



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

LAÍSE DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DO PREPARO DE SUPERFÍCIE NA RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE CONCRETOS EM REPAROS
ESTRUTURAIS**

BELÉM

2025

**INFLUÊNCIA DO PREPARO DE SUPERFÍCIE NA RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE CONCRETOS EM REPAROS
ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito final para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador(a): Prof^a Dr^a Luciana de Nazaré Cordeiro Pinheiro

BELÉM

2025

**INFLUÊNCIA DO PREPARO DE SUPERFÍCIE NA RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE CONCRETOS EM REPAROS
ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito final para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador(a): Prof^a Dr^a Luciana de Nazaré Cordeiro Pinheiro

Data de aprovação: 04/11/2025

Conceito: Excelente

Banca Examinadora

Prof. Dr. Felipe de Sá Moreira

Instituto de tecnologia (ITEC)-UFPA

Prof. Dra. Christiane Lima Barbosa

Instituto de tecnologia (ITEC)-UFPA

RESUMO

O concreto é um material de uso histórico e consolidado, havendo inúmeras pesquisas voltadas ao aprimoramento de suas propriedades como resistência, reologia e durabilidade. Entretanto torna-se igualmente relevante estudar estratégias de manutenção e reparos de estruturas existentes, uma vez que o concreto, embora seja uma rocha artificial, também sofre a ação do tempo e das intempéries. Entre as técnicas disponíveis destaca-se o reparo estrutural por adição de novas camadas de concreto, cuja eficiência depende diretamente da aderência entre concreto antigo e novo. Este trabalho investigou a influência de diferentes preparos de superfície na aderência entre concretos moldados em idades distintas. Foram confeccionados 28 corpos de prova cúbicos de 30 MPa unidos a três tipos de preparo de base: apicoamento, lixamento e ranhuramento. A avaliação foi realizada por ensaios de cisalhamento na interface entre os concretos por meio de push-out teste. Os resultados indicam diferenças significativas no desempenho conforme o tipo de preparo com o apicoamento apresentando melhor desempenho, numa média de 6,26 MPa de resistência. O segundo melhor resultado foi o de sistemas com superfícies ranhuradas com uma média de 5,6 MPa de resistência, evidenciando que a rugosidade da superfície exerce papel fundamental na melhoria da resistência ao cisalhamento e qualidade da aderência entre concreto novo e antigo.

Palavras-chave: Cisalhamento, Aderência, Preparo de base, reforço estrutural, concreto

ABSTRACT

Concrete is a historically and widely used material, with numerous research projects focused on improving its properties such as strength, rheology, and durability. However, it is equally relevant to study maintenance and repair strategies for existing structures, since concrete, although an artificial rock, is also subject to the effects of time and weather. Among the available techniques, structural repair by adding new layers of concrete stands out, the efficiency of which depends directly on the adhesion between old and new concrete. This work investigated the influence of different surface preparations on the adhesion between concretes molded at different ages. Twenty-eight cubic specimens of 30 MPa were prepared, joined to three types of base preparation: chipping, sanding, and grooving. The evaluation was performed by shear tests at the interface between the concretes using a push-out test. The results indicate significant differences in performance according to the type of preparation, with chipping showing the best performance, averaging 6.26 MPa of strength. The second best result was from systems with grooved surfaces, with an average resistance of 5.6 MPa, demonstrating that surface roughness plays a fundamental role in improving shear strength and the quality of adhesion between new and old concrete.

Keywords: Shear, Adhesion, Base preparation, Structural reinforcement, concrete

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1- Tipos de ensaios para testar aderência entre concretos.....	13
Figura 2- Sistemas de Prismas.....	15
Figura 3- Fluxograma de atividades	15
Figura 4- Aspectos Visuais e Curva granulométrica do agregado graúdo.....	15
Figura 5- Aspectos visuais e curva granulométrica do agregado miúdo.....	18
Figura 6- Superfícies tratadas	19
Figura 7- Resultados do ensaio de densidade do concreto no estado fresco	20
Figura 8- Resultados de ensaio absorção por capilaridade.....	21
Figura 9- Resultados de resistência ao cisalhamento	21
Figura 10- Push-out teste	21
Tabela 1- Características dos materiais empregados	17
Tabela 2- Traço unitário	17
Tabela 3- Ensaio	19
Tabela 4- Resistências dos prismas por tipos de preparo.....	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO DA LITERATURA	9
	2.1 Concreto como material estrutural.....	9
	2.2 Tipos de Reparo estrutural.....	10
	2.3 Tipos de preparo de superfície	11
	2.4 Tipos de testes de resistência ao cisalhamento na interface entre concretos.....	12
3	METODOLOGIA	14
	3.1 Fluxograma de atividades.....	15
	3.2 Caracterização dos Materiais	15
	3.3 Escolha do traço.....	16
	3.4 Programa experimental.....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
6	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2020, o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) publicou um relatório sobre a ponte Juscelino Kubitschek, que interliga os estados do Maranhão e Tocantins, apontando uma série de problemas estruturais, como fissuras, armaduras expostas e deslocamentos. Quatro anos depois, em maio de 2024, o mesmo órgão publicou um edital para a contratação de uma empresa destinada à realização de estudos preliminares, bem como dos projetos básico e executivo para a reabilitação da ponte. O DNIT relatou não haver empresas que comprovassem habilitação técnica para atender às exigências do edital no que se refere à execução da inspeção e ao projeto de reabilitação da estrutura (Brito, 2025). Em dezembro do mesmo ano, a ponte veio a colapsar, resultando em vítimas fatais, contaminação do rio causada pelo derramamento de produtos químicos transportados por caminhões que trafegavam pela ponte no momento do acidente e um elevado custo para sua reconstrução (Torres, 2024). Esse acontecimento evidencia a relevância de se promover estudos e discussões voltados ao tema de reparo e reabilitação estrutural.

O reparo estrutural tem se tornado cada vez mais necessário à medida que as construções envelhecem e que a preocupação com a sustentabilidade e a preservação ambiental se intensifica. Considerando que os recursos naturais utilizados na produção de materiais de construção são finitos, e que o custo das novas edificações é elevado, as técnicas de reabilitação de estruturas existentes se apresentam como uma alternativa econômica e ambientalmente vantajosa. É importante cuidar e pensar em reabilitação de estruturas, pois o setor da construção civil é altamente poluente, reponsável por 39% das emissões de CO₂ (dióxido de carbono), por isso temas como reutilização e reabilitação de estruturas são cada vez mais evidenciados (Monteiro, 2024)

Dentre as técnicas disponíveis, destaca-se a adição de novas camadas de concreto que visa restaurar ou aumentar a capacidade resistente do elemento estrutural. A eficiência dessa técnica, no entanto, depende diretamente da qualidade da aderência entre o concreto antigo e o novo, sendo a rugosidade da superfície do substrato um dos fatores de maior influência nesse comportamento (Mokhtari, 2024).

Ao adicionar uma camada de concreto a um concreto antigo, surgem na interface entre os concretos tensões de cisalhamento devido à tendência de deslizamento entre o concreto antigo e o novo sob a ação das cargas aplicadas (Huang Y.,2025). Para que o conjunto se comporte de maneira monolítica, é necessário que a conexão entre as camadas seja suficientemente resistente para suportar tais tensões. A transferência de esforços na interface ocorre, principalmente, por meio de três mecanismos: adesão, atrito

e ação de pino (Zalhaf, 2024). A resistência de aderência é influenciada, portanto, por fatores como a rugosidade superficial, a umidade do substrato e as condições de aplicação do concreto de reparo (Zhang, 2024). Contudo, observa-se que muitos estudos relacionados ao tema carecem de metodologias experimentais detalhadas que permitam compreender, de forma precisa, a influência da rugosidade da superfície na resistência ao cisalhamento.

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo avaliar a influência do tipo de preparo de superfície na resistência ao cisalhamento entre concretos, contribuindo para o aprimoramento das técnicas de reabilitação estrutural. Além disso, reforça a importância da adoção de práticas sustentáveis na engenharia civil, ao incentivar o prolongamento da vida útil das estruturas existentes e redução de impactos ambientais e econômicos decorrentes de novas construções.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Concreto como material Estrutural

As evidências mais antigas e documentadas sobre a utilização do concreto como material estrutural remontam ao Panteão e ao Coliseu, em Roma, onde se utilizava o chamado “concreto romano”. Os romanos construíram estruturas extremamente resistentes, como docas, sistemas de esgoto e edificações situadas em zonas sísmicas, que permanecem desafiando o tempo e a engenharia moderna (Bunder, 2016). Pesquisas recentes realizadas por cientistas da Itália, Suíça e Estados Unidos identificaram, no concreto romano, fragmentos brancos conhecidos como clastos de cal, resultantes da utilização de cal virgem. Esses fragmentos atuavam como agentes de autocicatrização, fechando fissuras e contribuindo para a durabilidade excepcional dessas construções (Seymour, 2023).

O termo “concreto armado” foi patenteado em 1867 pelo francês Joseph Monier, que descobriu o bom desempenho do concreto quando associado ao aço. Monier, que trabalhava com o cultivo de plantas, enfrentava problemas com os recipientes de madeira e cerâmica utilizados como vasos. Ao testar a produção de cubas e tubos de concreto reforçados com barras metálicas, obteve excelentes resultados e, posteriormente, patenteou a invenção (Borges, 2023).

A descoberta do concreto armado representou um marco para a engenharia civil, pois a incorporação do aço possibilitou que o material resistisse simultaneamente aos esforços de tração e compressão, superando uma das limitações do concreto simples. Além disso, sua capacidade de ser moldado permitiu a criação de uma grande variedade de obras arquitetônicas e estruturais modernas, consolidando-o como um dos materiais

mais versáteis da construção civil (Moura, 2019)

A razão pela qual o concreto é o material mais consumido no mundo está na sua versatilidade e resistência à intempéries e água (Mehta Kumar, 2014). Durante muito tempo a arquitetura e o dimensionamento de estruturas ficou limitado às características intrínsecas de materiais como madeira e rochas, no entanto a partir do século XIX quando a tecnologia do concreto passou a ganhar espaço, principalmente por conta das suas características como versatilidade e durabilidade, a academia passou a dar mais importância e a aprimorar as técnicas de cálculo estrutural. No Brasil vale destacar os trabalhos realizados por Emílio Bougart, professor e calculista responsável pelo cálculo do edifício “a noite” no Rio de Janeiro, que na época foi considerado o mais alto do mundo. (Lapa, 20028)

Apesar de sua durabilidade e ampla utilização, as estruturas de concreto armado não são eternas. Com o passar do tempo, estão sujeitas a diversos mecanismos de degradação, como fissuração, corrosão das armaduras e perda de aderência. Por essa razão, diversas instituições de pesquisa em todo o mundo têm se dedicado ao desenvolvimento de técnicas de reparo, manutenção e reabilitação de estruturas de concreto, visando prolongar sua vida útil e garantir a segurança das edificações.

2.2 Tipos e Importância do resparo estrutural

O reparo estrutural surge da necessidade de reabilitação de estruturas de concreto armado, podendo ocorrer em função do término da vida útil, de falhas executivas ou de danos que comprometam a capacidade resistente da estrutura. Em intervenções que envolvam a adição de uma nova camada de concreto, a interface entre o concreto novo e o concreto existente representa um ponto crítico, uma vez que é considerada o elo mais fraco da ligação interfacial, sendo, portanto, determinante para o desempenho do reparo (Fu, 2025).

O ponto de partida para a escolha do tipo de reparo está na identificação da causa raiz da patologia e na verificação da necessidade de reforço estrutural. O reparo consiste na correção de falhas localizadas, quando a capacidade portante da estrutura não está comprometida. Já o reforço estrutural é aplicado quando há perda significativa de resistência aos esforços para os quais o elemento foi originalmente projetado.

Uma técnica de reparo e reforço bastante conhecida é a injeção de argamassas, que pode empregar materiais pré-fabricados, como argamassas prontas, adesivos e grouts. Essa técnica é indicada principalmente para defeitos localizados na camada de cobrimento do concreto, sem grandes profundidades. Seu diferencial está na possibilidade de incorporar aditivos poliméricos, o que amplia sua durabilidade e capacidade de aderência. Entre os polímeros mais utilizados estão as resinas epóxi, poliéster, furânica e fenólica, que

conferem maior resistência química e mecânica, além de reduzir a necessidade de futuras intervenções (Freitas, 2023).

Outra técnica consagrada é o reforço com chapas de aço, aplicado por meio da colagem de placas metálicas nos elementos estruturais com resinas epóxi. Essa metodologia vem sendo utilizada desde a década de 1960, inicialmente na África do Sul e em diversos países europeus. Apesar de sua eficiência, apresenta como desvantagem a susceptibilidade à corrosão, especialmente na interface entre resina colante e chapa de aço, o que dificulta a identificação precoce de patologias e pode comprometer a durabilidade do sistema (Beber, 2003).

A utilização de fibras de carbono é outra alternativa eficaz, especialmente no reforço à flexão de vigas e lajes. O método consiste na aplicação de fitas de fibra impregnadas com resina epóxi, que garantem aderência ao substrato e elevado desempenho mecânico. Contudo, a técnica exige preparo rigoroso da superfície e rapidez na aplicação, devido à cura acelerada da resina. Além disso, apresenta custo elevado, podendo representar até 80% do valor total do serviço, e requer mão de obra altamente qualificada, o que limita sua aplicação em algumas regiões (Freitas, 2023).

Dentre todas as técnicas disponíveis, a adição de novas camadas de concreto, ainda se destaca como uma solução eficiente e economicamente viável. O conceito que rege essa técnica baseia-se no aumento da seção transversal dos elementos estruturais, o que reduz as tensões atuantes e melhora a capacidade resistente da estrutura. A sobreposição de camadas pode ser realizada tanto com concreto moldado in loco, utilizando fôrmas tradicionais, quanto com concreto projetado, recomendado para grandes volumes e áreas de difícil acesso (Santiago, 2021). Embora seja uma técnica antiga, continua amplamente utilizada por oferecer vantagens como aumento direto da capacidade portante e rigidez das peças, emprego de materiais convencionais de baixo custo e fácil obtenção, além da simplicidade no projeto e execução.

2.3 Tipos de preparo de Superfície

A chave para o sucesso na aplicação de novas camadas de concreto está na interface de ligação entre o concreto novo e o concreto antigo. Essa região é crítica, pois nela surgem tensões de cisalhamento resultantes das movimentações da estrutura, provocadas por fatores como variações térmicas, retração, carregamentos cíclicos e deformações diferenciais (Zhang et.al, 2024). Essas ações tendem a gerar deslizamentos interfaciais, o que torna essencial que a aderência entre as camadas seja suficiente para resistir aos esforços de cisalhamento desenvolvidos (Liu H. 2024).

De acordo com Mohktari et al. (2024), a resistência ao cisalhamento na interface é

influenciada simultaneamente por três mecanismos principais: coesão, atrito e ação de pino. A coesão está relacionada à adesão entre as camadas, promovida pelo intertravamento mecânico dos agregados; o atrito refere-se à resistência ao deslizamento entre o concreto antigo e o novo, associada às tensões normais induzidas; já a ação de pino corresponde à contribuição das barras de reforço que atravessam a interface, atuando como elementos de ligação capazes de resistir às deformações relativas entre as camadas. Para garantir o bom desempenho interfacial, é essencial o adequado preparo da superfície do substrato que receberá o novo concreto. Existem diferentes técnicas de preparo, dentre as quais se destacam o apicoamento e o lixamento (Mohktari et al, 2024).

O apicoamento consiste na remoção da camada superficial do concreto deteriorado, expondo os agregados graúdos do substrato e eliminando partes comprometidas. Essa operação pode ser realizada com o auxílio de marteleiros ponteiros, escarificadores ou equipamentos pneumáticos. O processo gera uma superfície rugosa e irregular, com maior área de contato e pontos de ancoragem, o que favorece significativamente a transferência de esforços de cisalhamento entre as camadas. Segundo Beber (2003), essa rugosidade é fundamental em reparos estruturais, pois permite que as camadas de concreto trabalhem de forma conjunta, comportando-se como uma estrutura monolítica.

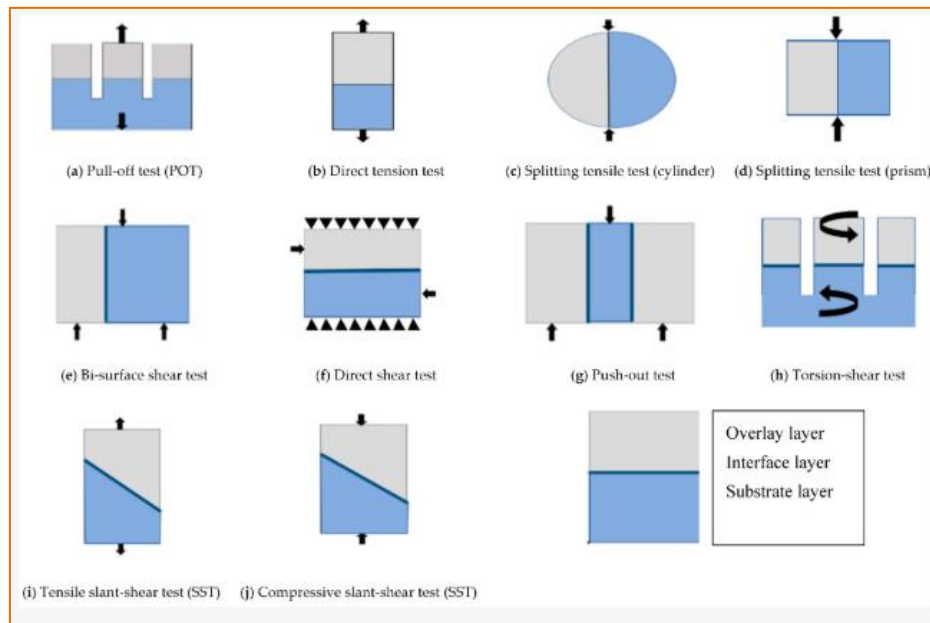
Outro método bastante utilizado é o lixamento, cujo objetivo é regularizar a superfície e remover partículas soltas, impurezas e material pulverulento do concreto antigo. É uma técnica comumente realizada com o uso de esmerilhadeiras elétricas equipadas com discos abrasivos. De acordo com Silva et al. (2020), o lixamento é indicado para situações em que o substrato de concreto se encontra em bom estado de conservação e não há necessidade de remoção profunda de material. Em comparação ao apicoamento, essa técnica gera menor rugosidade, sendo recomendada para reparos superficiais ou aplicações em que se busca apenas melhorar a limpeza e a uniformidade da interface.

2.4 Testes utilizados para medir grau resistência de cisalhamento da interface

Existem diversos métodos de ensaio utilizados para determinar a resistência da interface entre camadas de concreto, podendo ser de natureza qualitativa ou quantitativa. A Figura 3 apresenta o esquema de alguns desses ensaios, destacando diferenças quanto ao formato, tipo de carregamento e geometria dos corpos de prova.

De acordo com Mohktari et al. (2024), os ensaios de aderência podem ser classificados em três grupos principais: ensaios de tração, ensaios de cisalhamento e ensaios mistos. Dentre esses, os ensaios de cisalhamento são os mais indicados para investigar a influência da rugosidade da superfície e o comportamento interfacial entre concretos.

Figura 1: Tipos de Ensaio para testar aderência entre concretos



Fonte: MOHKTARI, 2024

Entre os métodos existentes, o push-out test se destaca por apresentar vantagens significativas em relação a outros ensaios de cisalhamento. Esse método promove cisalhamento puro na interface, sem gerar tensões de flexão ou concentrações localizadas de tensão, o que garante maior precisão nos resultados. Segundo Mohktari et al. (2024), os únicos modos de falha possíveis nesse ensaio são: falha na interface, decorrente das tensões cisalhantes, ou ruptura de uma das camadas de concreto por compressão. Além disso, o push-out test dispensa o uso de conectores metálicos ou elementos adicionais para a transferência de carga, o que simplifica a execução e elimina variáveis externas que poderiam interferir na resposta experimental.

Um dos ensaios mais empregados para avaliar a eficiência de agentes de ligação e tratamentos superficiais é o teste de cisalhamento inclinado, representado na Figura 3 pela letra *j*. Nesse ensaio, os corpos de prova, cilíndricos ou prismáticos, são moldados com uma interface inclinada a 30° ou 45° , o que gera simultaneamente tensões de cisalhamento e compressão na zona de contato entre os concretos. Essa configuração permite avaliar tanto a resistência ao cisalhamento quanto a qualidade da aderência entre as camadas. Entretanto, o teste de cisalhamento inclinado apresenta limitações significativas quando aplicado em estudos voltados ao comportamento de reparos estruturais reais, principalmente devido às condições de confinamento e ao tipo de sollicitação. De acordo com Beushausen e Alexander (2008), esse tipo de ensaio tende a

superestimar a resistência de aderência entre as camadas de concreto, pois o confinamento imposto pelo corpo de prova inibe a abertura de fissuras e reduz a probabilidade de delaminação. Esse efeito mascara comportamentos críticos observados em reparos estruturais submetidos a carregamentos cíclicos ou esforços de flexão, tornando o push-out test uma alternativa mais representativa para análises experimentais voltadas à aderência em reparos estruturais.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de caráter descritivo, uma vez que busca compreender como as variáveis relacionadas ao preparo de superfície influenciam o fenômeno da resistência ao cisalhamento na interface entre concretos.

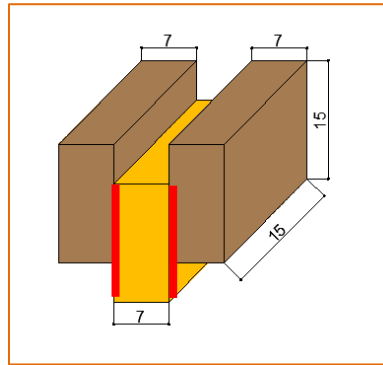
A análise foi realizada de maneira qualitativa, por meio de revisão bibliográfica, considerando artigos científicos, livros e normas técnicas, e de forma quantitativa, por meio de testes experimentais, que permitiram medir numericamente a correlação entre as variáveis, identificar tendências e padrões de comportamento. O objetivo é compreender de que maneira a rugosidade da superfície (preparo de base) influencia a resistência ao cisalhamento entre prismas de concreto, de modo a contribuir para o avanço acadêmico e o interesse em técnicas de reparo e reforço estrutural.

O universo amostral compreendeu 20 sistemas de prismas de concreto, cujas dimensões estão ilustradas na Figura 2, em escala em centímetros. Desses, cinco unidades foram utilizadas como padrão de referência, cujos prismas centrais não receberam nenhum tratamento de superfície além de limpeza com escovas de aço. Os 15 prismas restantes foram divididos em três grupos experimentais:

1. Grupo 1: prismas centrais com superfície lixada utilizando disco de desbaste;
2. Grupo 2: prismas centrais com superfície ranhurada;
3. Grupo 3: prismas centrais com superfície apicoada.

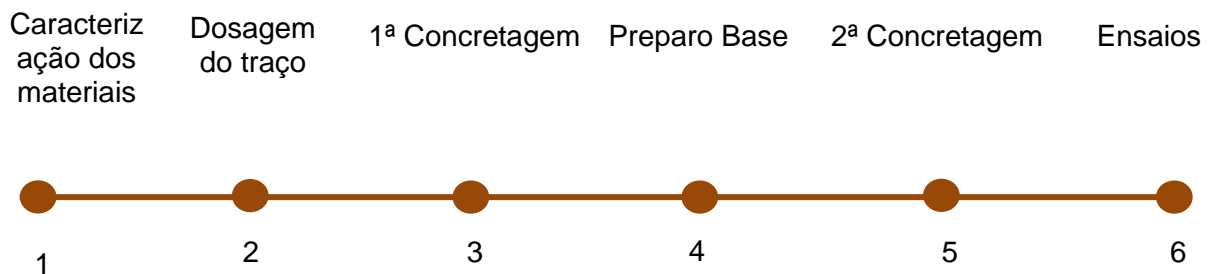
Essa divisão permitiu avaliar e comparar a influência dos diferentes métodos de preparo de superfície sobre a aderência e resistência ao cisalhamento na interface entre os prismas de concreto.

Figura 2: sistema de prismas



Fonte: Autoria própria

Figura 3: fluxograma de atividades



Fonte: Autoria própria

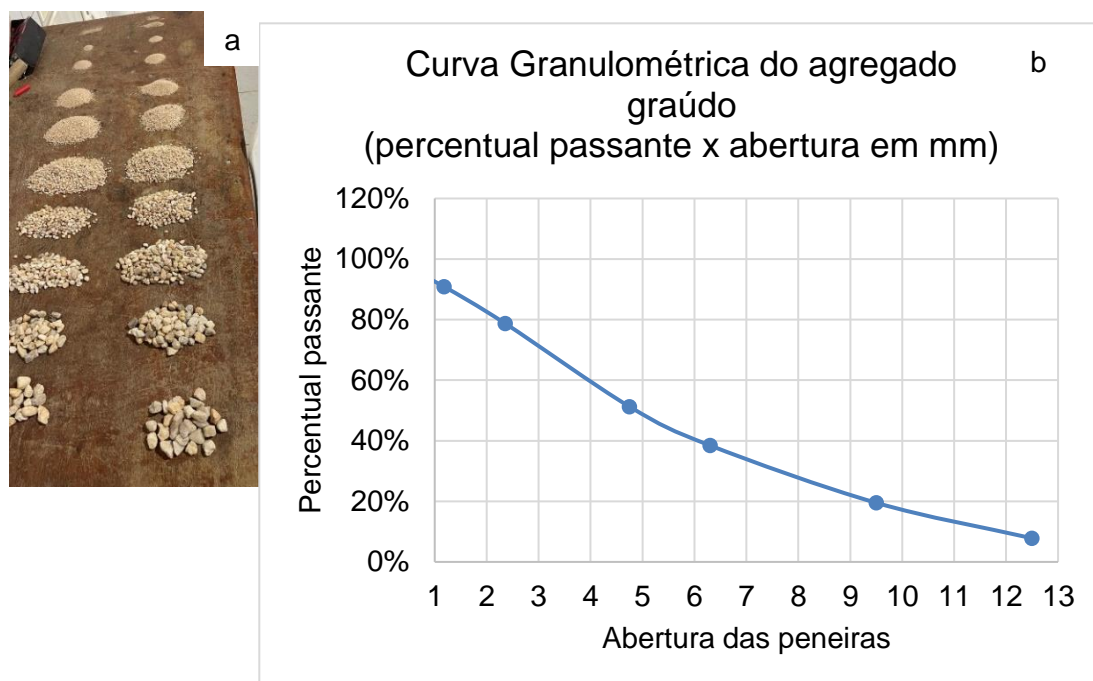
3.2 Caracterização dos Materiais

O agregado graúdo utilizado neste trabalho foi seixo de origem natural, caracterizado conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022). Segundo Mohktari et al. (2024), o intertravamento mecânico entre agregados e pasta de cimento é diretamente influenciado pela forma, tamanho e rugosidade dos agregados, sendo que partículas maiores tendem a gerar microfissuras na zona de transição. Além disso, Mehta e Monteiro (2017) destacam que a composição granulométrica dos agregados afeta propriedades como resistência à compressão, dureza, módulo de elasticidade e durabilidade do concreto.

Considerando essas influências, optou-se por seixos com diâmetro máximo de 9,5 mm, conforme demonstrado na Figura 3. Ressalta-se que, ao adicionar novas camadas de concreto a concretos existentes, a zona de contato entre a pasta de cimento do concreto antigo e a pasta do concreto novo é menor que a porosidade na zona de contato entre agregados dos dois concretos. Isso indica que a força de ligação é mais intensa entre pastas de cimento, sendo essencial, em reparos e reforços estruturais, reduzir a interface entre agregados e aumentar a zona de contato entre as pastas, a fim de melhorar a eficiência do reparo.

Na figura 3 são apresentados os aspectos visuais e a curva granulométrica do agregado utilizado.

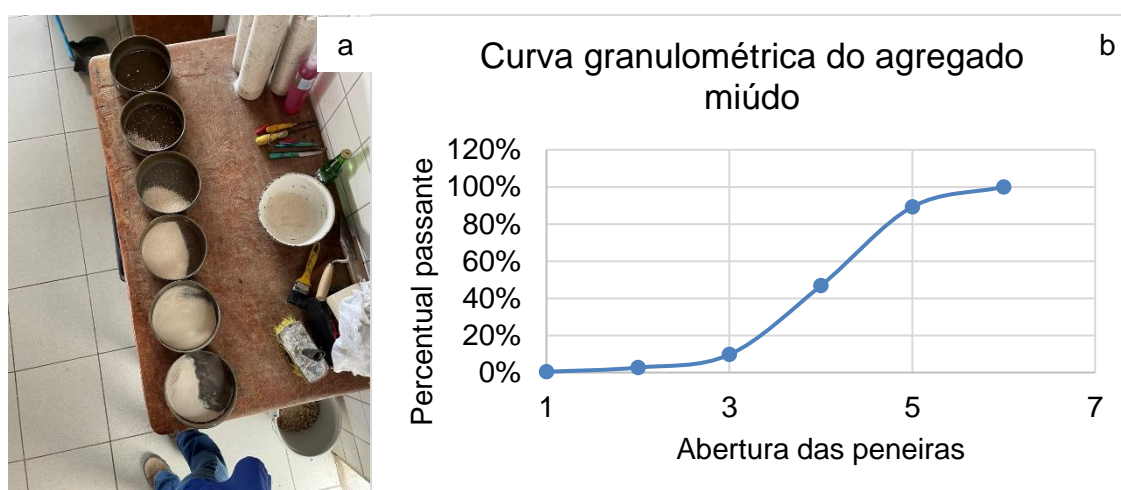
Figura 3: (a) aspectos visuais (b) curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autoria própria

Como agregado miúdo, adotou-se areia de origem natural e granulometria fina com abertura máxima de 1.18 mm, muito comum na região norte do Brasil. Sua curva granulométrica está demonstrada na figura 4.

Figura 4: (a) aspectos visuais e (b) curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autoria própria

O cimento adotado neste trabalho é um CP II-Z 40 de massa específica 3,03 g/cm³.

3.3 Escolha do traço

De acordo com a NBR 6118 (ABNT2023), para ambientes classificados com agressividade moderada a alta, o concreto estrutural deve apresentar resistência

característica (f_{ck}) a partir de 25 MPa. Com base nesse critério, optou-se pela utilização de concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, considerando que regiões de maior incidência de intervenções e reparos estruturais estão inseridas em ambientes com essas condições de exposição.

As proporções da mistura foram definidas seguindo o método ABCP/EPUSP, levando em consideração as características dos materiais descritas na Tabela 1, resultando nas quantidades por metro cúbico apresentadas na Tabela 2. O método ABCP é uma adaptação da metodologia do American Concrete Institute (ACI) para os materiais comumente empregados no Brasil.

Tabela 1: características dos materiais empregados

Fck	30 MPa
Desvio Padrão	4
Diâmetro máximo do agregado graúdo	9,5 mm
Massa unitária do agregado Graúdo	1,5 g/cm ³
Módulo de finura da areia	1,5
Massa específica da areia	2,62 g/cm ³
Massa Específica agregado graúdo	2,53 g/ cm ³
Massa específica do cimento	3,03 g/cm ³

Fonte: Autoria própria

Tabela 2: traço unitário

F _{cj} (Mpa)	Fator a/c	Consumo de água (L)	Consumo de cimento (Kg)	Consumo de seixo (Kg)	Consumo de areia (Kg)
31,60	0,53	230	434	968	656

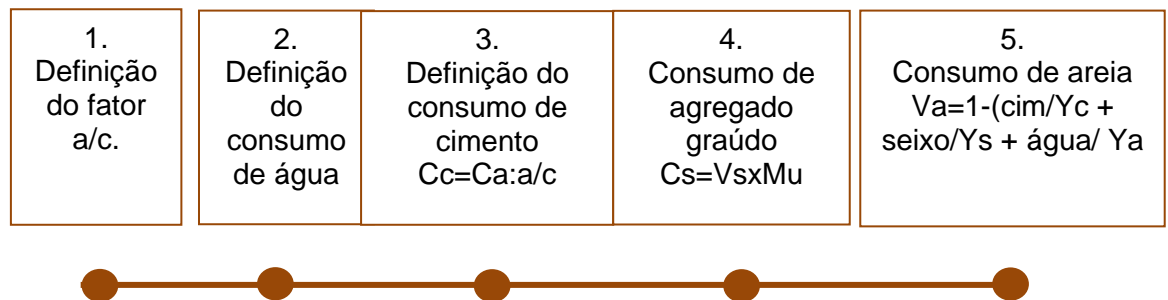
Fonte: Autoria própria

Adotou-se desvio padrão de 4,0 MPa, considerando que a concretagem foi realizada em usina de concreto em Belém, com bom controle de qualidade e armazenamento dos materiais. Segundo a NBR 6118 (ABNT 2023), concretos com resistência característica entre 25 e 40 MPa são considerados adequados para a maioria das aplicações estruturais, garantindo segurança, durabilidade e trabalhabilidade satisfatórias. Dessa forma, a escolha do concreto de 30 MPa se justifica por:

- Estar dentro da faixa de uso comum em construções civis;
- Representar condições realistas de campo;
- Possuir equilíbrio entre desempenho estrutural e viabilidade econômica.

Para o cimento de resistência normal aos 28 dias de 38 MPa, adotado neste

trabalho, e para o concreto de 30 MPa, o fator água/cimento é 0,57, resultando em consumo de água de 230 L/m³ para abatimento de 80 a 100 mm. O consumo de cimento foi definido em função do consumo de água e do fator a/c. O consumo de agregado graúdo (seixo) foi calculado considerando sua massa unitária de 1,5 g/cm³, correspondendo a 64,5% do volume total, recomendado pelo método para módulo de finura até 1,8 e diâmetro máximo de 9,5 mm. O consumo de areia (agregado miúdo) foi definido considerando a relação entre consumo e massa específica do cimento, do seixo e da água. O fluxograma apresentado a seguir ilustra o passo a passo para a definição do traço adotado neste estudo. O método ABCP é uma adaptação da ACI (American concrete institute) considerando os materiais empregados no Brasil.



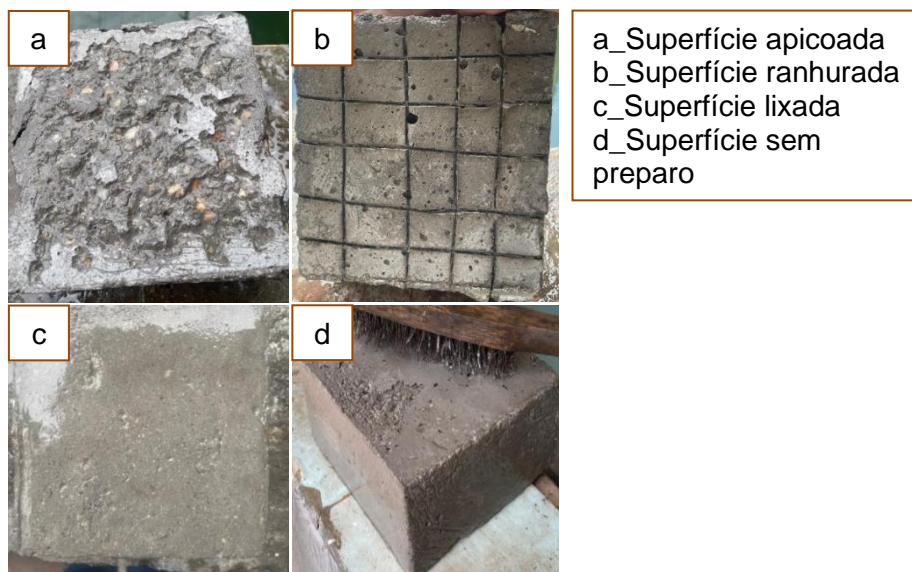
3.4 Programa experimental

No total, foram confeccionados 20 prismas, cada um com dimensões de 7 cm x 15 cm x 15 cm. Após o período de cura de 28 dias, procedeu-se ao preparo de base, de acordo com os métodos definidos para cada grupo experimental:

- 5 prismas tiveram suas laterais submetidas ao apicoamento;
- 5 prismas tiveram suas laterais lixadas;
- 5 prismas apresentaram suas laterais ranhuradas;
- 5 prismas permaneceram apenas limpos, com água e escova de aço, sem qualquer tratamento de rugosidade adicional.

A Figura 5 ilustra as superfícies dos prismas após a aplicação dos procedimentos de preparo de base, evidenciando as diferentes texturas geradas para cada grupo experimental.

Figura 5: Superfícies tratadas



Fonte: Autoria própria

Os ensaios realizados para caracterizar o concreto utilizado na confecção dos prismas estão descritos na tabela abaixo.

Tabela 3: Ensaio

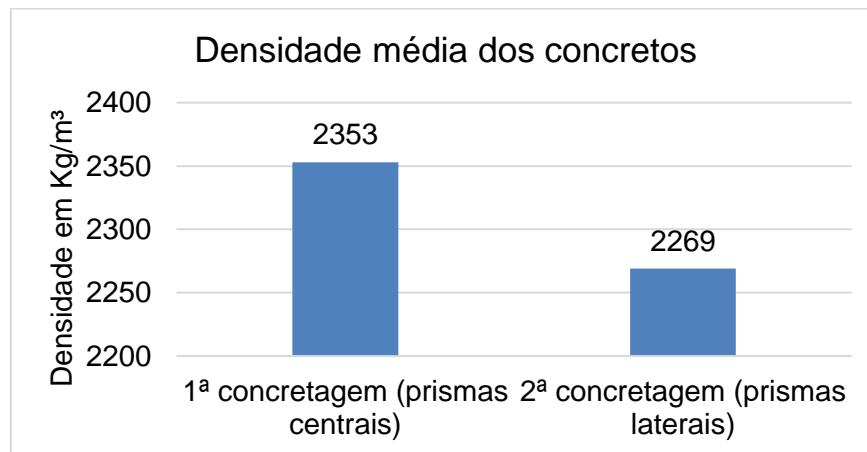
Ensaio	Estado do Concreto	Propriedad e Avaliada	Método / Norma (ABNT NBR)	Finalidade
Densidade de massa no estado fresco	Fresco	Massa específica aparente (densidade)	NBR 9833:2018 Concreto fresco Determinação da massa específica, rendimento e teor de ar	Realizado para medir densidade do concreto recém misturado, útil para controle de dosagem e uniformidade.
Densidade de massa no estado endurecido	Endurecido	Massa específica aparente (seca e saturada)	NBR 9778:2009 Argamassa e concreto endurecidos Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	Determina a densidade real e aparente do concreto após a cura.
Absorção de água por capilaridade	Endurecido	Capacidade de absorção de água por sucção capilar	NBR 9779:2012 Argamassa e concreto endurecidos Determinação da absorção de água por capilaridade	Avalia a durabilidade e permeabilidade do concreto frente à penetração de água.
Resistência à compressão axial	Endurecido	Resistência mecânica à compressão	NBR 5739:2018 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos	Mede a capacidade de suportar esforços de compressão, principal parâmetro de desempenho do concreto.

Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A densidade média dos prismas centrais foi de 2.353 Kg/m³, esse resultado demonstra que o concreto está na faixa normal de densidade que gira em torno dos 2.300 Kg/m³, o que reduz a possibilidade de excesso de vazios e indica uma proporção boa de materiais na dosagem. Silva et.al. (2021) relataram que concretos produzidos com agregados naturais apresentam densidade fresca de 2.353 Kg/m³, associada a bom desempenho mecânico e durabilidade. De modo semelhante, a densidade do concreto utilizado para moldar os prismas laterais apresentou densidade média de 2.269 Kg/m³. A figura abaixo demonstra o resultado de densidades médias obtidos nas duas concretagens.

Figura 6: resultados de ensaio de densidade no estado fresco

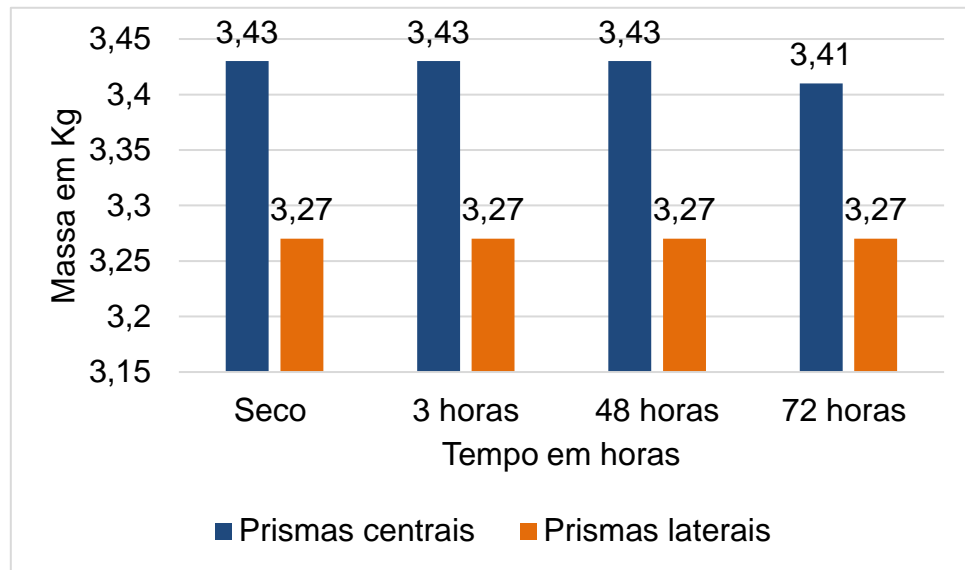


Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos através do ensaio de absorção por capilaridade demonstram que há uma correlação entre a densidade no estado fresco e a porosidade, de tal modo que no concreto que foi utilizado na moldagem dos prismas centrais manteve a mesma massa das 3 às 48 horas de análise e após as 72 horas teve um decréscimo de 1% em sua massa, o que implica dizer que ele possui porosidade baixa e perdeu mais umidade para o meio do que absorveu da lâmina de água, apesar da variação ser baixa. Já no concreto utilizado para a moldagem dos prismas laterais não houve variação.

Os resultados das resistências a compressão axial se mostraram satisfatórios, sendo que no concreto utilizado para a moldagem dos prismas centrais as resistências foram de 23,2 MPa aos 7 dias e 31,90 MPa aos 28 dias. No concreto utilizado para a moldagem dos prismas laterais os resultados foram de 22,40 MPa aos 7 dias e 30,50 MPa aos 28 dias.

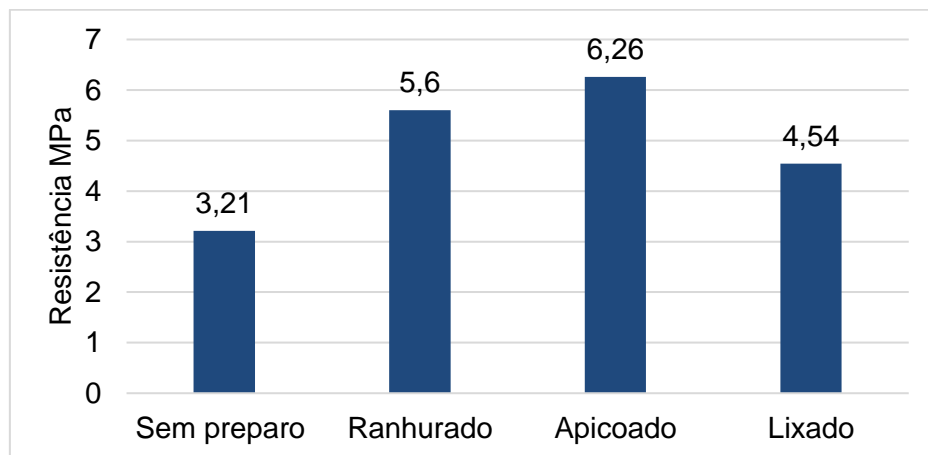
Figura 7: resultados de ensaio absorção por capilaridade



Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos no push-out teste, mostraram que existem diferenças notáveis na resistência de cisalhamento entre os prismas em função do tipo de preparo de superfície adotado, como pode ser observado na imagem 8 e tabela 4, cujos valores médios de resistência foram, 4,54 MPa, 6,26 MPa, 5,60 MPa para os sistemas cujos prismas centrais tiveram superfície, respectivamente, lixada, apicoada e ranhurada.

Figura 8: Resultados de resistência ao cisalhamento



Fonte: Autoria própria

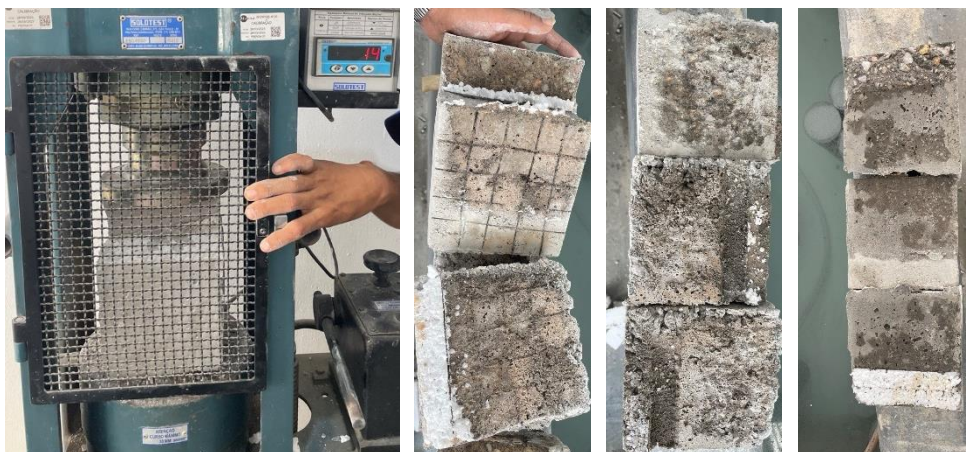
Tabela 4: Resistências dos prismas por tipos de preparo

CP'S	Sem preparo	Ranhurado	Apicoado	Lixado
1	3,10 MPa	5,67 MPa	6,25 MPa	5,50 MPa
2	3,58 MPa	5,12 MPa	6,39 MPa	4,50 MPa
3	3,30 MPa	5,80 MPa	6,70 MPa	4,48 MPa
4	2,80 MPa	5,50 MPa	5,80 MPa	4,24 MPa
5	3,30 MPa	5,90 MPa	6,18 MPa	4,00 MPa

Fonte: Autoria própria

Observou-se que os sistemas de prismas apicoados apresentaram o melhor desempenho médio, com valores de resistência variando entre 5,80 MPa e 6,70 MPa. Esse comportamento confirma que o apicoamento é o método mais eficiente para promover a aderência entre concretos, uma vez que cria superfície mais rugosa e irregular aumentando a área de contato e o intertravamento mecânico entre as camadas, o que indica que o grau de rugosidade da superfície interfere de maneira direta na resistência de aderência, como sugere Mohktari (2024). Visualmente a interface entre os prismas de superfície apicoada sugerem um grau de intertravamento maior, foram observados fragmentos dos prismas laterais na superfície do prisma central, como pode ser observado na figura 10.

Figura 9: Push-out teste



Fonte: Autoria própria

Os sistemas de prismas ranhurados apresentaram resistências intermediárias, variando entre 5,12 MPa e 5,90 MPa. Esses resultados podem ser relacionados ao fato de que o ranhuramento também traz irregularidade à superfície, porém de forma menos distribuída do que no apicoamento, o que limita o intertravamento mecânico em alguns pontos.

Por outro lado, os sistemas onde a superfície do prisma central foi lixada apresentaram os menores valores entre os três tipos de preparo, com valores entre 4,0 MPa e 5,50 MPa, ainda que maior do que os sistemas de referência o que leva a concluir que as superfícies menos rugosas possuem menor intertravamento mecânico.

De modo geral, os resultados confirmam a influência direta do tipo de preparo de base na resistência de cisalhamento da interface entre concretos moldados em momentos distintos. O apicoamento mostrou-se o método mais eficaz, seguido do ranhuramento e, por último, do lixamento, evidenciando que o aumento da rugosidade superficial contribui diretamente com o desempenho da interface.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reparo estrutural é uma realidade cada vez mais presente e tende a se intensificar no futuro, o que motivou a escolha do tema e a realização deste estudo. Recuperar uma estrutura de concreto é uma tarefa complexa, que exige técnica, conhecimento e controle de execução, especialmente considerando que ainda não existem normas brasileiras específicas que padronizem esse tipo de atividade.

Os resultados experimentais demonstraram que o tipo de preparo de base interfere de forma direta e significativa na aderência entre concretos. Além da comparação numérica dos valores de resistência ao cisalhamento na interface, observou-se a importância de considerar os aspectos práticos e operacionais de cada método de preparo de superfície. O “ranhuramento”, embora tenha apresentado resistência ligeiramente inferior (5,60 MPa) à obtida com o “apicoamento” (6,26 MPa), demonstrou um desempenho bastante próximo.

Essa diferença de aproximadamente 10,5% pode ser considerada pequena, sobretudo diante do fato de que o processo de “ranhuramento” é menos trabalhoso, exige menor esforço manual e reduz o tempo de execução. Assim, o “ranhuramento” se apresenta como uma alternativa tecnicamente eficiente e operacionalmente vantajosa, especialmente em situações que envolvem grandes áreas de reabilitação, possibilitando otimizar custos e produtividade sem comprometer significativamente a resistência ao cisalhamento da interface.

A análise geral dos resultados confirma que existe uma correlação direta entre a rugosidade da superfície de contato e a eficiência da aderência, evidenciando que o preparo da base é um fator determinante para a durabilidade e o desempenho dos reparos estruturais. Além disso, o ensaio push-out mostrou-se adequado para este tipo de investigação, por reproduzir de forma mais realista as condições de cisalhamento observadas em interfaces de reparo.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o número de amostras, bem como investigar a influência de diferentes idades do concreto de base e

variar as dosagens dos concretos empregados, de modo a obter uma compreensão mais abrangente sobre a relação entre rugosidade superficial e resistência ao cisalhamento.

6 REFERÊNCIAS

ADEL, O. E. *The bond strength between old and new concrete: a review. Journal of Building Engineering*, [S.l.], v. 32, p. 101–110, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219310576>. Acesso em: 7 jul. 2025.

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 5739: Concreto — 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, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16889: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16917: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2021.

BEBER, A. J. *Reforço de estruturas de concreto com chapas metálicas e fibras de carbono*. São Paulo: IBRACON, 2003.

BORGES, L. B. S. *Recuperação de estruturas de concreto armado: estudo de caso de recomposição de vigas e pilares de equipamento na Mina de Vargem Grande*. 2023. 42 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

BUNDER, Jeferson. *O concreto: sua origem, sua história*. [S.l.], jun. 2016. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/>. Acesso em: 03 out. 2025.

BRITO, Kauan Alexandre de Melo. *Reforço estrutural em concreto armado: abordagem técnica e estudo de caso da ponte Juscelino Kubitschek*. 2025. 96 f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Anápolis, Anápolis, 2025.

CAGLAR, N. ***Effect of surface roughness on bond strength between old and new concrete***. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 232, p. 117–125, 2020.

Disponível

em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819332546>. Acesso em: 7 jul. 2025.

FU, Z. et al. ***Interface behavior between old and new concrete in repair systems***. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 421, 2025.

G1. “Fantástico” mostra laudo da PF sobre a queda da ponte Juscelino Kubitschek entre Maranhão e Tocantins. Rio de Janeiro, 27 jul. 2025. Seção: Fantástico. Disponível em: <https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2025/07/27/fantastico-mostra-laudo-da-pf-sobre-a-queda-da-ponte-juscelino-kubitschek-entre-maranhao-e-tocantins.ghtml>. Acesso em: 2 nov. 2025.

GRIMALDI, A.; FERREIRA, L.; SANTOS, S. ***Effect of substrate surface preparation on bond strength of concrete repairs***. *Materials and Structures*, Dordrecht, v. 45, p. 1297–1308, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-012-9826-6>. Acesso em: 8 jul. 2025.

HELENE, P. ***Manual de reabilitação de estruturas de concreto***. São Paulo: PINI, 2015.

HUANG, Y. ***Shear stress behavior at the interface between old and new concrete during jacketing process***. *Journal of Structural Rehabilitation and Maintenance*, v. 11, n. 2, p. 134–145, 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. ***Concreto: história e utilização***. São Paulo: IBRACON, 2009. Disponível em: <https://www.ibracon.org.br/publicacoes/concreto-e-construcoes/edicoes>. Acesso em: 7 jul. 2025.

LIU, H. et al. ***Interface bonding properties of new and old concrete: a review***. *Frontiers in Materials*, v. 11, art. 1389785, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1389785>. Acesso em: 2 nov. 2025.

MACHADO, M. ***Influência do preparo de superfície na aderência de concretos de reparo***. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 501–510, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/8jkQPZyTnhnECKra0uXYgvS/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

MARQUES, M. G. ***Avaliação da aderência em reparos de estruturas de concreto armado***. *Concreto & Construções*, São Paulo, n. 94, p. 42–49, 2015. Disponível em: <https://www.ibracon.org.br/publicacoes/concreto-e-construcoes/edicoes>. Acesso em: 8 jul. 2025.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. ***Concrete: microstructure, properties, and***

materials. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

MOHAMED, O. **Effect of surface treatment on the bond between old and new concrete**. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Reston, v. 35, n. 4, p. 1–8, 2023. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004820](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004820). Acesso em: 9 jul. 2025.

MOKHTARI, S.; SAHAR, M. **Influence of interface on bond strength between new and old concrete**. *Journal of Advanced Concrete Technology*, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 45–55, 2024. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/22/1/22_45/_article. Acesso em: 9 jul. 2025.

MOMAYEZ, A.; EVANS, R.; GLASSER, F. P.; SCAHILL, J.; CLARKE, J. L. **Bond strength of new concrete to old concrete**. *ACI Materials Journal*, Farmington Hills, v. 102, n. 4, p. 265–272, 2005. Disponível em: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&i=13665>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MONTEIRO, A.; SILVA, R.; OLIVEIRA, L. **Sustentabilidade e reabilitação de estruturas na construção civil: desafios e oportunidades**. *Revista Brasileira de Engenharia Civil Sustentável*, v. 8, n. 1, p. 45–59, 2024.

MOTA, E. J. F.; PINHEIRO, É. C. N. M. **Recuperação de estrutura de concreto armado: pilares – estudo de caso**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 5, p. 38162–38179, maio 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n5-358. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-358>. Acesso em: 2 nov. 2025.

OLIVEIRA F.; O concreto: sua origem, sua história

SANTHANAM, M.; SHAH, S. P.; WEISS, J. **Influence of interface properties on bond strength between repair materials and concrete substrate**. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Reston, v. 18, n. 1, p. 105–113, 2006. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:1\(105\)](https://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:1(105)). Acesso em: 9 jul. 2025.

SEYMOUR, L. et al. **Hot mixing: Mechanistic insights into the durability of ancient Roman concrete**. *Science Advances*, Washington, v. 9, n. 2, eadd1602, jan. 2023. DOI: 10.1126/sciadv.add1602. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9821858/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

SILVA, L. F. et al. **Avaliação de técnicas de preparo de superfície para reparo em concreto armado**. *Revista Matéria*, v. 25, n. 3, 2020.

ZHANG, B.; YU, J.; CHEN, W.; et al. **Interface shear failure behavior between normal concrete (NC) and ultra-high performance concrete (UHPC)**. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, v. 18, art. 18, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00657-6>. Acesso em: 3 set. 2025.