

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**MARCELO ESTEVÃO DOS SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO  
CELULAR AUTOCLAVADO, REVESTIDO COM MÁMORE  
SINTÉTICO, PARA APLICAÇÃO EM CONSTRUÇÃO DE  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS MODULARES**

**VOLTA REDONDA**

**2024**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos linha de pesquisa em materiais cerâmicos.

Aluno:

Marcelo Estevão dos Santos

Orientador:

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

**VOLTA REDONDA**

**2024**

### FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

S237d Santos, Marcelo Estevão dos

Desenvolvimento de blocos estruturais de concreto celular autoclavado, revestido com mármore sintético, para aplicação em construção de edificações residenciais modulares. / Volta Redonda: UniFOA, 2024. 50 p.: Il

Orientador (a): Prof. Roberto de Oliveira Magnago

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2024

1. Materiais - dissertação. 2. Técnicas construtivas. 3. Construções sustentáveis. 4. Construção - tecnologia. I. Magnago, Roberto de Oliveira. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



**MARCELO ESTEVÃO DOS SANTOS**

DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO,  
REVESTIDO COM MÁRMORE SINTÉTICO, PARA APLICAÇÃO EM CONSTRUÇÃO DE  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS MODULARES

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE  
"MESTRE EM MATERIAIS"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM MATERIAIS

*Roberto de Oliveira Magnago*

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

*Roberto de Oliveira Magnago*

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago  
Presidente / UniFOA

*Camila Martins Hosken*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Camila Martins Hosken  
Examinador interno / UniFOA

*Adriano Galvão de Souza Azevedo*

Prof. Dr. Adriano Galvão de Souza Azevedo  
Examinador externo / USP

Dezembro de 2024.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais falecidos, a quem agradeço as bases que deram para me tornar a pessoa que sou hoje, à minha esposa e filhos pelo apoio incondicional e ao saldos e eterno professor Giuseppe Andrighi (*in memorian*), por ser uma fonte constante de exemplo e inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por me tornar capaz de finalizar este trabalho, apesar de todas as dificuldades e ao meu orientador, pelo incentivo e dedicação de seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

## RESUMO

Nos últimos anos, o mercado de construção civil no Brasil, especialmente no segmento de edificações residenciais unifamiliares, tem experimentado um crescimento significativo. Esse aumento na demanda gerou uma competição acirrada entre as empresas construtoras, impulsionando a busca por técnicas construtivas mais eficientes em termos de recursos, agilidade, desempenho e custo.

Este trabalho tem como objetivo a formulação e avaliação de blocos estruturais de concreto celular autoclavado (CCA) revestidos com mármore sintético, destinados à construção de edificações residenciais modulares. O estudo envolve a caracterização dos materiais constituintes e a análise das propriedades mecânicas desses blocos, com o intuito de verificar seu desempenho e resistência em relação aos critérios exigidos para sua aplicação no mercado.

O mármore sintético utilizado é composto por calcário, dolomita, resina poliéster tipo ortoftálica, carbonato de cálcio e pigmento, com uma camada de gel coat aplicada à superfície das peças. O CCA, por sua vez, é um material inovador que combina leveza e desempenho térmico, fabricado através de um processo de cura em autoclave.

Os blocos desenvolvidos consistem em um núcleo de concreto celular autoclavado revestido por uma camada de 1,0 cm de espessura de mármore sintético. A escolha desses materiais é justificada por suas propriedades que atendem aos requisitos de desempenho, segurança e economia necessários para o produto em questão.

Os resultados demonstram que os blocos de concreto celular autoclavado revestidos com mármore sintético apresentam desempenho superior tanto em resistência à tração na flexão quanto em resistência à compressão, comparados com blocos estruturais convencionais de concreto e cerâmicos. Esta melhoria no desempenho torna esses blocos uma solução vantajosa para aplicações estruturais que exigem alta capacidade de carga e durabilidade, evidenciando o potencial valor agregado desta inovação no mercado da construção civil.

**Palavras-chave:** Técnicas construtivas. Construções sustentáveis. Tecnologia na construção. Construção industrializada.

## ***ABSTRACT***

In recent years, the civil construction market in Brazil, especially in the segment of single-family residential buildings, has experienced significant growth. This increase in demand has generated fierce competition between construction companies, driving the search for more efficient construction techniques in terms of resources, agility, performance and cost.

This work aims at the formulation and evaluation of structural blocks of autoclaved cellular concrete (CCA) coated with synthetic marble, intended for the construction of modular residential buildings. The study involves the characterization of the constituent materials and the analysis of the mechanical properties of these blocks, in order to verify their performance and strength in relation to the criteria required for their application in the market.

The synthetic marble used is composed of limestone, dolomite, orthophthalic polyester resin, calcium carbonate and pigment, with a layer of gel coat applied to the surface of the pieces. CCA, in turn, is an innovative material that combines lightness and thermal performance, manufactured through an autoclave curing process.

The developed blocks consist of an autoclaved cellular concrete core coated with a 1.0 cm thick layer of synthetic marble. The choice of these materials is justified by their properties that meet the performance, safety and economy requirements necessary for the product in question.

The results show that autoclaved cellular concrete blocks coated with synthetic marble have superior performance both in tensile strength at bending and in compressive strength, compared to conventional structural blocks of concrete and ceramics. This improvement in performance makes these blocks an advantageous solution for structural applications that require high load capacity and durability, showing the potential added value of this innovation in the construction market.

Keywords: Constructive techniques. Sustainable constructions. Technology in construction. Industrialized construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Edifício Monadnock.....	16
Figura 2.	Bloco Vazado de concreto.....	18
Figura 3.	Tipos de Blocos Estruturais de Concreto.....	18
Figura 4.	Tipos de Blocos Cerâmicos Estruturais.....	19
Figura 5.	Classes de resistência dos Blocos Cerâmicos.....	20
Figura 6.	Bancada de pia em mármore sintético.....	21
Figura 7.	Bloco de concreto celular autoclavado.....	24
Figura 8.	Informações Técnicas resina poliéster.....	26
Figura 9.	Informações Técnicas aditivo.....	27
Figura 10.	Corpos de prova tração na flexão.....	28
Figura 11.	Corpo de prova compressão.....	28
Figura 12.	Ensaio de tração na flexão.....	30
Figura 13.	Corpo de prova compressão.....	31
Figura 14.	MEV de bancada.....	32
Figura 15.	Amostra do bloco de CCA e mármore sintético.....	32
Figura 16.	Protótipo do bloco.....	33
Figura 17.	Painel de parede.....	34
Figura 18.	Painel de parede.....	34
Figura 19.	Rompimento corpo de prova – tração na flexão.....	36
Figura 20.	Rompimento corpo de prova – tração na flexão.....	37
Figura 21.	Relatório ensaio – tração na flexão.....	37
Figura 22.	Relatório de ensaio - compressão.....	40
Figura 23.	Relatório de ensaio tração na flexão bloco colado.....	42
Figura 24.	Rompimento corpo de prova bloco colado. colado.....	43
Figura 25.	MEV da interface do CCA com o mármore sintético.....	44
Figura 26.	MEV da interface do mármore sintético com resina poliéster...45	

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparativo da resistência à Tração na Flexão.....	39
Gráfico 2. Comparativo da resistência à Compressão.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados do ensaio de tração na flexão.....	36
Tabela 2. Resultados do ensaio de resistência à compressão.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CCA	<i>Concreto Celular Autoclavado</i>
MEV	<i>Microscopia eletrônica de varredura</i>
NBR	<i>Norma Técnica Brasileira</i>
ABCP	<i>Associação Brasileira de Cimento Portland</i>

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. considerações iniciais .....	13
1.2. objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo geral.....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	14
1.2.3. Justificativa .....	14
2. revisão bibliográfica .....	15
2.1. ALVENARIA ESTRUTURAL .....	15
2.1.1. Blocos de concreto .....	18
2.1.2. Blocos Cerâmicos .....	19
2.2. mármore sintético.....	20
2.2.1. Resina Poliéster.....	22
2.3. concreto celular autoclavado .....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
3.1. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA para ensaios de resistência à compressão e tração na flexão.....	26
3.1.1. Ensaio de tração na flexão (blocos simples e bloco colado).....	29
3.1.2. Ensaio de compressão.....	30
3.2. análise superficial por microscopia eletrônica de varredura (mev) .....	31
3.3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DOS BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO revestidos com mármore sintético.....	33
4. análise e discussão dos resultados.....	36
4.1. tração na flexão .....	36
4.2. resistência à compressão dos blocos .....	39
4.3. tração na flexão dos blocos colados .....	42
4.4. microscopia de varredura eletrônica (mev) do bloco de cca revestido com mármore sintético e região colada.....	43
5. CONCLUSÕES .....	46
6. TRABALHOS FUTUROS .....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo dos anos, a indústria da construção tem crescido no país, principalmente no setor das unidades residenciais unifamiliares. Nesse cenário, o aumento da procura no mercado cria uma competição acirrada entre as empresas de construção, o que tem levado à busca por métodos de construção que permitam uma utilização mais eficiente dos recursos, visando à rapidez, melhor desempenho e custos reduzidos.

No Brasil, grande parte das construções ainda são majoritariamente artesanais, o que resulta em baixa produtividade e, sobretudo, em desperdício. No entanto, o mercado está indicando que essa situação precisa mudar, e a adoção de novas tecnologias surge como a principal solução para promover a adequação dos processos construtivos (FREITAS; CRASTO, 2006; MCLEOD, 2009).

Freitas e Crasto (2006), afirmam que para alteração desta situação é essencial adoção de técnicas que visem a “industrialização” do processo construtivo. Isso envolve o uso de mão-de-obra qualificada, a otimização dos custos através da redução do desperdício de materiais, a padronização e produção em série e em larga escala, racionalização dos processos e a implementação de cronogramas bem elaborados, condizentes com as especificidades dos métodos propostos.

Contudo os trabalhadores ainda se mostram relutantes em aceitar novas tecnologias que poderiam melhorar o processo construtivo residencial. O método tradicional de construção com tijolos atualmente empregado não atende aos requisitos fundamentais de eficiência e padrão exigidos para as casas.

Embora tenha havido um avanço significativo na qualidade dos blocos usados em alvenarias, o processo de construção exige ainda a aplicação de revestimentos como o emboço e massa corrida para alcançar uma superfície adequada para pintura. Desta forma, é de extrema importância a produção de blocos de alvenaria sejam fabricados com um controle de qualidade mais rigoroso, tornando-os economicamente viáveis e com garantia de bons resultados.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver blocos estruturais de concreto celular autoclavado (CCA), revestidos com mármore sintético, a serem empregados na construção de edificações residenciais modulares. O estudo envolve a caracterização dos materiais constituintes e análise das propriedades mecânicas desses blocos, com o intuito de verificar seu desempenho e resistência em relação aos critérios exigidos para sua aplicação no mercado.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Produzir blocos estruturais que atendam às características exigíveis na construção, considerando ainda os critérios de rapidez e produtividade;
- Obtenção de material com bom acabamento superficial, que possa dispensar a aplicação de revestimento nas etapas de acabamento;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos, observando-se os parâmetros normativos exigidos para o desempenho adequado do sistema construtivo;
- Realizar análise comparativa com outros sistemas de alvenarias estruturais já empregados na construção civil.

### 1.2.3 Justificativa

Esta proposta é fundamentada na urgência de melhorar o processo de construção para satisfazer adequadamente as expectativas dos clientes em relação aos produtos e serviços solicitados. Ademais almeja-se uma utilização eficaz dos recursos disponíveis visando a rapidez, desempenho e qualidade do resultado final.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ALVENARIA ESTRUTURAL

Trata-se de um sistema construtivo onde as paredes da edificação desempenham funções estruturais, suportando as cargas do edifício, eliminando a necessidade de pilares e vigas independentes (Leal, D. F. 2022). Essa técnica tem ganhado destaque na construção civil devido à sua eficiência e economia. Este método tem sido essencial da construção civil, e sua evolução reflete um desenvolvimento contínuo em termos de técnicas, materiais e práticas de engenharia.

Historicamente, a alvenaria tem suas origens em práticas primitivas de construção utilizando tijolos de barro não queimados ou pedras. As civilizações antigas, como os assírios e persas, já empregavam blocos queimados à luz do sol por e, em torno de 3.000 a.C., os tijolos cerâmicos queimados em fornos eram comuns, oferecendo maior resistência e durabilidade. Com o decorrer dos anos, os conceitos originais baseados em empirismo, foram renovados com a introdução de novas técnicas e materiais (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Durante os séculos XIX e XX, a alvenaria estrutural passou por uma importante transformação, com o uso de métodos mais racionais e cientificamente fundamentados, tendo como marco a construção de um edifício com 16 pavimentos na cidade de Chicago nos Estados Unidos da América, entre os anos de 1889 e 1891. Este edifício retrata a utilização avançada da alvenaria estrutural na época, com paredes inferiores que atingiam espessuras de 1,80 metros para suportar as cargas verticais e horizontais (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

**Figura 1.** Edifício Monadnock



Fonte: Associação Brasileira da construção civil industrializada (1990)

A construção do edifício Monadnock comprovou a possibilidade de empregar o sistema na construção de edifícios altos e estáveis, apesar das limitações tecnológicas existentes na época.

A evolução desse método de construção tem sido marcada por grandes avanços, destacando-se melhorias na resistência mecânica, resistência aprimorada ao fogo e melhor desempenho térmico, o que reflete um esforço contínuo para atender às exigências modernas de sustentabilidade e eficiência energética. Além disso, práticas contemporâneas têm incorporado o uso de resíduos reciclados na fabricação de blocos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental da construção.

Apresenta-se a seguir algumas vantagens e desvantagens na utilização do sistema:

**Vantagens:**

- Redução do consumo de madeira na construção, considerando a necessidade de execução de formas somente para as lajes (SILVA & LIMA, 2020);

- Redução consumo de argamassas para revestimento de paredes, devido à melhor qualidade dos blocos empregados, que proporcionam prumadas e superfícies mais regulares (SOUZA, 2021);
- Redução de desperdícios de material e de mão de obra, pela impossibilidade de realizar rasgos nas paredes para execução de instalações hidrossanitárias, elétricas, dentre outras (SILVA & LIMA, 2020);
- Redução de especialidades profissionais, tais como: armadores e carpinteiros (COSTA et al., 2019);
- Celeridade do processo construtivo (COSTA et al., 2019).

**Desvantagens:**

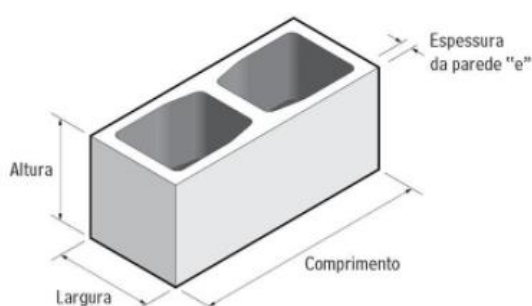
- Impossibilidade de alterações futuras nas concepções arquitetônicas, pois as paredes compõem o sistema estrutural, o que pode representar problemas relevantes para venda do imóvel (PEREIRA et al., 2021);
- Necessidade de integração entre o projeto de arquitetura e projetos de instalações complementares, exigindo também a permanência de profissional capacitado que auxilie na execução simultânea dos serviços (PEREIRA et al., 2021);
- Necessidade de mão de obra qualificada e treinada, totalmente integrada aos métodos e processos aplicáveis ao sistema, reduzindo a ocorrência de erros que possam posteriormente acarretar em falhas falhas que possam comprometer a segurança da edificação (SANTOS & MELO, 2018).

No momento atual em que vivemos, há uma preferência pela utilização de blocos de cimento ou cerâmica devido à sua eficiência e desempenho, além de ter um custo mais acessível. Dentre as principais características entre esses materiais, destaca-se a resistência à compressão elevada e durabilidade obtida pelos blocos de concreto, enquanto os blocos cerâmicos são reconhecidos por sua qualidade superior quando se trata de isolamento termicoacústico.

### 2.1.1. Blocos de concreto

Material fabricado pela mistura de cimento, água e agregados, podendo ser adicionado ainda aditivos, cujas características preconizadas pela NBR 6136:2016, classificados como Blocos Vazados de Concreto Simples. Estes são definidos como componentes utilizados na construção de alvenaria, estrutural ou não, e possuem vazamentos nas faces superior e inferior (ver Figura 2), com área líquida de vazados menor ou igual a 75% da área bruta do bloco.

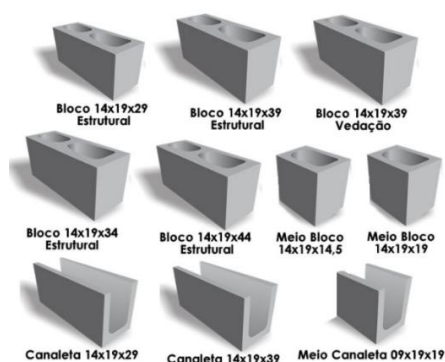
**Figura 2.** Bloco vazado de concreto



Fonte: NBR 6136/2016

Os blocos padrões encontrados apresentam resistência a compressão que variam entre 6 à 20 Mpa, apresentando resistências mais elevadas em alguns casos especiais. São fabricados diversos modelos de blocos (figura 3), com diferentes funções, de forma a melhor atender as concepções definidas em projeto (ROMAN et al., 1999).

**Figura 3.** Modelos de Blocos estruturais de Concreto



Fonte: <http://www.iporablocos.com.br>

Antunes (2004) ressalta a importância de identificar os potenciais fabricantes, devendo ainda, sempre que possível, conhecer as instalações das empresas, de forma a atestar a procedência dos materiais utilizados, como também dos métodos empregados em observâncias às normas específicas. As certificações dos produtos constituem grande diferencial, como por exemplo, o selo de qualidade da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

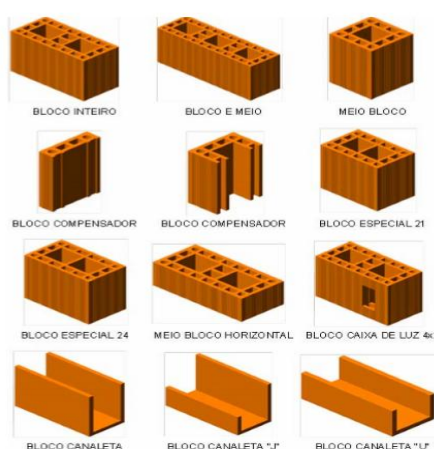
### 2.1.2 Blocos Cerâmicos

Material composto basicamente por argila, utilizados desde 4000 a.C., destaca-se principalmente por sua durabilidade, facilidade de fabricação, baixo custo e bom desempenho termoacústico (BRASIL, 2001).

Conforme a definição estabelecida pela NBR 15270-2:2005, o bloco estrutural cerâmico é definido como elemento da alvenaria estrutural, dotado de furos prismáticos ortogonais às suas faces. Esse tipo de bloco é utilizado em projetos de paredes vazadas e maciças.

A figura 4, apresenta os tipos mais comuns de Blocos Cerâmicos, aplicados em alvenaria estrutural.

**Figura 4.** Tipos de Blocos Cerâmicos Estruturais



Fonte: Pauluzzi produtos Cerâmicos LTDA

As propriedades geométricas e mecânicas do Bloco Cerâmico estrutural devem ser avaliadas de acordo com as metodologias de ensaio descritas na NBR 15270-2:2005 e NBR 15270-3:2005, respectivamente.

A figura 5 apresenta a resistência característica a compressão ( $F_{ck}$ ), de acordo com as diversas classes de blocos existentes.

**Figura 5.** Classes de resistência de Blocos Cerâmicos

<b>Classe</b>	<b>Resistência à compressão na área bruta (MPa)</b>
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

Fonte: Adaptado da NBR 7171:2005

## 2.2. MÁMORE SINTÉTICO

O chamado mármore sintético é constituído de calcário, dolomita, resina poliéster tipo ortoftálica, carbonato de cálcio, além de pigmento. A superfície das peças é revestida de uma camada de gel coat, sem adição de carga, de resina ortoftálica ou isoftálica.” (CQP - FIBRA DE VIDRO, c2009).

Popularmente conhecido como mármore composto ou sintético, este material oferece uma alternativa atrativa ao mármore natural com seu belíssimo visual e funcionalidade prática. Utilizado em diversos contextos que vão desde o revestimento de pisos e paredes até o uso em bancadas e peças decorativas (Figura 06), o mármore artificial apresenta uma série de benefícios, incluindo custos mais baixos, uniformidade superior e facilidade de manutenção.

**Figura 6.** Bancada de pia em mármore sintético



Fonte: <https://www.blogger.com/profile/06161418739553582522>

Mármore sintético é tipicamente feito de uma combinação de resinas e agregados minerais com possíveis aditivos adicionais. As resinas essenciais para compor o mármore sintético são geralmente de poliéster ou acílicas e desempenham um papel crucial na formação da estrutura do material sintético. Elas garantem coesão para unir os agregados minerais e também conferem propriedades como resistência à umidade e facilidade de modelagem (Shao et al., 2020).

Os materiais agregados usados são principalmente feitos de carbonato de cálcio (calcário ou mármore moído), assim como outros minerais como sílica. Esses materiais reproduzem o visual do mármore natural e influenciam tanto na textura quanto na cor do produto final (referência: Gómez et al., 2021).

Vários ingredientes são empregados para melhorar as características do mármore sintético, tais como pigmentos coloridos e substâncias que estabilizam e retardam o processo de cura, os quais têm impactos na resistência do material e na sua aparência física (Zhou et al., 2019).

O processo de fabricação do mármore sintético envolve várias etapas-chave, que podem influenciar diretamente nas características do material.

Inicialmente é realizada a preparação da mistura de resina e agregados minerais em proporções específicas para cada aplicação para garantir boa consistência e a qualidade do material, podendo ser ajustada para alcançar diferentes texturas e acabamentos (Li et al., 2022).

Depois de obter uma mistura uniforme, o material é derretido em moldes que podem ter desde formas simples até designs personalizados mais complexos. A moldagem pode ser realizada por meio de processos de vibração e pressão para evitar a formação de vazios e garantir uma superfície consistente (Chen et al., 2021).

A massa é submetida à cura, através de processos térmicos à temperatura ambiente, atendendo sempre à especificação da resina utilizada, sendo essencial para atingir a resistência final desejada e a estabilidade dimensional do mármore sintético (Wang et al., 2023).

Por fim, a massa é submetida a processos de acabamento, como polimento e tratamento de superfície, que proporcionam textura e o brilho com aspectos desejáveis. Este processo também pode envolver a aplicação de superfícies protetoras para aumentar a durabilidade do produto (Wang et al., 2023).

O mármore sintético possui diversas propriedades que favorece seu uso em várias aplicações, dentre delas a aparência semelhante ao mármore natural e também o fato da possibilidade de ser fabricado em diversas gama de cores, formatos e padrões, oferecendo versatilidade no design (Gómez et al., 2021).

A combinação de resinas e agregados minerais resulta em um material resistente a impactos e abrasões, e pelo fato de possuir uma superfície menos porosa do que as pedras naturais, torna-se mais impermeável, o que facilita a limpeza e manutenção (Zhou et al., 2019).

Em comparação com o mármore natural, o mármore sintético geralmente é mais acessível e exige menos cuidados de manutenção. Sua superfície não precisa de cuidados especiais para prevenir manchas e desgaste (Li et al., 2022).

### **2.2.1 Resina Poliéster**

É um polímero largamente usado em produtos industriais, face às suas propriedades adaptáveis e custo relativamente acessível, podendo ser manipulada para o atendimento de uma extensa variedade de requisitos técnicos e estéticos.

A resina de poliéster apresenta boa resistência mecânica, e pode ser ainda reforçada com fibras, como fibra de vidro, o que garante resistência à tração e compressão mais elevadas, conforme a formulação da resina (Gómez et al., 2020).

Sua grande rigidez contribui para a viabilidade de utilização em várias aplicações em produtos estruturais e de engenharia (Schmidt et al., 2018).

É caracterizada por possuir boa resistência à corrosão e ao ataque de diversos componentes químicos, tornando-a adequada para utilização em ambientes agressivos (Martin et al., 2021).

A resistência a solventes é moderada, e a resina pode ser suscetível a alguns solventes orgânicos, dependendo da formulação (Gómez et al., 2020).

Tem uma resistência térmica moderada e pode suportar normalmente temperaturas de até 80 a 100°C sem sofrer degradação significativa. Em situações onde a temperatura é elevada é preciso considerar o uso de resinas especiais (Schmidt et al., 2018).

O polímero de resina de polister é considerado leve em particular ao ser combinado com fibras em compósitos (Martin et al., 2021).

Os processos de moldagem e cura são simplificados, o que permite a produção de formatos complexos e acabamentos superficiais de excelência (Gómez et al., 2020).

Há um crescente interesse no desenvolvimento de resinas de poliéster sustentáveis e recicláveis, com a utilização de matérias-primas renováveis, com vistas à redução do impacto ambiental da produção (Gómez et al., 2020). A adição de novos aditivos e modificadores tem como objetivo melhorar as propriedades específicas, como resistência a UV e durabilidade, ampliando a gama de aplicações possíveis (Martin et al., 2021).

Novas formulações e tecnologias de processamento estão sendo desenvolvidas para permitir aplicações que exijam mais eficiência técnica, como equipamentos aeroespaciais, bem como na produção de equipamentos de alta performance (Schmidt et al., 2018).

### 2.3. CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO

O Concreto Celular Autoclavado (CCA) é um material originado na Europa, com o objetivo de substituir a madeira na construção de edificações residenciais, devido à grande ocorrência de incêndios, por volta de 1880. O processo de fabricação dos blocos foi patenteada em 1920, na Suécia, pelo arquiteto Axel Eriksson, iniciando a produção em 1929. Após a Segunda Guerra Mundial, o produto foi amplamente utilizado na Europa e a partir daí, tornou-se conhecido mundialmente, sendo produzido e utilizado no Brasil desde 1957 (Sikora et al., 2021).

É um tipo de material de construção aprovado pela norma NBR 13.438:2013 que une leveza com bom isolamento térmico e resistência mecânica, possuindo em média 2,5Mpa à compressão, sendo indicado para diferentes usos (Figura 7). Produzido com autoclavagem em seu processo de fabricação, o CCA tem se destacado na indústria da construção por sua eficiência energética e sustentabilidade.

**Figura 7.** Bloco de concreto celular autoclavado



Fonte: <https://www.sicalcca.com.br>

A produção do Concreto Celular Autoclavado começa com a preparação da mistura de cimento e cal juntamente com areia e um agente espumante específico para criar bolhas de ar que resultam na sua estrutura leve e porosa durante uma reação química controlada feita na fase inicial de moldagem em formas distintas. Em seguida, os blocos passam por autoclavagem em que são submetidos à altas pressões e temperaturas dentro de autoclaves para finalizar o processo de fabricação.

Esse processo ajuda na cura do cimento e aumenta a capacidade mecânica e de isolamento (Sikora et al., 2021).

Na construção civil, são geralmente utilizados na execução de painéis de paredes, sejam internas ou externas, sendo populares por sua leveza e facilidade de manuseio (Chen et al., 2022).

O CCA é frequentemente escolhido em projetos que visam a sustentabilidade, desempenho e eficiência, contribuindo para a otimização do processo construtivo em edifícios (Sikora et al., 2021).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais empregados neste trabalho consistem especificamente em concreto celular autoclavado, utilizado como núcleo do protótipo fabricado, revestido por uma camada de 1,0 centímetro de espessura de mármore sintético. A escolha destes materiais se justifica por suas características atenderem aos requisitos de desempenho, segurança e economia necessários ao produto em desenvolvimento.

#### 3.1. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO

Para fabricação da massa do mármore sintético, utilizou-se como agregados o pó de mármore malha 30 na proporção de 50% em massa, pó de mármore malha 100, na proporção de 25% em massa, pó de mármore malha 200, na proporção de 25% em massa.

Como aglutinante da mistura, utilizou-se a resina poliéster Fortcom 4210 (nome comercial), conforme características físicas e mecânicas especificadas na figura 8, na proporção de 25% sobre a massa total dos agregados descritos.

**Figura 8.** Informações técnicas da Resina Poliester

<i>Propriedades da Resina líquida</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>	<i>Métodos Análises</i>	<i>Propriedades da Resina curada*</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>	<i>Métodos Análises</i>
Aspecto	25 °C	Líquido bege/Branco	Visual	Aspecto	25 °C	Líquido bege/Branco	Visual
Viscosidade (sp2/12 RPM)	cP	350 – 500	ITL-04	Resistência máxima	Mpa	60	ASTM D-638
Teor de Sólidos	%	59,00 min.	ITL-05	Módulo tração	Gpa	3,4	ASTM D-638
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	1,10 – 1,12	ITL-08	Resistência à flexão	Mpa	100	ASTM D-790
Índice de Acidez	mg KOH/g	30 máx.	ITL-136	Módulo flexão	Gpa	3,0	ASTM D-790
Tempo de Gel	Minutos	10'00" – 15'00"	ITL-135	Elongação	%	4,5	ASTM D-638
Intervalo de Pico	Minutos	9'00" – 15'00"	ITL-135	HDT	°C	75	ASTM D-648
Pico Exotérmico	°C	150 – 190	ITL-135	Dureza Barcol	UB	35	ASTM D-2583

Fonte: Oswaldo Cruz Química

Na intenção de reduzir o consumo de resina na mistura e conseqüentemente o custo final da massa, considerou-se o uso do aditivo Naftaleno Sulfonato de Sódio, especificações na figura 9, na proporção de 20% da quantidade em massa utilizada de resina poliéster

**Figura 9.** Informações técnicas aditivo

**1. Especificações**

<i>Itens Controlados</i>	<i>Método de Teste</i>	<i>Limites</i>
5 APARENCIA	VISUAL	PO HOMOGENEO MARROM
78 MATERIA ATIVA (%PESO)	FABRICANTE	MINIMO 89,0
126 PH (SOL. AQUOSA A 10%)	FABRICANTE	9,5 - 10,5
228 TEOR DE NA2SO4 (%MASSA)	FABRICANTE	MAXIMO 5,0
2427 UMIDADE (%)	FABRICANTE	MAXIMO 6,0

Fonte: Cosmoquímica ind. E comércio Ltda

Objetivando a avaliação das propriedades mecânicas do material, moldou-se corpos de prova para conduzir testes de resistência à compressão e tração na flexão de blocos Prismáticos, conforme procedimentos da NBR 12142:2010 e NBR 12118:2013.

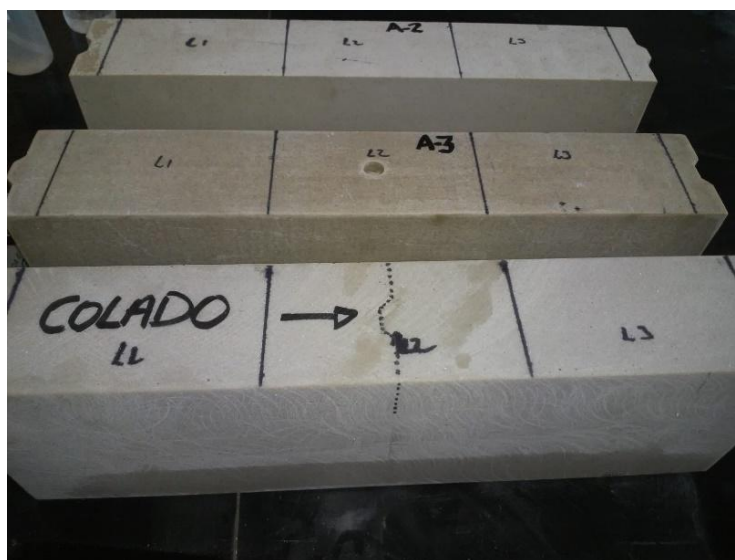
Foram confeccionados três corpos de prova prismáticos para cada tipo de ensaio, denominados A1, A2 e A3 (Fig. 10 e 11), ambos com a mesma composição. Cada corpo de prova é constituído por um núcleo de CCA de formato prismático, com dimensões de 8cm x 8cm x 18cm (largura x comprimento x altura) para a ensaio de compressão e dimensões de 7cm x 48cm x 13cm (largura x comprimento x altura), para realização do ensaio de tração na flexão.

Os núcleos de Concreto celular autoclavado foram revestidos com uma camada de mármore sintético de 1,0cm de espessura, resultando em dimensões finais de 10cm x 10cm x 20cm e 9cm x 50cm x 15cm (largura x comprimento x altura), respectivamente.

Na intenção de avaliar a resistência na ligação entre os blocos, realizada por meio da utilização de resina poliéster misturada com talco industrial, elaborou-se uma

amostra com dois blocos colados, com dimensões finais de 9cm x 50cm x 15cm (largura x comprimento x altura).

**Figura 10.** Corpos de prova – tração na flexão



Fonte: Autor (2024)

**Figura 11.** Corpo de prova – compressão



Fonte: Autor (2024)

Para a determinação das dimensões, quantidades e características das amostras, foram seguidas as prescrições da NBR 5738:2015 - que descreve os procedimentos para moldagem e também da cura dos corpos de prova.

A moldagem das amostras foi realizada utilizando formas de fibra de vidro equipadas com um sistema de fixação de parafusos e buchas, garantindo a geometria correta durante o lançamento e o endurecimento do material, o que minimiza a possibilidade de variações, garantindo a precisão dos testes.

Após a moldagem, as amostras foram armazenadas em um local com temperatura ambiente de aproximadamente 20°C, onde permaneceram por três dias. Este período é adequado para a cura completa da mistura, conforme recomendação do fabricante da resina.

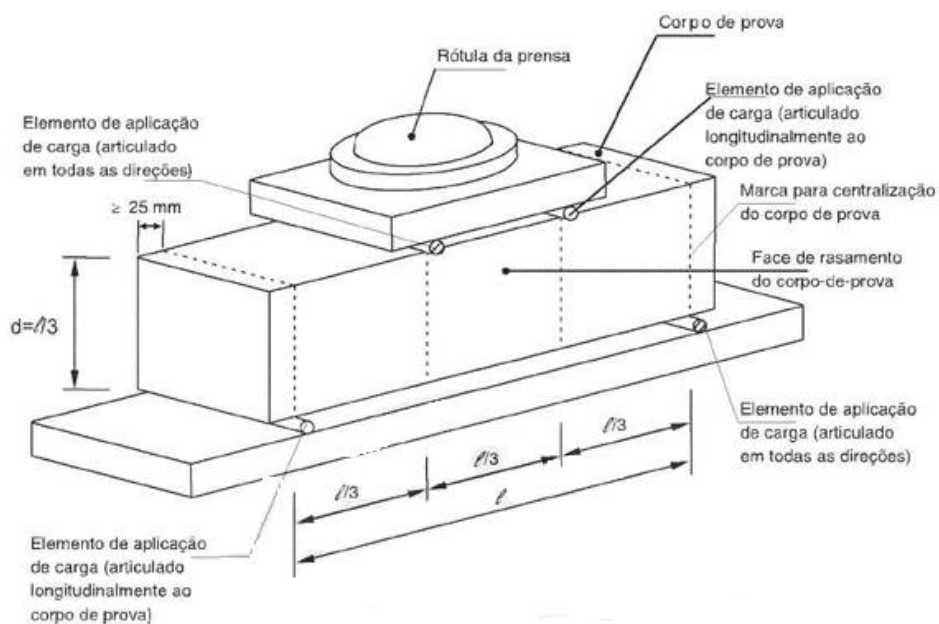
Os três grupos de amostras, com o total de 07 corpos de prova, foram ensaiados em duas etapas, com o auxílio do equipamento universal de ensaios MTS 810.

### **3.1.1. Ensaio de tração na flexão (blocos simples e bloco colado)**

Na primeira etapa, realizou-se o ensaio de tração na flexão, conforme prescrições da NBR 12142:2010, método indicado pela facilidade na fabricação dos corpos de prova e por melhor representar a fratura do material em campo.

Consiste em imprimir uma flexão por meio da aplicação de um carregamento no ponto médio de uma viga bi apoiada, o qual se dá o nome de flexão de três pontos, conforme ilustrado na figura 12, provocando, além da compressão na fibras superiores do corpo de prova, uma tensão de tração que surge a partir do ponto central, tendo maior valor na fibras inferiores da amostra, onde será o início da fratura.

**Figura 12.** Ensaio de tração na flexão



Fonte: Adaptado da NBR 12142:2010

A máquina de foi preparada com dispositivos adequados para avaliação da flexão, assegurando a aplicação da carga de forma perpendicular às faces do corpo de prova, sem excentricidades.

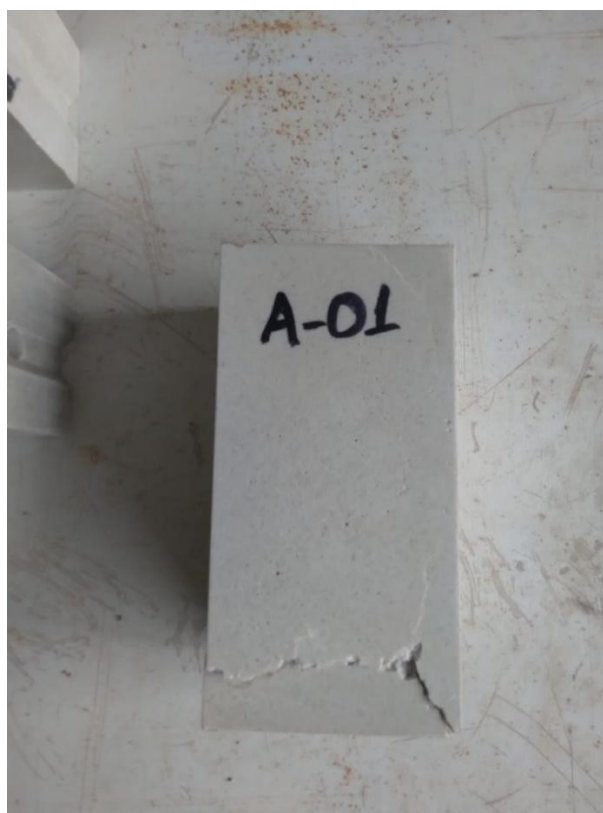
Como resultados, o equipamento fornece informações referentes à carga aplicada, como também a deflexão e o tempo medido em segundos.

### 3.1.2 Ensaio de compressão

Para realização do ensaio de compressão das amostras, conforme preceitos da NBR 12118:2013, foi realizada e preparação das faces dos corpos de prova, de modo que elas ficassem planas e uniformes.

O corpo de prova (fig. 13) foi alinhado no equipamento, de forma a garantir que a carga fosse aplicada na direção do esforço que o mesmo deverá suportar durante sua utilização, mantendo seu centro de gravidade alinhado com o eixo de carga da prensa.

**Figura 13.** Corpo de prova – compressão



Fonte: do Autor

Em todos os ensaios realizados, manteve-se a velocidade de deflexão foi mantida no valor de 2mm/min.

### 3.2. ANÁLISE SUPERFICIAL POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Ensaio realizado com o objetivo de investigar a interface entre o mármore sintético e o CCA, bem como a região colada pela mistura de resina poliéster e talco industrial. Foi empregado equipamento MEV de bancada *Hitachi Analytical TableTop*, TM3000 (fig 14), do laboratório de Caracterização de materiais do Centro Univertário de Volta Redonda. Inicialmente, as amostras de mármore sintético e concreto celular

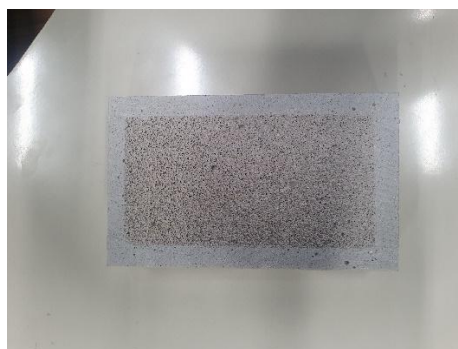
autoclavado foram devidamente fraturadas de forma a expor a interface entre os dois materiais (fig 15).

**Figura 14.** MEV de bancada



Fonte: Autor (2024)

**Figura 15.** Amostra bloco de CCA e mármore sintético



Fonte: Autor (2024)

Foram realizadas imagens em diferentes magnitudes para observar a morfologia da interface e características como porosidade, microfissuras e qualquer interação ou transição entre os dois materiais.

### 3.3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DOS BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO REVESTIDOS COM MÁRMORE SINTÉTICO

O protótipo foi elaborado com o objetivo de criar blocos de concreto celular autoclavado (CCA) revestidos por mármore sintético, adequados para a construção de paredes de alvenaria autoportante. Esses blocos foram projetados para facilitar a modulação e assegurar a estabilidade das fiadas de paredes, promovendo uma estrutura sólida e confiável.

Os blocos de concreto celular autoclavado revestidos por mármore sintético foram concebidos com as seguintes dimensões:

- Bloco 1: 50 cm (largura) x 50 cm (altura) x 9 cm (espessura)
- Bloco 2: 25 cm (largura) x 50 cm (altura) x 9 cm (espessura)

As medidas foram definidas com o objetivo de melhorar as mudanças na disposição das fileiras de tijolos na parede e facilitar o encaixe dos blocos para assentamento mais fácil e preciso, seguindo um padrão em que as extremidades dos blocos se encaixam como “peças de quebra-cabeça” (veja figura 16), favorecendo uma conexão eficiente das junções e proporcionando maior solidez aos painéis (veja figuras 17 e 18).

**Figura 16.** Protótipo do bloco



Fonte: Autor (2024)

**Figura 17.** Painel de parede



Fonte: Autor (2024)

**Figura 18.** Painel de parede



Fonte: do Autor

Para a união dos blocos, utilizou-se mistura de resina poliéster e talco industrial, que proporciona uma adesão eficiente e resistência adicional ao sistema.

Essa combinação foi selecionada para assegurar uma fixação robusta entre os blocos, ajudando a manter a integridade estrutural da parede ao longo do tempo.

**Principais características do Protótipo:**

- Modulação Eficiente garantida pelas dimensões dos blocos, o que contribui para a construção rápida e precisa das paredes.
- Estabilidade Reforçada pelo encaixe "macho e fêmea", melhorando a coesão entre os blocos e aumentando a estabilidade e a resistência das paredes.
- Assentamento Simplificado, fácil e seguro.

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. TRAÇÃO NA FLEXÃO

As amostras formuladas (fig. 19 e 20) foram devidamente ensaiadas à tração na flexão, conforme os critérios da NBR 12142:2010 as quais forneceram os resultados descritos na tabela 1:

**Tabela 1.** Resultados do ensaio de tração na flexão

Amostras	Carga de ruptura (Kgf)	Tensão de ruptura (Mpa)
1	3850,00	14,2
2	4230,00	15,7
3	4110,00	14,9
<b>Valor médio das tensões de ruptura</b>		<b>14,9</b>

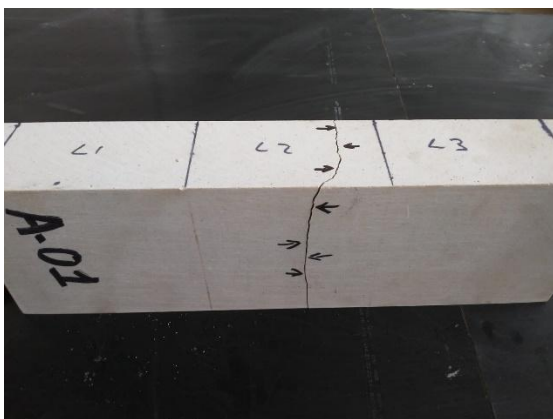
Fonte: Autor (2024)

**Figura 19.** Rompimento do corpo de prova – tração na flexão



Fonte: Autor (2024)

**Figura 20.** Rompimento do corpo de prova – tração na flexão

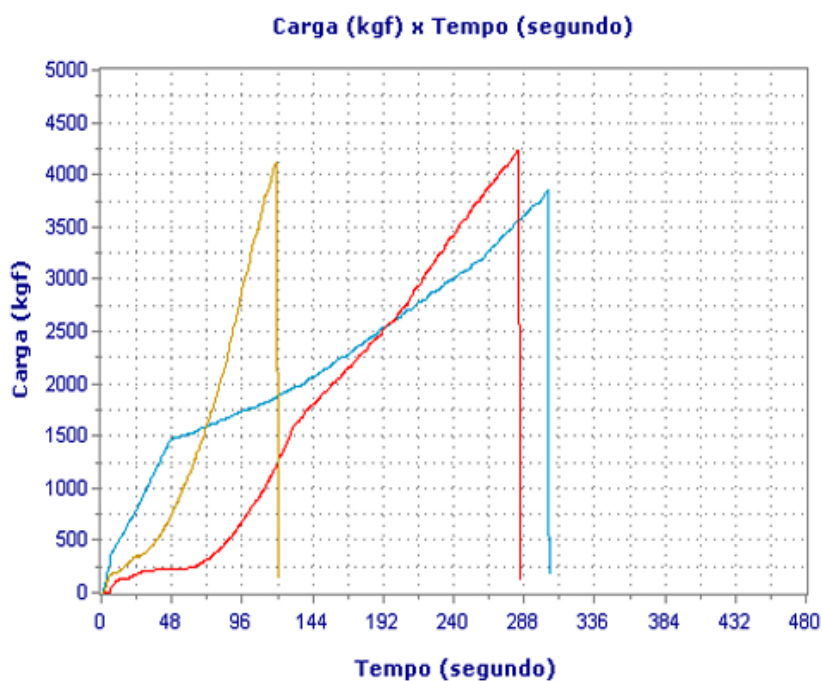


Fonte: Autor (2024)

**Figura 21.** Relatório de Ensaio – tração na flexão

Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	----
BLOCO RESINA A-1 AM01	7	14,2(MPa)	3.850(kgf)	
BLOCO RESINA A-2	7	15,7(MPa)	4.230(kgf)	
BLOCO RESINA A-3	7	14,9(MPa)	4.110(kgf)	
<b>Média:</b>		<b>14,9(MPa)</b>	<b>4.063(kgf)</b>	

**Gráfico dos ensaios**



Fonte: Autor (2024)

A análise dos resultados indica uma variação nas tensões de ruptura entre as amostras, com valores que variam de 14,2 MPa a 15,7 MPa, conforme relatório de ensaio da figura 21. O valor médio das tensões de ruptura, considerando as três amostras, é de aproximadamente 14,9 MPa.

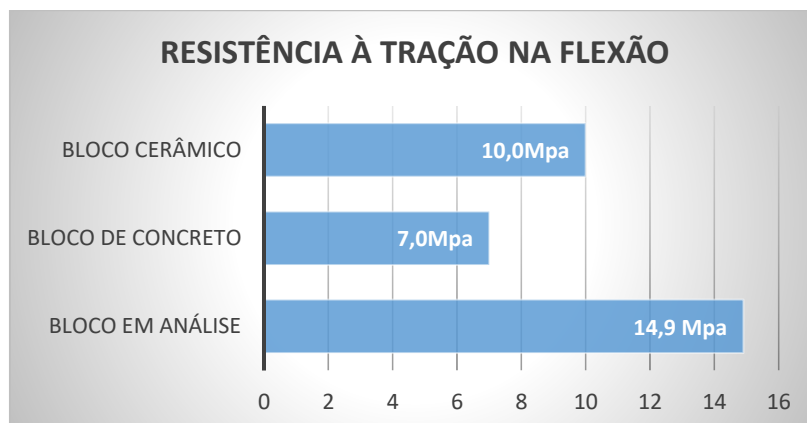
Os blocos estruturais de concreto, que frequentemente são utilizados na construção civil, possuem propriedades mecânicas que variam conforme a mistura e o processo de cura. Normalmente, a resistência à tração na flexão de blocos de concreto estrutural são da ordem de 3 MPa a 7 MPa para concretos comuns, podendo chegar a valores superiores em concretos de alta resistência.

Comparando com os valores obtidos para os corpos de prova compostos por concreto celular autoclavado revestido por mármore sintético, que apresentam tensões de ruptura significativamente maiores (14,2 MPa a 15,7 MPa), observa-se que o sistema de revestimento em mármore sintético está contribuindo para um aumento substancial na resistência à tração na flexão em comparação com os blocos de concreto. Essa superioridade pode ser atribuída à combinação do concreto celular autoclavado, que possui uma estrutura porosa e leve, e o revestimento de mármore sintético, que melhora a coesão e a resistência superficial dos corpos de prova.

Blocos de cerâmica estrutural utilizados na construção civil possuem diferentes propriedades que estão diretamente ligadas ao método de produção e à composição do material utilizado neles. Em termos gerais e comparativos com outros materiais de construção como o bloco de concreto celular autoclavado revestido com mármore sintético, os blocos cerâmicos apresentam uma resistência à tração na flexão que varia entre 5 MPa e 10 MPa, valores estes inferiores aos encontrados nos corpos de prova do material mencionado.

A diferença na resistência pode estar relacionada com o fato de que o revestimento de mármore sintético agrega uma resistência adicional, ao concreto celular autoclavado, cuja resistência à compressão apresentada em média é de 2,5 MPa. Blocos cerâmicos, por outro lado, são mais suscetíveis a variações em suas propriedades mecânicas devido às diferenças na queima e na formulação dos materiais cerâmicos.

O Gráfico 01 indica um comparativo dos valores médios de resistência à tração na flexão dos blocos analisados.

**Gráfico1.** Comparativo da Resistência à Tração na Flexão

Fonte: Autor (2024)

#### 4.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS

Foram realizados ensaios para determinação da resistência à compressão de corpos de prova prismáticos compostos por concreto celular autoclavado revestido por mármore sintético, conforme os critérios da NBR 12118:2013, através dos quais obtiveram-se os resultados descritos na tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados do ensaio de resistência à compressão

Amostra	Carga de ruptura (Kgf)	Tensão de ruptura (Mpa)
1	26720,00	26,7
2	29700,00	29,7
3	26600,00	26,6
<b>Valor médio das tensões de ruptura</b>		<b>27,7</b>

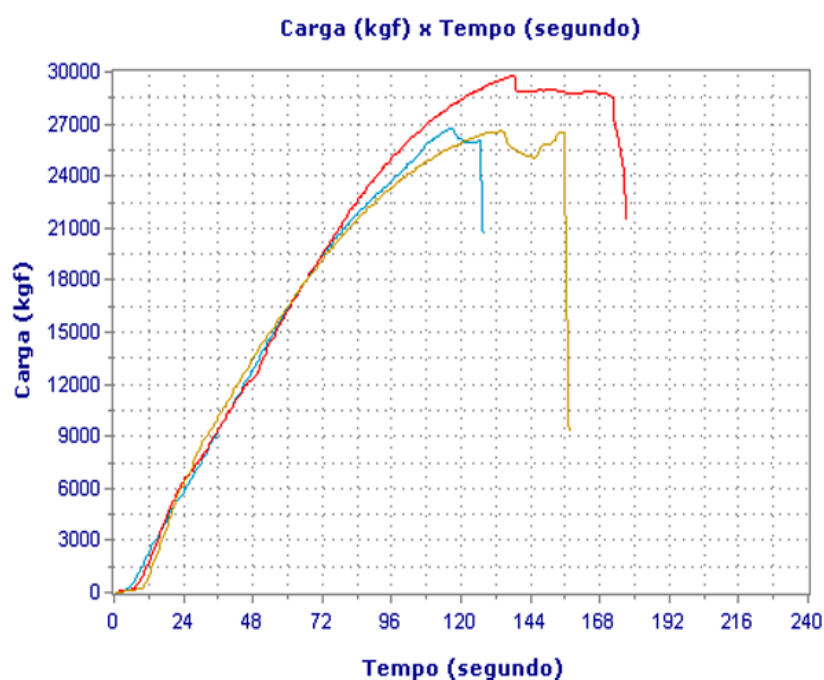
Fonte: Autor (2024)

Os valores obtidos mostram uma variação nas tensões de ruptura das amostras, com uma média de aproximadamente 27,7 Mpa, conforme relatório de ensaio fig. 22. É importante destacar que as tensões de ruptura estão em uma faixa que pode ser considerada aceitável para muitos usos na construção civil, dependendo das especificações e do tipo de carga que a estrutura precisará resistir.

**Figura 22.** Relatório de Ensaio – Resistência à compressão

Dados cadastrais do corpo de prova				
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	----
BLOCO RESINA A-3 AM01	7	26,7(MPa)	26.720(kgf)	
BLOCO RESINA A-3 AM02	7	29,6(MPa)	29.730(kgf)	
BLOCO RESINA A-3 AM03	7	26,6(MPa)	26.570(kgf)	
<b>Média:</b>		<b>27,7(MPa)</b>	<b>27.673(kgf)</b>	

**Gráfico dos ensaios**



Fonte: Autor (2024)

A amostra 02 exibiu a maior resistência à ruptura de 29,5 MPa, indicando possivelmente uma variação natural ou discrepância no método de produção ou preparação da amostra. Por outro lado, as amostras 01 e 03 apresentaram resistências à ruptura semelhantes, com valores em torno de 26, 8 MPa a e 26, 4 MPa a, respectivamente.

Os valores de resistência à compressão de blocos estruturais de concreto geralmente variam entre 10 MPa e 20 MPa para a maioria dos blocos comerciais. Blocos de concreto de alta resistência podem alcançar valores superiores a 20 MPa, mas normalmente não excedem 30 MPa. Os resultados obtidos para o concreto celular autoclavado revestido com mármore sintético, que variam de 26,7 MPa a 29,7

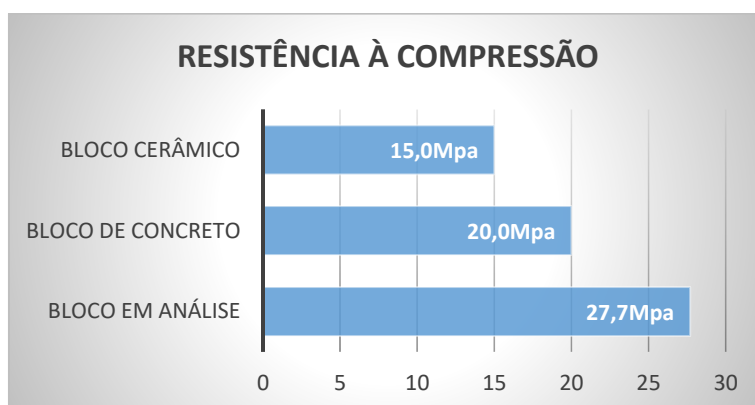
MPa, indicam que estes corpos de prova possuem uma resistência à compressão superior à média de blocos de concreto comuns, e se aproximando a valores de blocos de concreto de alta resistência.

Blocos cerâmicos para construção geralmente apresentam resistências à compressão que variam de 5 MPa a 15 MPa. Quando comparados aos blocos cerâmicos convencionais, os valores obtidos para o bloco de concreto celular autoclavado revestido com mármore sintético são consideravelmente superiores, indicando um desempenho melhor em termos de resistência à compressão e sendo benéfico para aplicações estruturais que requerem um maior grau de resistência.

A análise dos resultados aponta que os corpos de prova compostos por concreto celular autoclavado revestido por mármore sintético demonstram uma resistência à compressão que pode ser considerada alta em comparação com os blocos estruturais convencionais de concreto e cerâmicos. Essa alta resistência pode ser atribuída às propriedades específicas do concreto celular autoclavado e ao revestimento de mármore sintético, que provavelmente contribui para a melhoria das características mecânicas do material.

O Gráfico 02 apresenta de forma resumida os os valores de resistência à Compressão dos sistemas analisados.

**Gráfico 2.** Comparativo da Resistência à Compressão

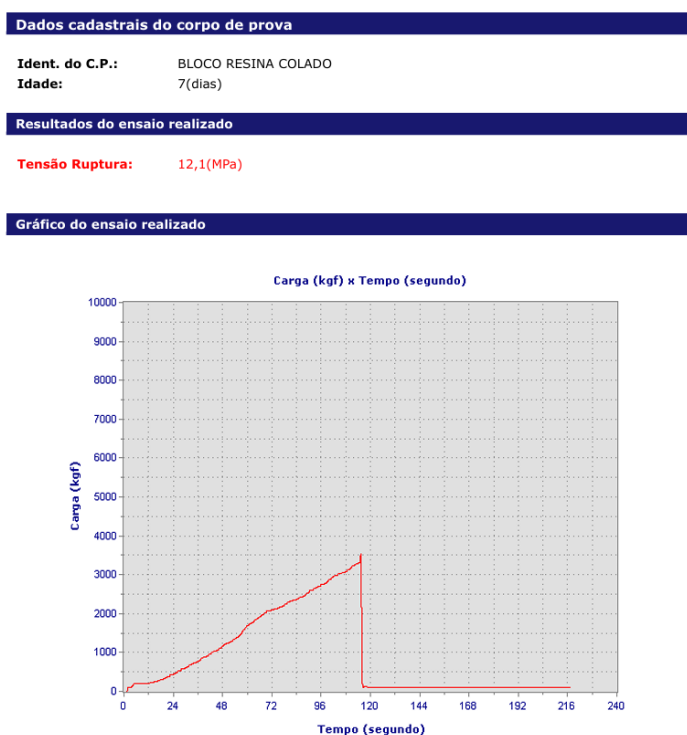


Fonte: Autor (2024)

### 4.3. TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS BLOCOS COLADOS

O procedimento de ensaio envolveu a aplicação de uma carga de flexão até que o bloco se rompesse. O valor de tensão na ruptura foi registrado como 12,1 Mpa, conforme resultado expresso no relatório de ensaio da figura 21.

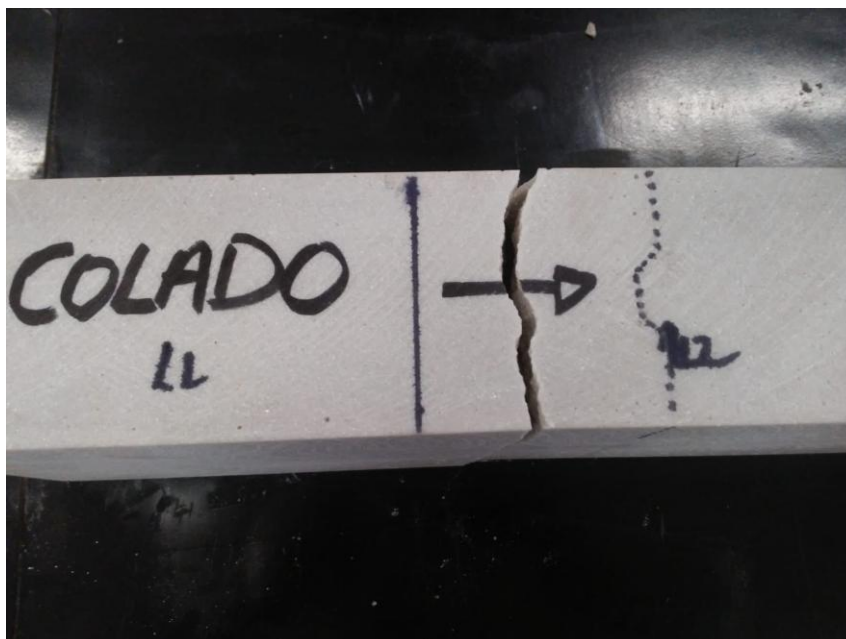
**Figura 23.** – Relatório de Ensaio – Resistência à tração na flexão (bloco colado)



Fonte: Autor (2024)

A análise do local de ruptura revelou que a falha ocorreu fora da região colada (fig. 24), o que sugere que a qualidade da união entre o concreto celular e o mármore sintético não foi a causa primária da falha, mas sim a integridade do próprio bloco de materiais. A resistência observada (12,1 MPa) está dentro da faixa esperada, o que indica uma performance satisfatória dos materiais e do processo de colagem.

**Figura 24.** Rompimento do bloco colado

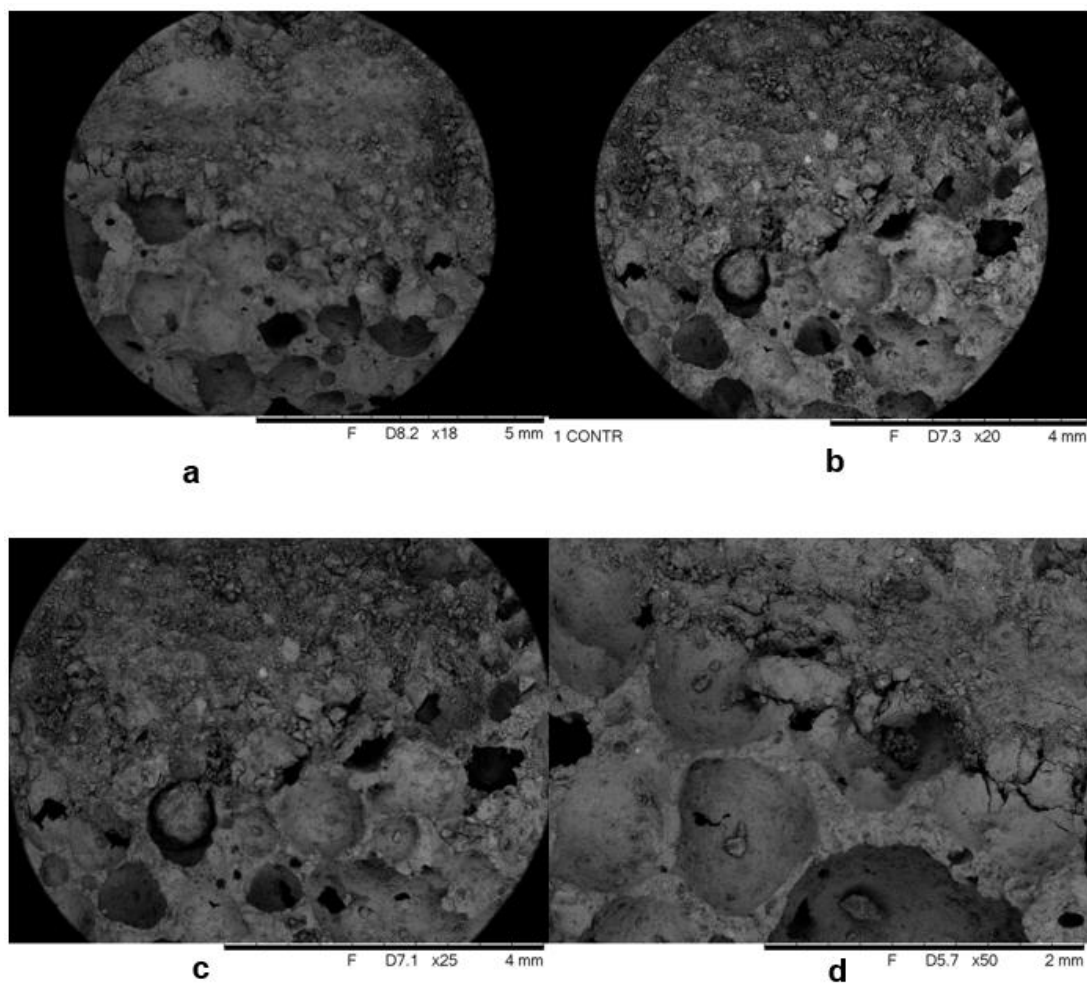


Fonte: Autor (2024)

#### 4.4. MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA (MEV) DO BLOCO DE CCA REVESTIDO COM MÁRMORE SINTÉTICO E REGIÃO COLADA

Nas imagens resultantes do teste (figura 25), percebe-se que o mármore sintético exibe uma estrutura mais uniforme e feita de partículas menores em comparação ao concreto celular que apresentar uma estrutura mais porosa e aberta com células de ar visíveis. Ao analisar os resultados é possível constatar uma boa adesão entre o mármore sintético e o concreto celular autoclavado sem falhas evidentes como deslocamento ou microfraturas.

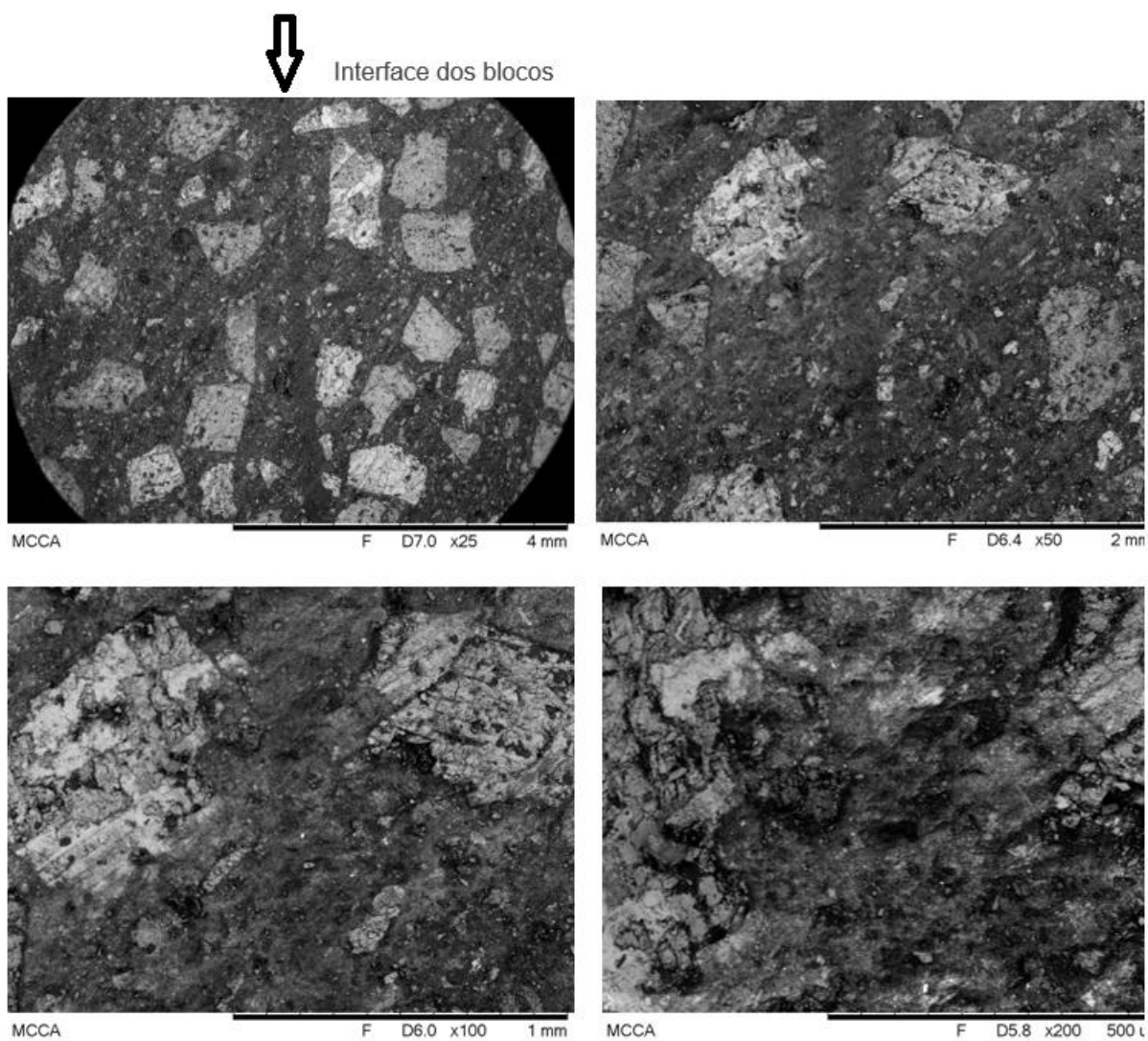
**Figura 25.** MEV da interface do CCA com o mármore sintético



Fonte: Autor (2024)

Em análise à imagem da região colada (fig 26), verifica-se uma boa adesão mecânica indicada por uma penetração da resina nas irregularidades da superfície do mármore sintético, criando uma ligação mais forte, quase imperceptível, o que justifica a ligação bem sucedida entre os blocos colados constatada pelos ensaios realizados.

Figura 26. MEV da interface do mármore sintético colado com resina poliéster



Fonte: Autor (2024)

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos corpos de prova compostos por concreto celular autoclavado revestido com mármore sintético revela vantagens significativas sobre os blocos estruturais convencionais de concreto e cerâmicos. A resistência à tração na flexão dos blocos revestidos com mármore sintético, variando entre 14,2 MPa a 15,7 MPa, é notavelmente superior à dos blocos de concreto comum (3 MPa a 7 MPa) e também aos blocos cerâmicos (5 MPa a 10 MPa). Isso se deve ao efeito combinado da estrutura porosa e leve do concreto celular autoclavado com a adição de uma camada de revestimento de mármore sintético, que aumenta substancialmente a resistência superficial e a coesão do material.

Além disso, a resistência à compressão dos corpos de prova revestidos com mármore sintético, que varia entre 26,7 MPa e 29,7 MPa, supera a média dos blocos de concreto comum (10 MPa a 20 MPa) e se aproxima dos valores encontrados em blocos de concreto de alta resistência, que geralmente não ultrapassam a 30 MPa. Em comparação, os blocos cerâmicos estruturais apresentam resistências à compressão entre 5 MPa e 15 MPa, o que coloca os corpos de prova revestidos em uma posição claramente superior para aplicações estruturais que exigem maior capacidade estrutural.

Na realização do ensaio de tração na flexão, a ruptura ocorreu fora da região colada, atestando que a união entre o concreto celular e o mármore sintético foi eficaz.

Análise por MEV permitiu um entendimento profundo sobre a interação entre os dois materiais, atestando boa adesividade entre eles, além de ligação satisfatória nas faces dos blocos coladas com resina de poliéster.

Os blocos de concreto celular autoclavado revestidos com mármore sintético demonstraram um desempenho superior no que se refere à resistência à tração na flexão e também na resistência à compressão, destacando-se portanto como uma solução vantajosa em comparação com blocos estruturais convencionais de concreto e cerâmicos. Este desempenho superior pode ser de grande valor para aplicações estruturais que exijam materiais com elevada capacidade estrutural e durabilidade.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

Com base na análise realizada nos corpos de prova compostos por concreto celular autoclavado revestido com mármore sintético, sugerem-se diversas direções para trabalhos futuros que podem aprofundar o conhecimento e a aplicação deste material inovador. A seguir estão algumas sugestões de pesquisas e estudos adicionais que podem ser realizados:

1. Estudos futuros poderiam se concentrar no desempenho dos blocos revestidos com mármore sintético ao longo do tempo, considerando fatores como exposição a condições ambientais adversas e resistência a produtos químicos. Isso permitirá uma melhor compreensão da longevidade e da manutenção dos blocos em diferentes contextos de uso;
2. Investigar o custo-benefício da produção e aplicação dos blocos de CCA revestidos com mármore sintético em comparação com os blocos convencionais. Este estudo deve avaliar não apenas o custo dos materiais, mas também o impacto na eficiência da construção e a economia potencial em termos de durabilidade e manutenção;
3. Exploração de usos particulares de blocos revestidos com mármore sintético em variados tipos de construções incluindo residenciais e comerciais e industriais; examinar maneiras de incorporar esses blocos em sistemas de construção criativos e os benefícios associados em cada ambiente;
4. Investigar propriedades de isolamento térmico e acústica dos blocos de concreto celular autoclavado revestidos com mármore sintético.

Essas sugestões visam não apenas expandir o conhecimento sobre o desempenho dos blocos de concreto celular autoclavado revestidos com mármore sintético, mas também proporcionar informações práticas que podem facilitar sua adoção em aplicações reais e sustentáveis.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, B. Alvenaria Estrutural: Sistema em Evolução. Revista Construção Mercado. São Paulo, n 41, p 151-156, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI) – Manual Técnico de Alvenaria. São Paulo: ABCI/Projeto, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos: NBR 6136:2016** Rio de Janeiro: ABNT,2016.

----- . **NBR 7171**: Bloco Cerâmico para Alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

----- . **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

----- . **NBR 12118**: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

----- . **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro. 2010.

----- . **NBR 15270-2**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

----- . **NBR 15270-3**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Bloco Cerâmico,2001.Disponívelem<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp>> Acesso: 23 mai. 2024.

Chen, Y., Zhang, H., & Yang, X. (2021). "Processos de Moldagem de Mármore Sintético: Uma Revisão". \*Journal of Composite Materials\*, 55(10), 1423-1445.

Chen, L., Wang, X., & Wu, Y. (2022). "Estudo do Processo de Formação e Corte do Concreto Celular Autoclavado". \*Construction and Building Materials\*, 335, 127-138.

COSTA, J. et al. Alvenaria estrutural: uma análise comparativa. Revista de Engenharia Civil, 2019.

- Faria, P., Silva, A., & Costa, J. (2021). "Propriedades Físicas e Mecânicas do Concreto Celular Autoclavado". *\*Journal of Building Performance\**, 12(4), 265-278.
- Gómez, F., Martínez, A., & Rodríguez, R. (2021). "Propriedades e Aplicações do Mármore Sintético". *\*Materials Science Forum\**, 1034, 345-356.
- Gómez, F., Martínez, A., & Rodríguez, R. (2020). "Propriedades e Aplicações da Resina de Poliéster". *\*Journal of Composite Materials\**, 54(5), 945-960.
- Hossain, K., Rahman, M., & Khatun, M. (2020). "Desenvolvimento de Agentes de Expansão para Concreto Celular". *\*Materials Science and Engineering\**, 780, 148-159.
- Khan, M., Islam, M., & Hasan, M. (2018). "Análise de Sustentabilidade e Desempenho do Concreto Celular Autoclavado". *\*Sustainable Construction and Design\**, 19(1), 112-124.
- Li, H., Liu, S., & Zhang, Q. (2022). "Avanços na Tecnologia de Resinas para Mármore Sintético". *\*Journal of Polymer Research\**, 29(4), 67-82.
- Martin, J., Williams, L., & Brown, D. (2021). "Resinas de Poliéster: Propriedades, Processos e Aplicações". *\*Materials Science and Engineering\**, 823, 105-120.
- Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., & Mirza, J. (2019). "Aplicações e Tendências Futuras do Concreto Celular Autoclavado". *\*Advanced Materials Research\**, 1144, 87-96.
- RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. Projetos de edifícios de Alvenaria estrutural. 1.ed. 3. Tiragem. São Paulo: Pini, 2003.
- ROMAM, H.R; MUTTI, C.N.; ARAUJO, H.N. Construindo em Alvenaria Estrutural. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.
- Schmidt, H., Lee, R., & Zhang, M. (2018). "Avanços Recentes na Tecnologia de Resinas de Poliéster". *\*Polymer Reviews\**, 58(3), 312-329.
- PEREIRA, A. et al. Novas abordagens na alvenaria estrutural. Editora Construção, 2021.
- SANTOS, R.; MELO, V. Qualificação da mão de obra na alvenaria estrutural. Pesquisa em Engenharia, 2018.
- Shao, W., Wang, X., & Wu, J. (2020). "Estudo dos Componentes Minerais do Mármore Sintético". *\*Minerals Engineering\**, 145, 106-115.

SILVA, T.; LIMA, D. Redução de custos em alvenaria estrutural. Engenharia Sustentável, 2020.

Sikora, P., Pietrzyk, M., & Jarek, B. (2021). "Tecnologias de Cura e Desafios na Produção de Concreto Celular Autoclavado". \*Journal of Construction Materials\*, 7(2), 225-239.

SOUZA, F. Racionalização na construção civil. Editora Engenharia Verde, 2021.

Wang, L., Zhang, M., & Zhao, J. (2023). "Métodos de Acabamento e Tratamento de Superfície do Mármore Sintético". \*Construction and Building Materials\*, 348, 1274-1285.

Zhou, L., Xu, Y., & Li, F. (2019). "Aditivos no Mármore Sintético: Impactos nas Propriedades e Desempenho". \*Journal of Applied Polymer Science\*, 136(23), 4852-4865.