

# BLOCOS DE ALVENARIA SUSTENTÁVEIS COM INCORPORAÇÃO DE FIBRA DE PAPEL KRAFT

Filipe Pereira de Almeida<sup>1</sup>

Jean Carlos Lima Santos<sup>2</sup>

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

A construção civil tem tido um crescimento notável em suas atividades e, como consequência, provoca aumento na geração de resíduos sólidos. Dentre os elementos descartados, está o papel Kraft encontrado nas embalagens de cimento, uma grande quantidade desse material é descartada de forma inadequada, tornando importante que o setor se adapte a iniciativas sustentáveis para mitigar os impactos ao meio ambiente. Portanto, este trabalho tem por objetivo desenvolver um bloco de alvenaria sustentável, utilizando sacos de cimento oriundos de resíduos da construção civil como matéria-prima, a fim de reduzir seu custo. Foram utilizados resina, talco mineral e fibra de papel Kraft, triturada e seca, após homogeneizada foi adicionado à mistura um catalisador e, por fim, colocada em uma forma com desmoldante. E, após finalizada a confecção, foi submetido a teste de compressão e absorção de água. O bloco sustentável apresenta tempo de pega de 2 horas, é impermeável e ao realizar o teste de compressão atinge até 8,876 MPa. Deste modo, a produção de blocos sustentáveis, a partir da adição de fibras de papel Kraft reciclado, demonstra ser viável e apresenta potencial para estudos futuros, tais como teste de isolamento termoacústico e análise para uso com função estrutural.

## PALAVRAS-CHAVE

Bloco Sustentável. Meio Ambiente. Papel Kraft.

## ABSTRACT

Civil construction had a notable growth in its activities and, as a consequence, caused an increase in the generation of solid waste. Among the packaging elements, there is found a large amount of waste materials, which are discarded in the form of packaging, which are discarded significantly to the environment. Therefore, this work aims to develop a sustainable masonry block, using cement bag as raw material from construction waste, in order to reduce its cost. They were resined, mineral talc and Kraft paper fiber, talc and dried, added to the mixture used and finally, crushed into a mold with release agent. After completion of the preparation, the absorption water was tested. The sustainable features setting time of 2 hours is fixed and when performing the 6-block test, fulfilling up to 8.8 MPa blocks. In this way, the production of blocks can be avoided, from the addition of recycled Kraft paper fibers, proving to be viable and presenting future models, such as thermoacoustic and structural insulation tests.

## KEYWORDS

Sustainable Block, Environment, Kraft Paper.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das mais importantes atividades econômicas do país e, da mesma forma, é uma grande geradora de impactos ambientais, seja pelo grande consumo de matéria-prima, energia ou modificação da paisagem. O setor obteve um crescimento notável em suas atividades, segundo a Agência da Câmara Brasileira da (CBIC), em 2021 a atividade obteve o maior crescimento dos últimos dez anos. Entre os meses de janeiro e setembro, ocorreu um aumento de 37,6% nos lançamentos de empreendimentos da construção civil, na comparação anual, e houve também 22,5% de crescimento das vendas de imóveis, segundo levantamento da CBIC.

Como consequência de tal feito, é ocasionado um aumento na geração de resíduos sólidos, Silva e Fernandes (2012) afirmam que o setor consome excessivamente recursos naturais e ainda geram um volume significativo de resíduos, entre 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados nos centros urbanos são originados no setor da construção civil. Tornando-se necessário a implantação do conceito de sustentabilidade para frear os impactos gerados no meio ambiente e permitir que o setor continue se expandindo.

Boff (2016), define o conceito de sustentabilidade como

[...] o conjunto dos processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e a integridade da Mãe Terra, a preservação dos seus ecossistemas com todos os elementos físicos, químicos e

ecológicos que possibilitam a existência e a reprodução da vida, o atendimento das necessidades da presente e das futuras gerações, e a continuidade, a expansão e a realização das potencialidades da civilização humana em suas várias expressões.

A reutilização de resíduos e a diminuição de desperdícios em obras, considerando o uso cauteloso de matérias-primas, o conceito de sustentabilidade aplicado na construção civil traz inúmeras vantagens às empresas e usuários do setor, incluindo uma economia a longo prazo, tendo em vista que a otimização de etapas, a contenção na geração de resíduos e a utilização mais inteligente dos insumos no canteiro ocasiona uma redução de gastos.

Além desses benefícios, existem também os incentivos fiscais, cada vez mais comuns nas práticas ecológicas do segmento. Como por exemplo, o Projeto de Lei 640/11, do deputado Marcelo Matos (PDT-RJ), analisado pela Câmara que estabelece normas para a reutilização e reciclagem de resíduos da construção civil, além de oferecer benefícios às empresas que adotarem tal ideia, a proposta também dita que, a participação em licitações de obras públicas, as empresas de construção civil precisaram comprovar o uso de resíduos reciclados.

A Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002, on-line) define resíduos da construção civil (RCC), como:

[...] os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Dentre os RCC, está o papel Kraft encontrado nas embalagens de cimento, muito presente na construção civil. Classificado pela resolução do CONAMA 307/2002 como um resíduo classe B, esse material deve ser reutilizado, reciclado ou encaminhado às áreas de armazenamento temporário, sendo propensos a sua utilização ou reciclagem futura. Porém, uma grande quantidade desse material utilizado é descartada de forma inadequada, tornando importante que o setor se adapte a iniciativas sustentáveis para mitigar os impactos ao meio ambiente.

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), foram vendidos 4,7 milhões de toneladas de cimento em dezembro de 2020, o que significa um crescimento de 16,6% se comparado ao mesmo mês de 2019, todo esse material é comercializado em embalagem produzida à base de papel kraft. Considerando o viés sustentável, a construção civil tem gerado alternativas às necessidades e demandas do cenário e mercado atual. A reciclagem e o reaproveitamento desses resíduos con-

tribuem de forma eficaz para a sustentabilidade, tendo em vista que essa prática reduz o descarte inadequado desses resíduos no meio ambiente.

De acordo com Matuti e Santana (2019) quando os resíduos sólidos são manejados adequadamente, passam a ter valor comercial e permitem serem usados na forma de novas matérias-primas ou novos insumos para sua melhor destinação. Portanto, o desenvolvimento de novos materiais de construção, partindo da reutilização de resíduos da construção civil, é um aliado importante na implantação do conceito de sustentabilidade no setor.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um bloco sustentável, produzido a base resina, um catalisador e de uma fibra obtida dos resíduos de papel Kraft oriundos da construção civil, a fim de analisar as características e propriedades deste material e sua aplicabilidade na construção civil por meio dos testes de compressão, ensaio de determinação das dimensões e ensaio de determinação do índice de absorção de água.

## 2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido utilizando um tipo de pesquisa quantitativa, que segundo Appolinário (2011), é quando as variáveis predeterminadas podem ser expressas numericamente e analisadas com métodos quantitativos. Utilizou-se também a metodologia de pesquisa experimental a qual para Lozada e Nunes (2022), ocorre com a definição de variáveis com intuito de influenciar o elemento, determinar formatos de controle e por fim analisar as consequências de cada variável.

Como dito anteriormente, o trabalho se propõe a produzir um bloco ecológico, partindo do princípio de reutilização de embalagens de cimento descartadas e que tem como matéria-prima os seguintes materiais: Resina Poliéster, Catalisador, Fibra de papel kraft, Talco Mineral, Álcool desmoldante e Água.

Inicialmente o bloco foi desenvolvido visando seu uso em alvenaria de vedação. Utilizado apenas para separação de ambientes internos e não é dimensionada para resistir a esforços estruturais. Existem dois tipos de vedação: a tradicional e a racionalizada.

A tradicional não utiliza projeto de alvenaria por isso está sujeita a contratemplos durante a execução da obra, contendo mão de obra de pouca qualificação tendo resultado que não era esperado, usando a prática do retrabalho. havendo desperdício de materiais quebra de tijolos na obra, sendo utilizadas marretas e picaretos para fazer rasgos nas paredes para fazer as instalações em geral, sendo de água ou elétrico, causando entulhos da obra (PAULUZZI, 2020).

Enquanto na racionalizada, é feito um projeto contendo todos os contratemplos que podem existir e planos para que não haja desperdício na obra nem refazendo o trabalho já feito, tendo o seu resultado final desejado e com isso tendo uma obra eficiente e capaz de entregar a tempo. Sendo feito treinamento de mão de obra, com a utilização de blocos de melhor qualidade, com furos na vertical para a passagem de instalações.

A fibra de papel Kraft, é de fabricação própria e foi obtida por meio da utilização de embalagens de cimento coletadas em obras e empresas da construção civil. Para

produção da fibra do papel kraft, primeiramente a embalagem é lavada para que seja retirado o restante de cimento presente, a embalagem é cortada de forma manual com o auxílio de tesoura, em pequenos pedaços com aproximadamente 4 cm quadrados, a fim de facilitar no momento da trituração.

Os pedaços da embalagem foram processados com água, utilizando um liquidificador, com o intuito de obter-se uma polpa. Em seguida, foi retirado aos poucos o excesso de água manualmente, por fim espalhou-se a matéria em uma forma de alumínio e foi levado à estufa a uma temperatura de 100 °C, por 2 horas, para a retirada de toda a umidade. Após esse procedimento o papel kraft completamente seco foi processado novamente no liquidificador, obtendo-se assim a fibra utilizada na confecção do bloco sustentável.

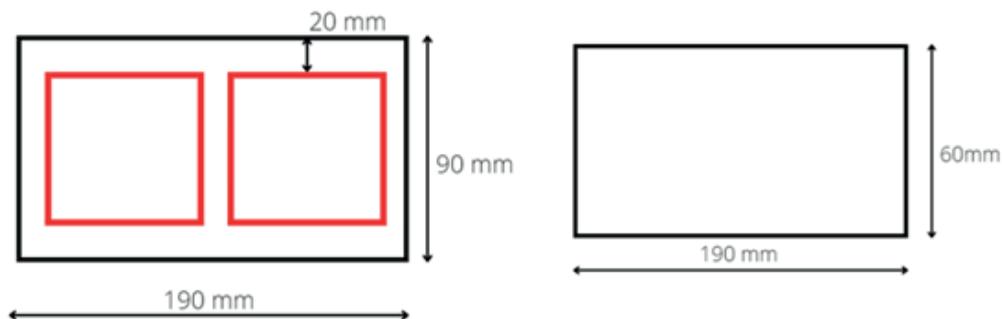
**Figura 1** – Esquema representativo da sequência de produção para obtenção de fibra de papel Kraft



Fonte: Autoria própria.

Uma embalagem de cimento portland de 50 Kg produz fibra suficiente para produção de seis blocos ecológicos. Com a fibra e os materiais prontos, foram confeccionados diversos protótipos a fim de analisar e encontrar o traço que atende as especificações da NBR 6136 (ABNT, 2016) que trata de blocos vazados de concreto simples para alvenaria, tendo em vista que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não possui norma específica para a peça em teste.

Para a fabricação do bloco, foi confeccionada uma forma, utilizando a madeira madeirite plastificado, escolhida por ser madeira de reflorestamento e apresentar superfície lisa, com dimensões de 19 x 9 x 6 cm, (sendo comprimento, largura e altura respectivamente) com espessura da parede de 2 cm e furo com 30 cm<sup>2</sup>, dimensionada semelhante às exigências da NBR 6136 (ABNT, 2016) e pensou-se em ser vazado, para que durante sua aplicação seja possível aproveitar os furos para a passagem das instalações.

**Figura 2** – Vista superior e lateral da forma do bloco

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a NBR 6136 (ABNT, 2016, 10p), fica evidente que a peça em teste é semelhante ao que a norma chama de bloco vazado de concreto simples, que é definido como “componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta”. A norma define, ainda, área bruta como, “área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios” e área líquida como “área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios”.

Os blocos devem ter arestas vivas e não devem apresentar rachaduras, quebras ou outros defeitos que possam afetar seu posicionamento ou afetar a resistência e durabilidade da estrutura não sendo autorizadas reparações que possam acobertar quaisquer defeitos que o bloco possa ter.

Com as formas finalizadas, iniciou-se então o processo de fabricação do bloco. Foram pesados cada material em uma balança para obter a massa exata dos mesmos, inicialmente foi adicionado em um recipiente a 700g de resina, o 232,5g de talco mineral e a fibra de papel kraft, até obter-se uma mistura homogênea, por fim, foi adicionado 19,25ml de catalisador, responsável por acelerar o tempo de pega.

Após adicionados todos os materiais, a mistura é adicionada na fôrma, na qual já foi aplicada o álcool desmoldante, e durante essa etapa é necessário a aplicação de pequenos golpes com o intuito de eliminar a presença de vazios, após passado o tempo de 2 horas inicia-se então o processo de desforma. Todos os protótipos seguem a mesma sequência, alterando-se apenas a porcentagem de fibra presente no traço, sendo elas de 0, 10, 15, 25, 35 e 50 por cento em relação ao volume total da mistura.

Durante o processo de fabricação, foi-se adicionado isopor em pérolas com diâmetro de 25 mm, a fim de tornar possível reduzir o volume de resina utilizada, o que diminuiria o custo unitário do bloco. Também foram realizados teste com pigmentos adicionados junto à mistura adicionada à forma, a fim de que durante a utilização do bloco ecológico em alvenaria elimine etapas de acabamento.

Com os protótipos prontos, iniciou-se então a etapa de testagem laboratorial para determinar as propriedades físicas e mecânicas. Foram realizados os ensaios de compressão, de determinação das dimensões e ensaio de determinação do índice de

absorção de água, todos seguindo a ABNT NBR 12118 (ABNT, 2013) que trata sobre os métodos de ensaio dos blocos vazados de concreto.

A análise dimensional foi feita utilizando um paquímetro calibrado e com resolução mínima de 0,05 mm, foram feitas 3 medições de altura, largura e comprimento em pontos diferentes das faces em todas as dimensões. Também foi medida a espessura de todas as paredes do bloco, tendo sido realizadas duas medidas em cada parede longitudinal e uma em cada parede transversal e por fim mediuse a dimensão dos furos do bloco. As dimensões obtidas devem corresponder às dimensões presentes na Tabela 1.

**Tabela 1** – Dimensões nominais

Família		20 x 40	15 x 40		12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta Inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
Meia Canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-		

Fonte: Adaptado da NBR 6136 (ABNT, 2016).

Os dados presentes na Tabela 1 possuem tolerância de mais ou menos 2,0 milímetros nos valores referentes a largura e de mais ou menos 3,0 milímetros para valores de altura e comprimento. Para determinação da espessura mínima das paredes do bloco devem atender a Tabela 2, com tolerância de 1,0 milímetro em cada medida individual.

**Tabela 2** – Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos

Classe	Largura nominal mm	Paredes Longitudinais mm	Paredes transversais	
			Paredes	Espessura equivalente
A	190	32	25	188
	140	25	25	188

Classe	Largura nominal mm	Paredes Longitudinais mm	Paredes transversais	
			Paredes	Espessura equivalente
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

Fonte: Adaptado da NBR 6136 (ABNT, 2016).

Para determinar os índices de absorção de água, executou-se primeiro a secagem do bloco, os corpos de prova foram submetidos à estufa a uma temperatura de mais ou menos 105 °C por 24 horas. Após esse período de tempo, o bloco foi pesado, a massa foi registrada e então retornou-se a estufa. Esse processo foi repetido a cada 2 horas até que em duas pesagens sucessivas a diferença de massa não seja maior que 0,5% se comparado ao valor anterior. Após o processo de secagem, iniciou-se o processo de saturação.

Os corpos de prova foram resfriados de forma natural, troca de calor com o meio, atingindo então a temperatura ambiente. Em seguida, foram inseridos em um tanque com água à temperatura de mais ou menos 23°C, ficando submersos durante 24 horas. Por fim, os corpos de prova foram retirados do tanque, eliminou-se a água superficial visível e foram pesados novamente e a massa foi registrada.

Após a conclusão do teste de absorção de água, iniciou-se então os testes de resistência à compressão, que foram realizados no laboratório do Centro de Tecnologia em Engenharia e Arquitetura (CTEA), com auxílio de uma prensa com características que atendam à ABNT NBR NM ISO 700-1.

A NBR 12118 (ABNT, 2013), sugere que os corpos de prova tenham suas faces regularizadas por meio de retífica, com pastas ou argamassas para realização do ensaio, porém o bloco já possui superfície lisa e por isso essa etapa foi descartada. Por fim os blocos foram colocados na prensa e submetidos a carga na direção em que receberão os esforços quando utilizados em alvenaria. A norma diz ainda que os corpos de prova devem ser posicionados na prensa de maneira em que o centro de gravidade dos mesmos seja alinhado ao eixo de carga dos pratos da prensa.

Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), os blocos vazados de concreto precisam atingir os limites de retração linear por secagem, resistência e absorção determinados conforme Tabela 3.

**Tabela 3** – Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial MPa	Absorção%				Retração %
			Agregado normal		Agregado leve		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

Fonte: Adaptado da NBR 6136 (ABNT, 2016).

Após a realização do ensaio é preciso determinar o valor estimado da resistência característica à compressão ( $f_{bk,est}$ ), por meio da Equação 1:

$$f_{bk,est} = 2 \left[ \frac{f_{b1} + f_{b2} + f_{b3} + \dots + f_{b(i+1)}}{i - 1} \right] - f_{bi}$$

Eq. 1

sendo,

$i = n/2$ , se  $n$  for par;

$i = (n-1)/2$ , se  $n$  for ímpar;

onde,

-  $f_{bk,est}$  é a resistência característica da amostra em megapascal;

-  $f_{b1}, f_{b2}, f_{b3}, \dots, f_{b(i+1)}$  são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova, ordenados de forma crescente;

-  $n$  é a quantidade de blocos da amostra.

O valor de  $f_{bk,est}$  não pode ser menor que  $\psi \cdot f_b(1)$ , considerando para os valores presentes na Tabela 4, relacionados com a quantidade de blocos utilizados como amostra.

**Tabela 4** – Valores de  $\psi$  em função da quantidade de blocos

Quantidade de Blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
$\psi$	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: Adaptado de NBR 6136 (ABNT, 2016).

A norma diz ainda que, em estruturas abaixo do nível do solo, é indicado o uso de blocos Classe A. Os blocos Classe C com função estrutural, com largura de 90 milímetros, podem ser utilizados em edificações de no máximo um pavimento, e os blocos Classe C com função estrutural, com largura de 115 mm, podem ser utilizados em estruturas com no máximo dois pavimentos. E caso os blocos possuam largura de 65 milímetros, são restritos ao uso em alvenaria sem função estrutural.

Para finalizar, foi realizado um levantamento de custos para produção do bloco sustentável, a fim de possibilitar comparação com os custos relacionados à comercialização do bloco de concreto vazado de Classe C com dimensões de 14 x 19 x 39 cm (sendo comprimento, largura e altura respectivamente), tais valores foram obtidos por meio de uma pesquisa de mercado feita em lojas de materiais de construção com catálogos disponíveis de forma virtual.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi observado que 10 minutos depois, após serem adicionados à fôrma, os componentes começaram a reagir, ocorrendo então uma dilatação térmica, iniciada pelo contato do catalisador com a resina, acelerando o processo de pega, portanto, pode-se observar que quanto maior a quantidade de catalisador adicionado mais rápido se dá o processo de endurecimento da peça. Apesar de aparentar ser uma propriedade física totalmente benéfica, o fato de se ter um enrijecimento muito acelerado pode gerar trincas e fissuras no bloco, reduzindo a sua capacidade de resistência e, conseqüentemente, ocasionando a perda da peça.

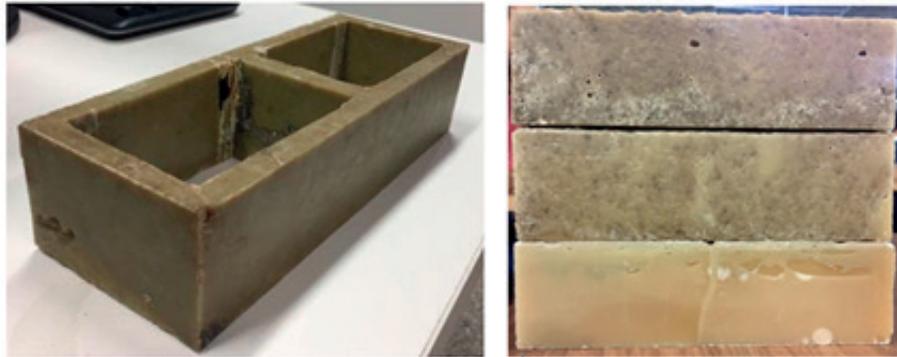
**Figura 3** – Forma confeccionada em madeirite plastificado vazia e preenchida



Fonte: Autoria própria.

No momento de desenformar o bloco, notou-se a existência de um problema, a parte da fôrma que torna o bloco vazado, ficou agarrada à resina e foi preciso quebrar tal parte da fôrma, com o auxílio de uma furadeira para que o bloco pudesse ser totalmente desformado, com isso, na produção de peças futuras foi adicionado o uso de papel alumínio em torno dessa região da fôrma, destacada em vermelho na Figura 2, como teste, a fim de facilitar a desforma do bloco.

**Figura 4** – Vista superior e lateral dos protótipos prontos e desformados com diferentes quantidades de fibra de papel kraft em sua composição



Fonte: Autoria própria.

Nos protótipos em que foram realizados os testes com isopor em pérolas com diâmetro de 25 mm, notou-se que seria inviável tal uso, pois as reações químicas desencadeadas entre o isopor e o catalisador presente na mistura, tornaram impossível o uso do material no bloco. Porém, quanto ao teste com pigmentos, notou-se que é possível a produção dos blocos com cores específicas, tendo em vista que possuem superfície lisa, eles podem ser utilizados de forma aparente e serem produzidos de acordo com o projeto arquitetônico, o que eliminaria etapas de acabamento, como chapisco, reboco, emboço e pintura.

**Figura 5** – Protótipo do bloco sustentável desenvolvido utilizando pigmentação azul



Fonte: Autoria própria.

Após a conclusão da etapa de desforma das peças, iniciou-se o processo de testagem da amostra, iniciando com o processo de análise dimensional, para o qual utilizou-se 3 blocos como corpos de prova, obtendo-se então os seguintes valores.

**Tabela 5** – Análise dimensional com média das determinações executadas expressas em milímetros

Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)
1	89,93	60,2	187,817
2	90,82	59,12	188,75
3	90,22	60,3	190,1

Fonte: Autoria própria

A espessura equivalente mínima, se dá por meio da soma de todas as medidas das paredes transversais dos blocos dividido pelo comprimento real do bloco, em metros, conforme a Equação 2 de acordo com a NBR 12118 (ABNT, 2013).

$$e_{eq} = \frac{\sum e_{ti}}{l_{real}}$$

Eq. 2

$$e_{eq} = \frac{(22,32 + 20,39 + 19,38)}{0,19} = 326,79 \text{ mm / m}$$

Á área bruta do bloco, desconsiderando a área aberta, é igual a 17029,03 mm<sup>2</sup> e foi encontrada de acordo com a equação 3:

$$A_b = b \times l$$

Eq. 3

sendo *b*, o valor real da largura das amostras e *l* o comprimento real das amostras, ambos expressos em milímetros. A espessura mínima da parede longitudinal, foi igual a 20,04 mm, encontrada por meio da média das paredes longitudinais medidas, enquanto a da parede transversal foi de 20,76 mm, calculada pela média das paredes transversais medidas.

Com os resultados obtidos após a análise dimensional, notou-se que a forma confeccionada foi eficiente, as medidas reais do bloco foram próximas das medidas pensadas durante a produção das formas e observou-se, também, que o bloco ecológico se aproxima do mínimo exigido para blocos de concreto vazados classificados como Classe C, conforme dados presentes na Tabela 2.

O que permite que além do uso em alvenaria de vedação, o mesmo seja empregado, também, em função estrutural, tendo em vista que apresenta largura de 90 milímetros, porém a norma regulamentadora só recomenda seu uso em edificações de no máximo um pavimento.

O ensaio seguinte foi o de determinação dos índices de absorção de água, obtendo-se, então, os dados expostos na Tabela a seguir, onde *M* inicial, é a massa antes

das amostras serem submetidas à estufa,  $M_{24h}$ , é a massa obtida após 24 horas em estufa,  $M_i$  é a massa da amostra após um intervalo de 2 horas da primeira pesagem e  $M_{saturada}$  é a massa obtida após as amostras serem submersas por 24 horas em tanque com temperatura da água controlada:

**Tabela 6** – Massas em gramas obtidas durante o ensaio de Determinação de absorção de água

Amostra	Massa inicial	Massa após 24 h	M1	Massa saturada
1	819,4	814,7	814,6	818,3
2	792,6	786,2	786,1	795,5
3	767,4	759,5	759,3	770,9

Fonte: Autoria própria.

Ao se comparar os resultados obtidos neste estudo com o disposto pela NBR 12118 (ABNT, 2013), os índices de absorção de água de cada corpo de prova é obtido pela seguinte Equação 4:

$$a = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Eq. 4

Sendo, a absorção total em porcentagem,  $M_1$  a massa do corpo em estufa em gramas,  $M_2$  é a massa saturada das amostras também expressa em gramas.

**Tabela 7** – Índices de absorção total de água obtidos em ensaio

Amostra	M1	M2	a
1	814,7	818,3	0,44%
2	786,2	795,5	1,18%
3	759,5	770,9	1,50%
		Média de absorção	1,18%

Fonte: Autoria própria.

O bloco ecológico, analisando os resultados com o que é exigido pela norma para blocos de classificados como classe C, está apto aos requisitos de índices de absorção de água, a mesma exige que a absorção seja menor que 11% nas medições individuais e menor que 10% na média, os valores obtidos nas amostra tes-

tadas foram bem abaixo do exigido. Por fim, foi realizado o teste de resistência à compressão dos corpos de provas e obteve-se, então, os resultados que podem ser observados na Tabela 8.

**Tabela 8** – Resultados dos testes de resistência à compressão

Porcentagem de Fibra de Papel Hraft	Resistência à compressão (MPa)
0	4,967
10	4,736
15	5,193
25	-
35	6,818
50	8,876

Fonte: Autoria própria.

**Figura 6** – Prensa utilizada para execução do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autoria própria.

**Figura 7** – Bloco após rompido pela prensa em ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autoria própria.

Após registrados os valores de resistência a compressão, iniciou-se o processo para determinação do utilizando a Equação 1, foi considerado a amostra com 6 blocos, portanto n igual a 6 e i igual a 3.

$$f_{bk,est} = 2 \left[ \frac{4,967 + 4,736 + 5,193 + 0 + 6,818 + 8,876}{3 - 1} \right] - 8,876$$

$$f_{bk,est} = 21,714 \text{ MPa}$$

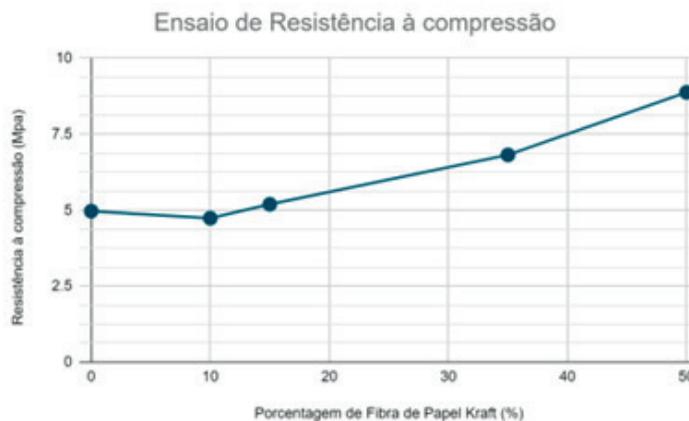
sendo,

$$\Psi \cdot fb1 = 0,89 \times 4,967$$

$$\Psi \cdot fb1 = 4,421 \text{ MPa}$$

Portanto, a resistência característica da amostra atende ao que é pedido na norma, tendo em vista que o valor obtido é maior que . Não foi possível realizar o rompimento do bloco com 25% de fibra, pois houve um problema durante a sua fabricação, pois não foi adicionado o catalisador, o que dificultou a pega da peça e por conta da composição diferente, tornando-se inviável a comparação com os demais protótipos. O Gráfico a seguir expressa os resultados dos corpos de provas rompidos.

**Gráfico 1** – Curva com resultados do ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autoria própria.

Por meio da curva do gráfico, é possível observar que o curso se apresenta de forma crescente em relação ao aumento da quantidade de fibra no bloco, fica claro que a fibra de papel Kraft é benéfica para a produção da peça, pois, é possível observar que a quantidade de fibra presente é diretamente proporcional à resistência, à compressão. Com os resultados apresentados no gráfico, o bloco sustentável obteve uma resistência bastante satisfatória comparado ao bloco de concreto convencional, segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016) os blocos vazados de concreto com ou sem função estrutural da classe C, devem ter a resistência característica à compressão axial maior ou igual a 3 MPa, valor o qual foi superado em todos os protótipos testados.

Após realizado pesquisa de mercado, observou-se que o bloco de concreto vazado de Classe C com dimensões de 14 x 19 x 39 cm (sendo comprimento, largura e altura respectivamente), é comercializado com uma média de preço de R\$ 3,75 de acordo com os fornecedores Sodimac, Duca Casa & construção, Brutools e Obramax. De acordo com a Tabela 9, o bloco ecológico possui um custo unitário de cerca de R\$ 4,92.

**Tabela 9** – Levantamento de custos para produção de seis blocos ecológicos

Insumo	Valor	UND
Forma de madeira madeirite plastificado	R\$ 10,00	UND
Resina Poliéster	R\$ 13,00	Kg
Catalisador	R\$ 5,00	500 ml
Talco Mineral	R\$ 1,50	Kg
<b>Custo para produção de 6 blocos</b>		R\$ 29,50
<b>Custo Unitário do bloco ecológico</b>		R\$ 4,92

Fonte: Autoria própria

O bloco ecológico possui um valor unitário maior que o bloco de concreto vazado convencional, porém é necessário observar que a análise foi feita conforme a produção de apenas seis blocos, enquanto o valor do bloco de concreto convencional é calculado considerando sua produção em larga escala, o que consequentemente reduz o seu custo final.

## 6 CONCLUSÕES

Portanto, compreende-se que o bloco traz benefícios para a construção civil e toda a sociedade, pois é uma solução válida no enfrentamento aos impactos ambientais gerados pelo setor e é ainda um produto inovador e sustentável, que apresentou boa resistência e traz consigo alguns benefícios, como por exemplo a não exigência de acabamento como chapisco, emboço e reboco, pois dispõe de uma superfície lisa e pode ser pigmentado, o que agrega vantagens na relação custo\benefício do produto.

A peça possui um processo de fabricação fácil, com um baixo tempo de pega, de apenas duas horas e demonstrou nos testes resistir à compressão necessária para atuar como bloco de vedação, atingindo até 8,876 MPa e ainda demonstrou bons níveis de absorção de água. O produto, provou ser viável a sua produção e comercialização, porém, é necessária a continuação do projeto para análise de outras concentrações, visando a obtenção do ponto ótimo para tensão e consequentemente, reduzindo o valor do bloco.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **12118**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 14p.
- BITTAR, Rodrigo. **Proposta beneficia empresas de construção que reciclarem entulho**. 2011. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/218657-proposta-beneficia-empresas-de-construcao-que-reciclarem-entulho/>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é - o que não é**. 5. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2016.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**: gestão dos resíduos da construção civil. 2002. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=108894>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- DA SILVA, V. A.; TEIXEIRA FERNANDES, A. L. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG / Scenario of waste management of construction and demolition (CDW) in Uberaba, Minas Gerais (Brazil). **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/14681>. Acesso em: 13 set. 2022.
- PAULUZZI. **Alvenaria de vedação racionalizada**. 2020. Disponível em: <https://pauluzzi.com.br/alvenaria-de-vedacao/>. Acesso em: 15 set. 2022.
- PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Vendas de cimento crescem 11% em 2020**. 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/vendas-de-cimento-crescem-11-em-2020/>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- RESÍDUOS, Vg. **Resíduos da construção civil: construindo valores de sustentabilidade**. 2020. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-da-construcao-civil-construindo-valores-desustentabilidade/#:~:text=Com%20rela%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de,setor%20s%C3%A3o%20geradoras%20de%20entulho..> Acesso em: 21 jun. 2022.

---

**Data do recebimento:** 9 de Abril de 2023

**Data da avaliação:** 29 de Outubro 2023

**Data de aceite:** 29 de Novembro de 2023

---

---

1 Engenharia Civil, Universidade Tiradentes. E-mail: [filipe.pereira@souunit.com.br](mailto:filipe.pereira@souunit.com.br)

2 Universidade Tiradentes, E-mail: [jean.lima12@hotmail.com](mailto:jean.lima12@hotmail.com)