



**DIRETORIA DE ENSINO DO CAMPUS DE SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM EDIFICAÇÕES**

**CAÍQUE DE FREITAS SILVA
HERBERT MEHIEL NASCIMENTO VENAS
NOEMI HANNA SANTANA SANTOS**

**EFEITOS DO REFORÇO DE MANTA DE FIBRA DE CARBONO NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DE PRISMA DE ALVENARIA
ESTRUTURAL**

**SALVADOR
2023**

CAÍQUE DE FREITAS SILVA
HERBERT MEHIEL NASCIMENTO VENAS
NOEMI HANNA SANTANA SANTOS

EFEITOS DO REFORÇO DE MANTA DE FIBRA DE CARBONO NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO AXIAL DE PRISMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IFBA -
Campus Salvador, como requisito parcial para aprovação
na Disciplina de TCC – Metodologia de Pesquisa.

Orientador: Prof. Dr.. Adriano Silva Fortes, D. Sc.

SALVADOR
2023


CAÍQUE DE FREITAS SILVA
HERBERT MEHIEL NASCIMENTO VENAS
NOEMI HANNA SANTANA SANTOS

**EFEITOS DO REFORÇO DE MANTA DE FIBRA DE CARBONO NA RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO AXIAL DE PRISMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL**


Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Técnico em Edificações e aprovado em sua forma final pelo Curso Técnico Integrado em Edificações.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 28 de Novembro de 2023.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO SILVA FORTES**
Data: 07/02/2024 17:08:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Silva Fortes
Orientador(a)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Documento assinado digitalmente
 **MARION CUNHA DIAS FERREIRA**
Data: 06/02/2024 16:30:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Me. Marion Cunha Dias Ferreira,
Avaliador(a)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Documento assinado digitalmente
 **JULIANE SANTOS SOUZA**
Data: 06/02/2024 16:40:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Me. Juliane Santos Souza
Avaliador(a)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

“Amigo, para mim, é só isto: é a pessoa com quem a gente gosta de conversar, do igual o igual, desarmado. O de que um tira prazer de estar próximo. Só isto, quase; e os todos sacrifícios. Ou – amigo – é que a gente seja, mas sem precisar de saber o por que é que é”.

Guimarães Rosa - Grande Sertão Veredas

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias pelo apoio nos dado ao longo de nossa vida, e em nossa dura jornada de formação no IFBA.

Ao Professor Adriano Silva Fortes pela orientação técnica e por nos disponibilizar materiais, equipamentos e a infraestrutura, em conjunto com a empresa Concrelab Tecnologia de Controle de Qualidade LTDA.

Ao Laboratorista João César P. Pugliese pelo auxílio técnico durante a realização dos ensaios no Laboratório da Concrelab, e à toda equipe técnica de ensaios da Concrelab.

A nós, por não desistirmos em nossa caminhada, apesar das pedras ao longo do caminho.

RESUMO

O estudo avaliou o comportamento do reforço de manta de fibra de carbono coladas em faixas horizontais na resistência à compressão axial de um prisma de blocos de concreto. A pesquisa seguiu uma abordagem bibliográfica e experimental, incluindo a construção de prismas e ensaios de compressão. Os resultados demonstraram que a adição de fibras de carbono proporcionou um aumento significativo na resistência à compressão axial, confirmando a eficácia desta técnica. Este trabalho contribui para o avanço no conhecimento de técnicas de reforço em alvenarias, proporcionando maior segurança e durabilidade às edificações. Apesar dos resultados se mostrarem animadores, outras campanhas de ensaios devem ser desenvolvidas para possibilitar a determinação de formular matemáticas que permitam o dimensionamento do reforço por engenheiros projetistas.

Palavras-chave: Reforço de Alvenaria; Fibra de Carbono; Resistência à Compressão Axial; Blocos de Concreto; Aprimoramento Estrutural

ABSTRACT

The study evaluated the behavior of carbon fiber reinforcement strips bonded horizontally in the axial compression strength of a concrete block prism. The research followed a bibliographic and experimental approach, including the construction of prisms and compression tests. The results demonstrated that the addition of carbon fibers provided a significant increase in axial compression strength, confirming the effectiveness of this technique. This work contributes to the advancement of knowledge in masonry reinforcement techniques, providing greater safety and durability to buildings. Despite the encouraging results, further testing campaigns should be developed to enable the formulation of mathematical models that allow engineers to design reinforcement.

Keywords: Masonry Reinforcement; Carbon Fiber; Axial Compression Strength; Concrete Blocks; Structural Enhancement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Meio blocos.	17
Figura 2 - Blocos e meio blocos.	17
Figura 3 - Chapa metálica..	18
Figura 4 - Capeamento dos prismas.	18
Figura 5 - Prismas.	18
Figura 6 - Prisma com primer aplicado.	19
Figura 7 - Prismas com e sem aplicação de fibra.	19
Figura 8 - Prisma com fibra em rompimento.	19
Figura 9 - Prisma sem fibra em rompimento.	19
Figura 10 - Gráfico de resistência à compressão dos prismas.	21
Figura 11 - Modo de ruptura típico dos prismas.	23
Figura 12 - Esquema do estado de fissuração no momento da ruptura dos prismas.	

23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Verificação de resistência à compressão dos blocos e meio blocos.	20
Tabela 2 - Resistência à compressão da argamassa.	20
Tabela 3 - Resistência à compressão das paredes.	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviações

CP – Corpo de Prova

Mpa – Mega Pascal

KN – Quilo Newton

Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. A ALVENARIA ESTRUTURAL	13
2.2. A FIBRA DE CARBONO	14
2.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	15
2.4. A FIBRA DE CARBONO NA ALVENARIA ESTRUTURAL.....	15
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

A fibra de carbono tem despontado como um material versátil e de propriedades múltiplas, encontrando aplicações em diversas áreas, desde a indústria automotiva e aeroespacial até a fabricação de produtos esportivos e próteses ósseas. A constante evolução da construção civil tem impulsionado a descoberta de novas técnicas e materiais que otimizam e dinamizam o processo construtivo das edificações e é nesse contexto que a fibra de carbono foi introduzida para resolver problemas relacionados ao reforço de estruturas. Dentre as características que motivaram a sua utilização estão a elevada resistência, o baixo peso, o excelente comportamento à fadiga e facilidade de aplicação.

No âmbito da construção civil, a fibra de carbono tem sido empregada com sucesso em reforços estruturais, visando aumentar a resistência e a durabilidade das edificações existentes, com intervenções minimizadas. Em paralelo, a alvenaria estrutural tem se destacado como um sistema construtivo que oferece vantagens significativas, principalmente ao utilizar blocos de concreto como elementos estruturais e de vedação, proporcionando economia de tempo e recursos.

Considerando o potencial da fibra de carbono para reforçar estruturas e as vantagens da alvenaria estrutural, surge a questão de como esse material inovador pode influenciar a resistência à compressão de uma alvenaria estrutural composta por blocos de concreto, que já possuem elevada resistência quando comparados aos blocos cerâmicos de vedação. Essa questão torna-se relevante, uma vez que, em situações práticas, é comum encontrar edificações que precisam de reforço devido à falta de resistência característica à compressão dos blocos ou devido a mudanças de uso que demandam maior capacidade estrutural.

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o comportamento do reforço com fibra de carbono na resistência à compressão axial de prismas de alvenaria estrutural construída com blocos de concreto. A análise busca verificar se o uso dessa tecnologia é possível de ser empregada em alvenarias estruturais.

Acredita-se que o reforço da alvenaria estrutural de bloco de concreto por meio da técnica de colagem externa de tecidos de fibras de carbono promoverá um ganho significativo na resistência à compressão axial da alvenaria. Para alcançar esse objetivo, a pesquisa foi conduzida por meio de uma abordagem bibliográfica, com o estudo das normas pertinentes aos ensaios de resistência à compressão e confecção dos corpos de prova,

seguida por uma etapa de experimentação, que inclui a construção de prismas de alvenaria estrutural com e sem reforço de fibra de carbono.

1.1. JUSTIFICATIVA

A busca por materiais e técnicas que proporcionem maior resistência e durabilidade às estruturas de edificações é uma preocupação constante na construção civil. Nesse contexto, a fibra de carbono tem se destacado como um material de reforço promissor, devido à sua alta resistência mecânica e leveza, capaz de aumentar a capacidade de carga das construções (Gudonis et al, 2013a). Além disso, a alvenaria estrutural surge como uma técnica construtiva inovadora, que utiliza os próprios blocos como elementos portantes, gerando economia de tempo e materiais, além de maior flexibilidade no layout interno das edificações.

É notável a elevada resistência das alvenarias estruturais com blocos de concreto em comparação aos blocos cerâmicos de vedação, comprovada por valores expressivos de resistência à compressão (4,5 MPa a 20,0 MPa versus 1,5 MPa a 3,0 MPa) (Gudonis et al, 2013b). No entanto, mesmo apresentando uma resistência considerável, é comum encontrar edificações que demandam reforço devido à falta de resistência característica à compressão dos blocos ou a alterações de uso que requerem maior capacidade estrutural.

Diante dessa realidade, técnicas como o preenchimento da alvenaria com micro concreto ou o uso de chapas metálicas têm sido empregadas com relativo sucesso. No entanto, é essencial ampliar o leque de técnicas de reforço disponíveis para proporcionar soluções eficazes e viáveis para diferentes contextos construtivos. Nesse sentido, o uso do reforço com fibra de carbono surge como uma opção pertinente, pois além de apresentar resultados positivos em termos de resistência, é considerada uma técnica de baixo custo e de fácil execução em comparação às alternativas citadas anteriormente (Fortesa, A. S. et al, 2018a; Fortes, A.S. 2004).

Dessa forma, a justificativa para a realização deste trabalho reside na importância de investigar e analisar os efeitos do reforço com fibra de carbono na resistência à compressão da alvenaria estrutural com blocos de concreto. A pesquisa buscou contribuir para a engenharia civil, fornecendo informações embasadas que possam subsidiar futuros estudos e formulações sobre o tema.

O objetivo principal deste estudo é avaliar o ganho de resistência à compressão de

prismas de bloco de concreto reforçados com fibra de carbono. Para atingir esse propósito, serão realizadas diversas etapas específicas. Primeiramente, será feita a construção de prismas de blocos de concreto. Em seguida, serão construídos prismas semelhantes, mas com a inclusão de reforço de fibra de carbono. Posteriormente, serão conduzidos ensaios de resistência à compressão axial nos prismas construídos. A coleta de dados resultantes destes ensaios será fundamental para a comparação com valores de referência estabelecidos.

Quanto à hipótese deste estudo, acredita-se que o reforço na alvenaria estrutural de blocos de concreto, utilizando a técnica de colagem externa de tecidos de fibras de carbono, promoverá um aumento significativo na resistência à compressão axial dos prismas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.A ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é uma técnica construtiva com origens que remontam às civilizações antigas, como os egípcios, romanos e gregos. Nessa época, edificações com elevada resistência eram construídas utilizando pedras e tijolos, sendo empregadas principalmente na construção de templos, palácios e aquedutos (Souza, 2008). Essas construções eram caracterizadas pelo uso inteligente e eficiente uso dos materiais disponíveis, resultando em estruturas sólidas e duradouras.

No entanto, foi somente no século XX que a alvenaria estrutural ganhou mais destaque e se tornou uma técnica amplamente empregada na construção civil. Esse avanço se deu com o desenvolvimento dos blocos de concreto, que se mostraram mais adequados para a construção de edificações com essa técnica. Com a utilização de blocos de concreto, a alvenaria estrutural tornou-se mais acessível e viável para a construção de edifícios, residenciais e comerciais, e até mesmo para projetos de grande porte, como prédios de vários pavimentos.

A principal diferença entre a alvenaria estrutural e a alvenaria de vedação reside no papel dos blocos. Enquanto na alvenaria de vedação os blocos cerâmicos ou de concreto são utilizados apenas para fechamento e vedação das paredes, na alvenaria estrutural esses mesmos blocos atuam como elementos portantes, ou seja, participam efetivamente da estrutura da edificação (Andrade, 2014a). Essa característica confere à alvenaria estrutural uma maior capacidade de suportar cargas verticais e horizontais, distribuindo-as ao longo das paredes e transmitindo-as até a fundação, dispensando a necessidade de vigas e pilares.

A simplicidade e economia de materiais proporcionadas pela alvenaria estrutural a tornam uma técnica construtiva cada vez mais atrativa para o setor da construção civil. Além disso, a sua versatilidade permite uma maior liberdade no projeto arquitetônico, já que os elementos estruturais estão incorporados às próprias paredes (Andrade, 2014b).

2.2. A FIBRA DE CARBONO

A fibra de carbono, um dos materiais mais utilizados no século XXI, é um compósito de filamentos composto por cerca de 90% de carbono, originado da carbonização de fibras orgânicas. Segundo Machado (2002), a fibra de carbono é produzida a partir de matérias-primas como o poliacrilonitril (PAN) ou o alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PITCH). Esses materiais são submetidos a um processo de aquecimento em altas temperaturas para formar os filamentos de carbono, que são então combinados para produzir a fibra de carbono.

O desenvolvimento da fibra de carbono teve origem em meados do século XX, com pesquisas e experimentações voltadas para a criação de materiais leves e resistentes para uso em aplicações aeroespaciais. Segundo Lima et al. (2020), a fibra de carbono foi amplamente empregada na fabricação de componentes para aviões, foguetes e outros equipamentos aeroespaciais devido à sua notável resistência mecânica e baixo peso.

Com o avanço das tecnologias e processos de produção, a fibra de carbono passou a ser adotada em diversas outras áreas, como a indústria automobilística, onde é utilizada na fabricação de carros esportivos e veículos de alto desempenho. Além disso, a fibra de carbono encontrou aplicação em diversos setores industriais, como na produção de lâmpadas, produtos esportivos e até mesmo na área médica, onde é utilizada na composição de próteses ósseas (Machado, 2002).

Dentro da construção civil, a fibra de carbono tem se destacado como uma solução eficiente para o reforço de edificações já existentes. Gudonis et al. (2013) afirmam que essa tecnologia proporciona um aumento significativo na capacidade estrutural das edificações, com intervenções mínimas e menor impacto visual, quando comparado a outras técnicas de reforço convencionais. Além disso, a técnica tem se mostrado bastante competitiva, apresentando menor custo comparada a outras técnicas de reforço empregadas nessa área da engenharia como demonstram Fortes, Rios, Gomes e Santos (2018) em seu estudo sobre a viabilidade econômica da utilização de fibra de carbono em reforço estrutural (Revista Concreto & Construções, edição 91, pp. 56-62).

2.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão é uma propriedade mecânica fundamental que tem suas origens relacionadas ao estudo e desenvolvimento da mecânica dos materiais e das estruturas. Ela é definida como a capacidade de um material resistir a forças de compressão, ou seja, a tendência de ser reduzido em volume sob a ação de forças externas que o compõem. (Callister Jr, 2012a).

Essa propriedade é amplamente empregada em diversas áreas do conhecimento, exercendo um papel crucial em diferentes contextos. Na engenharia civil e na indústria da construção, a resistência à compressão é de extrema importância no dimensionamento e projeto de estruturas, como o concreto armado. O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil, e sua capacidade de resistir a cargas de compressão é essencial para garantir a segurança e a estabilidade de edificações (Dias, 2005).

Em outras áreas, a resistência à compressão também desempenha um papel significativo. Na indústria metalúrgica e siderúrgica, por exemplo, essa propriedade é essencial no desenvolvimento e fabricação de peças e componentes mecânicos. Já na geotecnia, a resistência à compressão é usada para analisar o comportamento de solos e rochas, sendo relevante em projetos de fundações e obras de infraestrutura.

Além disso, na área biomédica, o estudo da resistência à compressão é aplicado em pesquisas e desenvolvimento de implantes e próteses ósseas, avaliando como esses materiais suportam as cargas impostas pelo corpo humano (Callister Jr, 2012b).

Em resumo, a resistência à compressão é uma propriedade de extrema importância em várias áreas do conhecimento, e seu estudo e aplicação são fundamentais para garantir a segurança, confiabilidade e o bom desempenho de materiais e estruturas utilizados nas mais variadas aplicações.

2.4. A FIBRA DE CARBONO NA ALVENARIA ESTRUTURAL

A construção civil é uma área em constante busca por inovações e tecnologias que possam aprimorar a eficiência e a segurança das edificações. A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que utiliza os blocos como elementos portantes, dispensando o uso de vigas e pilares. Essa técnica proporciona uma simplificação do processo construtivo e economia de materiais, tornando-a atrativa para diversos tipos de edificações (Andrade, 2014c).

O emprego conjunto da alvenaria estrutural e da fibra de carbono visa aumentar ainda mais a resistência e a capacidade estrutural das edificações. A técnica consiste na colagem externa de tecidos de fibras de carbono nas paredes de alvenaria, o que permite reforçar a estrutura e torná-la mais resistente aos esforços (Gudonis et al., 2013).

Os benefícios dessa combinação são significativos. A alvenaria estrutural já oferece vantagens em termos de rapidez na construção e economia de materiais, e a incorporação da fibra de carbono aumenta a resistência das paredes, tornando-as mais aptas a suportar cargas e solicitantes elevados.

No entanto, alguns pontos de observação devem ser considerados ao empregar essa técnica. É necessário realizar um estudo detalhado do projeto estrutural e a correta aplicação das fibras de carbono para garantir a eficiência e a segurança da intervenção. Além disso, é importante considerar as propriedades térmicas e de dilatação dos materiais utilizados, a fim de evitar problemas futuros de deformação e fissuras (Lima et al., 2020).

O uso conjunto da alvenaria estrutural e da fibra de carbono representa uma alternativa interessante para aprimorar as características mecânicas das edificações, proporcionando maior segurança e durabilidade. Contudo, é fundamental que a aplicação seja conduzida com cuidado, com base em estudos técnicos e seguindo as normas e especificações vigentes. A correta aplicação das fibras de carbono contribui para o fortalecimento das construções, ampliando a vida útil das edificações e aprimorando a qualidade das construções no setor da construção civil.

Nesse sentido, apesar das normas técnicas NBR 15961-1:2011 e NBR 15961-2:2011 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fornecerem orientações precisas sobre o dimensionamento, projeto, execução de prismas e alvenarias estruturais, não há normas voltadas para reforço e verificação experimental de estruturas de concreto com o uso de materiais compósitos, como as fibras de carbono. Seguir as normas é fundamental para garantir a eficiência e a segurança dos processos, o que evidencia a necessidade de elaboração de normas e procedimentos voltados para essa temática.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os prismas foram construídos com 78 cm de comprimento, 57 cm de altura e 14 cm de largura. Cada prisma foi composto por 5 blocos de concreto e 2 meio blocos, totalizando 40 blocos inteiros e 16 meio blocos utilizados para a confecção dos 8 prismas de alvenaria

estrutural. Além disso, as juntas foram definidas com 1 centímetro de espessura, sendo 4 prismas de referência, sem reforço, e 4 prismas reforçados com 3 tiras de mantas de fibras de carbono, dispostas horizontalmente entre as fiadas.

Todas as etapas subsequentes do ensaio foram realizadas na CONCRELAB, uma empresa especializada em controle de qualidade e tecnologia dos materiais, com o apoio dos seus colaboradores (ver Figuras 1 a 10). Conforme informações fornecidas pelo fabricante, o bloco inteiro apresentava resistência de 4,5 MPa, enquanto o meio bloco possuía resistência de 3 MPa. As Figuras 1 e 2 mostram os blocos utilizados neste trabalho.

Figura 01 - Meio blocos



Fonte: acervo dos autores, 2023

Figura 02 - Meio blocos e blocos



Fonte: acervo dos autores, 2023

Para a confecção da argamassa de assentamento foram utilizados os seguintes materiais: areia, cimento e um aditivo incorporador de ar, Vedalit da VEDACIT.

Durante todo o processo de construção dos prismas, foi obedecida a NBR 16868-3:2020 - Alvenaria Estrutural, norma técnica brasileira que estabelece os procedimentos adequados para execução de paredes de alvenaria com blocos cerâmicos, blocos de concreto e tijolos maciços de barro cozido em construções com função estrutural. Todas as especificações presentes na referida norma foram atendidas conforme as diretrizes estabelecidas.

O assentamento dos blocos foi feito sobre chapas metálicas de 28x100 centímetros. Para evitar que os blocos ficassem presos à superfície, aplicou-se uma camada de óleo mineral nas chapas antes do assentamento. Em seguida, utilizou-se uma nata de cimento

para fazer o capeamento dos blocos na base dos prismas, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5. Após 3 dias, procedeu-se ao assentamento dos demais blocos utilizando uma argamassa de traço 1:6, adicionando o aditivo Vedalit e garantindo o alinhamento das juntas. Foram construídas, ao todo, 8 prismas com 3 fiadas cada, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 03 - Chapa metálica



Fonte: acervo dos autores, 2023

Figura 04 - Capeamento



Fonte: acervo dos autores, 2023

Figura 05 - Prismas



Fonte: acervo dos autores, 2023

Enquanto decorria-se os 28 dias necessários para que a argamassa de assentamento atingisse sua resistência característica, foi iniciado o processo de colagem das tiras de fibra de carbono. Para essa etapa, foram utilizados os seguintes materiais: primer, saturante, 24 tiras de fibra de carbono, com 6 x 72 cm, e rolo de pintura.

A aplicação da fibra de carbono se deu em 4 etapas. Inicialmente separou-se 24 tiras de fibra de carbono de 6 x 72 cm, e marcou-se nos 4 prismas o meio de cada fiada. Após isso, ocorreu a aplicação de uma camada de primer, seguindo a marcação feita anteriormente, de modo que, cada parede recebeu 6 camadas de primer. Decorridos alguns dias, ocorreu a aplicação do saturante e a colagem das fibras de carbono, conforme pode ser observado nas Figuras 06 e 07.

Figura 06 - Prisma com primer aplicado



Fonte: acervo dos autores, 2023

Figura 07 - Prismas com e sem aplicação de fibra



Fonte: acervo dos autores, 2023

Para obtenção dos resultados foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial nos 8 prismas, todas com idade superior a 28 dias, conforme pode ser visto nas Figuras 08 e 09. Além disso, foi realizado também o ensaio de resistência à compressão axial em 4 blocos, 4 meio blocos, bem como em 6 corpos de prova da argamassa de assentamento, para obtenção da resistência à compressão dos prismas.

Figura 08 - Prisma sem fibra em rompimento



Fonte: acervo dos autores, 2023

Figura 09 - Prisma com fibra em rompimento



Fonte: acervo dos autores, 2023

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio dos valores obtidos experimentalmente em ensaios de compressão, pode-se verificar que a resistência à compressão de cada bloco inteiro e a resistência à compressão de cada meio bloco está dentro do especificado pelo fabricante. Esses valores reforçam o

uso de blocos de concreto frente aos blocos cerâmicos, cuja resistência média é de aproximadamente 3,0 MPa para um bloco inteiro. Os resultados detalhados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Verificação de resistência à compressão dos blocos e meio blocos.

Verificação da resistência à compressão dos blocos e meio blocos (MPa)							
Meio blocos				Blocos inteiros			
CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06	CP 07	CP 08
2,4	2,5	2,1	2,5	5,6	5,6	5,5	4,8
Resistência média				Resistência média			
2,3				5,6			

Fonte: acervo dos autores, 2023

Em relação à argamassa, a fim de verificar sua resistência à compressão, foram moldados 8 corpos de prova, para serem rompidos em diferentes idades, possibilitando o acompanhamento de seu aumento de resistência, como pode ser observado na Tabela 2. A resistência da argamassa ficou abaixo do recomendado na literatura sobre o tema, com cerca de 50% da resistência à compressão da unidade, quando o recomendado é 60%, mas não representa problemas para o sistema, já que nessas condições o prisma fica mais deformável, possibilitando maior mobilização do reforço.

Tabela 2 - Resistência à compressão da argamassa.

Resistência à compressão da argamassa (MPa)							
03 Dias		07 Dias		14 Dias		28 Dias	
CP 01	CP 02	CP 04	CP 04	CP 05	CP 06	CP 07	CP 08
0,75	0,79	1,22	1,09	1,83	1,78	2,37	2,61
Média		Média		Média		Média	
0,77		1,16		1,81		2,49	

Fonte: acervo dos autores, 2023

Em relação aos prismas, os valores obtidos podem ser verificados na Tabela 3. É importante notar que o valor correspondente ao CP 01 com reforço da fibra de carbono foi removido da tabela devido a problemas identificados durante o ensaio, sendo classificado como um valor espúrio.

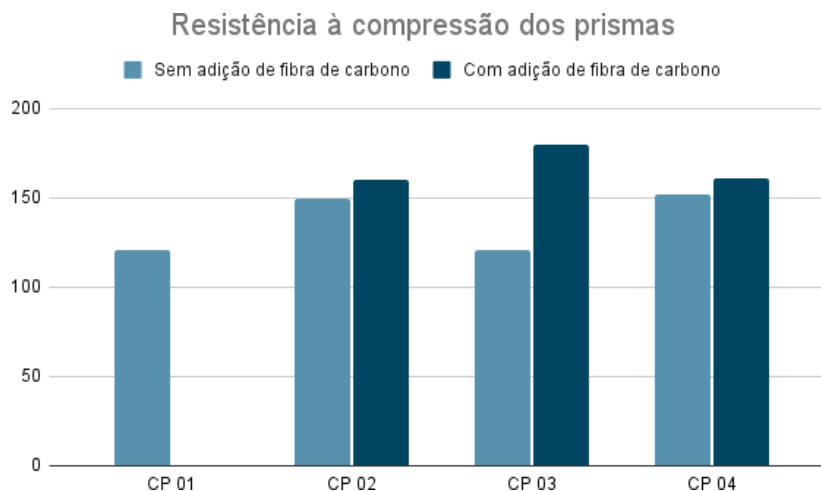
Tabela 3 - Resistência à compressão dos prismas

Resistência à compressão dos prismas (kN)							
Prismas de referência				Prismas reforçados com fibra de carbono			
CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 01	CP 02	CP 03	CP 04
126,7	162,5	124,5	162,2	Valor espúrio	164,8	180,1	169,6
Resistência média				Resistência média			
144,0				171,5			

Fonte: acervo dos autores, 2023

A partir dos dados apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 1, é possível observar que a média das resistências à compressão dos prismas reforçados foi aproximadamente 19% maior que a média dos prismas de referência. Esses mesmo dados estão postos no Gráfico 1, mostrando o aumento da resistência dos prismas com adição de carbono, em comparação aos sem.

Figura 10 - Resistência à compressão dos prismas



Fonte: acervo dos autores, 2023

Além disso, é perceptível que o comportamento dos prismas na ruptura foi alterado, destacando-se a maior ductilidade apresentada pelos prismas reforçados. Para melhor ilustrar essa distinção, as Figuras 10 e 11 a seguir apresentam imagens das rupturas dos prismas com e sem o reforço, permitindo uma melhor visualização dessa propriedade em comparação com os prismas de referência.

Figura 11 - Modo de ruptura típico dos prismas



a) Prisma de referência 01



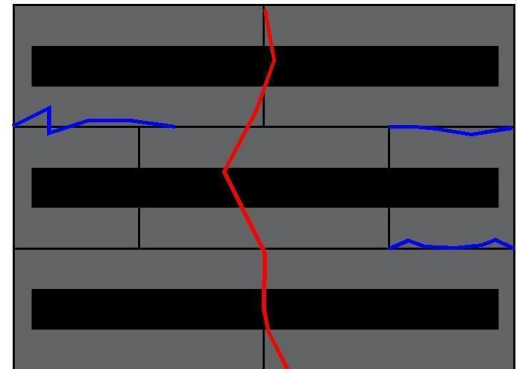
b) Prisma reforçado 02

Fonte: acervo dos autores, 2023

Figura 12 – Esquema do estado de fissuração no momento da ruptura dos prismas



a) Prisma de referência 01



b) Prisma reforçado 02

Fonte: acervo dos autores, 2023

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada demonstrou que a utilização do reforço dos prismas com mantas de fibras de carbono garante um aumento significativo de resistência à compressão axial. Os resultados obtidos na Tabela 3 e no Gráfico 1 evidenciam o impacto positivo desse reforço.

Essa constatação respalda a hipótese inicialmente levantada, confirmando a eficácia da implementação da colagem externa de fibras de carbono como uma estratégia efetiva para aprimorar a capacidade de suporte e estabilidade das estruturas de alvenaria.

A análise da resistência dos blocos de concreto e meio blocos, conforme apresentada na Tabela 1, também reforça a recomendação do uso de blocos de concreto em detrimento dos blocos cerâmicos, dada a sua superior resistência média de aproximadamente 5,3 MPa para o bloco inteiro.

Ademais, a avaliação da resistência da argamassa, como evidenciada na Tabela 2, atesta que os valores alcançados estão em conformidade com as expectativas e padrões recomendados, mesmo após 28 dias do levante das alvenarias.

Diante desses resultados, é possível afirmar com segurança que a incorporação de fibras de carbono na alvenaria estrutural é uma prática que merece ser considerada como uma estratégia viável para aprimorar a capacidade de suporte e resistência das construções. Dessa forma, a pesquisa atingiu seu objetivo final, e de algum modo, contribuiu para o ramo da engenharia civil.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Camila. **Alvenaria estrutural: conceitos, materiais e métodos construtivos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014a.

ANDRADE, C. L. S. **Alvenaria estrutural: uma revisão da técnica construtiva e suas aplicações**. 2014. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014b.

ANDRADE, L. M. F. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto: conceitos, projeto e desempenho**. São Paulo: PINI, 2014c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1:2011: Alvenaria**

Estrutural - Blocos de Concreto. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15962-1:2011**: Alvenaria

Estrutural - Blocos de Concreto. Parte 2. Execução e Controle de Obras. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-3:2020**: Alvenaria Estrutural - Parte 3 Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

BARROS, M. C. **Manual de construção em alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2009.

CALLISTER JR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

DIAS, Paulo Cesar de Oliveira. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3ª ed. São Paulo: Editora PINI, 2005.

FORTESA, A. S. et al. **Reforço de vigas de concreto armado com materiais compósitos de fibra de carbono**. In: Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. São Paulo: IBRACON, 2018.

FORTES, A. S.; Rios, G. C. V. B.; Gomes, I. R. A.; Santos, V. H. C. **Viabilidade econômica da utilização de fibra de carbono em reforço estrutural**. Revista Concreto & Construções, edição 91, 56-62, 2018a.

FORTES, A. S. **Uso de polímeros reforçados com fibras em reforço de estruturas de concreto**. In: Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. São Paulo: IBRACON, 2004b.

GUDONIS, E. et al. **Aplicação de materiais compósitos de fibras de carbono em reforço estrutural de edifícios**. In: Congresso Brasileiro de Construção Civil. Anais. São Paulo: IBRACON, 2013a.

GUDONIS, Eduardo et al. **Avaliação do uso de compósitos de fibra de carbono em alvenaria estrutural**. In: SEMINÁRIO DE MATERIAIS, 9, 2013, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: EESC-USP, 2013b.

LIMA, Carlos E. S. et al. **Análise numérica do reforço de paredes de alvenaria estrutural com fibra de carbono**. Revista Matéria, v. 25, n. 4, 2020a.

LIMA, J. M. et al. **Materiais compósitos reforçados com fibras de carbono na indústria aeronáutica**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Anais. São Paulo: ABM, 2020b.

MACHADO, A. C. M. **Materiais compósitos avançados reforçados com fibras de carbono**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 2002a.

MACHADO, A. V. F. **Nanotubos de carbono e fibras de carbono**. In: FISCHER, J. E. et al. (Org.). Nanociência e Nanotecnologia: Desafios e Perspectivas. São Carlos: EdUFSCar, 2002b. p. 211-221.

SOUZA, A. M. **A evolução da alvenaria estrutural no Brasil e seu desempenho nas edificações**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.