



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
MARCOS BORBA CANDIDO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE MEMBRANA DE POLÍMERO ACRÍLICO
PARA PROTEÇÃO DA ARMADURA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Tubarão
2021

MARCOS BORBA CANDIDO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE MEMBRANA DE POLÍMERO ACRÍLICO
PARA PROTEÇÃO DA ARMADURA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.

Tubarão
2021

MARCOS BORBA CANDIDO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE MEMBRANA DE POLÍMERO ACRÍLICO
PARA PROTEÇÃO DA ARMADURA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

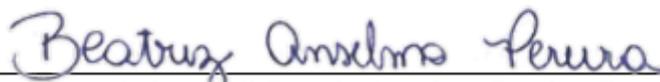
Tubarão, 05 de julho de 2021.



Professora e orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Mauricio Alberto Büchele Motta, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Engenheira Civil Beatriz Anselmo Pereira, Esp.

Este trabalho é dedicado ao meu pai Bento Camilo Candido, pois é graças ao seu esforço, experiência e sabedoria que pude dar início a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar a vida e ajudar a passar por todos os momentos difíceis desta jornada.

Aos meus pais Bento e Solange, pela educação que proporcionaram a mim e meu irmão, sem medir esforços para que eu e meu irmão sempre tivesse uma boa formação. Principalmente ao meu pai por ter sempre me apoiado no curso que escolhi, com inspiração no trabalho que ele sempre exerceu na construção civil.

A minha primeira orientadora Beatriz Anselmo, por ter confiado e contribuído muito no primeiro semestre na construção deste trabalho, obrigado por ter acreditado na ideia e pelos ensinamentos passados.

A minha segunda orientadora Lucimara Aparecida, por ter me ajudado nesta etapa final do trabalho, agradeço a compreensão e todos os conhecimentos adquiridos.

Aos professores, pelos ensinamentos e por sempre estarem dispostos a tirar minhas dúvidas durante esses anos fazendo o curso e durante este trabalho.

Aos meus colegas de curso, pelos momentos memoráveis que passamos durante os últimos anos, obrigado também pelas trocas de experiências que puderam me fazer crescer como pessoa e como profissional.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.” (Max Weber).

RESUMO

A corrosão do aço é uma das principais patologias presentes em uma construção, principalmente em lugares em que ela ocorre de maneira mais acelerada, como em regiões litorâneas. Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a viabilidade do uso de uma membrana de polímero acrílico para proteção da armadura de estruturas de concreto contra a corrosão, visto que se percebe a escassez de estudo nesta área e um dos principais problemas patológicos nas estruturas de concreto armado. Deste modo, foi realizado o ensaio de arrancamento direto (Pull-Out Test) proposto pela RILEM (1978, apud CAETANO, 2008), que consiste em um corpo de prova de concreto com uma barra de aço no centro. Neste ensaio usaram-se barras impermeabilizadas e não impermeabilizadas, para que assim pudesse confirmar ou não, se a aplicação deste produto, interferiria na aderência aço-concreto. Foram realizados quatro corpos de provas para este ensaio, dois com a membrana e dois com as barras limpas. Eles foram submetidos aos esforços de tração após os 28 dias de concretagem em uma máquina de tração, e com o auxílio do aparelho LVDT que mede o deslizamento e a célula de carga que mensura a força, pode-se obter a tensão de aderência até a ruptura, onde constatou-se uma média de 9,05MPa para os corpos de prova com as barras sem a membrana e 9,34MPa para os corpos de provas com o produto e uma média de deslizamento com 9,161mm para os CPs sem o produto e 8,635mm para os CPs com a membrana, constatando-se que houve um maior deslizamento para os corpos de prova sem a membrana. Assim, verificou-se a viabilidade do uso deste tipo de impermeabilizante como proteção das barras de aço, pois demonstrou dados acima do esperado, possibilitando deste modo, mais uma alternativa para os aços galvanizados.

Palavras-chave: Membrana de polímero acrílico. Corrosão. Aderência. Pull-Out Test. Concreto armado.

ABSTRACT

Steel corrosion is one of the main pathologies present in a construction, especially in places where it occurs more quickly, such as in coastal regions. Thus, this work was carried out with the objective of studying the feasibility of using an acrylic polymer membrane to protect the reinforcement of concrete structures against corrosion, since it is perceived that there is a lack of studies in this area and one of the main pathological problems in reinforced concrete structures. Thus, the direct pull-out test (Pull-Out Test) proposed by RILEM (1978, apud CAETANO, 2008) was performed, which consists of a concrete specimen with a steel bar in the center. In this test, waterproofed and non-waterproofed bars were used, so that it could confirm or not, whether the application of this product would interfere with the steel-concrete adhesion. Four specimens were made for this test, two with the membrane and two with clean bars. They were subjected to traction efforts after 28 days of concreting in a traction machine, and with the aid of the LVDT device that measures the slip and the load cell that measures the force, it is possible to obtain the adhesion tension until failure, where an average of 9.05MPa was found for the specimens with the bars without the membrane and 9.34MPa for the specimens with the product and a slip average of 9.161mm for the CPs without the product and 8.635mm for the CPs with the membrane, noting that there was a greater slippage for the test cups without the membrane. Thus, the feasibility of using this type of waterproofing agent to protect steel bars was verified, as it showed higher than expected data, thus enabling one more alternative to galvanized steel.

Keywords: Acrylic polymer membrane. Corrosion. Adhesion. Pull-Out Test. Reinforced Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto	17
Figura 2 – Lei de evolução de custos	18
Figura 3 – Vigas de concreto sem e com armadura.....	20
Figura 4 – Aderência por adesão	22
Figura 5 – Aderência por atrito.....	23
Figura 6 – Aderência mecânica	23
Figura 7 – Representação gráfica da pilha eletroquímica da corrosão da armadura no concreto	24
Figura 8 – Destacamento do concreto	26
Figura 9 – Representação esquemática de um revestimento galvanizado por imersão a quente, mostrando as camadas com diferentes teores de Zn que constituem o revestimento.....	27
Figura 10 – 1ª barra de aço a proteção foi feita com 3 cm de fita de magnésio	28
Figura 11 – Impermeabilizante.....	29
Figura 12 – Programa Experimental.....	31
Figura 13 – Ensaio de Tração na Barra 12,5mm	32
Figura 14 – Ensaio de Compressão	33
Figura 15 – Barras Impermeabilizadas	34
Figura 16 – Corpo de prova para ensaio de arrancamento direto.....	35
Figura 17 – Formas com as barras acopladas	36
Figura 18 – Corpos de provas e amostras desformados	37
Figura 19 – Detalhe do ensaio de arrancamento direto (Pull-Out Test).....	38
Figura 20 – Ruptura por Fendilhamento	42
Figura 21 – Comparativo das Resistências de aderência nos CPs.....	43
Figura 22 – Resistência média na ruptura da aderência	43
Figura 23 – CP2 Resistência x Deslizamento.....	44
Figura 24 – CP3 Resistência x Deslizamento.....	44
Figura 25 – CP4 Resistência x Deslizamento.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensão dos corpos de prova	36
Tabela 2 – Caracterização da Resistência à Tração.....	40
Tabela 3 – Caracterização da Resistência à Compressão	40
Tabela 4 – Resultados do ensaio (Pull-Out Test)	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental (CAA).....	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

GEHO – Grupo Español del Hormigón

RILEM – International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) Oxidação	25
Equação (2) Redução.....	25
Equação (3) Ferrugem	25
Equação (4) Tensão de Aderência	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	CONCRETO ARMADO	20
2.1.1	Aderência da Armadura.....	22
2.2	CORROSÃO DA ARMADURA.....	23
2.2.1	Problemas devido à corrosão da armadura.....	25
2.2.2	Métodos de proteção da armadura.....	26
2.3	IMPERMEABILIZANTE.....	29
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	ETAPA 1.....	31
3.2	ETAPA 2.....	34
3.3	ETAPA 3.....	39
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
4.1	ENSAIO DE TRAÇÃO	40
4.2	ENSAIO DE COMPRESSÃO	40
4.3	ENSAIO DE ADERÊNCIA	41
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado foi introduzido na história humana dentro do setor de arte, e só depois veio a ser utilizado nas estruturas de todo tipo de construção. O concreto – que é constituído de agregados graúdos e miúdos, aglomerantes e água – apresenta uma ótima resistência à compressão, contudo verificou-se a necessidade de utilizar um material a fim de eliminar a deficiência a tração do concreto. Assim, o francês Joseph Monier – considerados por muitos como o pai do concreto armado – resolveu introduzir o aço em suas obras decorativas feitas em concreto, conseqüentemente observou que elas resistiam muito bem à tração, surgindo assim o concreto armado. (PORTO; FERNANDES, 2015)

Pannoni (2007, p. 45) afirma que “o principal objetivo do engenheiro e do arquiteto é fornecer à obra um projeto adequado com respeito à função, fabricação e resistência mecânica”, ainda, o autor destaca que “[...] muitas construções estarão localizadas em regiões onde o ambiente é mais agressivo [...]”, assim, o engenheiro deve considerar tal situação e prever os possíveis problemas decorrentes disso. Para isso a NBR 6118 (ABNT, 2014) diferencia a classe de agressividade dos ambientes em quatro tipos, considerando de fraca agressividade até muito forte. Ainda, a norma determina o cobrimento nominal da armadura, a relação água/cimento máxima e a resistência mínima do concreto de acordo com classe de agressividade dos ambientes.

Entretanto, ainda que se execute uma obra seguindo todas as recomendações para o meio em que ela estará inserida, a estrutura de concreto armado poderá apresentar certa degradação com o tempo. Isto pode ocorrer pois a durabilidade de seus constituintes é influenciada por outros fatores, como intempéries, ações mecânicas ou até mesmo sobrecargas, por exemplo. Assim, uma das principais manifestações patológicas presente nessas estruturas é a corrosão da armadura (WEIMER; THOMAS; DRESCH, 2018).

Segundo Helene (1993), a perda do cobrimento de concreto, pode causar o processo de deterioração do material por contaminação de cloretos e fenômenos de carbonatação no concreto, ajudando a acelerar a corrosão na armadura.

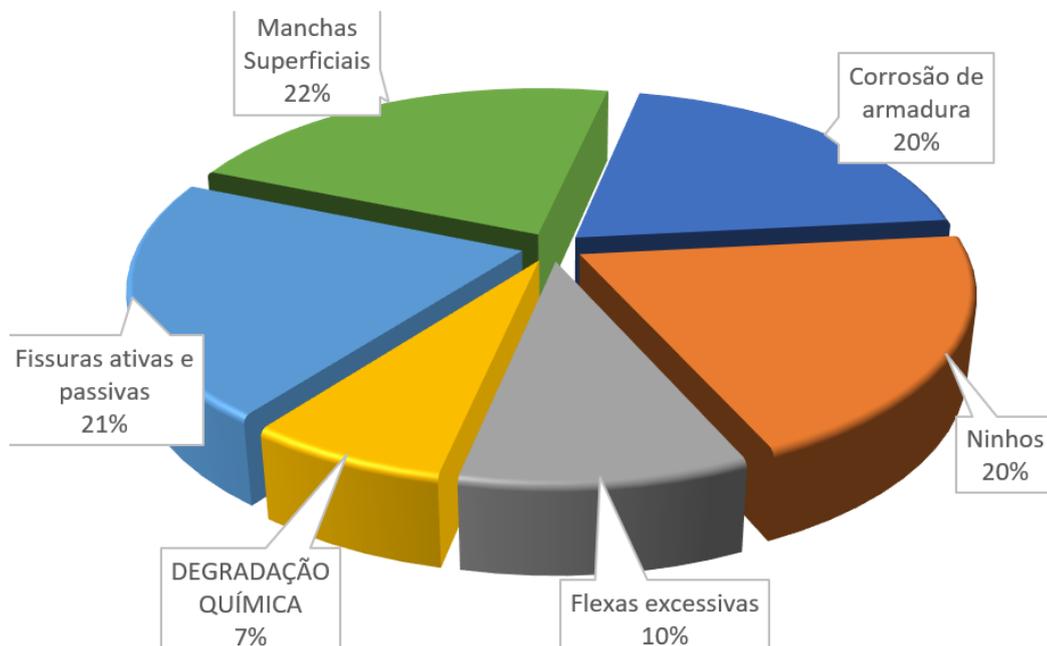
Ainda, Gentil (2011) afirma que a corrosão é um processo que ocorre superficialmente no aço, onde acontecem reações químicas e eletroquímicas, fazendo o metal se deteriorar, com ou sem a ajuda de esforços externos mecânicos. Esse problema é frequente na construção civil, principalmente na parte estrutural, onde se encontra a armadura de aço, que se não solucionado, podem ocasionar perdas irreversíveis a estrutura, sem falar em perdas econômicas.

No estudo feito por Geho (1992, apud HELENE., 2013, p. 39), em mais de 50 províncias espanholas, cerca de 15% de manifestações patológicas, foram causadas por corrosão da armadura em mais de 800 casos analisados. Já no Brasil, conforme o estudo feito por Andrade (1997) em Pernambuco, na região litorânea, entre as principais manifestações patológicas em edificações residenciais, observou-se que a corrosão era a maior delas, com um percentual alto de 60%, constatou-se que esses problemas estavam ligados diretamente a insuficiência de cobertura das armaduras, devido a problemas de execução.

1.1 JUSTIFICATIVA

Helene (1992) afirma que as principais manifestações patológicas das estruturas de concreto “[...] são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas de concreto aparente, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem (segregação dos materiais constituintes do concreto).” Ainda, o autor traz um gráfico (Figura 1) que relaciona a incidência desses sintomas.

Figura 1 – Incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto



Fonte: Helene (1992, p. 19).

Com base na figura 1, é possível afirmar que a corrosão é um problema que acontece frequentemente nas obras, uma vez que sua incidência é de 20%. Segundo Weimer, Thomas e Dresch (2018, p. 45), “a corrosão do aço é sua transformação em ferrugem, que é um material fraco e escamado sem aderência ou coesão [...]”. Este processo ocorre quando há degradação da película passivante de óxido de ferro formada ao redor da barra de aço. Os autores ainda

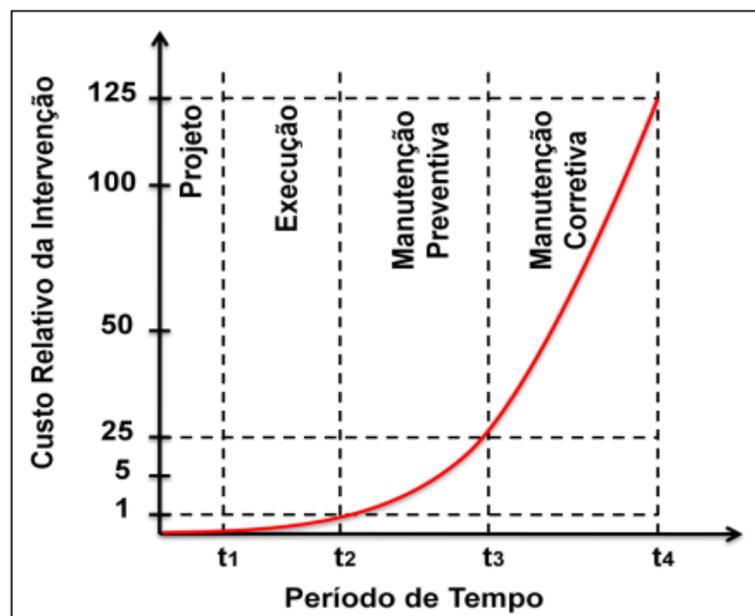
afirmam que os cloretos são um dos principais responsáveis por essa corrosão da armadura. Isto porque eles podem ser incorporados ao concreto devido uso de aditivos, agregados contaminados ou também devido a água do mar que penetra na estrutura.

De acordo com Helene (1993), os cloretos – que estão presentes na atmosfera de regiões litorâneas – tendem a se impregnar nas barras de aço quando estas estão expostas à essa névoa salina, conseqüentemente o aço começa a ter traços de ferrugem em seu corpo e a deteriorar o concreto.

Ainda, outra situação que pode ocasionar a corrosão da armadura é o adensamento mal feito, pois torna o concreto poroso e suscetível a entrada de umidade, a partir daí começa uma expansão do aço devido a ferrugem, aparecendo fissuras e trincas que levam muitas vezes ao colapso da estrutura (MARCELLI, 2007).

Conforme exposto por Helene (1992) é possível dizer que com o passar do tempo a correção dessas manifestações patológicas vai se tornando mais trabalhosa e também cara. O autor exemplifica isso através da Lei de Sitter, conforme figura 2, onde é possível perceber que os custos crescem ao longo do tempo em uma progressão geométrica.

Figura 2 – Lei de evolução de custos



Fonte: Helene (1992, apud CAVALLI; DOTAF, 2008)

Com base no exposto, viu-se a necessidade em desenvolver um processo que evitasse a corrosão da armadura, possibilitando o não aparecimento de manifestações patológicas decorrentes deste problema e também evitando custos de manutenção corretiva. Assim, levanta-se a seguinte questão de pesquisa: **É possível utilizar uma membrana de**

polímero acrílico para a impermeabilização do aço utilizado em estruturas de concreto armado e evitar os problemas decorrentes da corrosão da armadura?

1.2 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos geral e específico para a elaboração do trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a viabilidade do uso de uma membrana de polímero acrílico para proteção da armadura em estruturas de concreto armado contra a corrosão, sem comprometer a aderência.

1.2.2 Objetivos específicos

Assim, para alcançar o objetivo geral deste trabalho foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- Estudar como ocorre a corrosão da armadura;
- Estudar sobre a relação de aderência entre o concreto e a armadura;
- Verificar a influência dessa membrana na aderência entre o concreto e a barra de aço;

2 REVISÃO DE LITERATURA

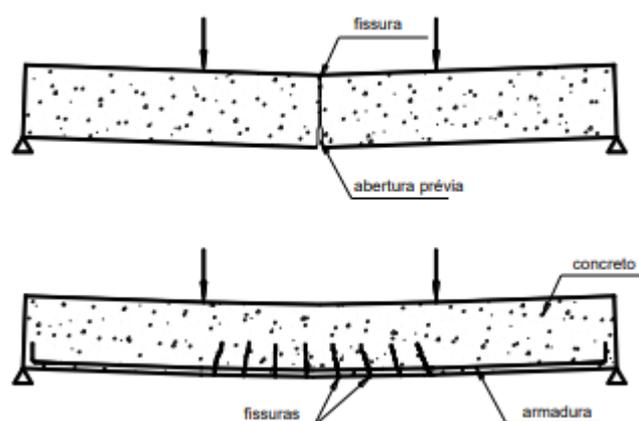
Neste capítulo será apresentada a revisão de literatura que irá embasar o estudo, assim, o primeiro tópico abordará o concreto armado, dando enfoque na relação de aderência entre o concreto e a armadura. O segundo tópico traz os conceitos sobre a corrosão da armadura. E por fim, no terceiro item tem-se a revisão de literatura acerca do material adotado para ser utilizado como impermeabilizante da barra de aço.

2.1 CONCRETO ARMADO

O concreto tem como característica principal a resistência à compressão, constituído de agregados graúdos e miúdos, cimento e água, ele tem em média dez vezes mais resistência à compressão do que à tração. Assim, o aço veio para solucionar o problema – uma vez que este material tem uma ótima resistência a tração – e passou a ser introduzido no concreto, dando início então ao concreto armado. (BOTELHO; MARCHETTI, 2015)

Conforme Bastos (2019), a viga de concreto sem armadura está submetida a forças que aumentam gradativamente, logo ela entra em colapso de forma brusca quando a resistência do concreto à tração na flexão é alcançada, já na viga com armadura isso não ocorre devido a capacidade de resistência à tração na flexão existente no aço, conforme Figura 3.

Figura 3 – Vigas de concreto sem e com armadura



Fonte: Bastos (2019, p. 2)

Ainda, segundo o autor supracitado, o concreto armado necessita da aderência existente entre o concreto e o aço para que eles possam trabalhar solidariamente, sem aplicação de alongamentos iniciais das armaduras, por isso são chamadas de armaduras passivas.

Um dos problemas que a engenharia civil enfrenta em suas construções é a corrosão de armaduras, assim, os principais sintomas que podem se manifestar nos concretos armados

devido ao problema de corrosão são em forma de manchas, fissuras ou deslocamento do revestimento do concreto. Ainda, esta corrosão pode causar redução de aderência entre o aço-concreto, que é a característica principal que mantém os dois unidos, portanto a corrosão pode levar um edifício a seu fim, pois compromete sua estrutura ao longo do tempo (HELENE, 2013)

Além disso, é importante salientar que as estruturas construídas em ambiente marinho têm um elevado grau de agressividade, por conter cloreto de sódio e magnésio em sua atmosfera. Nesses ambientes, a corrosão no aço, podem aparecer muito mais facilmente e rapidamente que em regiões do tipo rural (MARCELLI, 2007).

Por isso, a NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica a agressividade ambiental entre fraca e muito forte de acordo com o ambiente que a obra está situada, conforme apresentado no Quadro 1. Ainda, estas informações vêm relacionadas com o risco de deterioração da estrutura.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito Forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizante, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 17)

Com base nessas informações, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define o revestimento mínimo da armadura, ou seja, a espessura da camada de concreto externa, que se inicia a partir

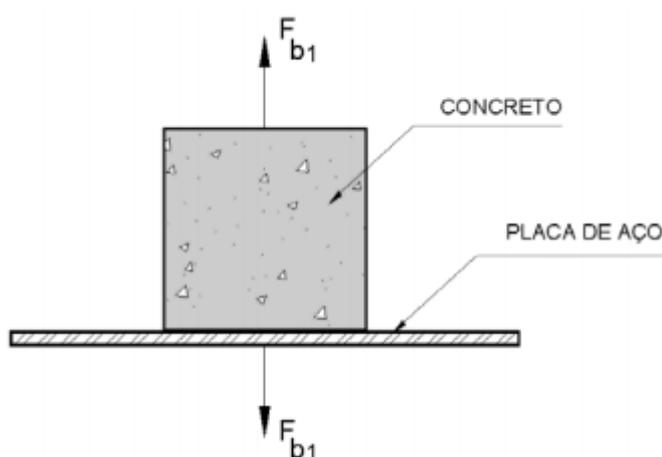
da face externa da armadura. No caso do concreto armado em ambiente marinho, se usa um cobrimento nominal de 35 mm para as lajes e 40 mm para vigas e pilares.

2.1.1 Aderência da Armadura

De acordo com Porto e Fernandes (2015) a conexão entre o concreto e o aço é garantida pela aderência que existe entre eles, isso é de suma importância para o funcionamento do concreto armado, para que a transferência de tensão, que está presente na interface entre os dois materiais, possa impossibilitar o escorregamento da barra no concreto. Ainda, conforme já mencionado, essa aderência entre os dois materiais permite que eles trabalhem solidariamente. Pode-se dividir em três tipos de aderência: a aderência por adesão, por atrito e mecânica.

Segundo Pinheiro e Muzardo (2007), a aderência por adesão, tem como principal função ser resistente à separação do concreto e do aço. Isso se dá graças as ligações físico-químicas que ocorrem durante a pega do cimento. A figura 4, a seguir, mostra um bloco de concreto e uma placa de aço que estão unidos pela adesão natural entre eles. Para ocorrer a separação dessa ligação entre os dois materiais, tem que ser aplicada uma força perpendicular ao concreto (F_{b1}). A força de adesão pode ocorrer em qualquer direção em relação ao bloco, porém se aplicada horizontalmente não poderá ser percebida diferença entre a aderência por adesão por atrito.

Figura 4 – Aderência por adesão

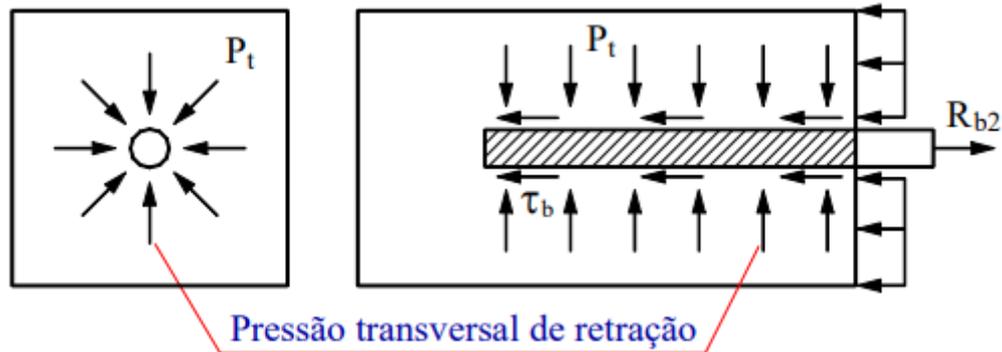


Fonte: Pinheiro e Muzardo (2007, p. 88)

A aderência por atrito ocorre da ação das forças de atrito entre aço-concreto, esta depende da rugosidade superficial da barra e da pressão transversal que é fornecida pelo concreto em virtude da retração. Com a ajuda de ensaios de arrancamento, verifica-se que a

força de tração R_{b2} , não deixa de ter uma parcela de aderência por adesão na Figura 5. (FERNANDES, 2000)

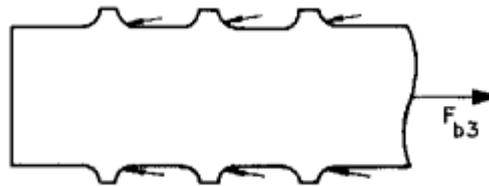
Figura 5 – Aderência por atrito



Fonte: Fernandes (2000, p. 8)

Por fim, a aderência mecânica se caracteriza pelas forças de compressão exercidas perpendicularmente às faces das nervuras do aço, aumentando significativamente a aderência conforme a Figura 6 (PINHEIRO; MUZARDO 2007).

Figura 6 – Aderência mecânica



Fonte: Pinheiro e Muzardo (2007, p. 89)

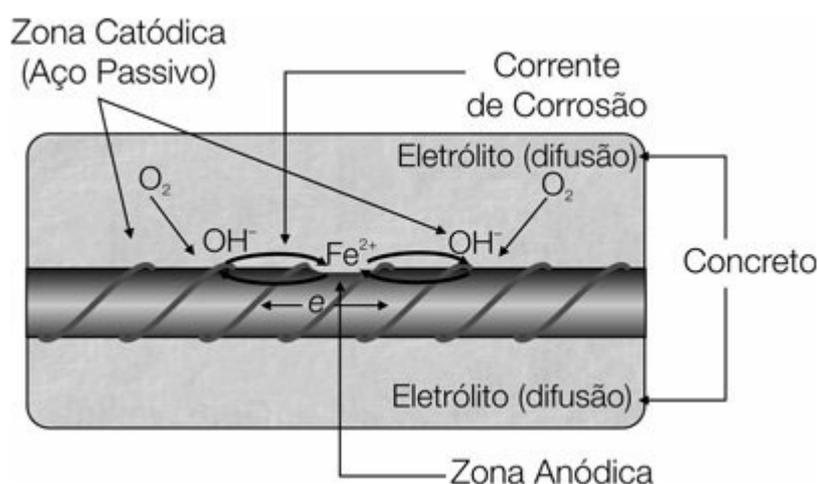
De acordo com Fernandes (2000), as forças ocorridas nas nervuras do aço devido a tração que está sendo exercida pela F_{b3} geram micro fissuração e micro esmagamento, que contribuem para aderência mecânica, até mesmo em barras lisas, devido às irregularidades na superfície do aço no processo de laminação.

2.2 CORROSÃO DA ARMADURA

Segundo Souza (2013), a corrosão acontece de forma espontânea, pois quando os metais entram em contato com o ambiente, tendem a buscar o seu menor estado de energia. No caso do ferro, depois de entrar em contato com o meio ambiente, ele passa de seu estado processado que é o metálico, para o seu estado mais estável que é o Fe_2O_3 hidratado, popularmente conhecido como ferrugem.

Conforme o autor Helene (1993), existem dois processos de deterioração no aço, que são a **corrosão eletroquímica**, que acontece a formação de um fenômeno chamado de pilhas de corrosão, onde há a existência de água ou meio aquoso na superfície do metal, podendo atuar como eletrólito, como mostra a Figura 7. E a **oxidação direta**, que acontece em processo mais lento em temperatura ambiente, ela ocorre diretamente entre o aço e o oxigênio, e acostuma acontecer em toda a superfície do aço.

Figura 7 – Representação gráfica da pilha eletroquímica da corrosão da armadura no concreto



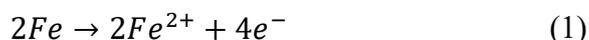
Fonte: Ribeiro et al. (2013, p. 188)

Para que a corrosão eletroquímica ocorra, é necessária a formação de um potencial elétrico pela barra de aço e um eletrólito, podendo atuar como um condutor elétrico no meio aquoso que existe no concreto. Em uma estrutura de concreto armado, a armadura sofre uma diferença de potencial, esta é gerada assim que os átomos do ferro, que estão na barra, entram em contato com o meio aquoso, neste momento surgem as primeiras aparições de oxidação. Esta diferença de potencial provoca a transformação do ferro em íons de ferro (Fe^{++}), das quais esses íons de carga positiva são atraídos aos íons de carga negativa, formando a conhecida pilha de corrosão no meio da estrutura. O que promove a corrosão do aço, é a corrente elétrica que é gerada pela passagem de íons do ânodo para o cátodo, pelo meio aquoso, e do cátodo para o ânodo, por meio da diferença de potencial. (WEIMER, 2018)

“A corrosão através do metal e do eletrólito entre anodo e o catodo pressupõe o funcionamento de um circuito fechado.” (ANDRADE, 1992, p. 16). Segundo Weimer (2018), o cátodo é o polo positivo de uma pilha, onde acontece o ganho de elétrons. Já o ânodo é o polo negativo, onde ocorre a reação de oxidação (perda de elétrons). Conforme Gentil (2011), o mecanismo eletroquímico, pode ser decomposto em processo anódico, onde ocorre a passagem dos íons para a solução; o processo de deslocamento dos elétrons e íons, onde acontece transferência de elétrons pelas regiões anódicas e catódicas no metal e na solução ocorre a

difusão de ânions e cátions, e o processo catódico que tem a função de receber elétrons e íons da solução.

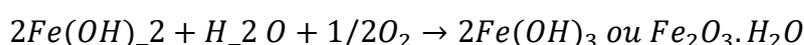
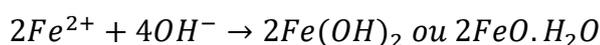
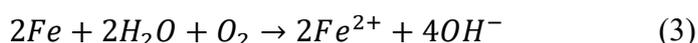
Nas zonas anódicas, ocorrem a dissolução do metal (oxidação).



Nas zonas catódicas, ocorre a redução:



Assim, surgem a formação de ferrugem, com as seguintes reações de corrosão:



As reações de íons negativos da água (ânions OH^{-}), com os íons positivos de ferro (cátions Fe^{2+}), geram o hidróxido ferro – $Fe(OH)_2$, ele tem uma cor amarelada e é depositado na zona corroída (zona anódica). Na zona catódica onde está o cátodo, é depositado o hidróxido férrico – $Fe(OH)_3$, que tem característica avermelhada, quando essas substâncias estão presentes no aço, significam que há indícios de corrosão no aço. Para o fluxo de elétrons continuar existindo, do ânodo para o cátodo, é necessário a presença de (CO_2) e água na superfície da zona catódica. (WEIMER, 2018)

2.2.1 Problemas devido à corrosão da armadura

Segundo Monteiro (1996), os danos causados pela corrosão da armadura diminuem a vida útil da estrutura, que acarretam significativamente na durabilidade e na sua funcionalidade. Os principais danos na estrutura que se pode ver a olho nu são as fissurações, deslocamento do cobrimento, expansão do aço, perda de aderência e redução da seção da armadura.

Conforme Andrade (1992), a expansão causada pela corrosão do aço pode acarretar na aparição de tensões radiais que deformam o concreto, que podem ocorrer fissurações paralelas à armadura corroída, devido as tensões de tração que está sendo adquirida. Isso se não for tratado pode haver destacamento do cobrimento, acarretando a exposição do aço à agentes agressivos, piorando ainda mais a situação, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Destacamento do concreto



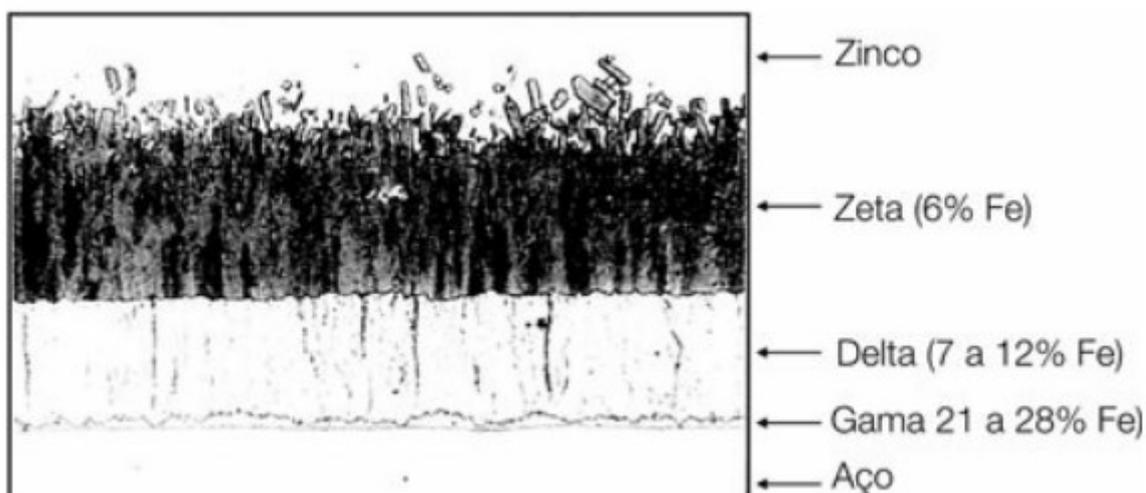
Fonte: Andrade (1992, p. 1)

Segundo um estudo estrutural feito na ponte metálica Marechal Hermes pela Brinck (2004), a corrosão presente nas frestas das estruturas está provocando deformações e rupturas de algumas peças devido as tensões que a corrosão provoca. E se não forem tratadas imediatamente, poderá ser condenada toda a estrutura da ponte, assim, percebe-se a necessidade de se intervir neste problema o quanto antes.

2.2.2 Métodos de proteção da armadura

Conforme Lourenço e Sousa (2013), um dos métodos mais utilizados na construção civil para proteção das armaduras de concreto armado é a galvanização, que é constituída de uma camada de zinco que reveste a armadura, podendo ser aplicado por meio de imersão a quente em um banho de zinco fundido com temperaturas entre 440 °C a 480 °C. Conforme a figura 9, ocorre uma reação entre o aço e o zinco que produz uma série de camadas de liga ferro-zinco, que varia com o teor de ferro entre 6% a 28% e uma camada de zinco puro externa.

Figura 9 – Representação esquemática de um revestimento galvanizado por imersão a quente, mostrando as camadas com diferentes teores de Zn que constituem o revestimento



Fonte: Lourenço e Sousa (2013, p. 236)

Ainda segundo o autor, o fenômeno conhecido como efeito barreira, faz com que o zinco forme uma película protetora, graças a corrosão do mesmo com a presença de elementos presentes no meio ambiente, como o oxigênio, que é oxidado resultando na formação do hidróxido de zinco ($ZnOH$). Já na presença de cloretos, ocorrerá o cloreto de zinco, que também é insolúvel, sobre a camada do hidróxido de zinco, formando também uma camada protetora.

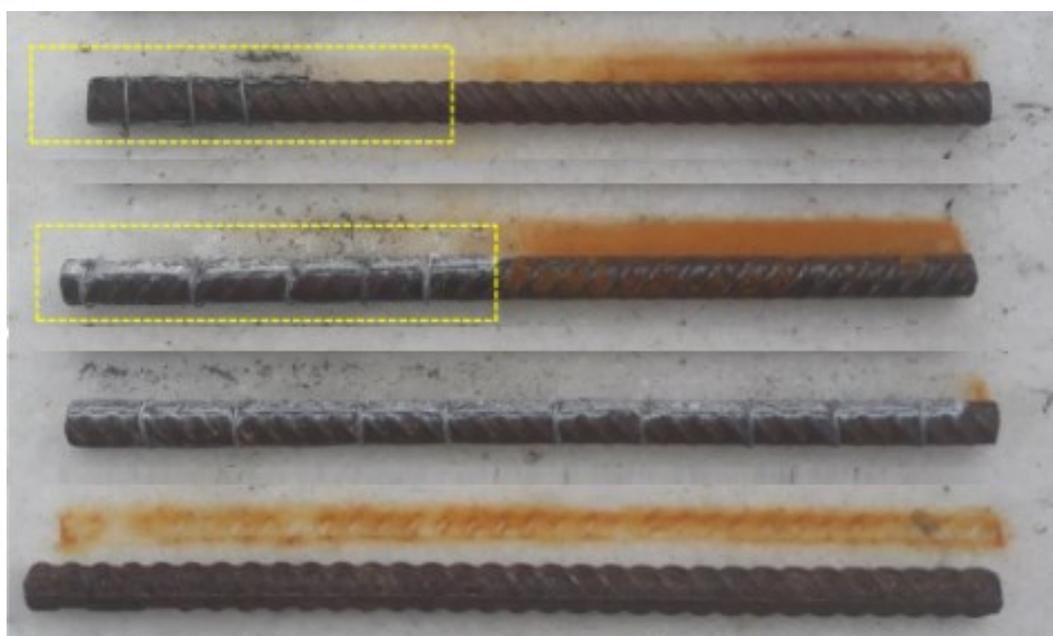
De acordo com Pannoni (2015), para se iniciar a galvanização, a superfície deve estar limpa e livre de produtos químicos. É de extrema importância que o aço esteja isento de óleo, graxa, sujeira, carepa e ferrugem antes de iniciar a imersão. Para isso começa com um desengraxe alcalino, depois é lavado em água fria, logo é submergido em ácido clorídrico, para que se possa remover toda a ferrugem e carepa existentes na barra. Para conseguir a dissolução de quaisquer impurezas ainda existentes, é feito o processo conhecido por fluxagem, que tem dois tipos, a do tipo seco e a do tipo úmida. Na galvanização a seco, após a etapa de lavagem, as peças são imersas em uma solução aquosa de cloretos de zinco e amônia 30%, depois disso é colocado para secar ao ar ou em estufa. Já na galvanização úmida, as peças são submersas a mesma mistura, que em seguida são imersas ao zinco. Somente após essas etapas que poderá se iniciar a galvanização a quente.

Segundo Abdala e Albagli (2014), a galvanização do aço em estruturas de concreto armado pode resultar em um aumento de 20 anos a mais na vida útil da mesma, além de proporcionar redução de custos das manutenções, por ter uma estrutura durável e menos reparos a serem feitos futuramente. Ainda segundo as autoras, a galvanização pode ter um aumento de

5% do custo total da obra, que pode ser considerado irrisório em relação aos benefícios apresentados.

Em um estudo feito por Salomão et al. (2019), foi concebido outro método de proteção da armadura, colocando um metal de sacrifício na barra de aço para evitar a corrosão. No caso foi usado o metal magnésio Mg, onde foi utilizado fitas de diferentes tamanhos em quatro pedaços de 21 cm de comprimento de barras, as mesmas foram submetidas aos agentes de intemperismos por 16 dias, assim pode se notar que onde havia o magnésio, não houve corrosão, conforme a figura 10, a seguir:

Figura 10 – 1ª barra de aço a proteção foi feita com 3 cm de fita de magnésio



Fonte: Salomão et al. (2019, p. 10)

Na 1ª barra de aço a proteção foi feita com 3 cm de fita de magnésio, na 2ª barra de aço a proteção foi feita com 10 cm de fita de magnésio, a parte sem proteção foi aumentando a oxidação cada vez mais no limite da fita, já a 3ª barra de aço a proteção foi feita com 20 cm de fita o resultado comprova que a técnica funciona e por último, a 4ª Barra de aço sem proteção do metal magnésio.

Assim, os autores constataram que o método se fez eficiente na proteção da armadura, pois evitou a formação de ferrugem onde o magnésio estava na barra. Esse estudo foi feito no município de Teófilo Otoni/MG, entretanto não analisou a relação do uso do magnésio no aço com o concreto.

2.3 IMPERMEABILIZANTE

Segundo Morgado (2020), o impermeabilizante tem como principal função proteger e impedir a passagem de fluidos e vapores, como a água, nas construções, aumentando sua durabilidade e garantindo a funcionalidade dos componentes da construção, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Impermeabilizante



Fonte: Cimecryl (2020)

A NBR 9575 (ABNT, 2010) classifica os tipos de impermeabilização de acordo com o principal material utilizado, assim, existe a impermeabilização realizada com materiais cimentícios, asfálticos e também poliméricos. Um dos tipos de impermeabilização com polímeros é a membrana de polímero acrílico, que pode se apresentar com ou sem cimento. Como está será o impermeabilizante utilizado na pesquisa, este item irá apresentar as características principais deste material.

Segundo a NBR 13321 (ABNT, 2008), este tipo de impermeabilizante é destinado a ambientes expostos às intempéries constantemente, por ser um material totalmente impermeável. Ainda, a membrana selecionada na pesquisa, segue os requisitos da NBR 15885, por ter um teor de sólidos muito alto, que adicionado ao cimento se obtém uma membrana elástica, muito resistente, aderente e impermeável, suportando movimentações estruturais, fissuras e trincas, também possui uma elevada resistência aos raios UV, salinidade e variações térmicas, possui alta aderência aos concretos, argamassas, metais, plásticos e vidro. Resistente a altas pressões hidrostáticas positivas, e sendo adequada para acabamentos sob pressão negativa

após os tamponamentos. Acima de tudo ainda é atóxica e inodora, sem a possibilidade de contaminação da água potável (CIMECRYL, 2020).

Segundo a NBR 9575 (ABNT, 2010), este impermeabilizante é indicado para diferentes ambientes da construção, onde poderá haver contato com umidade, como lajes externas, telhas cerâmicas, desde barro à fibrocimento, banheiros, piscinas, reservatórios, vigas, baldrame e fundações e pisos frios em geral, pois um dos principais objetivos da norma é a preservação da construção quando está submetida às intempéries. Ela também pode ser aplicada em todo tipo de acabamento como vedação onde serão aplicados pisos cerâmicos com argamassas AC3, porcelanato, mármore, granito, piso flutuante e piso vinílico.

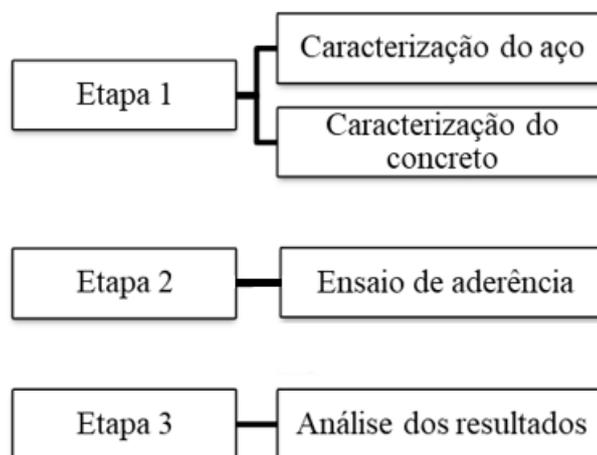
A forma de aplicação se dá, segundo a NBR 9574 (ABNT, 2008) e a NBR 9575 (ABNT, 2010), em duas etapas, a imprimação e aplicação da membrana. Para iniciar a imprimação, deve-se fazer a limpeza do local, removendo limos e qualquer tipo de sujeira solta na superfície, após isso se dilui o produto com água, podendo ser aplicado com rolo, pincel ou broxa, esta etapa é muito importante, pois é ela quem garante a aderência da membrana a superfície. A aplicação da membrana se inicia com a preparação da mesma, mistura-se o produto com o cimento comum, devendo ser aplicado três demãos, na primeira aplica-se o produto por toda a superfície, espera-se a cura do produto, informada pelo fabricante, assim pode ser aplicado a segunda e a terceira demão com este intervalo de tempo entre as mesmas.

3 METODOLOGIA

Este trabalho até, o presente momento, como visto no capítulo 2, foi desenvolvida com materiais já elaborados, que portanto se classifica como uma **pesquisa bibliográfica**, contudo este trabalho também se classifica, conforme exposto por Gil (2010), como uma pesquisa **experimental descritiva exploratória**, pois se trata de um experimento que busca determinar as formas de controle das variáveis, que influenciam os objetos de estudo. Se torna experimental esta pesquisa, visto que o objetivo é impedir a corrosão do aço em regiões litorâneas, com a ajuda de um impermeabilizante, que nesta pesquisa será a membrana de polímero acrílico, aplicado na barra antes de sua concretagem. Logo, o objeto de estudo desta pesquisa é o impermeabilizante e as barras de aço no concreto armado, e as variáveis relacionadas. E pode ser considerada como descritiva exploratória, visto que o estudo proporciona uma nova visão do problema ao torná-lo mais explícito, tendo como objetivo, aprimorar ideias e descobertas revolucionárias. (GIL, 2010)

Assim, para o desenvolvimento deste trabalho foi elaborado o seguinte programa experimental, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Programa Experimental



Fonte: Autor (2021).

Nos próximos itens será explicada como cada etapa apresentada na figura 12 foi desenvolvida.

3.1 ETAPA 1

Para este trabalho foi adotada uma bitola de barra de aço, a fim de verificar a influência da mesma nos ensaios de aderência. Logo, foram adotadas barras de aço CA-50 da

marca CSN com bitola de 12,5 mm. A fim de determinar as características deste material, as barras de aço foram submetidas ao ensaio de tração conforme preconizado pela NBR ISO 6892-1 (ABNT, 2013). Como mostra a figura 13.

Figura 13 – Ensaio de Tração na Barra 12,5mm



Fonte: Autor (2021)

O ensaio de Tração foi realizado na Máquina Universal Losenhausen presente no Laboratório de Engenharia Civil da Unisul. O diâmetro e comprimento escolhidos foram os mesmos para o ensaio de aderência, que no caso são 12,5mm de diâmetro e 70cm de comprimento.

Ainda, o outro material principal nesta pesquisa é o concreto, logo, foi adotado uma classe de resistência, o C20, com resistência característica à compressão de 20 MPa, como determina a NBR 8953 (ABNT, 2015) como resistência mínima do concreto para fins estruturais. O traço para chegar nessa resistência foi 1:2:2 com fator a/c de 0,65, o aglomerante utilizado para confeccionar este concreto foi o cimento CP IV-32 RS da Votorantim, já para o

agregado miúdo foi utilizado de areia média grossa, que tem grãos de 2mm a 3mm provenientes de Gravatal/SC e para o agregado graúdo foi utilizado a brita 1, que tem dimensões de 9,5mm a 19,1mm provenientes de Tubarão/SC, todos esses materiais foram adquiridos em um material de construção no Sangão/SC, quanto a água, foi utilizada a fornecida pela rede pública do Sangão/SC a SAMAE. O concreto foi realizado in loco com o auxílio de enxada e carrinho de mão.

Optou-se por essa classe a fim de verificar a influência da resistência do concreto na aderência com a barra de aço, apesar de a RILEM não determinar uma resistência mínima para o concreto. Assim, com o objetivo de apurar tal resistência, foi feita a caracterização do concreto seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018) que preconiza o ensaio para determinação da resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos de concreto. Conforme a Figura 14.

Figura 14 – Ensaio de Compressão



Fonte: Autor (2021)

O corpo de prova cilíndrico foi confeccionado conforme a norma, onde se pede que ele tenha 10cm de diâmetro e 20cm de altura e adensamento manual, sendo necessárias duas camadas, onde foram aplicados 12 golpes em cada camada com auxílio de uma haste metálica. O ensaio de resistência à compressão foi realizado na Prensa EMIC, que também se encontra no Laboratório de Engenharia Civil da Unisul.

3.2 ETAPA 2

A etapa 2 foi destinada à realização dos ensaios de aderência entre a barra de aço e o concreto. Estas análises tiveram como objetivo verificar a influência do impermeabilizante – membrana de polímero acrílico – na aderência de aço e concreto, confirmando ou não seu uso futuro nas obras.

Logo, os ensaios citados foram feitos em barras de aço sem impermeabilizante e com o produto. Deste modo, foi possível comparar e analisar a influência do impermeabilizante na estrutura de concreto armado. Na Figura 15 a seguir, estão as duas barras impermeabilizadas para o ensaio de aderência.

Figura 15 – Barras Impermeabilizadas

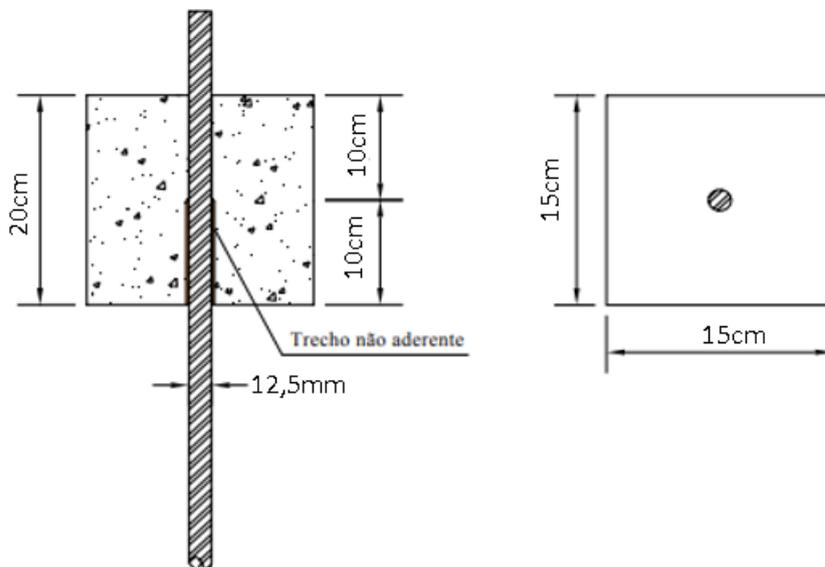


Fonte: Autor (2021)

A aplicação da membrana de polímero acrílico seguiu as diretrizes estabelecidas pelo fabricante do produto, que consistiu em uma demão para imprimação, com o impermeabilizante diluído em água, e três demãos do produto com adição de cimento, a quantidade para a aplicação da membrana foi de uma parte do impermeabilizante puro e 0,8 parte de cimento, em volume.

Para determinar a aderência entre a barra de aço e o concreto foi realizado o Ensaio de Arrancamento Direto (Pull-Out Test), seguindo o proposto pela RILEM (1978, apud CAETANO, 2008) com adaptações. Este procedimento decorre-se da aplicação de forças de tração na barra que está inserida em um bloco de concreto, tentando o arrancamento da mesma. Os corpos de provas para esse procedimento foram confeccionados seguindo o recomendado pela RILEM, que as dimensões mínimas do bloco são de 10 vezes o diâmetro da barra, contudo as dimensões foram aumentadas para a Máquina Universal EMIC, devido ao aparato disponível, conforme demonstrado na figura 16, seguindo o diâmetro da barra de aço utilizada no ensaio de Tração.

Figura 16 – Corpo de prova para ensaio de arrancamento direto



Fonte: Adaptado de Caetano (2008, p. 96)

Assim, como se tem barras com uma bitola (12,5 mm) foram feitos quatro corpos de provas com o mesmo tamanho, dois com as barras impermeabilizadas e dois sem o produto para que assim houvesse a oportunidade de uma contraprova nos resultados. As dimensões estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Dimensão dos corpos de prova

Bitola (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Trecho não aderente (mm)	Comprimento da barra (cm)
12,5	200	200	100	70

Fonte: Autor (2021).

Continuando, pode-se notar, segundo a figura 16 acima, que dentro do corpo de prova tem um trecho que não possui aderência, isso foi feito com fita isolante, este procedimento impedirá a ocorrência de rupturas por fendilhamento do concreto, devido as tensões nesta área. Para o desmoldante, foi usado o impermeabilizante nas formas com o auxílio de um pincel, este procedimento serviu para que o concreto não curasse e grudasse nas formas de madeiras. Conforme a Figura 17.

Figura 17 – Formas com as barras acopladas



Fonte: Autor (2021)

Ainda, o comprimento da barra teve a dimensão igual a 70 cm, para cada corpo de prova e não conforme RILEM que estabelecia comprimento igual a 35cm mais 10 vezes o diâmetro da barra, por causa das adaptações que tiveram que ser feitas, para poder ser realizado na prensa disponível (RILEM, 1978, apud CAETANO, 2008).

A concretagem dos corpos de prova cilíndricos e as amostras para o ensaio de tração foram concretados no mesmo dia, e após 7 dias foi realizado a desforma. Conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Corpos de provas e amostras deformados

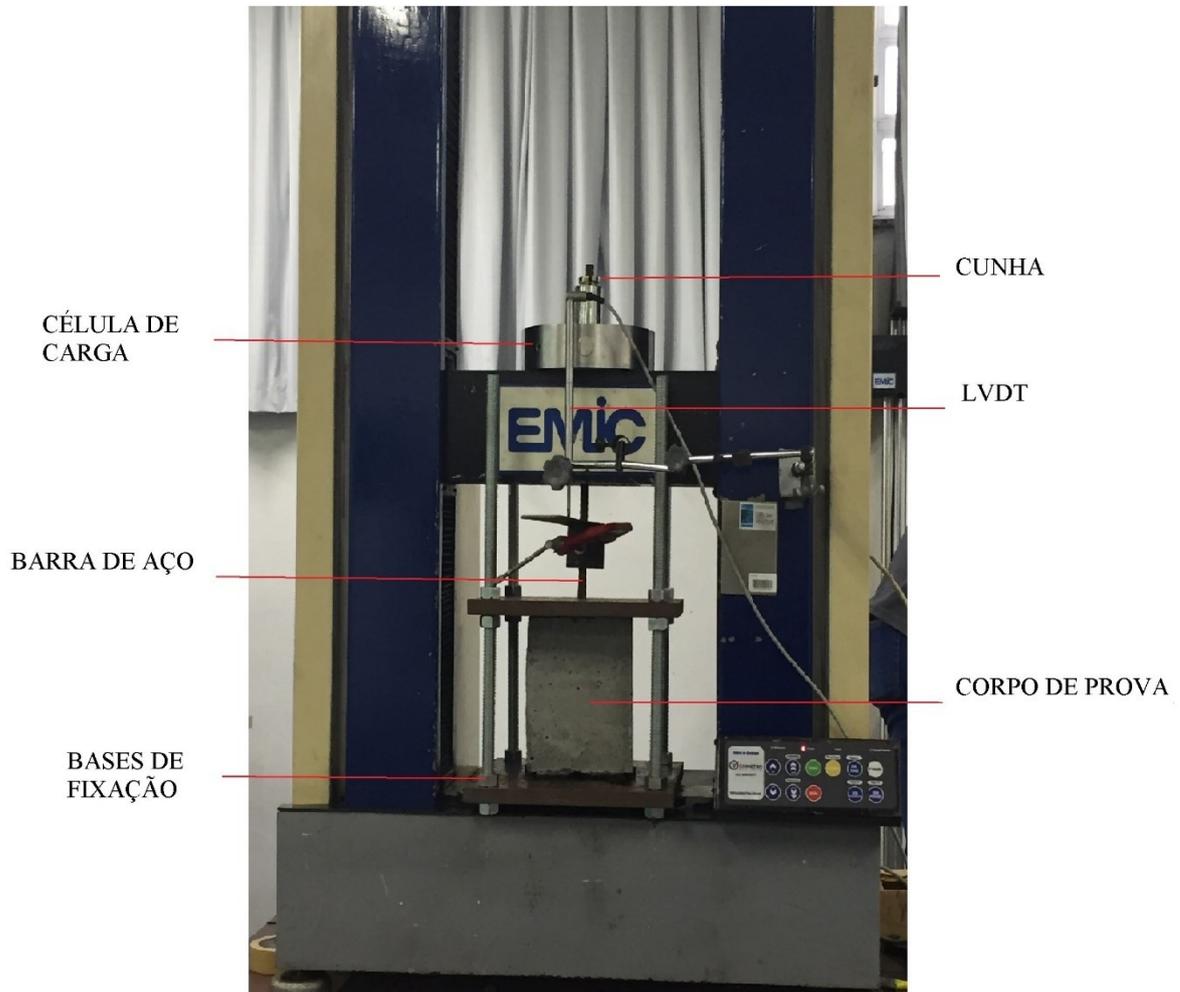


Fonte: Autor (2021)

A figura acima mostra as duas amostras a direita com o impermeabilizante e a esquerda sem impermeabilizante, e em cima os dois corpos de prova cilíndricos para o ensaio de compressão. Foi esperado 28 dias para verificar a resistência desejada para que assim fossem realizados os ensaios de aderência, juntamente com os ensaios de tração e compressão realizados no mesmo dia.

O ensaio de arrancamento direto (Pull-Out Test), foi realizado na Máquina Universal EMIC, que fica localizada no Laboratório de Engenharia da Unesc. Como este tipo de ensaio já foi realizado neste Laboratório, foram seguidas as recomendações feitas pelo Laboratório. As amostras foram alocadas um por vez à máquina e presos por placas de aço com parafusos e porcas, para que se pudesse prender o corpo de prova a base e assim permitir a realização da tração na amostra e obter os dados. Conforme a Figura 19 a seguir.

Figura 19 – Detalhe do ensaio de arrancamento direto (Pull-Out Test).



Fonte: Autor (2021)

Como se pode observar na Figura 19, para a determinação da resistência de aderência, a barra é acoplada na Máquina universal Emic a fim de ser tracionada, determinando a aderência no sistema. O carregamento se deu pela velocidade de 10mm/min, com a ajuda do LVDT - Linear Variable Differential Transformer, representado na figura, como sugerido por Jerônimo e Piccinini (2017), ele afere o deslocamento entre a barra de aço e o concreto, assim não podendo ser feito pela velocidade de carregamento de força descrito por RILEM. A carga de carregamento foi medida pela célula de carga que estava acoplada na parte superior do aparato, e com o auxílio de uma cunha presa na barra na parte de cima, o corpo de prova foi submetido a tração até o rompimento da ligação entre o aço-concreto, e assim foram obtidos os dados no computador do laboratorista.

3.3 ETAPA 3

Os resultados obtidos nas etapas anteriores foram compilados e analisados no capítulo 4, a fim de identificar a influência do uso do impermeabilizante na capacidade de aderência entre o concreto e o aço, e na prevenção da corrosão da armadura. Assim poderá ser feito um estudo detalhado de todo o processo, e determinando se este método teve resultados positivos ou negativos, quanto aos objetivos propostos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A principal proposta deste trabalho é trazer uma solução para uma das principais causas de patologias na construção civil, que é a corrosão da armadura do aço. Se ocorrer do modo esperado, espera-se impedir que essa manifestação patológica aconteça em estruturas de concreto armado, ajudando a diminuir futuras manutenções e gastos nas construções. Como dito, se a aderência entre o aço-concreto não for prejudicada com a aplicação da membrana de polímero acrílico para impedir a corrosão, está será mais uma vitória para a qualidade e vida útil para as futuras construções, e mais um avanço para a engenharia.

4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração na barra CA-50 de 12,5mm foi realizado no mesmo dia que os outros ensaios, foi realizado na Máquina Universal Losenhausen e obtiveram os seguintes dados mostrados na tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização da Resistência à Tração

Barra CA-50	Comprimento (cm)	Força na Ruptura (kN)
12,5mm	70	86,517

Fonte: Autor (2021).

A tensão obtida na ruptura foi de 705MPa, o que condiz com os parâmetros exigidos pela NBR 7480 (ABNT, 2007), os gráficos de escoamentos não foram gerados pela máquina.

4.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO

O ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos foi realizado no mesmo dia que os outros ensaios, este ensaio foi realizado na prensa EMIC e obtiveram os seguintes dados que mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização da Resistência à Compressão

CPs	Idade (dias)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Resistência (MPa)
CP1	28	193	98	14,09
CP2	28	195	99	14,19

Fonte: Autor (2021).

Com base nesses dados pode-se observar que a resistência se manteve semelhante na casa dos 14MPa, o que é significativo para o experimento, pois demonstra consistência na realização do concreto e na confecção dos corpos de prova, sobretudo nas amostras para o ensaio de aderência, entretanto mostrou-se abaixo do esperado pela norma, que seria de 20 MPa.

4.3 ENSAIO DE ADERÊNCIA

O ensaio de aderência dos corpos de provas para o teste de arrancamento direto (Pull-Out Test) foi realizado no mesmo dia que os outros ensaios, o procedimento foi realizado na Máquina Universal EMIC e obtiveram os seguintes dados que mostra na tabela 4.

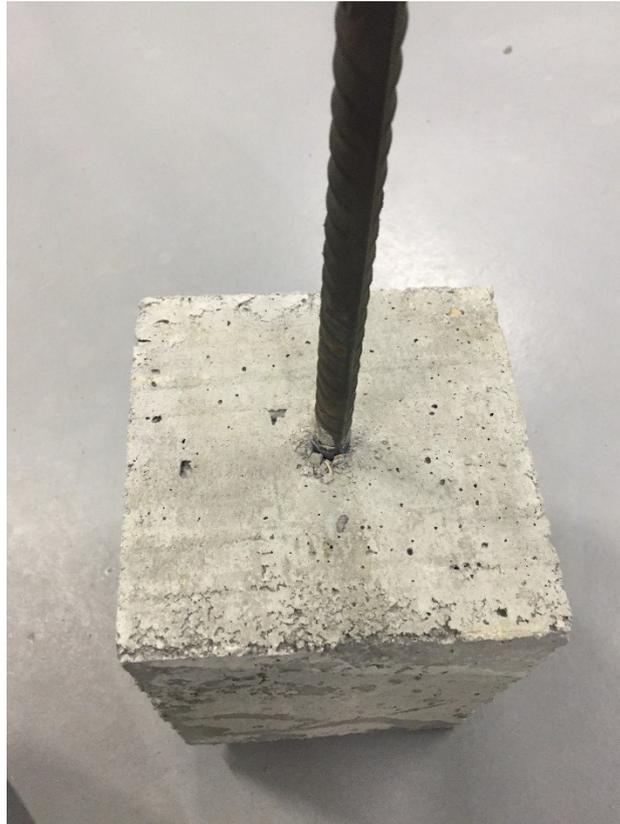
Tabela 4 – Resultados do ensaio (Pull-Out Test)

Identificação	Idade (dias)	Força máxima na ruptura (N)	Deslocamento máximo (mm)
CP1	28	26193	6,315
CP2	28	35547	9,161
CP3	28	38470	8,832
CP4	28	34877	8,438

Fonte: Autor (2021).

Os corpos de prova CP1 e CP2 foram os confeccionados sem o impermeabilizante, e o CP3 e CP4 com o impermeabilizante na barra, mas devido à um problema em um dos parafusos na base de fixação da máquina, deve-se desconsiderar os dados do CP1, que acabou sofrendo danos e não dando o resultado preciso, contudo foi solucionado o problema logo em seguida, e os demais corpos de prova obtiveram consistência em seus resultados, devido ao não aparecimento de novos contratemplos. Em todos os ensaios, as rupturas se deram por leves fendilhamentos seguidos de ruptura da aderência do aço com o concreto, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Ruptura por Fendilhamento



Fonte: Autor (2021)

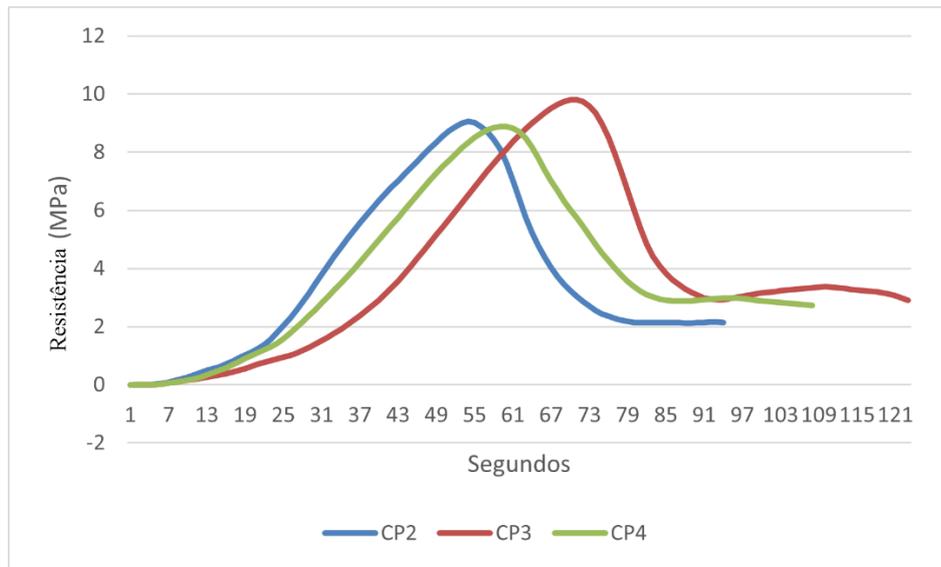
Para determinar a aderência entre o aço-concreto deve-se levar em conta a área do aço que está em contato com o concreto, para que assim obtermos o valor da Tensão de Aderência, conforme a equação proposta por Silva (2014).

Equação (4) Tensão de Aderência

$$\tau_b = \frac{F}{\pi * \varnothing * L_o} \quad (4)$$

Onde τ_b é a Tensão de aderência máxima, F é a força máxima de tração na ruptura, o \varnothing é o diâmetro da barra de aço e o L_o é o comprimento da seção aderente da barra dentro do bloco de concreto. Obtendo assim um gráfico da relação do carregamento nos CPs, como demonstra a Figura 21.

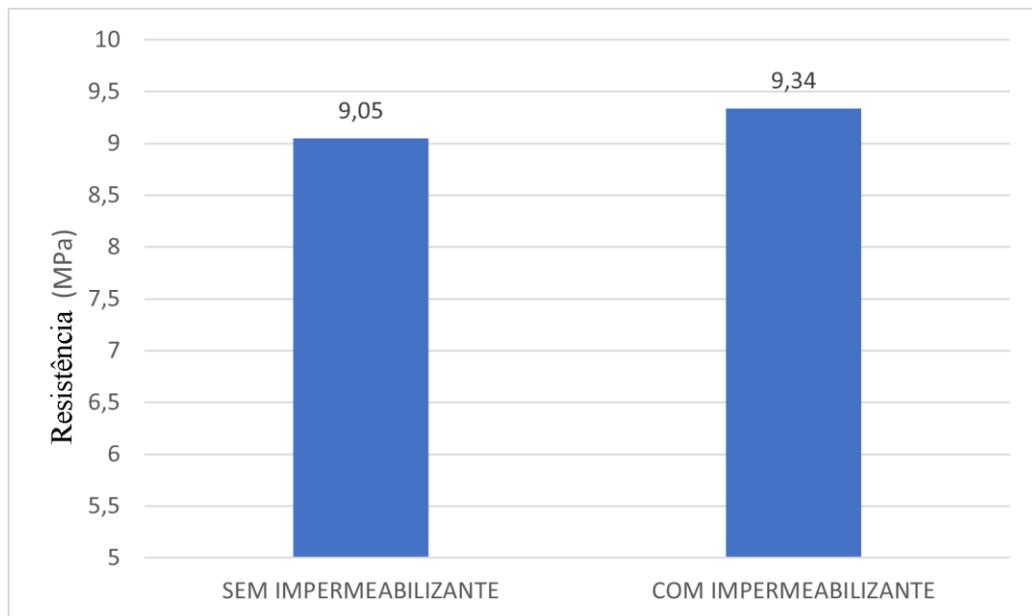
Figura 21 – Comparativo das Resistências de aderência nos CPs



Fonte: Autor (2021)

Assim obteve-se os seguintes valores máximos na ruptura: CP2 com 9,05MPa, CP3 com 9,79MPa e CP4 com 8,9MPa, com esses dados resolveu-se fazer a média dos corpos de provas com o impermeabilizante e compará-lo com o corpo de prova sem o produto, assim surgiu o gráfico presente na Figura a seguir.

Figura 22 – Resistência média na ruptura da aderência

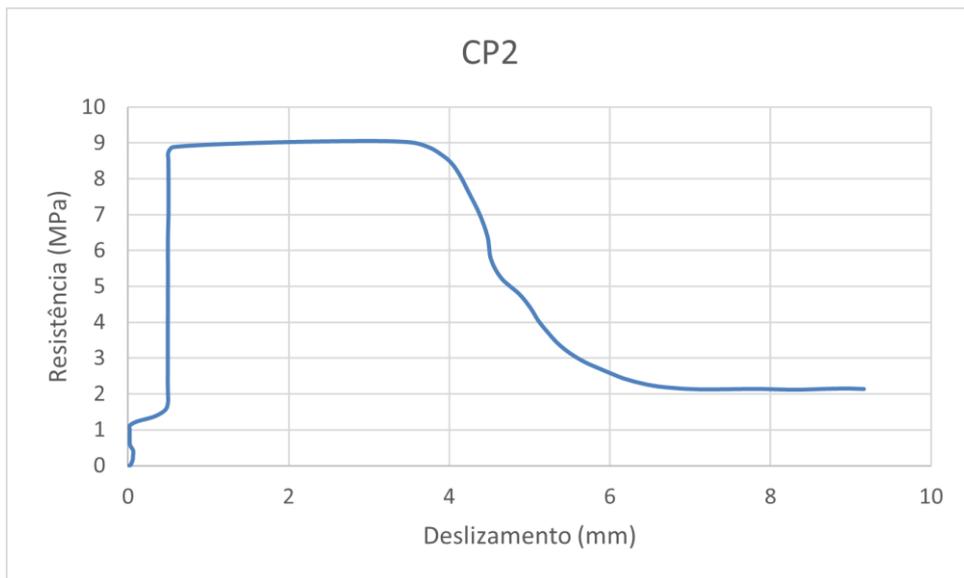


Fonte: Autor (2021)

Como é possível observar na Figura 22 acima, os corpos de prova com impermeabilizante acabaram se mostrando parecidos nos resultados, em relação ao corpo de prova sem impermeabilizante.

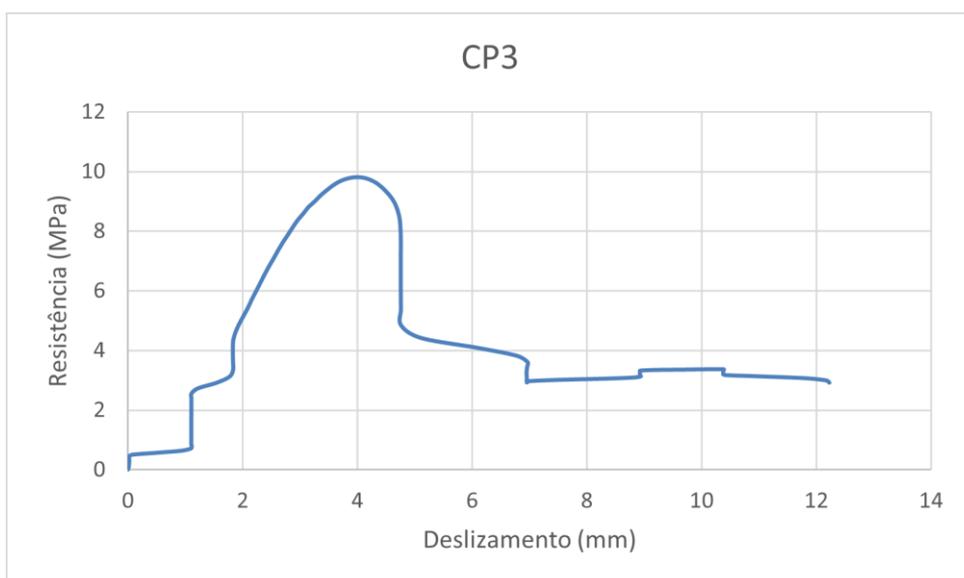
Quanto a Resistência X Deslizamento, ou seja, a tensão de aderência vs deslizamento da barra, com o auxílio da Máquina Universal EMIC, juntamente com o LVDT gerou os seguintes gráficos presentes nas Figuras abaixo.

Figura 23 – CP2 Resistência x Deslizamento



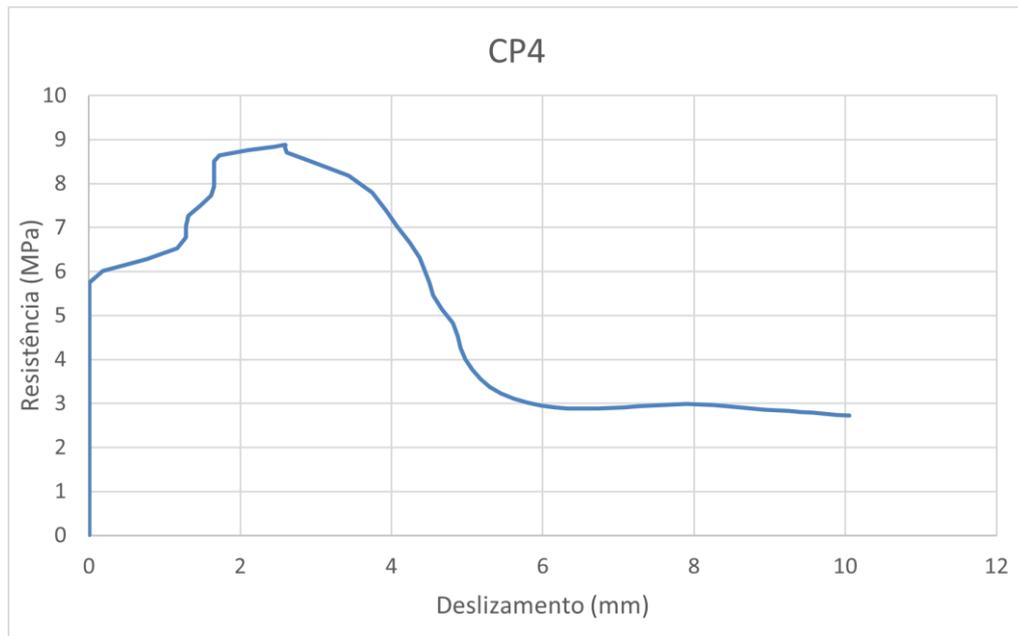
Fonte: Autor (2021)

Figura 24 – CP3 Resistência x Deslizamento



Fonte: Autor (2021)

Figura 25 – CP4 Resistência x Deslizamento



Fonte: Autor (2021)

De acordo com os as figuras acima, adquiriu-se os dados do deslizamento máximo dos arrancamentos de cada CP, valores já comentados em separado na Tabela 4, obteve-se uma média de 9,161mm sem o impermeabilizante e 8,635mm com o produto, demonstrando que os corpos de provas sem o produto, foi o que adquiriu maior deslizamento quanto aos outros ensaios com os impermeabilizantes nas barras.

5 CONCLUSÃO

Como descrito na introdução deste trabalho, o surgimento de patologias devido a corrosão do aço vem dificultando ainda mais a vida de quem atua na área da construção civil, principalmente em regiões litorâneas que estão mais suscetíveis a abrasão e degradação do aço nas estruturas de concreto armado. Para solucionar este problema, este trabalho veio com uma ideia de estudar a viabilidade do uso de uma membrana de polímero acrílico nas estruturas de aço antes da concretagem, para que assim possa impedir o contato com o ar e a umidade, que são os principais causadores da corrosão.

Com os dados que foram obtidos em relação ao ensaio de aderência (Pull-Out Test), pode-se observar que a membrana de polímero acrílico que é um tipo de impermeabilizante, segundo os gráficos, demonstrou uma performance parecida com os ensaios sem o impermeabilizante. Nos resultados adquiridos da Figura 21 pode-se salientar, que os carregamentos foram muito coesos e consistentes em relação a resistência na aderência aço-concreto, em todos os corpos de prova. Com base na aderência x deslizamento foi visto, que o corpo de prova onde a barra continha a membrana de polímero acrílico, teve um menor deslizamento, em relação ao ensaio sem o impermeabilizante.

Com base no desenvolvimento e resultados, pode-se afirmar que os objetivos desta pesquisa foram alcançados. Pois acabou mostrando-se viável a aplicação da membrana de polímero acrílico como proteção da armadura em estruturas de concreto armado, sem que houvesse problemas quanto a aderência entre aço-concreto.

Assim, como exposto por Helene (1992), cerca de 20% das patologias encontradas em uma construção, são provenientes da corrosão da armadura. Portanto este trabalho mostrou-se necessário para solucionar este problema antes que aconteça, pois a ideia é impedir que este tipo de patologia se manifeste, e acabe trazendo consequentemente durabilidade para os produtos que são provenientes da Engenharia Civil, como as edificações.

Contudo, salienta-se que foram encontradas algumas dificuldades para a realização deste experimento, em uma delas foi encontrar uma máquina de tração com as adaptações necessárias para a realização do ensaio de arrancamento direto (Pull-Out Test), pois o Laboratório de Engenharia Civil na Unisul, não possuía os aparatos e materiais necessários para o ensaio. Então o autor teve que ir em busca de um Laboratório que estivesse preparado para realizar este tipo de ensaio, no caso foi o Laboratório de Engenharia da Unesc. Outra dificuldade enfrentada foi, que a máquina encontrada para a realização do ensaio só suportava corpos de provas com a bitola do aço de 12,5mm, pois a cunha que eles tinham só servia para este tipo de

barra, portanto o atraso ocorrido foi, que já se tinha confeccionado outros corpos de provas com bitolas de 10mm e 8mm propostos no TCC 1, fazendo com que o autor confeccionasse novas amostras com a bitola requerida pelo laboratório em que o ensaio foi realizado.

Com base no exposto acima, para algum trabalho futuro, recomenda-se fazer mais ensaios com uma variedade de bitolas de aço, para que assim, fortaleça ainda mais esse experimento que até o momento demonstrou-se viável a aplicação da membrana de polímero acrílico nas barras de aço para concreto armado. Outro ponto a ser discutido seria, a comparação de preços e viabilidade deste método de proteção com a conhecida galvanização, que também demonstra eficácia contra a corrosão do aço.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892-1: **Materiais metálicos – Ensaio de Tração**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9574: **Execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: **Impermeabilização — Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13321: **Membrana acrílica para impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. NM 67: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.
- ABDALA, L.; ALBAGLI, D. **Vergalhão Galvanizado: Vantagens, Aplicações e Desempenho em Estruturas de Concreto Armado**. VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2014.
- ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.
- ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. 1997. 139f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019. 83f. Notas de aulas (Estruturas de Concreto I) – Faculdade de Engenharia, UNESP, Bauru, 2019
- BOTELHO, H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te Amo v.1**. 8ª. ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- BRINCK, F. M. **Efeito da corrosão na integridade estrutural da ponte metálica Marechal Hermes**. 2004. 205f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

CAETANO, L. F. **Estudo do comportamento da aderência em elementos de concreto armado submetidos à corrosão e elevadas temperaturas.** 2008. 178f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CAVALLI, A. F.; DOTAF, T. S. **Avaliação da degradação do concreto dividido à contaminação das águas por esgoto doméstico.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Patologias nas Obras Civas) – Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2008.

CIMECRYL. **Borracha Líquida.** Site. Disponível em: < <https://cimecryl.com/>>. Acesso em: 27 set. 2020

FERNANDES, R. M. **A influência das ações repetidas na aderência aço-concreto.** 2000. 155f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2000.

CAETANO, L. F. **Estudo do comportamento da aderência em elementos de concreto armado submetidos à corrosão e elevadas temperaturas.** 2008. 178f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GENTIL, V. **Corrosão.** 6^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5^a ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRAEFF, A. G. **Avaliação Experimental e Modelagem dos Efeitos Estruturais da Propagação da Corrosão em Elementos de Concreto Armado.** 2007. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** São Pulo, 1993. 231f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, Paulo. Introdução: corrosão das armaduras. In: RIBEIRO, Daniel Vêras *et al* (org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:** teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 1. p. 31-50.

HELENE, Paulo. Introdução: importância econômica e na segurança estrutural. In: RIBEIRO, Daniel Vêras *et al* (org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado:** teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 1. p. 31-50.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1992.

JERÔNIMO, Vanessa A.; PICCININI, Ângela C. **Estudo do comportamento da aderência aço-concreto sob o efeito de altas temperaturas.** 2017. 20f. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC – como requisito parcial para obtenção do Título de Engenharia Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

LOURENÇO, M. Zita; SOUSA, Carlos Alberto Caldas de. Métodos de proteção e aumento da durabilidade do concreto armado: armaduras especiais. In: RIBEIRO, Daniel Vêras *et al* (org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 7. p. 234-281.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil**: causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007.

MONTEIRO, E. C. B. **Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras sob a ação conjunta de CO₂ e íons cloretos**. 1996. 138f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Faculdade de tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

MORGADO, J. M. Compreenda a importância do projeto de impermeabilização na obra. **Instituto de Impermeabilização**, São Paulo, p. 1, 2020. Disponível em: <<https://ibibrasil.org.br/2020/01/16/artigo-compreenda-a-importancia-do-projeto-de-impermeabilizacao-na-obra/>>. Acesso em: 27 set. 2020.

PANNONI, F. D. **Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de corrosão e Incêndio**. Gerdau, 4^a. ed. São Paulo, p. 44-45, 2007.

PANNONI, F. D. Princípios da Galvanização a Fogo. **Researchgate**, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266345339_Princípios_da_Galvanizacao_a_Fogo>. Acesso em: 27 set. 2020.

PINHEIRO, L. M; MUZARDO, C. D. Aderência e Ancoragem. In: PINHEIRO, Libânio M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**. São Carlos: USP, 2007. Cap. 10. p. 87-102.

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. **Curso Básico de Concreto Armado**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

RIBEIRO, D. V.; CUNHA, M. P. T. Deterioração das estruturas de concreto armado. In: RIBEIRO, Daniel Vêras *et al* (org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 6. p. 168-215.

SALOMÃO, P. E. A.; SUSKI, A.; PINHEIRO, W. F.; ANDRADE, A. L. de A. Corrosion protection study in construction steel armor. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1-16, 2019. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/504>>. Acesso em: 17 oct. 2020.

SILVA, B.V. **Proposição de um teste de aderência para o controle tecnológico da resistência à compressão do concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2014.

SOUSA, Carlos Alberto Caldas de. Princípios da corrosão eletroquímica. In: RIBEIRO, Daniel Vêras *et al* (org.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 2. p. 51-88.

WEIMER, Bianca Funk. Patologias das estruturas em concreto armado. In: WEIMER, Bianca Funk; THOMAS, Mauricio; DRESCH, Fernanda. **Patologia das Estruturas**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. Cap. 2. p. 41-49.