

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES MÉTODOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE LAJES EM EDIFICAÇÕES

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DIFFERENT METHODS OF WATERPROOFING OF SLABS IN BUILDINGS

OLIVEIRA, Leonardo Alves de¹; **MARQUES**, Lucas Ferreira²; **OLIVEIRA**, Matheus Tavares de³; **CARNEIRO**, Matheus Vinicios Ribeiro⁴; **TENÓRIO**, Helen Oliveira⁵.

RESUMO

Este estudo destaca a relevância da impermeabilização de lajes para a longevidade das construções. Avaliamos três técnicas: Argamassa Polimérica, Manta Asfáltica Líquida e Membrana de Resina Acrílica, considerando tempo de aplicação, cura, custo e eficácia. Seguindo a NBR 9575, buscando entender qual método oferece a melhor proteção, equilibrando eficiência e custo. Para essa finalidade foram realizados ensaios de estanqueidade e capilaridade conforme NBR 15571 e NBR 9779, respectivamente, do qual foram impermeabilizados lajes e corpos de prova. Por fim após a análise dos teste constatou-se que a Membrana de Resina Acrílica foi o método de impermeabilização mais satisfatório.

Palavra-chave: Impermeabilização. Durabilidade. Infiltração.

ABSTRACT

This study underscores the importance of waterproofing for the longevity of buildings. We evaluated three techniques: Polymer Mortar, Liquid Asphalt Membrane, and Acrylic Resin Membrane, considering application time, curing, cost, and effectiveness. Following NBR 9575, we sought to understand which method provides the best protection, balancing efficiency and cost. Evaluations included tests for waterproofing and capillarity following NBR 15571 and NBR 9779, respectively.

Keywords: *Waterproofing, durability, infiltration*

¹ Graduando em Engenharia Civil na Uni-Facunicamps. *E-mail:* leonardoao248@gmail.com

² Graduando em Engenharia Civil na Uni-Facunicamps. *E-mail:* Lucasarquesgyn13@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Civil na Uni-Facunicamps. *E-mail:* matheustavaresdeoliveira123@gmail.com

⁴ Graduando em Engenharia Civil na Uni-Facunicamps. *E-mail:* matheusviniicios345@gmail.com

⁵ Mestre em Engenharia Civil. Orientadora. Uni-Facunicamps. *E-mail:* helen.tenorio@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A impermeabilização da laje é um procedimento essencial para a durabilidade, segurança e manutenção da integridade estrutural dos edifícios. Seja na construção industrial ou civil, esse processo ajuda a prevenir danos nas estruturas causados pela infiltração de água, evitando custos relacionados a retrabalho, perda financeira e atrasos na construção.

Existem diversos métodos de impermeabilização no mercado que visam a proteção do ambiente contra contaminação de fluidos e vazamentos. Por isso é extremamente importante a avaliação cuidadosa dos vários sistemas de impermeabilização devido a custo, tempo de execução e real eficiência nos diferentes tipos de situações.

A Impermeabilização, conforme estabelecido pela NBR 9575 (ABNT, 2010), é crucial para a integridade e durabilidade das construções, atuando como uma barreira contra a infiltração de água e umidade. Essa norma técnica detalha os procedimentos e materiais necessários para a aplicação efetiva de sistemas impermeabilizantes, visando a proteção das estruturas e a prevenção de danos causados por fluidos. A opção a esses procedimentos são essenciais, pois falhas na execução da vedação podem levar a consequências severas, enfatizando assim a importância de uma boa execução e a seleção de materiais adequados para cada projeto específico de construção civil.

A seleção adequada de métodos de impermeabilização na construção civil, conforme orientado pela ABNT NBR 9575 (2010), é vital para a proteção das estruturas contra a umidade e fluidos sob pressão. A norma categoriza as solicitações de impermeabilização em água de percolação, condensação, umidade do solo e pressão unilateral ou bilateral, cada uma exigindo uma abordagem.

1.1 PROBLEMÁTICA

Com uma vasta variedade de métodos de impermeabilização em oferta no mercado, é crucial considerar e comparar sua eficácia nas condições das lajes utilizadas em edifícios. Dado que existem tipos diferentes de edificações, e cada um deles apresenta demandas únicas por eles, qual método de impermeabilização oferece a melhor combinação possível de durabilidade, eficácia

e custo para garantir a durabilidade do edifício e evitar problemas causados por infiltração de água.

1. OBJETIVOS

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O trabalho tem como objetivo a comparação de três métodos de impermeabilização de forma a avaliar o tempo de execução, cura e custo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar a eficácia de três métodos de impermeabilização sendo eles: Argamassa Polimérica, Manta Asfáltica Líquida e Membrana de Resina Acrílica, as avaliações incluirão:

- Aplicar método de impermeabilização e medir o tempo de cura.
- Medir a resistência de cada método contra a penetração de água sob condições variáveis, através de ensaio de estanqueidade conforme NBR 15571.
- Ensaio de capilaridade: ensaio para medir a absorção da água por capilaridade em cada método de impermeabilização, comparando sua resistência à absorção de água, conforme NBR 9779.
- Análise comparativa de custo-benefício: Comparar os custos associados à aplicação e manutenção de cada método e avaliar o benefício em relação à durabilidade e eficácia. Utilizando precificação da tabela sinapi.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÕES DE IMPERMEABILIZAÇÃO

De acordo com a NBR 9575 (2010), impermeabilização é “conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto 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: Impermeabilização - seleção e projeto, 2010, p. 5).

Tal método tem a intenção de criar uma barreira física que impede a passagem de fluidos na superfície impermeabilizada, garantindo assim a preservação da estrutura e prolongamento da vida útil da edificação, prevenindo ação dos fluidos como infiltração, corrosão e mofo.

Existem inúmeros métodos de impermeabilização portanto é importante definir por um profissional qualificado qual o melhor método para sua situação específica, levando em conta qual produto deve se usar, a quantidade e qualidade necessárias para solucionar a demanda solicitada.

6.2.1 A impermeabilização deve ser projetada de modo a: a) evitar a passagem de fluidos evapores nas construções, pelas partes que requeiram estanqueidade, podendo ser integrados ou não outros sistemas construtivos, desde que observadas normas específicas de desempenho que proporcionem as mesmas condições de estanqueidade; b) proteger os elementos e componentes construtivos que estejam expostos ao intemperismo, contra a ação de agentes agressivos presentes na atmosfera; 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 sejam percebidas falhas do sistema impermeável, a degradação das estruturas e componentes construtivos (ABNT, NBR 9575, 2010, p. 15).

2.2 MÉTODOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

2.2.1 Argamassa Polimérica

2.2.1.1 Definição

De acordo com a norma NBR 9575 (2010): “Argamassa polimérica tipo de impermeabilização industrializada, aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes” (NBR 9575: Impermeabilização - seleção e projeto, 2010, p. 2).

Argamassa polimérica é um material com base cimentícia e no processo de sua produção ocorre adição de alguns polímeros que trazem ao material um comportamento impermeabilizante e de forma muito mais fluida que a argamassa convencional, facilitando seu uso, aplicação e trabalhabilidade.

A argamassa polimérica que foi foco do estudo, trata-se de um produto bicomponente, componente A em pó e componente B líquido. O fabricante disponibiliza os produtos já pré-dosados, facilitando a preparação do produto.

De acordo Carvalho (2020), seguem algumas das propriedades:

- Alta aderência: Facilidade de aplicação em superfícies tanto planas como em paredes

- Resistência à umidade: A adição dos polímeros altera a forma com que os átomos interagem entre si, diminuindo os espaços vazios causando assim a resistência a umidade, o que nos permite trabalhar com esse material justamente em áreas que tem contato com infiltrações e umidade.
- Flexibilidade: O produto admite pequenos deslocamentos e vibrações sem perder suas propriedades, tal fato permite as deformações que ocorrem devido alterações de temperaturas no ambiente.

2.2.1.2 Aplicações

As indicações do fabricante incluem uma ampla gama de aplicações, sendo elas:

- Caixas d'água e reservatórios, piscinas, poços de elevadores, tanques e cisternas.
- Umidade de rodapé, paredes internas de construções como silos, armazéns.
- Pisos e paredes de "áreas frias": banheiros, lavanderias, cozinhas e paredes.

2.2.2 Manta Asfáltica Líquida

2.2.2.1 Definição

De acordo com a norma NBR 9575 (2010), “emulsão asfáltica produto resultante da dispersão de asfalto em água, através de agentes emulsificantes” (NBR 9575: Impermeabilização - seleção e projeto, 2010, p. 4).

Para Plá (s.d.), a emulsão é um processo do qual faz a mistura de duas ou mais substâncias que naturalmente não se misturam (Água e cimento asfáltico), trazendo propriedades do cimento asfáltico que de forma natural é sólida transformada em forma líquida e fluida, modificando sua trabalhabilidade e formas de aplicação dispensando a etapa de liquefação deste material, processo do qual envolve mão de obra especializada, ambiente preparado e tempo adicional.

2.2.2.2 Propriedades

- Viscosidade: A emulsão asfáltica tem uma viscosidade característica de fluida a pastosa que varia de cada produto, a viscosidade também está relacionada ao tempo

de cura e aplicabilidade, devido a isso o foco do uso deve determinar qual produto a ser usado com sua respectiva viscosidade.

- Penetração: Tal produto tem a capacidade de penetrar na superfície aplicada, melhorando os resultados desejados e garantindo sua aderência.
- Cura: O processo de cura da emulsão se deve a evaporação da água, tornando a solução apenas a parte de asfalto e emulsificantes.

2.2.2.3 Aplicações

De acordo com o fabricante, a principal recomendação é para substratos cimentícios:

- Lajes e terraços não expostos ao tempo.
- Varandas e terraço.
- Áreas frias.
- Laje de cobertura de reservatório.
- Jardineiras.

2.2.3 Membrana de Resina Acrílica

2.2.3.1 Definição

De acordo com a norma NBR 9575 (2010), “membrana para impermeabilização camada de impermeabilização moldada no local, com características de flexibilidade e com espessura compatível para suportar as movimentações do substrato, podendo ser estruturada ou não” (NBR 9575: Impermeabilização - seleção e projeto, 2010, p. 5).

Para Kmick *et al.* (2021), este produto é junção de substâncias resinas acrílicas elásticas e flexíveis com água, também é conhecido como borracha líquida, pois em sua forma final apresenta características semelhantes. Dos métodos analisados para este estudo é o que tem melhor trabalhabilidade e praticidade o que nos traz uma vantagem em relação ao tempo.

2.2.3.2 Propriedades

- Resistência química.
- Flexibilidade e durabilidade.
- Conforto térmico: reduz trocas térmicas garantindo conforto.

- Aderência: facilidade em aderir inúmeras superfícies como telhados, concretos, chapas e madeiras. Tanto em planos como em superfícies verticais.
- Fácil aplicação: vem pronto para uso, apenas aplicar com rolo ou pincel.

2.2.3.3 Aplicações

- Laje de concreto.
- Telhados.
- Pisos de áreas frias.

2.3 PATOLOGIAS

Patologias vem por definição um termo da medicina que se trata do estudo das doenças, na área da engenharia, o termo se trata de defeitos que são apresentados ao longo do tempo.

Segundo Cremonini (1988, p. 28):

O estudo das patologias fornece subsídios capazes de fomentar as reais necessidades de qualquer obra de engenharia, como: resistência, durabilidade, qualidade e estética. Patologias das construções é a área da engenharia civil que analisa o desempenho insatisfatório de elementos que compõem uma edificação. Atualmente regido por normas técnicas, a análise do defeito em 8 questões é o que trata o ramo de patologias, fazendo uma análise através dos tipos de manifestações, causas e origens, a engenharia utiliza o termo como a área de estudo das origens e mecanismos de ocorrência das diversas falhas que afetam aspectos estruturais e estéticos de uma edificação (Cremonini, 1988, p. 28).

Seguindo essa linha de raciocínio, essas são algumas das possíveis patologias causadas pela falta de impermeabilização.

Infiltração e Vazamento:

A má impermeabilização ou sua ausência resulta em infiltrações ascendentes (de baixo para cima) ou descendentes (de cima para baixo). Essas infiltrações afetam rodapés, forros e tetos, tornando os ambientes úmidos.

Manchas e Bolor:

A umidade constante favorece o surgimento de manchas e bolor. Os fungos presentes no bolor não apenas mancham as superfícies, mas também podem causar problemas respiratórios e alergias em ocupantes.

Corrosão:

A passagem de água para estruturas de concreto armado acelera a corrosão das armaduras.

Isso compromete a resistência da estrutura e pode levar a fissuras no concreto.

Eflorescência:

A eflorescência ocorre quando substâncias do concreto são depositadas na água e, ao evaporar, formam manchas brancas na superfície. Esse fenômeno acelera a degradação.

Deslocamento de Revestimentos:

A umidade nas superfícies revestidas pode causar deslocamento, prejudicando a adesão e exigindo a reinstalação dos revestimentos. Soluções de impermeabilização são essenciais para evitar recorrências dessas patologias.

2.4 CÁLCULOS DA TAXA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

De acordo com a norma NBR 9779 (2010), é recomendada uma equação para a tratativa dos dados dos resultados, segue na seguinte equação (1) utilizada:

$$C = \frac{Msat - Ms}{S} \quad (1)$$

C - é a absorção da água por capilaridade, expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm²);
 Msat - é massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado expressa em gramas (g);
 Ms - é a massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23±2) °C, expressa em gramas (g);
 S - É a área da seção transversal, expressa em centímetros quadrados (cm²)
 (NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade, 2012, p. 3)

2.5 DOSAGEM

Com base na NBR 12655 (2015) – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação: “A medida volumétrica dos agregados somente é permitida para os concretos preparados no próprio canteiro de obras, cumpridas as demais prescrições desta norma” (NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento, 2022, p. 15).

2.6 ENSAIOS

2.6.1 Estanqueidade

“Estanqueidade propriedade de um elemento (ou de um conjunto de componentes) de impedir a penetração ou passagem de fluidos através de si. A sua determinação está associada a uma pressão-limite de utilização (a que se relaciona com as condições de exposição do elemento ao fluido)” (ABNT 9575, 2010, p. 4).

2.6.2 Capilaridade

Capilaridade é o fenômeno de atração e repulsão onde se observa o contato dos líquidos com um sólido fazendo com que esse líquido suba ou desça, conforme molhe ou não a parede. A tendência dos líquidos subirem nos tubos capilares é chamada de capilaridade ou ação capilar, sendo isso consequência da tensão superficial (PARANHOS, 2007. p. 1).

3 METODOLOGIA

O estudo investigou a eficácia de diferentes técnicas de impermeabilização em lajes, como Argamassa Polimérica, Manta Asfáltica Líquida e Membrana de Resina Acrílica, visando preservar a integridade e durabilidade das edificações. Uma parte do objetivo envolveu comparar laje sem impermeabilização e lajes impermeabilizadas, para ensaio de estanqueidade, seguindo orientações da norma de ABNT 15571 (2008), e realizar ensaios de capilaridade nos corpos de prova, conforme a norma ABNT 9779 (2013).

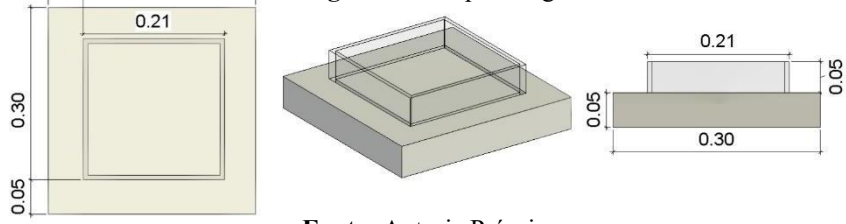
Para alcançar esses objetivos, foi proposta uma metodologia experimental que envolveu a construção de modelos em escala reduzida para imitar lajes de edifícios. Cada modelo recebeu uma das técnicas de impermeabilização mencionadas para avaliar sua eficácia em proteger contra infiltrações. A escolha desses métodos visou representar uma parte da variedade de opções disponíveis no mercado, permitindo uma comparação abrangente de sua eficácia.

Durante o experimento, foi feita a aplicação das técnicas de impermeabilização. Nas lajes, foi realizado a impermeabilização da face superior e foi instalado uma fôrma de acrílico para que fosse realizado o teste de estanqueidade. Os corpos de provas foram impermeabilizados e submergidos para que assim fossem realizados os testes de capilaridade, e como parâmetro adicional foi utilizado termógrafo para confirmação da variação de temperatura pela infiltração. Ambos os ensaios estão explicados detalhadamente em seus respectivos tópicos.

3.1 PLANEJAMENTO E PREPARAÇÃO

3.1.1 Estudo e Desenho em Revit

Foi realizado um croqui no Revit com o intuito de basear a confecção das maquetes conforme figura 1, essenciais para simular as lajes em edificações, escala do desenho 1:2.



Fonte: Autoria Própria

3.1.2 Preparação

Foi construído quatro fôrmas de madeira idênticas para as maquetes $0,300\text{m} \times 0,300\text{m} \times 0,055\text{m}$ conforme figura 2, garantindo que correspondam precisamente às dimensões estabelecidas no estudo.

Figura 2 - Produção das Formas.



Fonte: Autoria Própria.

Para reforçar as maquetes e simular o aço da edificação, foi providenciado uma tela de alumínio $0,25\text{m} \times 0,25\text{m}$, assegurando a fidelidade da representação. Corte realizado conforme figura 3.

Figura 3 - Preparação da Armadura.



Fonte: Autoria Própria.

3.2 EXECUÇÃO DAS MAQUETES

3.2.1 DOSAGEM

Como a execução da confecção das lajes do experimento foi feita em canteiro de obras, foi realizado o traço de maneira volumétrica seguindo o seguinte padrão apresentada na tabela seguinte.

Está previsto que o traço utilizado para laje será de 1:1:1 (Cimento, areia, brita) e relação água cimento de 0,60.

O volume de concreto para a confecção das lajes será de $0,0045 \text{ m}^3$, sendo suas dimensões $0,30\text{m} \times 0,30\text{m} \times 0,05\text{m}$. A tabela 1 indica as dosagens a serem utilizadas.

Tabela 1 - Traço em volume para 1 m^3 de Concreto Convencional.

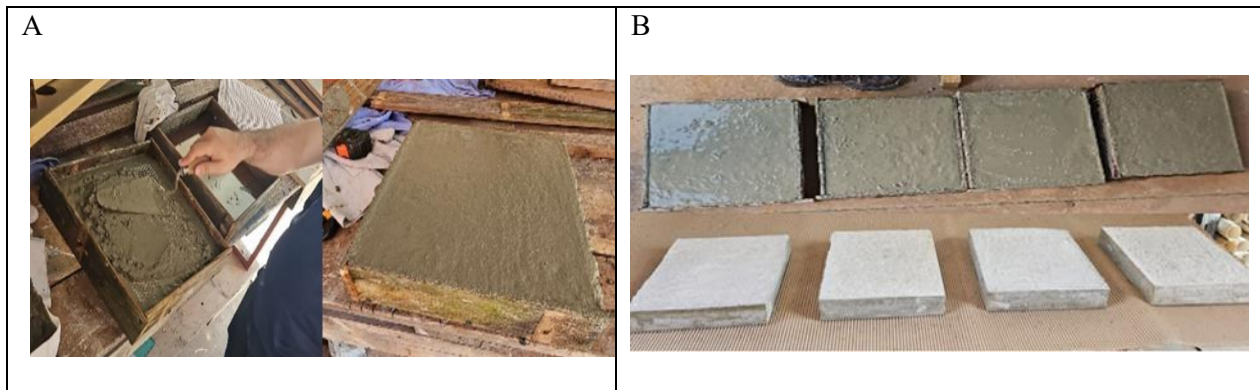
Material	Quantidade
Cimento CP- 32 (M^3)	0,28
Brita 0 (M^3)	0,28
Areia (M^3)	0,28
Água (L)	167

Fonte: A autoria dos pesquisadores.

3.2.2 Concretagem

Cada uma das quatro formas foi preenchida com o concreto preparado, garantindo que estivessem niveladas e uniformemente distribuídas. Procedimento realizado conforme figura 4.

Figura 4 - Confecção das Lajes.



Fonte: A autoria Própria.

Também foram criadas quatro fôrmas quadradas de acrílico igualmente feitas ($0,25\text{m} \times 0,25\text{m} \times 0,05\text{m}$) conforme relato na figura 5, cada forma foi colocada em uma laje, assim foram seladas embaixo com PU para permitir a realização do teste de estanqueidade.

Figura 5 - Forma de Acrílico para teste de Estanqueidade.



Fonte: A autoria Própria.

3.2.3 IMPERMEABILIZAÇÃO

Para a produção desta pesquisa foram definidos a utilização de três métodos de impermeabilização levando em conta o ambiente a ser analisado, sendo respeitado a indicação do fabricante; a norma que estabelece a forma de aplicação e os devidos cuidados para eficácia da aplicação; Vida útil estabelecida pelo IBI (Instituto Brasileiro de Impermeabilização).

Os seguintes métodos estão descritos na tabela 2 a seguir com suas respectivas normas

Tabela 2 – Especificação dos materiais.

Descrição Norma (ABNT NBR)	NBR 11905	Método NBR 9685	ABNT 15885
Produtos	Argamassa Polimérica	Manta Asfáltica Líquida	Membranas de Resina acrílica
Durabilidade (IBI)	17	8	26

Fonte: Autoria própria.

3.2.3.1 Argamassa polimérica

3.2.3.1.1 *Preparação do Local*

O local foi preparado com limpeza e umedecimento adequados.

Preparação da Mistura: A argamassa polimérica foi misturada conforme as recomendações do fabricante, combinando o componente líquido com o componente em pó até obter uma mistura homogênea. o produto já vem pré-dosado, usar misturador com baixa rotação (400 – 500 rpm) por 3 minutos.

3.2.3.1.2 *Aplicação da Argamassa*

A aplicação foi realizada em 3 demãos cruzadas, com um intervalo de tempo de 3 horas entre demãos para garantir a secagem adequada, conforme a norma NBR 11905.

Figura 6 - Laje Impermeabilizado com Argamassa Polimérica.



Fonte: Autoria Própria.

3.2.3.2 Manta asfáltica líquida

3.2.3.2.1 *Preparação do Local*

O local foi limpo e preparado adequadamente para garantir a aderência do impermeabilizante.

3.2.3.2.2 Aplicação da Manta:

A Manta asfáltica líquida foi aplicada em três demãos, com intervalos de 3 horas entre demãos, figura 7 relatando procedimento de montagem finalizado, conforme norma NBR 9685.

Figura 7 - Laje Impermeabilizado com Manta Asfáltica.



Fonte: Autoria própria.

3.2.3.3 Membrana de Resina Acrílica

3.2.3.3.1 *Preparação do Local*

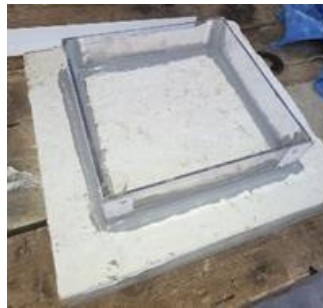
O local também foi limpo e preparado conforme as instruções do fabricante.

A manta asfáltica líquida foi aplicada em três demãos, com intervalos de 3 horas entre demãos.

3.2.3.3.2 Aplicação da Manta

A Membrana de resina acrílica foi aplicada de acordo com recomendações do fabricante, sendo que, a primeira demão foi diluída com água 10%, em seguida, as próximas demãos, sendo aplicadas sem adição de água. Conforme figura 8 e as diretrizes da norma ABNT 15885.

Figura 8 - Laje Impermeabilizado com Membrana de Resina Acrílica.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 9 - Lajes Impermeabilizadas.



Fonte: Autoria Própria.

3.3 CORPO DE PROVA

Para execução do experimento foram utilizadas 8 unidades de corpo de prova, que foram disponibilizados pelo laboratório da FacUnicamps, dimensões de 0,20m x 0,10 m. Foi impermeabilizado a metade de cada amostra sendo 2 com manta asfáltica líquida, 2 com manta líquida e 2 com argamassa polimérica. Duas amostras não foram tratadas, servindo como controle.

A cura da impermeabilização de acordo com o fabricante é de 72 horas.

O foco dos corpos de prova foi para realizar o ensaio de capilaridade do concreto. Os corpos de prova já impermeabilizados e curados foram expostos a um tanque com água cobrindo até 5 cm da face inferior, foram colocados bases para que a face inferior tenha maior contato possível com a água, e seguindo recomendação da norma de teste de capilaridade (ABNT 9779).

Os corpos de prova foram expostos por 72 horas, e a cada 24, 48 e 72 horas realizamos a pesagem de cada corpo de prova, para posteriores comparações da evolução do ensaio. Após a finalização do ensaio foi realizado o corte diametral, para assim analisar de acordo com a pesagem do corpo seco e pesagem do corpo após o ensaio as possíveis mudanças de massas devido infiltrações por capilaridade.

3.3.1 Preparação dos Corpos de Prova

Foram utilizadas oito unidades de corpos de provas cilíndricos disponibilizadas pelo laboratório da FacUnicamps, com dimensões de 0,10m x 0,20m, conforme figura 10.

Figura 10 - Corpos de Prova.



Fonte: Autoria Própria.

Foram impermeabilizados dois corpos de prova com manta asfáltica líquida, dois com manta líquida e dois com argamassa polimérica (relatado na figura 11), seguindo as orientações do fabricante para a cura das impermeabilizações.

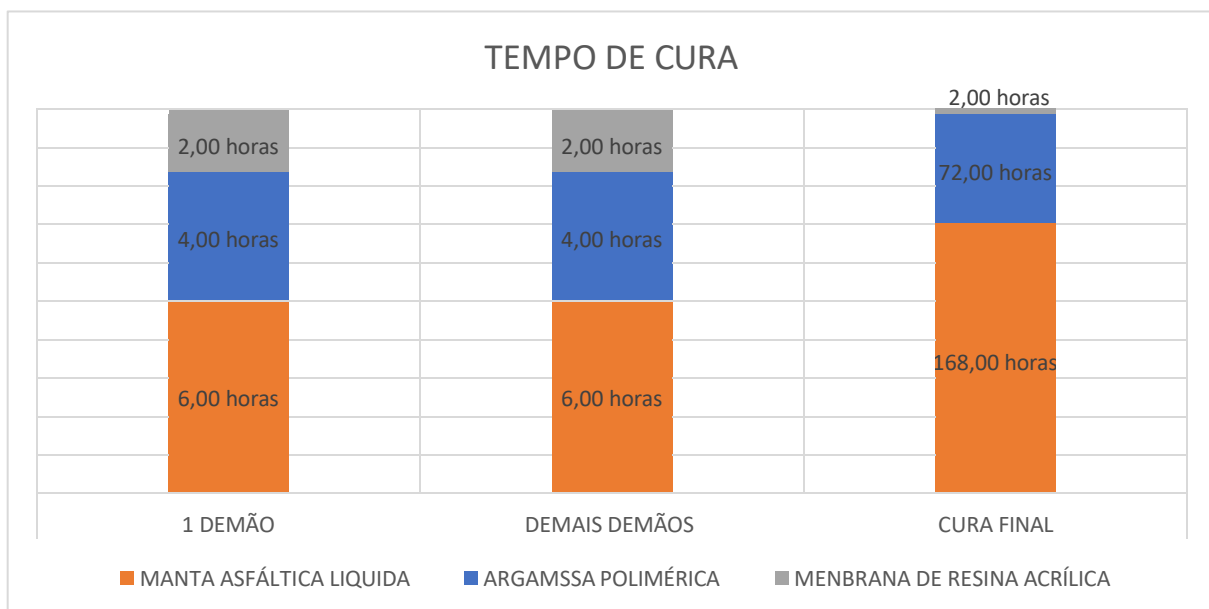
Figura 11 - Corpos de Prova Impermeabilizados.



Fonte: Autoria Própria.

Para a aplicação dos impermeabilizantes, o experimento foi procedido conforme as normas e recomendações dos fabricantes, visando garantir a eficácia e durabilidade dos métodos de impermeabilização escolhidos.

Gráfico 1 - Tempo de Cura



Fonte: Autoria Própria.

3.4 TESTES E ENSAIOS

3.4.1 Teste de Estanqueidade na Laje

Foi realizado o teste de estanqueidade para verificar se há alguma falha ou vazamento, de acordo com a norma ABNT 15571, antes do início do teste, foi marcado em todos os acrílicos, o nível de 3 cm acima da face da impermeabilização para a avaliação do rebaixo do nível da água.

O foco desse ensaio é verificar o comportamento da pressão positiva nas lajes, assegurando assim sua integridade, um dos principais parâmetros para observação do ensaio é o rebaixo do nível da água

3.4.2 Ensaio de Capilaridade nos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram colocados em um tanque com água, cobrindo até 5 cm da face inferior.

Foi realizado a pesagem dos corpos de prova secos e a cada 24, 48 e 72 horas para avaliar a não absorção de água durante o teste.

Após 72 horas, foi realizado o corte diametral dos corpos de prova e foram analisadas as mudanças de massa devido às infiltrações por capilaridade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

Todos as lajes passaram por um teste de estanqueidade, seguindo as diretrizes da norma NBR 15571. O teste durou 72 horas e a água foi mantida a um nível de 0,03 m.

Obtemos os seguintes resultados. As três lajes impermeabilizadas sendo elas: Argamassa Polimérica, Manta Asfáltica Líquida e Membrana de Resina Acrílica, tiveram desempenhos muito semelhantes. No entanto a Laje de Referência, falharam nos testes.

É importante ressaltar que todas as lajes foram produzidas no mesmo lote, utilizando os mesmos materiais e proporções. Isso sugere que as diferenças nos resultados dos testes estão diretamente relacionadas aos sistemas de impermeabilização empregados, que são o foco deste estudo.

4.1.1 Argamassa polimérica

Na laje contendo o método com argamassa polimérica tivemos um comportamento fora do padrão dos outros métodos, nas primeiras 24 horas não houve qualquer diferença do início do ensaio em relação ao nível de água, porém em 48 horas houve uma pequena baixa do nível da água e foi possível observar uma pequena infiltração ao redor do acrílico, aparentemente a infiltração da água se deve a infiltração na própria argamassa polimérica, assim como foi observado também nos testes de capilaridade em corpo de prova.

4.1.2 Manta asfáltica líquida

De acordo com ensaio realizado, não houve infiltração na parte inferior da laje, nem rebaixo do nível da água mantendo os 3 cm de acordo com a marcação inicial, tendo duração de 72 horas de acordo com a norma NBR 15571 (ABNT, 2013).

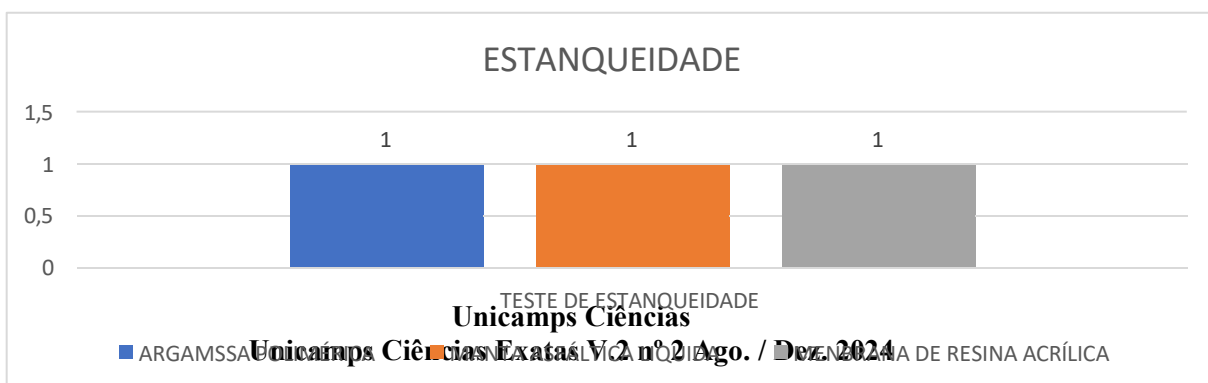
4.1.3 Membrana de resina acrílica

Assim como a manta asfáltica líquida, não houve rebaixo no nível da água, não houve nenhum traço de infiltração na parte inferior da laje e nem mesmo aparecimento de bolhas de ar.

4.1.4 Laje referência

A laje de referência, que não foi impermeabilizada, apresentou um comportamento distinto. Assim que o ensaio teve início, foram observadas bolhas de ar no centro da área onde a água estava acumulada, indicando infiltração na laje. No entanto, nas primeiras 6 horas do ensaio, não foram observadas alterações na parte inferior da laje. Conforme figura 12 itens G e H no anexo 1.

Gráfico 2 - Teste de Estanqueidade



Fonte: Autoria Própria.

4.2 CAPILARIDADE

Neste estudo, conduzimos ensaios de capilaridade conforme as diretrizes da norma (NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade, 2012). O objetivo foi avaliar a capacidade de diferentes sistemas de impermeabilização em resistir à ascensão capilar da água em corpos de prova. O ensaio foi realizado ao longo de 72 horas, com a água mantida a uma altura de 0,05 m.

Levantou-se a hipótese de que os corpos de prova cedidos pela FacUnicamps não pertenciam ao mesmo lote, o que impossibilita garantir que os mesmos materiais e traços definidos foram utilizados, alterando a permeabilidade natural do concreto. Isso sugere que a diferença nos resultados dos testes não está diretamente ligada aos sistemas de impermeabilização utilizados.

4.2.1 Corpo de prova - Argamassa polimérica

No corpo de prova revestido com argamassa polimérica, observou-se que a água subiu por capilaridade em áreas não submersas, incluindo regiões previamente impermeabilizadas, houve uma variação de peso de 50 gramas no corpo de prova 1 e 100 gramas no corpo de prova 2 nas primeiras 24 horas, indicando infiltração de água, após 48 horas do início do teste o corpo de prova 1 sofreu outra variação de 50 gramas e o corpo de prova 2 permaneceu estanque, preservando sua massa, em 72 horas o corpo de prova 1 se manteve estanque e o corpo de prova 2 teve 50 gramas de variação, variações relatadas nas tabelas 3 e 4. Esse comportamento pode ser atribuído à composição do produtor ser majoritariamente à base de cimento Portland, um material que tem características aglomerantes.

As equações estão representadas no item Equação 1 - Equação da absorção de água por capilaridade (Cf. Cálculos da taxa de impermeabilização, p.9).

Tabela 3 – Dados do Corpo de Prova Impermeabilizada com Argamassa Polimérica.

Descrição	Testes			
	Massa seco	Massa 24 h	Massa 48 h	Massa 72 h
Corpo de prova 1	3,550 Kg	3,600 Kg	3,650 Kg	3,650 Kg
Corpo de prova 2	3,600 Kg	3,700 Kg	3,700 Kg	3,750 Kg

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4 – Dados do Corpo de Prova Impermeabilizada com Argamassa Polimérica.

Objeto	Taxa de absorção de água			
	Msat	Ms	S	C
Corpo de prova 1	3650g	3550g	253,61cm ²	0,394g/cm ²
Corpo de prova 2	3750g	3600g	253,61cm ²	0,591g/cm ²

Fonte: Autoria Própria.

4.2.2 Corpo de prova - Manta asfáltica líquida

A manta asfáltica líquida apresentou pouca umidade durante o teste. No entanto, houve uma variação de peso de 50 gramas em ambos os corpos de provas nas primeiras 24 horas, indicando infiltração de água, em 48 horas o corpo de prova 2 teve variação de 50 gramas, e em 72 horas, ambos os corpos de prova não apresentaram infiltração adicional conforme relatado na tabela 5, 6 e 7.

Dentre os resultados obtidos este foi o que obteve o segundo pior resultado.

Tabela 5 – Dados do Corpo de Prova Impermeabilizada com Manta Asfáltica.

Descrição	Testes		Descrição	Testes		Descrição
	Massa seco	Massa 24 h		Massa 48 h	Massa 72 h	
Corpo de prova 1	3,450 kg	3,500 kg	3,550 kg	3,550 kg	3,550 kg	3,550 kg
Corpo de prova 2	3,500 kg	3,550 kg	3,550 kg	3,550 kg	3,550 kg	3,550 kg

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 6 – Dados do Corpo de Prova Impermeabilizada com Manta Asfáltica.

Objeto	Taxa de absorção de água			
	Msat	Ms	S	C
Corpo de prova 1	3550g	3450g	253,61cm ²	0,394g/cm ²

Corpo de prova 2	3550g	3500g	253,61 cm ²	0,197g/cm ²
------------------	-------	-------	------------------------	------------------------

Fonte: Autoria Própria.

4.2.3 Corpo de prova - Membrana de Resina Acrílica

A Membrana de Resina Acrílica apresentou pouca umidade durante o teste. No entanto, houve uma variação de peso de 50 gramas no corpo de prova 2 nas primeiras 24 horas, indicando infiltração de água. O corpo de prova 1 permaneceu estanque, preservando sua massa. Entre 48 e 72 horas, ambos os corpos de prova não apresentaram infiltração adicional. Isso se deve pela composição deste sistema, sendo que material que tem configuração hidrofóbicas.

Tabela 7 - Dados do Corpo de Prova Impermeabilizado com Membrana de Resina Acrílica.

Descrição	Testes			
	Massa seco	Massa 24 h	Massa 48 h	Massa 72 h
Corpo de prova 1	3,500 Kg	3,500 Kg	3,500 Kg	3,500 Kg
Corpo de prova 2	3,450 Kg	3,500 Kg	3,500 Kg	3,500 Kg

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 8 - Dados do Corpo de Prova Impermeabilizado com Membrana de Resina Acrílica.

Objeto	Taxa de absorção de água			
	Msat	Ms	S	C
Corpo de prova 1	3500g	3500g	253,61 cm ²	0,000g/cm ²
Corpo de prova 2	3500g	3450g	253,61 cm ²	0,197g/cm ²

Fonte: Autoria Própria.

4.2.4 Corpo de prova referência

O corpo de prova de referência, não impermeabilizado, houve uma variação de peso de 50 gramas em ambos os corpos de prova nas primeiras 24 horas, indicando infiltração de água. Entre 48 e 72 horas, ambos os corpos de prova não apresentaram infiltração adicional. No seguimento do teste não houve capilaridade nas áreas não submersas, acredita-se que tal comportamento possa estar relacionado à composição específica desse corpo de prova, possivelmente proveniente de um lote diferente dos demais estudados (Dados representados nas tabelas 8 e 9).

Tabela 9 - Dados do Corpo de Prova sem Impermeabilização.

Descrição	Testes
-----------	--------

	Massa seco	Massa 24 h	Massa 48 h	Massa 72 h
Corpo de prova 1	3,400 Kg	3,450 Kg	3,450 Kg	3,450 Kg
Corpo de prova 2	3,450 Kg	3,500 Kg	3,500 Kg	3,500 Kg

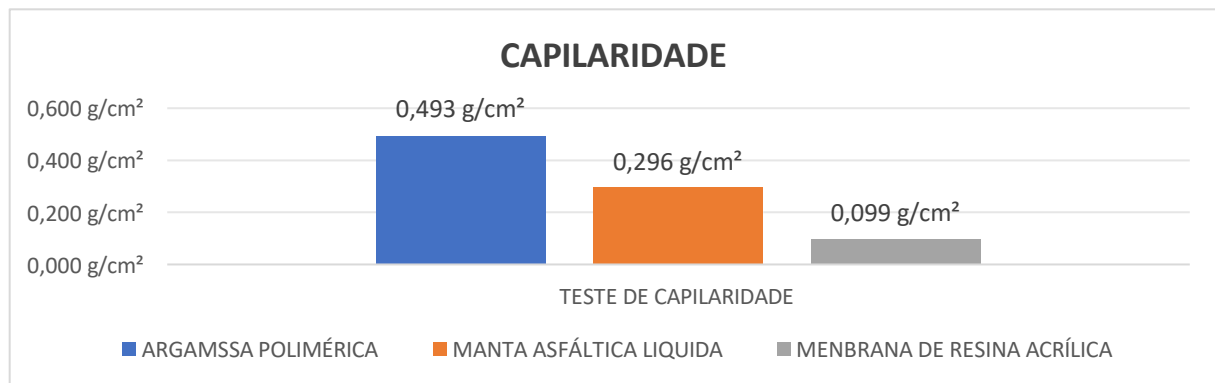
Fonte: Autoria Própria.

Tabela 10 - Dados do Corpo de Prova sem Impermeabilização.

Objeto	Taxa de absorção de água			
	Msat	Ms	S	C
Corpo de prova 1	3450g	3400g	253,61 cm ²	0,197g/cm ²
Corpo de prova 2	3500g	3450g	253,61 cm ²	0,197g/cm ²

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 3 - Teste de Capilaridade



Fonte: Autoria Própria.

4.3 CUSTO POR AREA IMPERMEABILIZADA

Foi realizado a impermeabilização das lajes e corpos de prova seguindo as seguintes áreas:

Lajes: 0,096m² por demão.

Corpo de prova: 0,039m² por demão.

4.3.1 Custo por metro quadrado

Como em todas os sistemas foram realizadas 3 demãos, podemos definir que para lajes tivemos o total de 0,288 m² de produto aplicado por sistema. E para os corpos de prova foi o total de 0,117 m². O custo por metro quadrado foi levantado para servir como parâmetro a ser usado para definição de qual método e mais viável. Dados unitários de valores por metro quadrado detalhados diretamente na tabela da SINAPI disponibilizada no anexo 2.

Levando em conta os dados apresentados temos os seguintes valores por m².

Tabela 11 – Custo do produto por metro quadrado.

Produto	Rendimento	Massa do produto	Valor por 18kg	Área total	Valor por m ²
Argamassa polimérica	3,46 Kg / m ²	18 Kg	R\$ 55,44	5,2 m ²	R\$ 10,66
Manta asfáltica líquida	1,50 Kg / m ²	18 Kg	R\$ 342,00	12m ²	R\$ 28,50
Membrana de resina acrílica	1,20 Kg / m ²	18 Kg	R\$ 389,70	15m ²	R\$ 25,98

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12 – Custo do produto aplicado por metro quadrado.

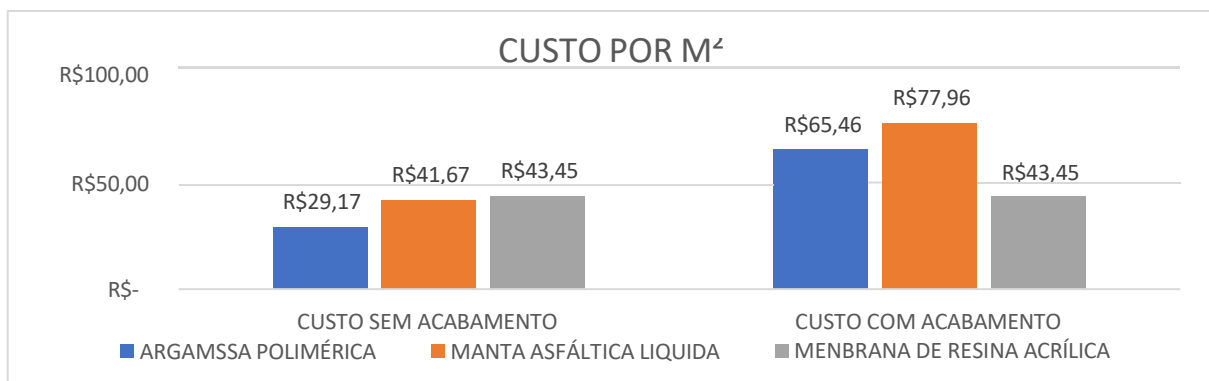
Produto	Código	Referência	Valor por m ²
Argamassa polimérica	98555	SINAPI ANALITICA	R\$ 29,17
Manta asfáltica líquida	98557	SINAPI ANALITICA	R\$ 41,67
Membrana de resina acrílica	98554	SINAPI ANALITICA	R\$ 43,45

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 13 – Custo por área utilizada.

Item	Área	Argamassa pol.	Manta asfáltica	Membrana de resina
Laje	0,288 m ²	R\$ 8,40	R\$ 12,00	R\$ 12,51
Corpo de prova	0,117 m ²	R\$ 3,41	R\$ 5,08	R\$ 5,08
	Valor	R\$ 11,81	R\$ 17,09	R\$ 17,60

Fonte: Autoria própria.

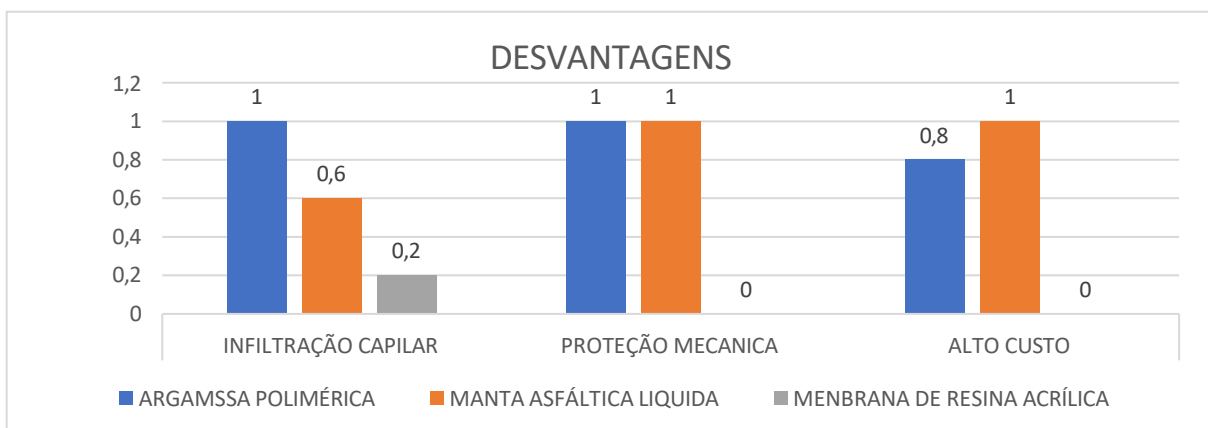
Gráfico 4 - Custo da Impermeabilização

Fonte: Autoria Própria.

5 CONCLUSÃO

Após a conclusão dos testes e ensaios, concluiu-se que é importante estudar sobre a eficácia e o valor dos métodos de impermeabilização. Foram avaliados neste artigo três métodos principais: Argamassa Polimérica, Manta Asfáltica Líquida e Membrana de Resina Acrílica.

Gráfico 5 - Desvantagens



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 6 - Recomendações



Fonte: Autoria Própria.

Após a análise dos dados dos gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, conclui-se que a Membrana de Resina Acrílica é o melhor dos 3 métodos, sendo a impermeabilização com melhor custo benefício, melhor tempo de cura e melhor resultado em todos os testes.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9685**: Emulsão asfáltica para impermeabilização. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15885**: Membrana de polímero acrílico com ou sem cimento, para impermeabilização. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização - seleção e projeto. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15571**: Ensaio não destrutivo — Estanqueidade — Detecção de vazamentos. Rio de Janeiro. 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro. 2022.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Relatório de Insumos e Composições – ABR/2024 - COM DESONERAÇÃO**, Disponível em https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-go/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_GO_202404_Desonerado.zip

DE OLIVEIRA, Daniel José; DA SILVA PEREIRA, Igor Vinicius; MESQUITA, Thiago Martins. Decorrências do uso inadequado de impermeabilizantes em piscinas. **Revista RECIEC**, AEE, 2023.

GUCUNSKI, N. *et al.* **Non-Destructive Testing to Identify Bridge Deck Deterioration**. 2nd. ed. Washington: SRHP, 2013.

KMICK, R. S.; GAZOLLA, M. G.; SILVA JUNIOR, R. M., Capraro, A. P. B., Moreira, K. A. W. (2021). Análise comparativa da eficácia e eficiência de três sistemas impermeabilizantes, **Revista Alconpat**, 11 (1), pp. 34 – 47, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.509>

KMICK, R. S. *et al.* Análise comparativa da eficácia e eficiência de três sistemas impermeabilizantes. **Revista Alconpat**, v. 11, n. 1, p. 34-47, 2021.

PARANHOS, Aline; VECHIA, Daniel; BELTRAME, Milton. **Capilaridade**: um fenômeno de superfície com aplicações cotidianas. São José dos Campos: UNIVAP, 2007.

PLÁ, Carlos Francisco Oliveira. **Impermeabilização e Isolamento**. Curso Técnico em Edificações. IFSul Rio Grandense. (s.d).

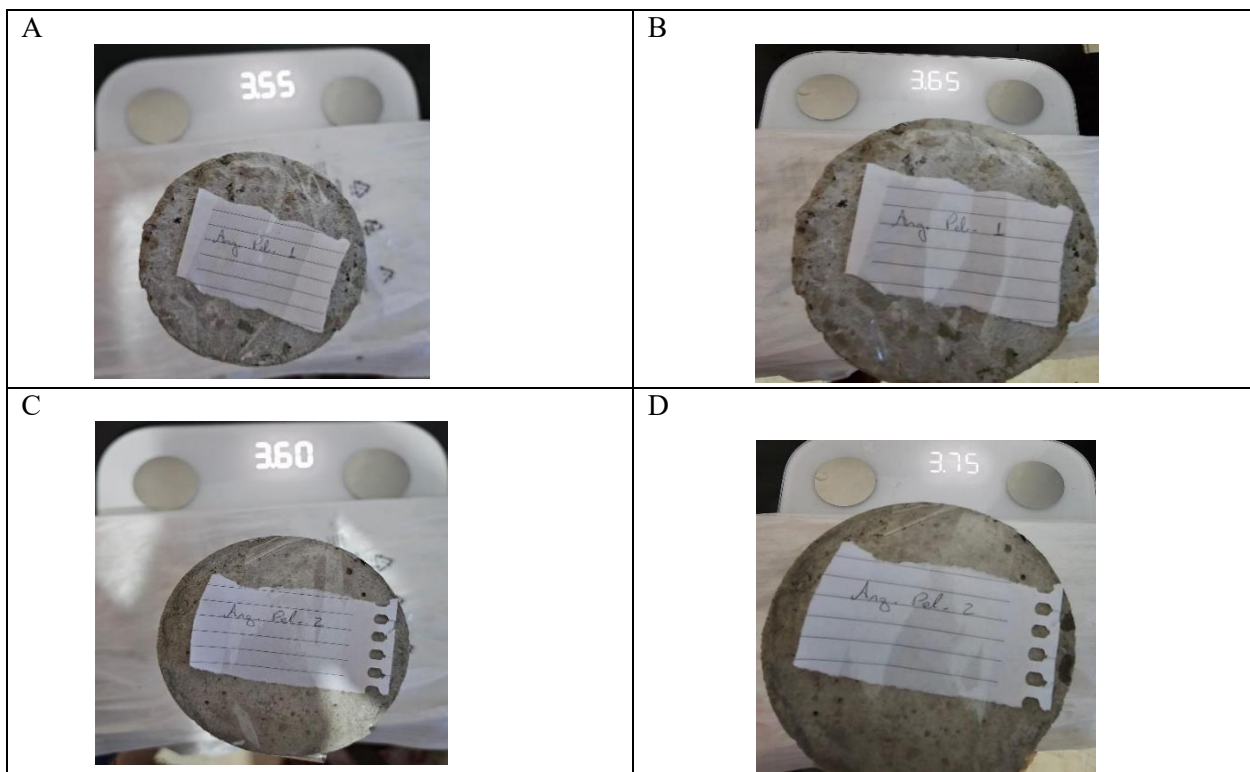
7 ANEXO 1

Figura 12 - Laje Referência Após o Teste.



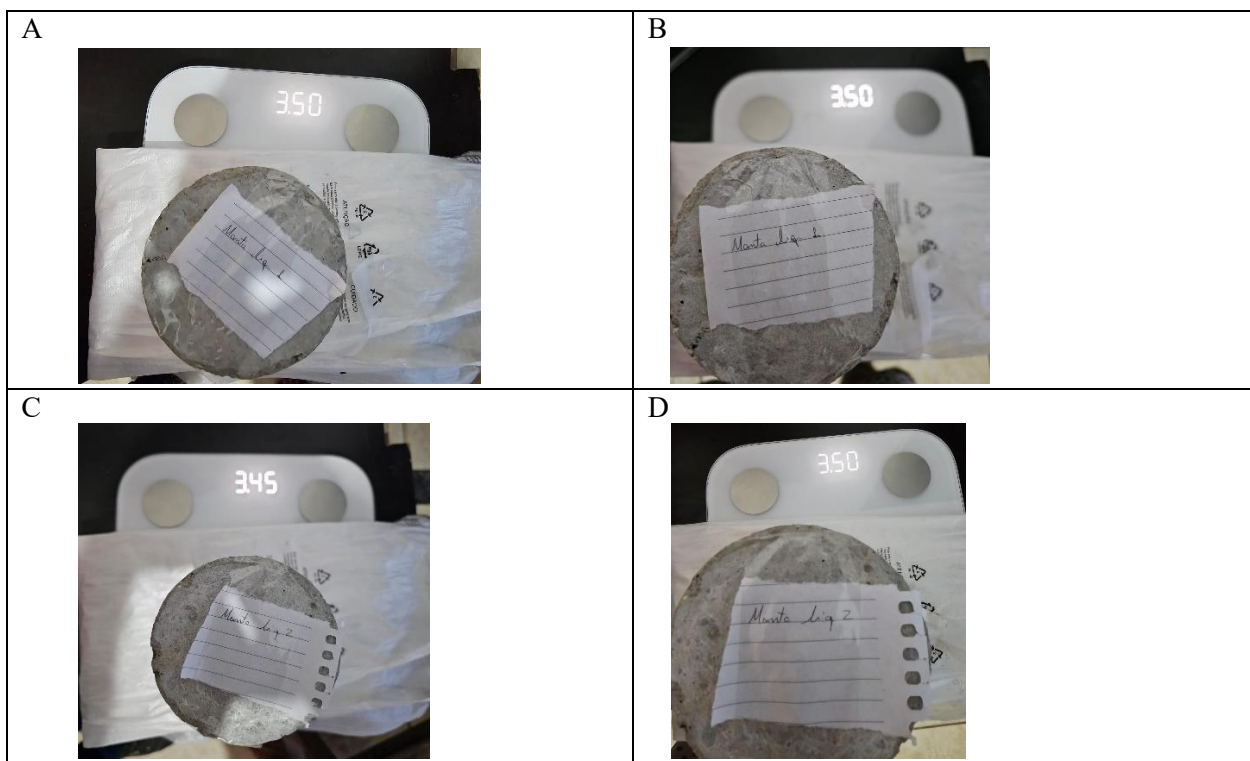
Fonte: Autoria Própria.

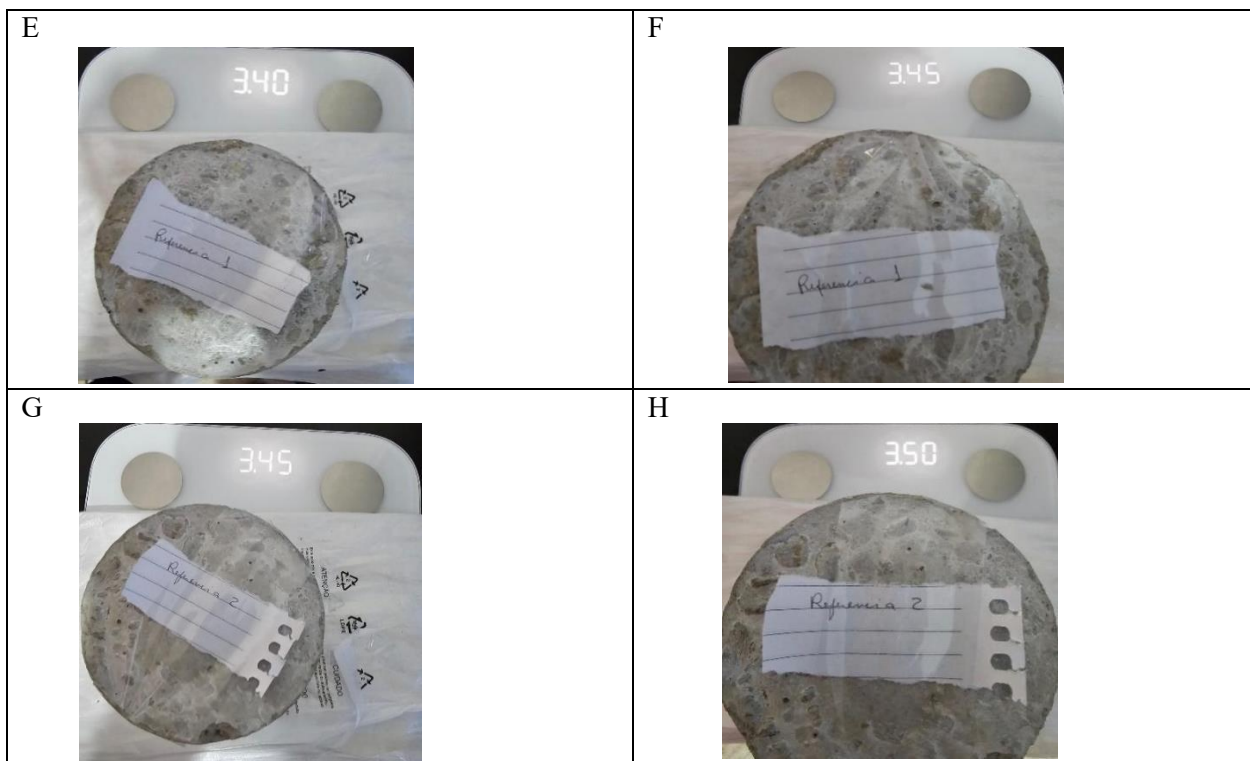
Figura 13 - Corpos de Prova Antes e Depois do Teste de Capilaridade.



Fonte: Autoria Própria.

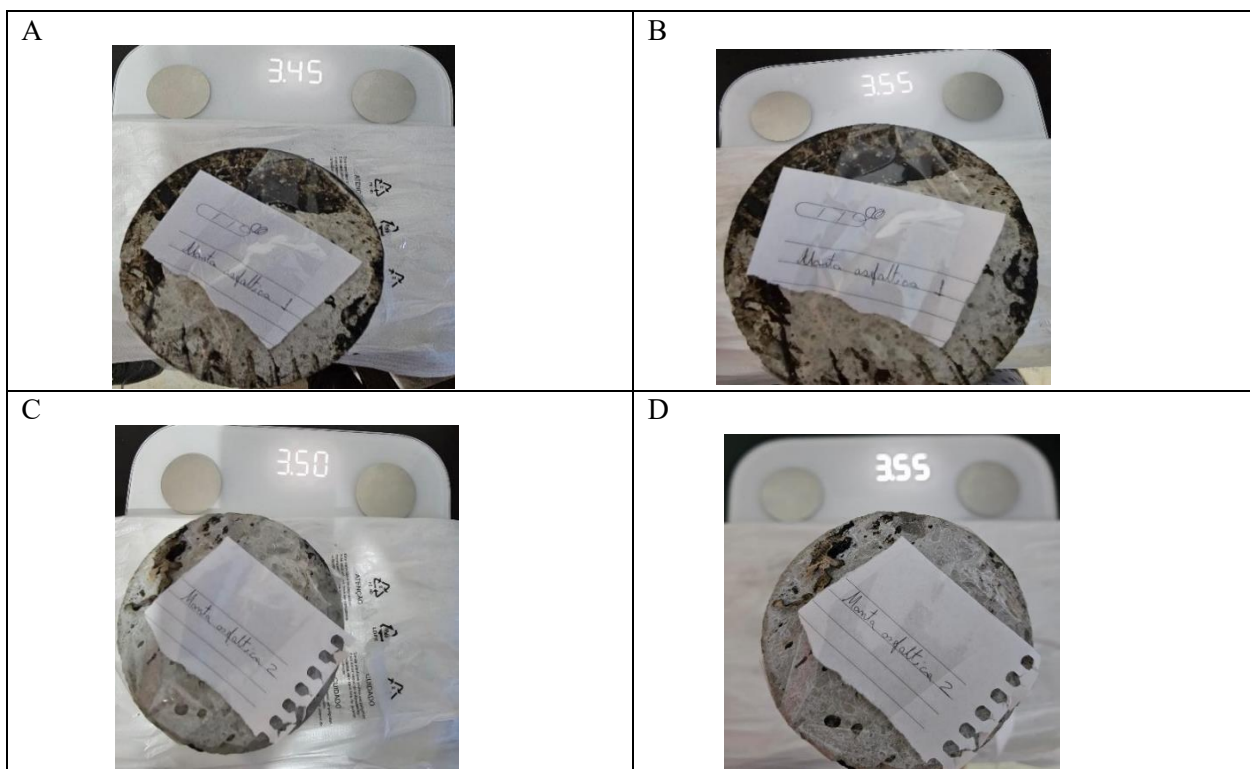
Figura 14 - Corpos de Prova Antes e Depois do Teste de Capilaridade.





Fonte: Autoria Própria.

Figura 15 - Corpos de Prova Antes e Depois do Teste de Capilaridade.



Fonte: Autoria Própria

8 ANEXO 2

As seguintes imagens tratam de composições feitas a partir da tabela de custo SINAPI de ABR/2024 - COM DESONERAÇÃO:

Figura 8 - Tabela de custos composição SINAPI – Impermeabilização com argamassa polimérica.

CÓDIGO	REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	UN.	QTD.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL S/ BDI
98555	SINAPI ANALITICA	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM ARGAMASSA POLIMÉRICA / MEMBRANA ACRÍLICA, 3 DEMÃOS. AF_09/2023	M²			R\$ 29,17
88243	SINAPI ANALITICA	AJUDANTE ESPECIALIZADO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,14	R\$ 19,51	R\$ 2,66
88270	SINAPI ANALITICA	IMPERMEABILIZADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,60	R\$ 26,24	R\$ 15,85
135	SINAPI INSUMOS	ARGAMASSA POLIMERICA IMPERMEABILIZANTE SEMIFLEXIVEL, BICOMPONENTE, A BASE DE CIMENTO E ADITIVOS	KG	3,46	R\$ 3,08	R\$ 10,66

Fonte: Autoria própria.

Figura 9 - Tabela de custos composição SINAPI – Impermeabilização com manta asfáltica líquida.

CÓDIGO	REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	UN.	QTD.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL S/ BDI
98557	SINAPI ANALITICA	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM EMULSÃO ASFÁLTICA, 2 DEMÃOS. AF_09/2023	M²			R\$ 41,67
88243	SINAPI ANALITICA	AJUDANTE ESPECIALIZADO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,10	R\$ 19,51	R\$ 1,89
88270	SINAPI ANALITICA	IMPERMEABILIZADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,43	R\$ 26,24	R\$ 11,28
626	SINAPI INSUMOS	MANTA LIQUIDA DE BASE ASFALTICA MODIFICADA COM A ADICAO DE ELASTOMEROS DILUIDOS EM SOLVENTE ORGANICO, APLICACAO A FRIO (MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE ASFÁSTICA)	KG	1,50	R\$ 19,00	R\$ 28,50

Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Tabela de custos composição SINAPI – Proteção mecânica.

CÓDIGO	REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	UN.	QTD.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL S/ BDI
98563	SINAPI ANALITICA	PROTEÇÃO MECÂNICA DE SUPERFÍCIE HORIZONTAL COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA, TRAÇO 1:3, E=2CM. AF_09/2023	M²			R\$ 36,29
88316	SINAPI ANALITICA	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,10	R\$ 19,03	R\$ 1,95
88309	SINAPI ANALITICA	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,45	R\$ 26,24	R\$ 11,92
87372	SINAPI ANALITICA	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA) PARA CONTRAPISO, PREPARO MANUAL. AF_08/2019	M3	0,03	R\$ 814,97	R\$ 20,37
38365	SINAPI INSUMOS	CAMADA SEPARADORA DE FILME DE POLIETILENO 20 A 25 MICRA	M2	1,04	R\$ 1,97	R\$ 2,05

Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Tabela de custos composição SINAPI – Impermeabilização membrana de resina acrílica.

CÓDIGO	REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	UN.	QTD.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL S/ BDI
98554	SINAPI ANALITICA	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM MEMBRANA À BASE DE RESINA ACRÍLICA, 3 DEMÃOS. AF_09/2023	M²			R\$ 43,45
88243	SINAPI ANALITICA	AJUDANTE ESPECIALIZADO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,13	R\$ 19,51	R\$ 2,51
88270	SINAPI ANALITICA	IMPERMEABILIZADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,57	R\$ 26,24	R\$ 14,96
43147	SINAPI INSUMOS	MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE ACRILICA MONOCOMPONENTE	KG	1,20	R\$ 21,65	R\$ 25,98

Fonte: Autoria própria.