); • Manta elastomérica de poliisobutileno isopreno.

Fonte: ABNT (2003)

Alguns autores consideram a existência de um outro sistema de impermeabilização intermediário, o semi-flexível. Segundo Freire (2007) este sistema, a base de argamassas

poliméricas e resinas epóxicas, é usado em superfícies sujeitas a rachaduras e fissuras, como saunas, banheiros, piso de cozinhas, entre outros.

2.3 Seleção do tipo de impermeabilização

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2003) e Freire (2007), para escolher o tipo de impermeabilização a ser usada deve-se fazer a análise do tipo de solicitação imposta pelo fluido considerando as partes construtivas que requeiram estanqueidade, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipos de solicitações impostas pelos fluidos

Solicitações	Pela água de percolação	Pela água de condensação	Pela umidade do solo	Sob pressão
Definições	Água que atua sobre superfícies, não exercendo pressão hidrostática superior a 1 kPa.	Água com origem na condensação de vapor d'água presente no ambiente sobre a superfície de um elemento construtivo deste ambiente.	Água existente no solo absorvida pelas partículas do solo.	- Negativa³ - Positiva⁴
Forma de atuação	- Chuva; - Lavagem.	- Saunas; - Câmaras Frigoríficas.	Água capilar.	- Unilateral - Bilateral

Fonte: ABNT (2003, p. 2) e FREIRE (2007, p. 17)

A seguir são detalhados os diferentes tipos de solicitações impostas pelos fluidos.

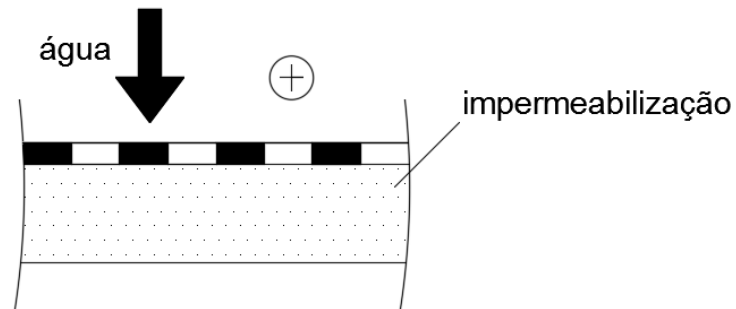
2.3.1 Solicitação sob pressão

Segundo Freire (2007), quando a pressão é unilateral, ela pode ser considerada positiva ou negativa (Figuras 3 e 4), porém, quando bilateral, a pressão será considerada positiva e negativa (Figura 5).

³ Água confinada ou não, exercendo pressão hidrostática superior a 1 kPa de forma inversa a impermeabilização.

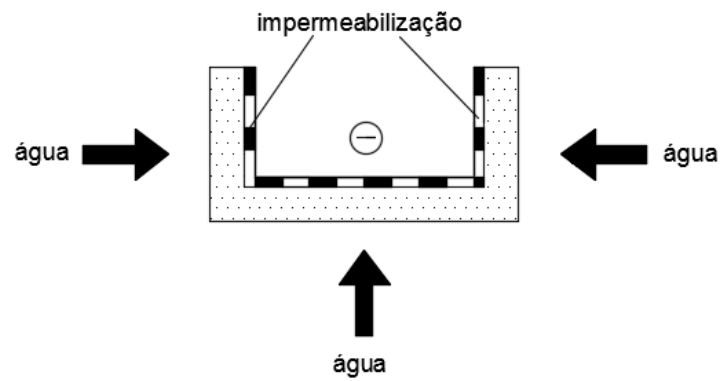
⁴ Água confinada ou não, exercendo pressão hidrostática superior a 1 kPa de forma direta na impermeabilização.

Figura 3 - Pressão unilateral positiva



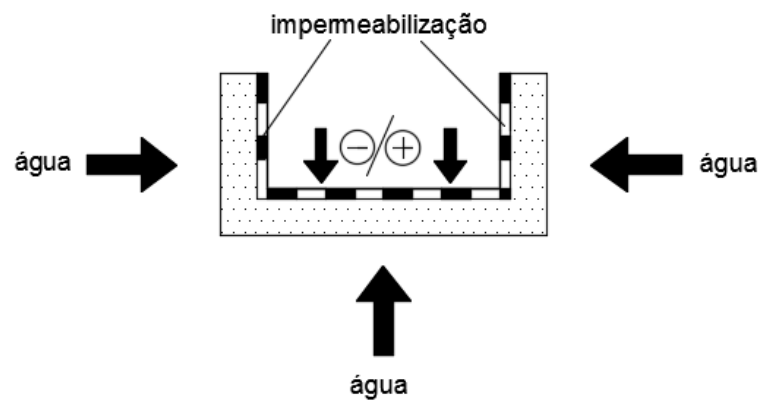
Fonte: FREIRE (2007)

Figura 4 - Pressão unilateral negativa



Fonte: FREIRE (2007)

Figura 5 - Pressão bilateral positiva e negativa



Fonte: FREIRE (2007)

Assim, segundo a NBR 9575 (ABNT, 2003), os tipos de impermeabilização que devem ser empregados nas partes construtivas considerando essa solicitação são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Impermeabilizantes para solicitação sob pressão

Tipo de sistema	Rígido	Flexível
Tipos de impermeabilização	• Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo; • Argamassa modificada com polímero; • Argamassa polimérica; • Cimento cristalizante para pressão negativa; • Cimento modificado com polímero; • Membrana epoxídica;	• Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero; • Membrana de polímero modificado com cimento; • Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico; • Membrana de emulsão asfáltica; • Membrana elastomérica de poliisobutileno-isopreno, em solução; • Membrana de asfalto elastomérico em solução; • Membrana poliuréia; • Membrana de poliuretano; • Membrana de poliuretano modificada com asfalto; • Manta asfáltica; • Manta elastomérica de etilenopropilenodieno-monômero; • Manta elastomérica de poliisobutileno-isopreno; • Manta de policloreto de vinila; • Manta de polietileno de alta densidade.

Fonte: NBR 9575 (ABNT 2003)

2.3.2 Solicitação pela água de percolação

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2003), os tipos de impermeabilização que devem ser empregados nas partes construtivas sob ação de água de percolação são os apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Impermeabilizantes para solicitação pela água de percolação

Tipo de sistema	Rígido	Flexível
Tipos de impermeabilização	• Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo; • Argamassa modificada com polímero; • Argamassa polimérica; • Cimento cristalizante para pressão negativa; • Cimento modificado com polímero; • Membrana epoxídica;	• Membrana acrílica; • Membrana de polímero modificado com cimento; • Membrana de asfalto elastomérico em solução; • Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero; • Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico; • Membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno; • Membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado; • Membrana elastomérica de poliisobutileno-isopreno, em solução; • Membrana de emulsão asfáltica; • Membrana de poliuretano; • Membrana de poliuretano modificado com asfalto; • Membrana de poliuréia; • Manta asfáltica; • Manta de acetato de etilvinila; • Manta elastomérica de etilenopropilenodieno-monômero; • Manta elastomérica de poliisobutileno-isopreno; • Manta de policloreto de vinila; • Manta de polietileno de alta densidade.

Fonte: NBR 9575 (ABNT 2003)

2.3.3 Solicitação pela água de condensação

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2003), os tipos de impermeabilização que devem ser empregados nas partes construtivas sob ação de água de condensação são os apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Impermeabilizantes para solicitação pela água de condensação

Tipo de sistema	Rígido	Flexível
Tipos de impermeabilização	• Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo; • Argamassa modificada com polímero; • Argamassa polimérica; • Cimento cristalizante para pressão negativa; • Cimento modificado com polímero; • Membrana epoxídica;	• Membrana de polímero modificado com cimento; • Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero; • Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico; • Membrana acrílica; • Membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno; • Membrana elastomérica de poliisobutileno-isopreno, em solução; • Membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado; • Membrana de emulsão asfáltica; • Membrana de asfalto elastomérico em solução; • Membrana de poliuretano; • Membrana de poliuretano modificado com asfalto; • Membrana de poliuréia; • Manta de acetato de etilvinila; • Manta de policloreto de vinila; • Manta de polietileno de alta densidade; • Manta asfáltica; • Manta elastomérica de etilenopropilenodieno-monômero; • Manta elastomérica de poliisobutileno-isopreno.

Fonte: NBR 9575 (ABNT 2003)

2.3.4 Solicitação pela umidade do solo

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2003), os tipos de impermeabilização que devem ser empregados nas partes construtivas sob ação da umidade do solo são os apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Impermeabilizantes para solicitação pela umidade do solo

Tipo de sistema	Rígido	Flexível
Tipos de impermeabilização	• Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo; • Argamassa modificada com polímero; • Argamassa polimérica; • Cimento modificado com polímero; • Membrana epoxídica;	• Membrana de polímero modificado com cimento; • Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero; • Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico; • Membrana de poliuretano; • Membrana de poliuretano modificado com asfalto; • Membrana de emulsão asfáltica; • Membrana elastomérica de poliisobutileno-isopreno, em solução; • Membrana de asfalto elastomérico em solução; • Membrana poliuréia; • Manta asfáltica; • Manta elastomérica de etilenopropilenodieno-monômero; • Manta elastomérica de poliisobutileno-isopreno; • Manta de policloreto de vinila; • Manta de polietileno de alta densidade.

Fonte: NBR 9575 (ABNT 2003)

2.4 Informações - Manta Asfáltica

Segundo Vedacit (2010), as mantas asfálticas são feitas à base de asfaltos modificados com polímeros e armados com estruturantes especiais e podem ser classificados de acordo com a tração, o alongamento e a flexibilidade a baixa temperatura, conforme apresentado na Tabela 8:

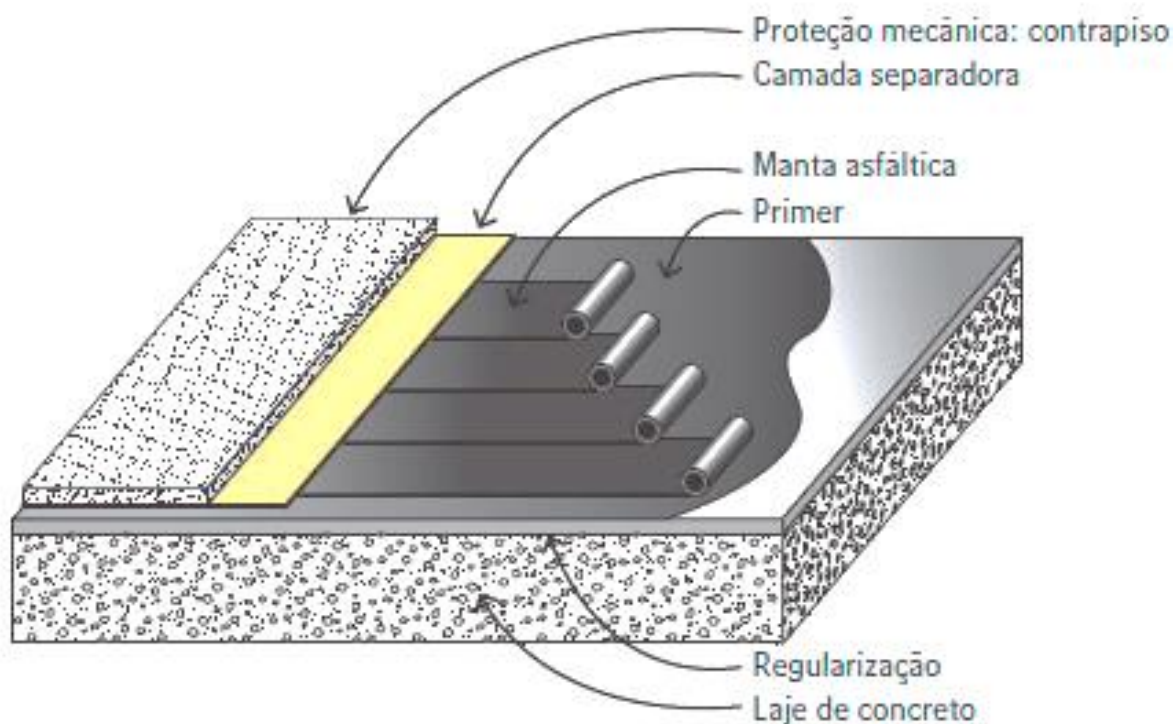
Tabela 8 - Classificação das mantas asfálticas

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	°C	- 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	°C	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

Fonte: NBR 9952 (ABNT 2014)

Para a aplicação da manta asfáltica, segundo Corsini (2011), são necessárias várias camadas, conforme mostrado na Figura 6:

Figura 6 - Camadas para aplicação da manta asfáltica



Fonte: CORSINI (2011)

Primeiramente é preciso que haja a regularização da laje concretada, em seguida a aplicação do primer⁵, para assim a execução da manta asfáltica.

Após a aplicação da manta, é realizado o teste de estanqueidade, no qual isola-se o local de aplicação e o mesmo é preenchido com água. Segundo a NBR 9574 (ABNT, 2008) recomenda-se ser efetuado o ensaio de estanqueidade com água limpa, com duração mínima de 72 horas para verificação de falhas na execução.

Porém, não bastam apenas esses itens para finalização da impermeabilização, é preciso também que haja uma proteção mecânica, para que o impermeabilizante não seja afetado por ações externas como, por exemplo, objetos que possam vir a perfurar a manta.

Entre a proteção mecânica e a manta asfáltica é indispensável a presença de uma camada separadora, cuja função é absorver a movimentação da manta para que ela não se rompa.

Conforme segue na NBR 9952 (ABNT, 2014), são citados seis principais tipos⁶ de camadas separadoras (Tabela 9):

⁵ Produto responsável a promover a aderência entre a manta asfáltica e a superfície de aplicação.

Tabela 9 - Tipos de camadas separadoras para manta asfáltica

Tipos	Granular	Geotêxtil	Metálico	Polietileno	Areia de baixa granulometria	Plástico metalizado
--------------	----------	-----------	----------	-------------	------------------------------	---------------------

Fonte: NBR 9952 (ABNT, 2014)

Dentre essas características, para escolher qual tipo de manta asfáltica deve ser usada no local, são considerados três principais aspectos:

Tabela 10 - Aspectos para escolha da manta asfáltica

Aspectos	Espessura (*)	Resistência à tração (**)	Desempenho (***)
Características	Está relacionada ao tipo de área e às condições às quais a área está sujeita.	Está relacionada à movimentação estrutural e térmica da área, e influi na eficiência do sistema.	Está relacionado à durabilidade do sistema impermeabilizante.
	(*) A norma estipula no mínimo 3mm, exceto ao tipo IV que deverá ser no mínimo 4 mm.	(**) Pela norma, pode variar de 80 N (Tipo I) até 550 N (Tipo IV).	(***) Pode ser do Tipo A, B ou C.

Fonte: NBR 9952 (ABNT, 2014)

Depois de escolhida a manta asfáltica e as outras camadas, começa a etapa de execução, na qual será aplicada a manta. Nessa fase é preciso dar uma atenção especial para os detalhes, como por exemplo, as emendas e os ralos.

Segundo Leal (2003), a emenda entre as mantas é o ponto mais crítico do sistema de impermeabilização, levando em conta que caso não for executada corretamente, a chance de surgir bolhas e infiltrações se torna maior.

Conforme citado no Capítulo 2.5.3, os ralos devem ser rigidamente fixados, chumbados e tratados, levando em conta que cada impermeabilizante possui um tratamento específico, para assim evitar futuras patologias.

⁶ Outros tipos de acabamento podem ser utilizados, desde que atendam aos requisitos da NBR 9952 (ABNT, 2014)

Os rodapés de paredes também devem ser tratados, sendo estendido no mínimo 20 cm, de manta, acima do piso acabado a fim de se evitar a passagem da água (SILVA *et al*, 2003).

Quanto a durabilidade da manta asfáltica, segundo Moraes (2002, p.30), ela tende a permanecer com estanqueidade total durante 5 a 10 anos depois de sua correta aplicação e segundo a EBI (2016) tem sua vida-útil de 20 a 25 anos.

2.5 Informações – Membrana de Poliuretano

O poliuretano (PU) é um polímero que compreende uma cadeia de unidades orgânicas unidas por ligação uretânicas (POXPUR, 2014)

Segundo Vilar (2002 apud QUINI *et al*, 2015, p. 4) a membrana de poliuretano em geral é composta por produtos bicomponentes formados pela reação de um componente contendo hidroxilas (polióis) e outro componente formado por isocianatos, ambos líquidos com baixa viscosidade. Depois de misturados tem-se o tempo de manuseio para o espalhamento da solução no substrato.

No mercado a solução de hidroxila é conhecida como composto A e a de isocianatos como composto B, cada um com suas características específicas, conforme mostrado, de forma sucinta, na Tabela 11, a seguir:

Tabela 11 - Compostos da membrana de poliuretano

Componentes (*)	A	B
Soluções	A base de poliol (hidroxila) (**)	A base de isocianatos (***)
Informações	Trata-se da solução que normalmente da 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

Fonte: Vilar (2002)

Para o uso do poliuretano é necessário levar em consideração a classificação quanto a sua área de aplicação por kg/m², isto é, conforme a Denver (2017) indica, temos que:

Tabela 12 - Classificação do poliuretano quanto ao local de aplicação pela Denver

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

Fonte: Denver (2017)

A Poxpur (2014) possui três versões diferentes de poliuretano, conforme apresentado na Tabela 13, a seguir:

Tabela 13 - Classificação do poliuretano quanto ao local de aplicação pela Poxpur

Poliuretano	PU-150	PU-250	PU-400
Informações	• Produto com 150% de alongamento • Indicado para áreas de pequenos vãos entre juntas • 1,5 kg/m²	• Produto com 250% de alongamento • Indicado para áreas com vão de até seis metros de distância entre as juntas • 2,5 kg/m²	• Produto com 400% de alongamento • Indicado para grandes áreas onde a movimentação exige mais dos produtos • 4,0 kg/m²

Fonte: Poxpur (2014)

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, calafetando os ralos, juntas e trincas com argamassa traço 1cimento:3areia (DENVER, 2017).

Depois do preparo da superfície é feita a mistura dos componentes A e B, em seguida é aplicada a primeira demão (DENVER, 2017).

Após a aplicação da primeira demão, é necessária a colocação da tela de poliéster nos rodapés 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). 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).

Segundo a EBI (2016) a membrana de poliuretano tem uma vida-útil de aproximadamente 50 anos.

2.6 Patologias da impermeabilização

Os materiais aplicados na impermeabilização possuem características próprias e variáveis, portanto a escolha dos mesmos deve ser baseada em conformidade com as solicitações impostas, tais como alongamento da estrutura, movimento, tração, exposição, ambiente implantado, dentre outras.

Além das particularidades dos materiais é necessário ainda levar em conta as propriedades físicas e químicas intrínsecas à própria estrutura de concreto que servirá de suporte, já que o concreto é um material poroso.

Conforme Storte (2011), as dificuldades dos profissionais, a respeito do não conhecimento ou avaliação das propriedades dos materiais, assim como o não conhecimento da própria estrutura a ser impermeabilizada, muitas vezes acarretam problemas de patologias construtivas. E essas, por sua vez, incidem diretamente no desempenho da impermeabilização, o que, conseqüentemente, faz com que a mesma, caso não seja projetada e/ou executada de forma adequada, falhe e não resista aos esforços impostos pelo objeto.

Storte (2011) ainda completa que na maioria das vezes a impermeabilização é “ineficiente”, porém o que se sabe é que em muitas ocasiões, após uma análise mais rigorosa, a mesma só perde a sua eficiência devido aos erros construtivos, ocasionando assim a sua degradação.

O referido autor divide as principais patologias em dois grupos, sendo eles:

- Grupo 01: manifestações patológicas provocadas pela infiltração da água, devido à ausência ou falha da impermeabilização. Essas manifestações podem gerar as seguintes patologias: corrosão das armaduras, carbonatação do concreto e eflorescências;
- Grupo 02: manifestações patológicas originárias do processo construtivo, que podem provocar o rompimento ou danos à impermeabilização. Nesse grupo é possível a visualização dos seguintes itens: trincas e fissuras em estruturas de concreto e deformação excessiva do concreto armado.

2.6.1 Corrosão das armaduras e carbonatação do concreto

Para que não haja exposição da armadura, a NBR 6118 (ABNT, 2003) recomenda um cobrimento mínimo de concreto sobre as seções de aço, isto é, deve haver um volume mínimo de concreto ao redor da ferragem para evitar a corrosão. Caso esses itens não sejam respeitados, a estrutura corre sério risco de não atender às exigências técnicas das NBR. A Tabela 14 apresenta as espessuras mínimas de cobrimento de acordo com algumas normas vigentes.

Tabela 14 - Espessuras mínimas de cobrimento pelas normas NB1/60, NBR 6118:2003 e CEB/90

NB – 1/60	NBR 6118:2003			CEB/90	
- Lajes e paredes no interior de edifícios (10 mm) (*) - Lajes e paredes ao ar livre (15 mm) - Vigas, pilares e arcos no interior de edifícios (15 mm) - Vigas, pilares e arcos ao ar livre (20 mm) - Peças em contato com o solo (20 mm) (**)	Classe de agressividade	Cobrimentos mínimos (mm)		Classe de exposição	Cobrimentos mínimos (mm)
		Lajes	Vigas/pilar		
	I	10	15	1	10
	II	15	20	2	25
	III	25	30	3,4	40
IV (***)	35	40	5	(****)	
A tolerância que deve ser adotada equivale a 10 mm. Em casos de rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, pode ser adotado o valor de 5 mm			A tolerância que deve ser adotada equivale a 10 mm. Em casos rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, pode ser adotado o valor de 5mm		
(*) Laje no interior de edifícios permite-se 5 mm de cobrimento, desde que seja feito com reboco. (**) Cobrimentos especiais devem ser adotados para elementos expostos à ação de ácidos, álcalis, águas agressivas, óleos e gases nocivos, altas e baixa.	(****) Nas lajes inferior de reservatórios e obras em ambientes químicos e intensamente agressivos, o cobrimento deve ser ≥ 45 mm			(*****) A ser definido de acordo com o agente agressivo	

Fonte: NB1/60, NBR 6118:2003 e CEB/90.

Angelo (2004) complementa que a melhor proteção para as armaduras das estruturas de concreto é através do cobrimento com características de integridade química e física. O autor também aponta que a carbonatação do concreto é um dos processos que resulta na redução da capacidade de proteger o aço. O nome “carbonatação” advém de uma reação que envolve o elemento de dióxido de carbono (CO_2) com a água, transformando assim as substâncias alcalinas da pasta de cimento em carbonato de cálcio (CaCO_3).

A reação de carbonatação também reduz o pH e a capacidade de formação da película de ferrato de cálcio, importante na proteção das armaduras contra a corrosão. Com esta

redução do pH, a proteção química do concreto ao aço passará a não existir, colocando-o em situação vulnerável à corrosão (NEVILLE, 1977).

Segundo Storte (2011), a corrosão das armaduras é uma das principais manifestações patológicas, responsáveis por prejuízos da ordem de 0,5% do PIB (Produto Interno Bruto). A segregação do concreto com formação de ninhos de concretagem originaria de um traço errado, formas inadequadas, lançamento e vibração incorretos, também interferem na exposição das armaduras, deixando-as expostas a umidade, o que consequentemente ocasiona o processo de corrosão, conforme apresentado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Corrosão em armaduras



Fonte: Guerra (2015)

Figura 8 - Viga com a exposição da armadura e com o processo de corrosão iniciado



Fonte: Guerra (2015)

Segundo Guerra (2015), a maior desvantagem da oxidação do aço é o seu elevado aumento de volume, que chega a valores de até cinco vezes maiores, criando assim pressões laterais muito fortes que tendem a danificar o concreto. Esse processo se torna degenerativo, expelindo assim a cobertura de concreto e expondo a armadura aos ataques ambientais que enferrujam rapidamente, diminuindo a sua secção resistente.

2.6.2 Eflorescências

De acordo com Silva (2011), a eflorescência pode ser definida como um depósito cristalino de cor branca, que surge na superfície de revestimentos, como pisos, paredes e tetos, que conseqüentemente resulta na migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas, sendo elas, segundo Cruz (2003), uma das principais conseqüências da retenção de umidade. Silva (2011) ainda acrescenta que:

“Os depósitos acontecem quando os sais solúveis nos componentes das alvenarias, nas argamassas de emboço, de fixação, de rejuntamento ou nas placas cerâmicas são transportados pela água utilizada na construção, na limpeza ou vinda de infiltrações, através dos poros dos componentes de revestimento. Esses sais em contato com o ar se solidificam, causando depósitos”.

Em consonância ao que foi citado, Storte (2011) afirma que a eflorescência é resultado da exposição à água de infiltrações ou intempéries, sendo considerada como um dano por alterar a aparência do elemento onde se deposita. Em alguns casos em que os sais constituintes são agressivos e causam degradação profunda, há modificação no aspecto visual como exemplo, a formação branca de carbonato de cálcio sobre a superfície.

Silva (2011) explica que quando a água chega a dissolver os sais minerais consigo, ela tende a evaporar deixando como resíduo os sais cristalizados. Assim, além do mal aspecto gerado, já citado, elas podem também causar o descolamento ou descoloramento de superfícies com pintura.

O autor pondera ainda que essa patologia situada entre tijolos e rebocos pode provocar o descolamento destes, podendo formar precipitados minerais estalactites, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Eflorescências já com a formação de estalactites



Fonte: Silva (2011)

Entre os fatores que podem contribuir para a formação das eflorescências estão o teor de sais solúveis, a pressão hidrostática para proporcionar a migração para a superfície, e claro, a presença de água. A melhor forma de prevenção é a impermeabilização das superfícies de forma correta como é estabelecido na NBR 9574:1998 – Execução de Impermeabilização. A Figura 10 apresenta o descolamento de um sistema de pintura, em decorrência de um processo de eflorescência.

Figura 10 - Manifestação causando descolamento da pintura



Fonte: Silva (2011)

2.6.3 Trincas e fissuras em estruturas de concreto

As trincas e fissuras, segundo Storte (2011), são definidas como um aviso de um eventual problema estrutural, e dentre as principais causas das trincas encontradas estão destacadas as seguintes:

- Variações térmicas:

Como o concreto está sempre sujeito a variações térmicas diárias e sazonais, essas ditas variações provocam oscilações dimensionais, mais chamadas de dilatação e contração. Esses movimentos constantes e repetidos podem provocar fissuras e/ou trincas.

Dependendo da situação e da sua intensidade, essa oscilação dimensional pode causar o destacamento entre as alvenarias, argamassas e estrutura, fissuras inclinadas em paredes com vínculo em pilares e vigas, fissuras em alvenarias ou mesmo em concreto com grandes vãos sem juntas de dilatação.

- Ninhos e falhas de concretagem:

Os ninhos e falhas de concretagem são pontos preferenciais de ocorrência de corrosão das armaduras, cujas consequências como fissuração do concreto e expansão das armaduras, podem danificar a impermeabilização.

“Os ninhos e falhas de concretagem devem ser cuidadosamente reparados, de forma a datar estas regiões, com propriedades, no mínimo iguais ao do concreto original. Devem ser eliminados todos os materiais desagregados até atingir o substrato compacto, efetuando-se o reparo com argamassas de alta resistência, não retrateis aditivadas com polímeros incorporadores de aderência, aplicada após prévia hidratação do substrato” (STORTE, 2011).

- Recobrimento das armaduras:

A ausência de recobrimento (Tabela 8) adequado das armaduras do concreto armado pode desencadear processos de corrosão das mesmas, tendo como manifestação a expulsão da sua capa de cobertura, interferindo assim na aderência ou rasgamento do sistema impermeabilizante.

Uma vez que seja constatada a deficiência do cobrimento das armaduras, pode-se prevenir essa patologia com a aplicação de revestimentos especiais que compensem a ausência do recobrimento recomendado por norma.

“Uma das soluções adotadas é o da aplicação de cimentos ou argamassas poliméricas, compostas de cimento, quartzo de granulometria definida e polímeros (acrílicos, SBR, SBS, etc.), cuja propriedade de baixa permeabilidade a agentes agressivos, evita ataque às armaduras” (STORTE, 2011).

- Chumbamento de peças:

A colocação de ralos, tubulações, peças emergentes devem ser rigidamente fixadas para que dessa forma o seu deslocamento não prejudique a impermeabilização aplicada.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram usadas informações de diversos autores (ver Capítulo 2) que estudaram linhas de pesquisas relacionadas à impermeabilização, desde monografias até dissertações de mestrado na área e as informações dos projetos da empresa Virtus Soluções localizada em Brasília-DF.

Dentre as bibliografias, serão usadas também Normas Brasileiras (NBR) desenvolvidas pela parceria da ABNT com outras entidades peritas na área de impermeabilização.

No estudo de caso, foi analisada a obra SPE NEW LIFE (Figura 11) situada na Rua Bento Paniago, n. 241, Setor Antena, cidade Jataí-GO, constituída de 2 edifícios residenciais multifamiliares com 24 andares cada, uma área comum, totalizando 172 apartamentos e 26.573,31 m² de área construída, na qual serão aplicados os dois tipos de impermeabilizantes estudados neste trabalho, a manta asfáltica e a membrana de poliuretano.

A obra foi lançada em abril de 2015 pela Habitat Incorporadora e possui previsão para entrega em agosto de 2018

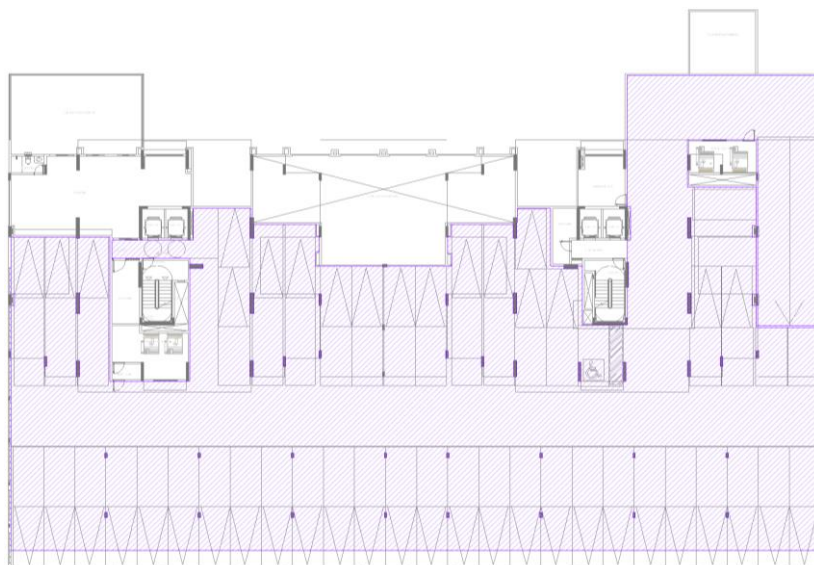
Figura 11 – Foto ilustrativa do edifício New Life



Fonte: Incorporadora (2015)

Por projeto, o local de aplicação do poliuretano está no estacionamento do primeiro pavimento, totalizando uma área de 1933 m² de aplicação, conforme indicado pela cor roxa na Figura 12 a seguir.

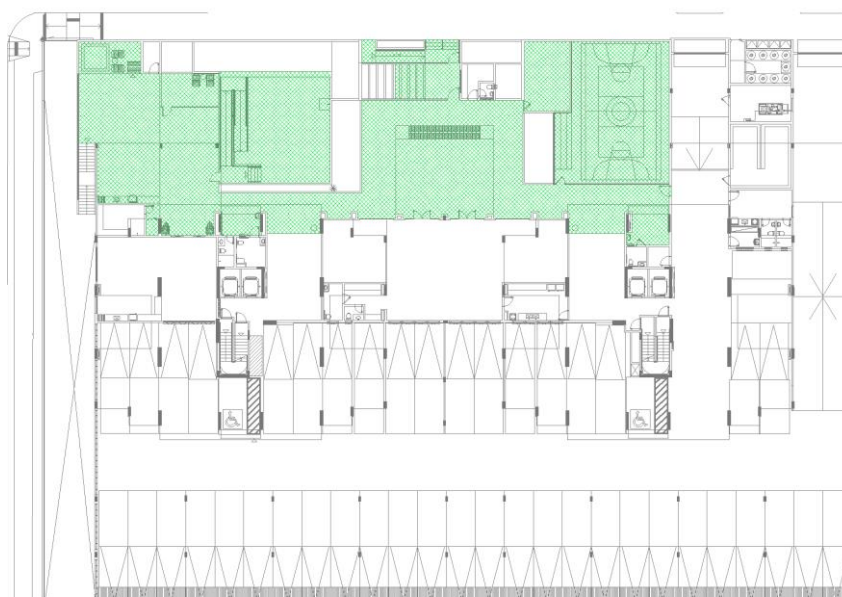
Figura 12 - Local de aplicação do poliuretano



Fonte: Projeto de impermeabilização da obra (VIRTUS, 2016)

A manta asfáltica, está localizada na laje do térreo da área comum, totalizando uma área de 878 m² de aplicação, conforme indicado pela cor verde na Figura 13 a seguir.

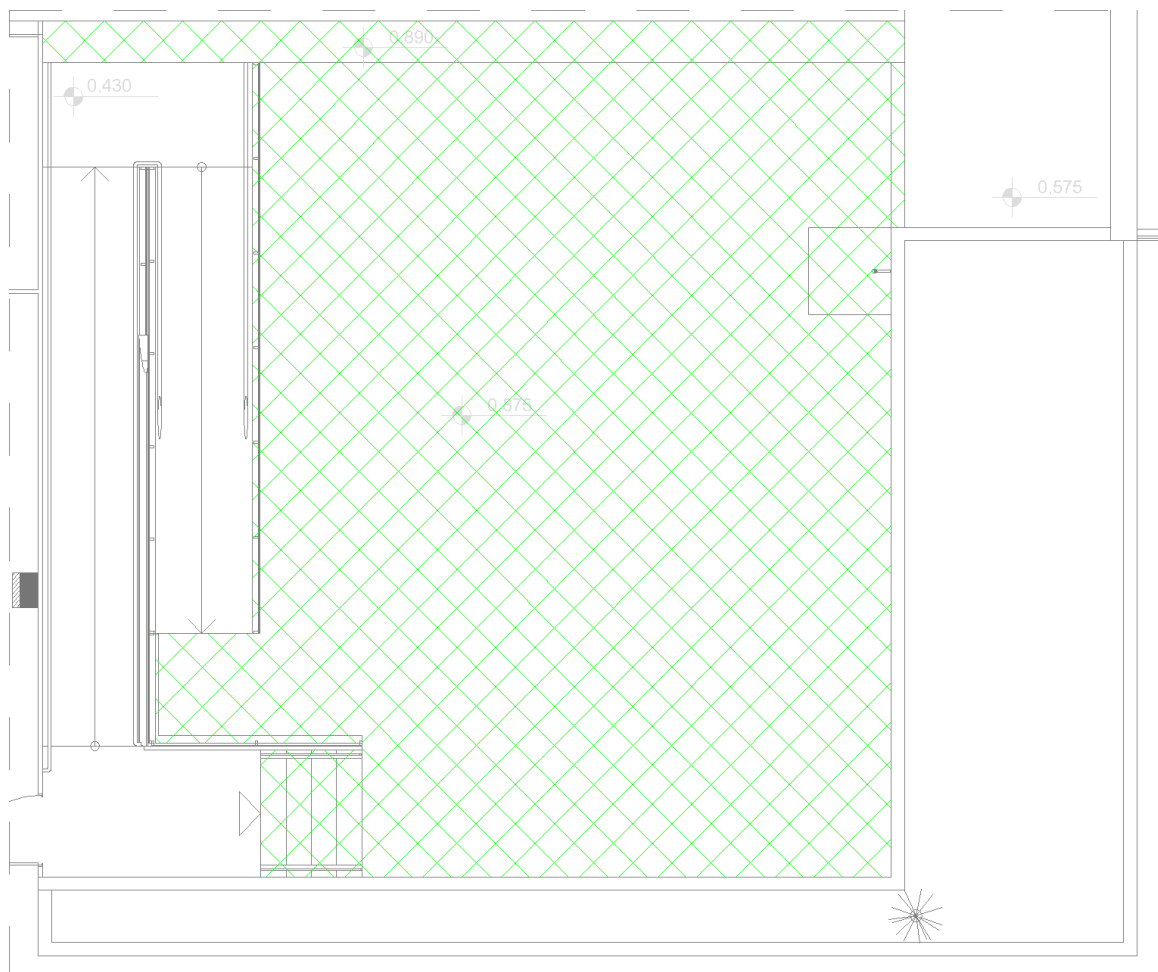
Figura 13 - Local de aplicação da manta asfáltica



Fonte: Projeto de impermeabilização da obra (VIRTUS, 2016)

E também no deck acima da laje da área comum, indicada pela cor verde, conforme projeto apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Local de aplicação da manta asfáltica acima da laje da área comum



Fonte: Projeto de impermeabilização da obra (VIRTUS, 2016)

Ambos os impermeabilizantes são do sistema flexível, isto é, podem ser aplicados em locais com mesmas condições (ver Capítulo 2.2), porém pressupõe-se que possuem diferentes características de aplicações.

Para a realização do comparativo serão levados em consideração alguns itens essenciais para se chegar aos objetivos desta pesquisa, conforme apresentado na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 - Itens considerados para realização do comparativo dos impermeabilizantes estudados

Itens
Área de aplicação levando em consideração o que está indicado em projeto
Número de funcionários utilizados para aplicação dos impermeabilizantes
Tempo gasto para aplicação do início ao fim
Preparativo para aplicação (caso haja necessidade)
Valor do m ² (tanto de mão de obra quanto de material)
Diferentes tipos de detalhes construtivos para cada impermeabilizante
Impermeabilizante utilizado (específico)
Desempenho do impermeabilizante na área aplicada
Espessura final do impermeabilizante

Fonte: elaborado pelo autor

4 ESTUDO DE CASO

Dentro deste capítulo serão apresentadas as informações a respeito dos impermeabilizantes utilizados na obra (ver Capítulo 3), além das informações coletadas *in loco* anteriormente apresentadas na Tabela 15.

Para executar toda a impermeabilização da obra, foi necessária a contratação de uma empresa especializada na área, a EBI – Impermeabilizações e Construções, cuja sede está situada na cidade de Goiânia-GO.

4.1 Manta Asfáltica

A manta asfáltica específica indicada para aplicação, pelo projeto de impermeabilização da obra, possui as características apresentadas na Tabela 16.

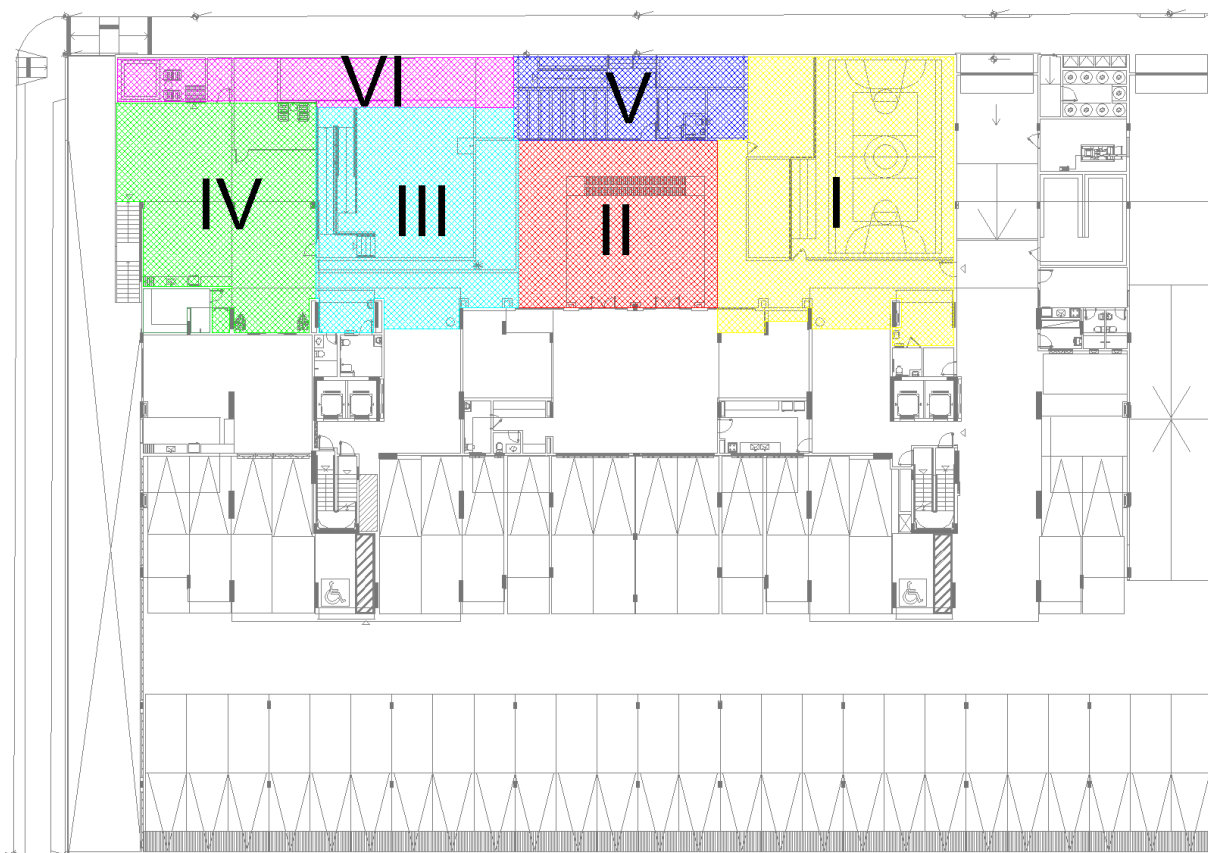
Tabela 16 - Características da manta asfáltica indicada para aplicação pelo projeto

Sistema de impermeabilização	Dupla Manta Asfáltica 4 mm tipo III B AA aderida com asfalto oxidado (4,0 kg/m ²) + banho de asfalto nas emendas
Camada separadora	Geotêxtil R 7
Proteção mecânica	Contrapiso
Espessura máxima	12 cm

Fonte: Projeto de impermeabilização da obra (VIRTUS, 2016)

Como a área de aplicação de manta asfáltica era muito grande, a mesma foi dividida em seis trechos, os quais estão indicados como trecho I, II, III, IV, V e VI conforme o mapeamento apresentado na Figura 15 a seguir:

Figura 15 – Mapeamento dos trechos da manta asfáltica



Fonte: pelo autor

O trecho escolhido para o estudo de caso foi o trecho IV representado por uma área de 148,94 m².

Nessa área seria aplicada a manta asfáltica descrita na Tabela 16, porém, durante a estimativa de custo da mesma, verificou-se que o valor seria superior ao levantado no orçamento da obra. Desta forma, entrou-se em contato com o projetista para analisar a situação e verificar se era possível substituir o impermeabilizante. Após resposta positiva do projetista frente à solicitação foi feita a substituição apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 – Troca de manta asfáltica realizada na obra

	Antes	Depois
Sistema de impermeabilização	Dupla Manta Asfáltica 4 mm tipo III B AA aderida com asfalto oxidado (4,0 kg/m ²) + banho de asfalto nas emendas	Manta Asfáltica Simples 4 mm tipo III B AA aderida com asfalto oxidado (3,0 kg/m ²)
Camada separadora	Geotêxtil R 7	Filme de polietileno
Proteção mecânica	Contrapiso	Contrapiso
Espessura máxima	12 cm	10 cm

Fonte: pelo autor

Perante essa substituição foi utilizada a manta asfáltica da empresa Denver Impermeabilizantes, conforme apresentado na Figura 16 a seguir:

Figura 16 – Manta asfáltica utilizada



Fonte: pelo autor

Segundo a Denver (2004) essa manta é fornecida em bobinas de 1 metro de largura por 10 metros de comprimento, acondicionadas em paletes contendo 20 bobinas envoltas por um filme polietileno e possui as seguintes utilizações recomendadas:

DENVERMANTA ELASTIC TIPO III - É especialmente recomendada para impermeabilização de lajes maciças, pré-moldadas, nervuradas, *steel deck*, piscinas elevadas e apoiadas, terraços, calhas, espelhos d'água, tanques, cortinas (aplicação externa), etc. (DENVER, 2004)

Com as características catalogadas pela própria empresa, conforme segue na Tabela 18.

Tabela 18 - Características da manta asfáltica utilizada

Ensaio	Tipo III
Composição básica	Asfalto
Cor	Preto
Tração longitudinal	>400 N
Tração transversal	>400N
Alongamento longitudinal	>30 %
Alongamento transversal	>30 %
Absorção de água	<1,5 %
Flexibilidade à baixa temperatura	- 5° C
Resistência ao impacto	4,9 J
Escorrimento	95° C
Estabilidade dimensional	1 %
Flexibilidade após envelhecimento acelerado (CUV)	5 °C
Estanqueidade	>15 mca
Resistência ao rasgo	>120 N

Fonte: DENVER (2004)

No contrato da Habitat Incorporadora com a terceirizada EBI – Impermeabilizações e Construções foi considerado o valor de material apresentado na Tabela 19 para toda a área de lazer.

Tabela 19 - Informações do contrato para manta asfáltica

Descrição	Produto	Área Total (m ²)	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Área de lazer	Manta asfáltica simples 4 mm tipo III B AA aderida com asfalto oxidado (3,0 kg/m ²)	878,00	199,60	175.248,80

Fonte: EBI (2016)

Conforme acompanhado em obra, e levando-se em consideração que foram usados 2 colaboradores trabalhando das 8:00 às 11:30 e das 13:00 às 17:00 todos os dias para aplicação da manta asfáltica, foram seguidas as seguintes etapas de execução:

- **Preparo da superfície (06/03/2017)**

Foi feita a limpeza da superfície de concreto, tornando-a isenta de pó, areia e óleo, para posterior regularização com contrapiso (traço 1:2), isto é, argamassa desempenada de cimento e areia.

- **Aplicação do primer (08/03/2017)**

Depois da superfície regularizada com contrapiso, teve início a etapa de aplicação do primer, mais especificamente o Denvermanta Primer Acqua⁷ (Figura 17), cuja função é dar aderência ao asfalto aquecido. A aplicação foi feita com uma vassoura de pelo macio a temperatura ambiente (26 °C).

⁷ Emulsão asfáltica para imprimação, à base de asfalto disperso em água, para aplicação a frio, especialmente recomendado para imprimação de substratos de concreto e argamassas, para atuar como elemento de ligação nas aplicações de mantas asfálticas aderidas ao substrato (DENVER, 2011, p.27).

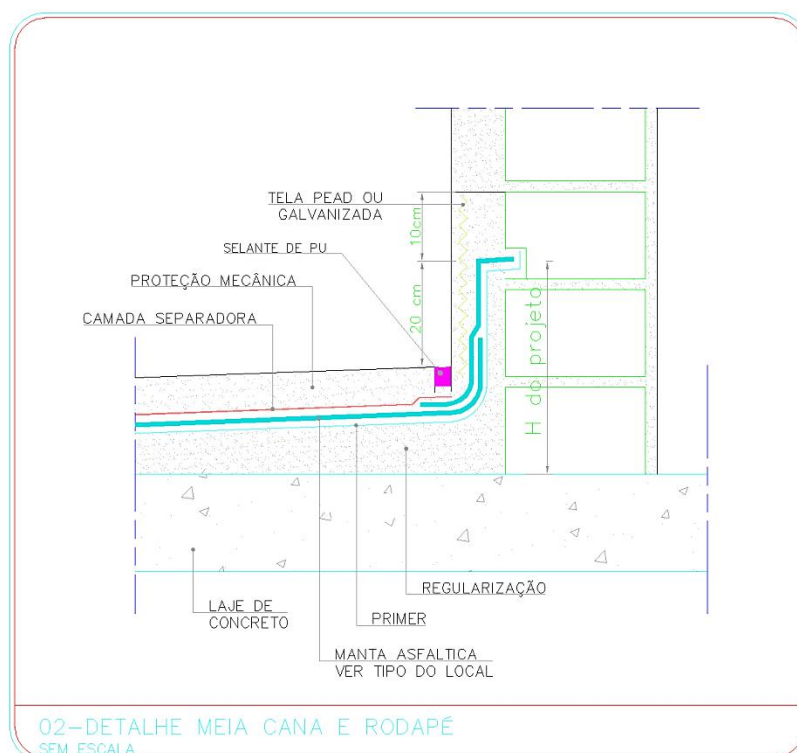
Figura 17 – Primer utilizado para manta asfáltica



Fonte: pelo autor

Conforme Capítulo 2.4, os rodapés das paredes também foram tratados para impedir a passagem de água pelas paredes, seguindo o detalhe de projeto apresentado na Figura 18.

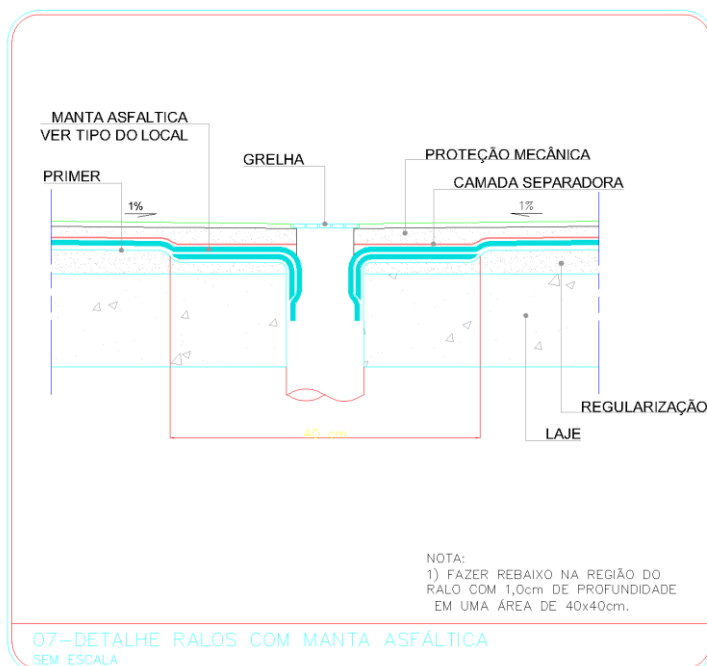
Figura 18 – Detalhe de execução dos rodapés com manta asfáltica



Fonte: Projeto de impermeabilização da obra (VIRTUS, 2016)

No trecho estudado também foi constatada a presença de ralos, sendo o detalhe de execução destes apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Detalhe dos ralos com manta asfáltica



Fonte: Projeto de impermeabilização da obra (VIRTUS, 2016)

- **Aplicação do asfalto a alta temperatura (08/03/2017)**

Após a aplicação do primer, e depois de aproximadamente 6 horas com a superfície seca, teve início a aplicação do Denver Poliasfalto⁸ (Figura 20), cuja função é dar aderência à manta asfáltica.

Figura 20 – Asfalto utilizado para manta asfáltica



Fonte: pelo autor

⁸ Asfalto modificado de alta plasticidade, obtido a partir do CAP (Cimento asfáltico de petróleo). Usado para colagem de mantas asfálticas (DENVER, 2011, p.33)

Primeiramente o asfalto, na forma sólida, foi aquecido com uma caldeira elétrica (Figura 21) até se fluidificar (temperatura entre 180 °C a 220 °C), depois, com um espalhador de fibras vegetais, ele foi aplicado acima do primer e aguardou-se a sua secagem.

Figura 21 – Caldeira eléctrica para aquecimento do asfalto usado para manta asfáltica



Fonte: pelo autor

- **Aplicação da manta asfáltica (09/03/2017)**

Depois de aplicado o asfalto modificado, deu-se início à colagem da manta asfáltica, Denvermanta Elastic⁹ (Figura 16). Com um maçarico e um botijão de gás (Figura 22), a manta asfáltica foi sendo aquecida e colada (Figura 23).

⁹ Manta impermeabilizante, à base de asfalto modificado com polímeros elastoméricos, estruturada com armadura de poliéster não tecido (DENVER, 2011, p.16).

Figura 22 – Equipamentos utilizados para colagem da manta asfáltica. (a) Maçarico e (b) Botijão de gás.



(a)



(b)

Fonte: pelo autor

À medida em que a manta asfáltica e o asfalto eram aquecidos, o funcionário desenrolava a manta, pressionando-a no sentido do centro às bordas para evitar a formação de bolhas, deixando um transpasse de 10 cm entre elas.

Figura 23 – Aplicação da manta asfáltica



Fonte: pelo autor

- **Teste de estanqueidade (10/03/2017)**

Para verificar se houve falhas na execução da manta asfáltica foi necessário realizar o teste de estanqueidade, para tal, a região impermeabilizada foi isolada e preenchida com água (Figura 24) com uma lâmina de 4 cm (Figura 25) referente à capacidade de estanqueidade da manta.

Conforme estabelecido na NBR 9574 (ABNT, 2008), o teste teve a duração mínima de 72 horas.

Figura 24 – Teste de estanqueidade da manta asfáltica



Fonte: pelo autor

Figura 25 – Altura da lâmina d'água do teste de estanqueidade da manta asfáltica



Fonte: pelo autor

- **Aplicação da camada separadora (13/03/2017)**

Com intuito de absorver a movimentação da manta para que ela não se rompa, foi necessária a aplicação de uma camada separadora, mais especificamente o filme de polietileno, em todo o trecho, conforme apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Camada separadora sobre a manta asfáltica



Fonte: pelo autor

- **Preparo da proteção mecânica (13/03/2017)**

Após a aplicação da camada separadora, foi necessário aplicar uma proteção mecânica para evitar que objetos pontiagudos perfurem a manta asfáltica. Usando o mesmo traço da preparação da superfície, foi executado o contrapiso com argamassa de cimento e areia, conforme apresentado na Figura 27.

Figura 27 – Preparo da proteção mecânica sobre a camada separadora da manta asfáltica



Fonte: pelo autor

Depois de aplicada a proteção mecânica, verificou-se a espessura final do impermeabilizante sobre a laje, e o resultado foi 10 cm de altura.

Com essas etapas, concluíram-se os processos necessários para aplicação deste impermeabilizante na data de 14/03/2017.

Em resumo, o cronograma de execução da manta asfáltica é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Cronograma de execução da manta asfáltica

	06/03	07/03	08/03	09/03	10/03	11/03	12/03	13/03	14/03
Preparo da superfície									
Aplicação do prime									
Aplicação do asfalto a alta temperatura									
Aplicação da manta asfáltica									
Teste de estanqueidade									
Aplicação da camada separadora									
Preparo da proteção mecânica									

Fonte: pelo autor

A Tabela 21 apresenta o que foi acordado em contrato com a terceirizada EBI – Impermeabilizações e Construções, em termos de valores de material e de mão de obra e também os valores medidos *in loco* no trecho estudado.

Tabela 21 – Valor final da aplicação da manta asfáltica no trecho referente

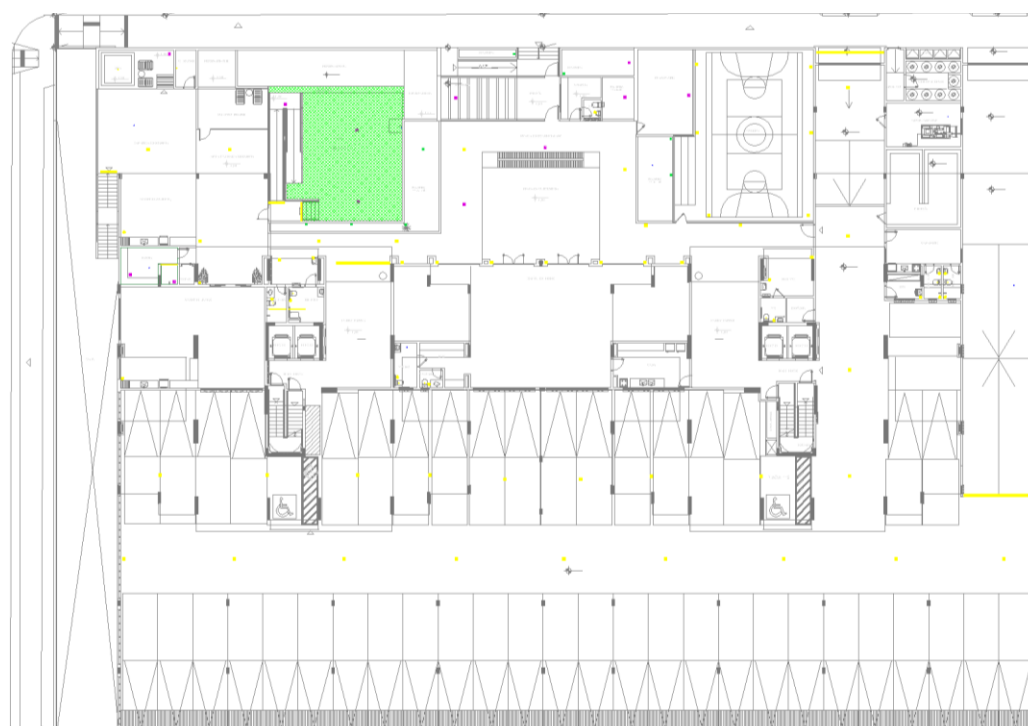
Descrição	Área total (m²)	Item	Valor unitário (R\$/m²)	Área do estudo de caso (m²)	Valor da área estudada (R\$)
Laje de lazer	878,00	Mão de obra	83,79	148,94	12.479,68
		Material	199,60		29.728,42
TOTAL					42.208,10

Fonte: pelo autor

4.2 Membrana de poliuretano

A princípio, o poliuretano seria aplicado somente na garagem do mezanino, conforme especificado na Figura 12, porém, o estudo de caso será feito no deck da área de lazer (Figura 14), cuja área é de 73,80 m² (Figura 28).

Figura 28 – Área de aplicação do poliuretano do deck da área de lazer



Fonte: Projeto de impermeabilização da obra (VIRTUS, 2016)

Essa mudança, da manta asfáltica para a membrana de poliuretano, foi passada pelos projetistas e como os dois sistemas de impermeabilização se aplicam ao local, a alteração foi

autorizada. Os motivos da mudança, segundo a empresa EBI – Impermeabilizações e Construções, foi devido a três fatores:

- Tempo de execução;
- Facilidade de aplicação;
- Peso do impermeabilizante¹⁰.

A Tabela 22 apresenta as características e especificações técnicas da membrana de poliuretano utilizada no trecho em questão. Já a Tabela 23 apresenta o que foi acordado em contrato com a terceirizada EBI – Impermeabilizações e Construções, em termos de valores de material e de mão de obra e também os valores medidos *in loco* no trecho estudado.

¹⁰ A área na qual foi aplicado o impermeabilizante tratava-se de uma laje pré-moldada de lajotas com treliças que ficava acima da laje de concreto armado. Assim para diminuir a carga sobre essa laje, foi alterado o tipo de impermeabilizante.

Tabela 22 – Características da membrana de poliuretano utilizada

Poliuretano	Descrição
Poxpur	• Membrana de poliuretano, para tráfego de pessoas, bi componente moldado in loco • Poliuretano reativo, isento de voláteis orgânicos aplicado a frio formando uma membrana impermeável resistente ao fogo e flexível
PU-250	• Por ser um produto de baixa viscosidade, penetra na porosidade de fissuras e trincas • 250% de alongamento • 2,5 kg/m²

Fonte: EBI (2016)

No contrato da Habitat Incorporadora com a terceirizada EBI – Impermeabilizações e Construções estava sendo considerado que fosse aplicada a manta asfáltica no deck, mas por conta da mudança, foram usadas as seguintes informações de contrato para a área aplicada:

Tabela 23 - Informações do contrato para a membrana de poliuretano

Descrição	Produto	Área Total (m²)	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Terraço Descoberto	Poliuretano bi componente para tráfego de pessoas (2,5 kg/m ²) + véu de poliéster + aspersão de areia	163,00	91,84	14.969,92

Fonte: EBI (2016)

A Figura 29 apresenta o produto utilizado na impermeabilização do deck da área de lazer.

Figura 29 – Membrana de poliuretano bi componente utilizada



Fonte: pelo autor

Segundo a EBI (2016), para determinar quantas demãos são necessárias para a superfície, é preciso levar em consideração a relação kg/m^2 . De acordo com suas informações, uma demão da membrana de poliuretano equivale a 0,5 mm de espessura, que consequentemente representa 0,5 kg/m^2 . Neste estudo de caso, a relação usada foi de 2,5 kg/m^2 , ou seja, para alcançar esse parâmetro foi necessário aplicar 5 demãos de 0,5 mm, sendo a espessura final¹¹ de aplicação de 2,5 mm.

¹¹ Para verificar qual foi a espessura final, foi necessário retirar uma pequena e insignificante área da superfície, posteriormente a área foi impermeabilizada novamente, não acarretando prejuízos ao sistema de impermeabilização.

Conforme acompanhado em obra, e levando-se em consideração que foram usados 2 colaboradores trabalhando das 8:00 às 11:30 e das 13:00 às 17:00 todos os dias para aplicação da membrana de poliuretano foram seguidas as seguintes etapas:

- **Regularização da superfície (08/11/2017)**

Para aplicação do poliuretano, foi necessário calafetar as irregularidades da superfície do deck acima do contrapiso¹² executado, usando uma argamassa forte (1cimento:3areia), conforme apresentado na Figura 30. É importante destacar que a superfície deve estar seca, limpa e isenta de óleos.

Figura 30 – Regularização da superfície



Fonte: pelo autor

- **Aplicação da primeira demão de poliuretano (09/11/2017)**

Depois de regularizada e seca a superfície do deck, foi iniciada a aplicação da primeira demão da membrana de poliuretano. Primeiramente foi feita a mistura dos componentes A e B do poliuretano, a qual foi seguida a seguinte ordem de mistura: inicialmente agitou-se o componente A para que suas partículas se desprendam, em seguida foi adicionado o componente B e, posteriormente, ambos foram misturados até formarem uma mistura em estado pastoso, conforme ilustrado na Figura 31.

¹² O contrapiso já havia sido executado antes de ser decidido que seria aplicado poliuretano nesta área. A princípio a membrana pode ser aplicada diretamente na laje, desde que ela esteja lisa ou polida.

Figura 31 – Mistura dos componentes do poliuretano



Fonte: pelo autor

Logo depois de misturados os dois componentes, foi utilizado um rolo de lã para a aplicação da primeira demão de poliuretano conforme apresentado na Figura 32.

Figura 32 – Aplicação da primeira demão de poliuretano



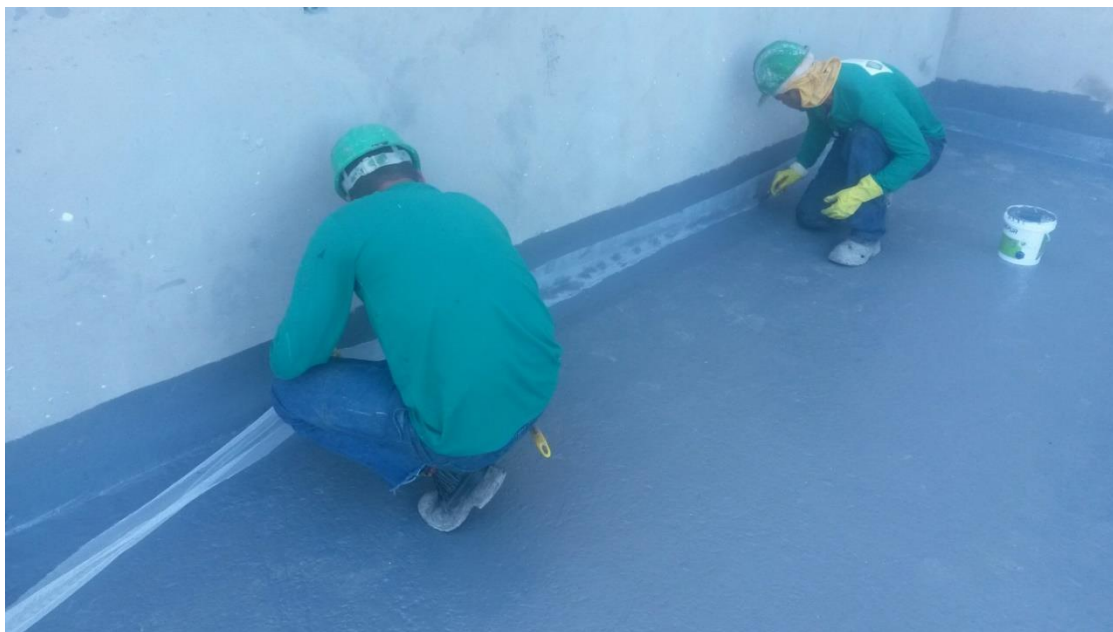
Fonte: pelo autor

- **Aplicação da tela de poliéster estruturante nos rodapés e ralos (09/11/2017)**

Como o poliuretano tinha sido aplicado pela manhã, pela tarde a superfície já estava seca, logo, seguindo os procedimentos da terceirizada EBI – Impermeabilizações e Construções foi colada a tela de poliéster nos rodapés¹³ (Figura 33) e nos ralos (Figura 34), usando o próprio poliuretano, com o intuito de evitar fissurações na interface entre a laje e a parede.

¹³ A tela foi cortada com uma altura de 15 cm, sendo metade para laje e a outra metade para a parede.

Figura 33 – Colagem da tela de poliéster nos rodapés



Fonte: pelo autor

Figura 34 – Colagem da tela de poliéster nos ralos



Fonte: pelo autor

- **Tempo de espera para a secagem da superfície devido à ocorrência de chuvas (10/11/2017)**

Durante os dias 10/11/2017 (sexta-feira) e 11/11/2017 (sábado), houve forte incidência de chuvas, devido a este fator, foi colocada uma lona plástica sobre a área, levando em conta

que a membrana de poliuretano não pode ser aplicada em áreas úmidas, conforme apresentado na Figura 35.

Figura 35 –Lona plástica sobre a superfície para evitar umidade



Fonte: pelo autor

- **Aplicação da segunda demão de poliuretano (13/11/2017)**

Após o período de chuva, foi esperado que a superfície ficasse seca novamente para aplicação da segunda demão.

- **Aplicação da terceira demão de poliuretano (13/11/2017)**

Como a segunda demão foi aplicada pela manhã, pela tarde já foi possível aplicar a terceira demão, levando em conta que a segunda demão já havia secado.

- **Aplicação da quarta demão de poliuretano (14/11/2017)**

A quarta demão foi aplicada pela manhã.

- **Aplicação da quinta demão de poliuretano (14/11/2017)**

Pela tarde foi aplicada a quinta demão de poliuretano, e depois de seca foi retirada uma pequena área e verificou-se que as cinco camadas atenderam os 2,5 mm especificados. A Figura 36 apresenta o resultado após a aplicação da quinta demão de poliuretano.

Figura 36 – Resultado após aplicação da quinta demão de poliuretano



Fonte: pelo autor

- **Aplicação de areia fina sobre o poliuretano (14/11/2017)**

Como a área impermeabilizada irá receber acabamento com placas cerâmicas, houve a necessidade de aplicação de uma camada de areia fina enquanto a quinta demão ainda estava no estado líquido, com o intuito de criar aderência entre a superfície e o revestimento, conforme apresentado na Figura 37.

Figura 37 – Areia fina sobre a membrana de poliuretano



Fonte: pelo autor

Levando-se em consideração que não houve a necessidade da realização do teste de estanqueidade devido à garantia da terceirizada EBI, concluiu-se a aplicação do poliuretano da área estudada. A Tabela 24 apresenta o cronograma de execução da membrana de

poliuretano, sendo a cor verde referente aos dias úteis e a laranja referente aos dias perdidos em decorrência da chuva:

Tabela 24 – Cronograma de execução do poliuretano

	08/11	09/11	10/11	11/11	12/11	13/11	14/11
Regularização da superfície							
Aplicação da primeira demão							
Aplicação da tela de poliéster estruturante nos rodapés e ralos							
Tempo de espera para a secagem da superfície devido à ocorrência de chuvas							
Aplicação da segunda demão							
Aplicação da terceira demão							
Aplicação da quarta demão							
Aplicação da quinta demão							
Aplicação de areia fina sobre o poliuretano							

Fonte: pelo autor

A Tabela 25 apresenta o que foi acordado em contrato com a terceirizada, em termos de valores de material e de mão de obra e também os valores medidos *in loco* no trecho estudado.

Tabela 25 – Valor final da aplicação da membrana de poliuretano no trecho referente

Descrição	Área total (m²)	Item	Valor unitário (R\$/m²)	Área do estudo de caso (m²)	Valor da área estudada (R\$)
Deck	83,00	Mão de obra	51,72	73,80	3.816,94
		Material	91,84		6.777,79
TOTAL					10.594,73

Fonte: pelo autor

5 CONCLUSÕES

Fazendo um comparativo dos estudos de caso entre os dois impermeabilizantes aplicados na obra NEW LIFE – Jataí-GO e levando-se em consideração que ambos poderiam ter sido aplicados nas mesmas condições da superfície, temos os resultados referentes ao comparativo de custos apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Comparativo entre os dois impermeabilizantes quanto aos custos

Impermeabilizante	Área de aplicação (m²)	Custo total (R\$)	Custo unitário (R\$/m²)
Manta asfáltica	148,94	42.208,10	283,39
Membrana de poliuretano	73,80	10.594,73	143,56

Fonte: pelo autor

Pode-se observar que o custo para cada m² de área de manta asfáltica, levando-se em consideração a mão de obra e o material, foi praticamente o dobro do poliuretano, em uma razão de 1manta asfáltica:1,97poliuretano.

Calvino (2016) em seu estudo mostra a realização de uma reforma de uma casa de luxo no Guarujá-SP, em que a construtora D2F Engenharia obteve resultados semelhantes ao deste estudo de caso, quando realizou o comparativo de orçamentos para a piscina da residência, utilizando uma resina de poliuretano e uma manta asfáltica dupla 4 mm (materiais semelhantes aos deste estudo de caso), conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Comparativo entre dois impermeabilizantes orçados em uma casa de luxo no Guarujá-SP

Impermeabilizante	Custo total (R\$)
Manta asfáltica dupla 4 mm	29.852,89
Resina de poliuretano	15.913,13

Fonte: Calvino (2016)

Levando-se em consideração que esses valores são de mão de obra e material, observou-se que a resina de poliuretano teve um custo previsto de R\$13,2 mil menor em relação ao custo da manta asfáltica, em uma razão de aproximadamente 1manta asfáltica:1,9poliuretano.

Depois de finalizadas as aplicações de ambos os impermeabilizantes, verificou-se a espessura de cada um em relação a laje, conforme apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Comparativo da espessura final de cada impermeabilizante estudado

Impermeabilizante	Espessura final (cm)
Manta asfáltica	10,0
Membrana de poliuretano	0,25

Fonte: pelo autor

É possível observar-se que a espessura final da manta foi 40 vezes maior que a do poliuretano.

Para realizar o comparativo de tempo, considera-se a área aplicada e o tempo, em horas, gasto (Tabelas 19 e 23), conforme apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 – Comparativo entre os dois impermeabilizantes quanto ao tempo de execução

Impermeabilizante	Área de aplicação (m²)	Dias úteis de execução	Horas por dia de execução¹⁴	Horas totais trabalhadas	Área por tempo de aplicação (m²/h)
Manta asfáltica	148,94	9 dias	7h:30min	67h:30min	2,21
Membrana de poliuretano	73,80	4 dias	7h:30min	30h:00min	2,46

Fonte: pelo autor

Verifica-se então que o m² executado por hora de trabalho do poliuretano é maior que o da manta asfáltica.

O desempenho de ambos os impermeabilizantes foi satisfatório, levando-se em consideração que para a manta asfáltica foi realizado o teste de estanqueidade e para a membrana de poliuretano a segurança foi garantida pela terceirizada e foi observado que não houve nenhuma infiltração, mesmo com lâminas de água empossadas acima do impermeabilizante.

Em seu estudo, Calvino (2016), também salienta que a opção de resina de poliuretano oferece estanqueidade adequada, apresentando flexibilidade tão boa quanto a da manta,

¹⁴ Como os terceirizados trabalhavam das 8:00 às 11:30 e das 13:00 às 17:00 todo dia, um dia contabiliza como uma hora total de 7h:30min.

atendendo assim a todos os requisitos da NBR 15.487:2007 – Membrana de Poliuretano para impermeabilização.

Para garantir o desempenho satisfatório de ambos os impermeabilizantes foram necessárias diferentes etapas construtivas para cada um, conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 – Etapas de execução de cada impermeabilizante

Impermeabilizante	Etapas de execução
Manta asfáltica	1. Limpeza/regularização da superfície 2. Aplicação do primer 3. Aplicação do asfalto a alta temperatura 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 da superfície 2. Aplicação da primeira demão 3. Aplicação da tela de poliéster 4. Aplicação das demais demãos 5. Aplicação de areia fina

Fonte: pelo autor

Partindo desta tabela 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 um¹⁵ material, o que tecnicamente é mais fácil e rápido de se executar, além de diminuir a probabilidade de futuros problemas (ver Capítulo 2.6).

¹⁵ A areia fina não foi contabilizada como um material por ser um caso isolado do estudo de caso.

Diante destas conclusões e da observação *in loco*, foi possível realizar o comparativo de ambos os impermeabilizantes quanto às vantagens e desvantagens de cada um, conforme esquematizado na Tabela 31.

Tabela 31 – Comparativo das vantagens e desvantagens de ambos os impermeabilizantes

Impermeabilizante	Vantagens	Desvantagens
Manta Asfáltica	• Alta flexibilidade • Pode ser aplicada na laje sem a necessidade que ela esteja lisa ou polida	• Espessura final relevante • Várias camadas de diferentes materiais • Necessita de mão de obra especializada • Necessita de proteção mecânica • Aplicação demorada • Precisa de emendas • Elevado custo para mão de obra e materiais • Precisa que a superfície esteja seca para aplicação
Membrana de poliuretano	• Espessura final irrelevante • Sistema monolítico sem emendas • Fácil aplicação, não necessitando de mão de obra especializada • Não necessita de proteção mecânica • Rapidez de aplicação • Baixo custo de mão de obra e material • Alta flexibilidade	• Dependendo da superfície necessita de mais demãos, do que o calculado, até que a área fique homogênea • Precisa que a superfície esteja seca para aplicação • Precisa que a superfície esteja polida ou lisa o suficiente para aplica-la

Fundamentando-se em todas as informações levantadas e adquiridas neste trabalho, chega-se à conclusão que entre os dois tipos de impermeabilizantes estudados, o poliuretano possui uma relação custo/benefício melhor que a manta asfáltica utilizada.

REFERÊNCIAS

- ANGELO, M. V. A. **Análise das patologias das estruturas em concreto armado do Estádio Magalhães Pinto – Mineirão**. 2004. 439 p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Acesso em: 15/07/2017.
- ANTONELLI, G. R. *et al.* **Levantamento das manifestações patológicas de lajes impermeabilizantes em edifícios habitados de Goiânia-GO**. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu. [S.l.], 2002. p. 1415 – 1424. Acesso em: 19/06/2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e Projeto**. Rio de Janeiro, 2003. Acesso em: 21/06/17.
- _____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004. Acesso em: 21/06/17.
- _____. **NBR 9952: Manta asfáltica para impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2014. Acesso em: 24/08/17.
- _____. **NBR 9574: Execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008. Acesso em: 30/08/17.
- CALVINO, G. **Resina de poliuretano x Manta Asfáltica dupla de 4 mm**. Revista Construção Mercado – Negócios de Incorporação e Construção, Edição 178. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/178/resina-de-poliuretano-x-manta-asfaltica-dupla-de-4-mm-370371-1.aspx>>. Acesso em: 23/12/2017.
- CAMPITELI, M. V., *et al.* **Impermeabilização**. Estratégia Concursos. Brasília, 2016. Aula 05. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/337589270/Estrategia-Concursos-Engenharia-aula-05-impermeabilizacao-pdf>>. Acesso em: 16/06/2017.
- CORSINI, R. **Proteção uniforme**. Revista Técnica, Edição 168. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/168/artigo285858-1.aspx>>. Acesso em 24/08/17.
- CRUZ, J. H. P. **Manifestações patológicas de impermeabilizações com uso de sistema não aderido de mantas asfálticas: Avaliação e análise com auxílio de sistema multimídia**. 45p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Acesso em 15/07/2017.

CUROTTO, J. P. F. **Humedad proveniente del suelo en edificaciones**. 113 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Facultad de ciencias físicas y matemáticas - Universidad de Chile, Santiago, 2008. Acesso em: 20/06/2017.

DENVER. **Informativo Técnico – Denvermanta Elastic – Manta asfáltica estruturada com poliéster e modificada com polímeros**. 9. ed. Suzano, São Paulo, 2004. Acesso em: 09/10/2017.

DENVER. **Manual Técnico**. Suzano, São Paulo, 2011. Acesso em: 23/10/2017.

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

EBI – IMPERMEABILIZAÇÕES E CONSTRUÇÕES. **Orçamento de serviços de impermeabilização ORC IMP – 029/016 – R1**. Goiânia, Goiás, 2016. Acesso em: 24/10/2017.

FAUSTO, B. **O Estado Getulista. História do Brasil**. 6. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998. cap. 7. Acesso em: 14/06/17.

FERREIRA, R. **Conheça os tipos de impermeabilizantes**. Equipe de Obra - Como construir na prática, PINI, São Paulo, n. 65, Novembro 2013. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/65/artigo300274-1.aspx>>. Acesso em: 21/06/2017.

FREIRE, M. A. **Métodos executivos de impermeabilização de um empreendimento comercial de grande porte**. 2007. 72 p. Dissertação (Monografia para obtenção do Título de Engenheiro Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Acesso em 02/07/2017.

GUERRA, R, S.T. **Eflorescência no concreto**. Clube do Concreto – Concreto e Pré-Fabricados de concreto, 2017. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/05/como-remover-eflorescencia-no-concreto.html>>. Acesso em: 15/07/2017.

LEAL, U. **O que define a escolha da manta asfáltica?** Revista Técnica. Edição 72. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://technepini.com.br/engenharia-civil/72/artigo285265-1.aspx>>. Acesso em: 25/08/2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, PINI, 1994. Acesso em: 15/07/2017.

MORARES, C.B. **Impermeabilização em lajes de cobertura: levantamento dos principais fatores envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre.** Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2002. Acesso em: 25/08/2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. PINI. São Paulo, 1997. 828p. Acesso em: 15/07/2017.

PIRONDI, Z. **Manual Prático da impermeabilização e de isolamento térmica.** 2. ed. São Paulo, 1988. Conforme a norma da ABNT-NBR 9575. Acesso em: 18/06/2017.

POXPUR. **Impermeabilizantes PU.** Itatiba, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://poxpur.com.br/produtos/impermeabilizacao-e-pisos-especiais/impermeabilizacao/poxpur-impermeabilizante-pu/> Acesso em: 08/11/2017.

QUINI, J. G. *et al.* **Impermeabilização de reservatórios de água potável com poliuretano.** São Paulo, 2015. Acesso em: 30/08/2017.

RIGHI, G. V. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções - análise de casos.** 94 p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Acesso em: 09/05/2017.

RODRIGUES, A. C. **Levantamento das principais manifestações patológicas em edificações residenciais de uma construtora de Porto Alegre.** (Dissertação de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Acesso em 15/07/2017.

SANTOS, P.HC., *et al.* **Eflorescência: causas e consequências.** Salvador, 2008. Acesso em 15/07/2017.

SILVA, I.T.S. **Identificação dos Fatores que provocam eflorescência nas construções em Angicos/RN.** Dissertação (Monografia para obtenção do Título de Engenheiro Civil) – Universidade Federal Rural do Semi- Árido, Angicos, 2011. Acesso em 15/07/2017

SILVA, M.C.R. *et al.* **Aplicação de mantas asfálticas na impermeabilização de lajes de coberturas.** In: IV Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura. Maringá, Paraná. 2003. Acesso em: 25/08/2017.

STORTE, M. **Manifestações Patológicas na Impermeabilização de Estruturas de Concreto em Saneamento.** Instituto Brasileiro de Desenvolvimento de Arquitetura - Fórum da Construção, 2011. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=703>>. Acesso em: 15/07/2017.

ULSAMER, F. **Las humedades en la construcción**. Barcelona, ediciones CEAC, 1989. Acesso em 15/07/2017.

VEDACIT. **Manual Técnico: Impermeabilização de estruturas**. 6. ed. São Paulo, 2010. Acesso em: 22/06/2017.

VEDACIT. **Manual Técnico: Impermeabilização de Estruturas**. 7. ed. São Paulo, 2012. Acesso em: 16/06/2017.

VERÇOZA, E. J. **Impermeabilização na construção**. 2 ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1987. Acesso em 15/07/2017.

VILAR, D.W. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3 ed. Capítulo 1 - Reagentes e Fundamentos. Rio de Janeiro, 2002. Acesso em: 30/08/2017.

VIRTUS, S. **Projeto de impermeabilização – Residencial New Life**. Projeto do Térreo – Prancha 02. Brasília, Distrito Federal, 2016. Acesso em: 26/10/2017.