



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

**REJANE PENHA COIMBRA
RONEY AUGUSTO OTONI**

**TESTE COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE
PROVA DE CONCRETO TRADICIONAL E CORPOS DE PROVA DE CONCRETO
COM RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO**

**BARBACENA/MG
2022**

**REJANE PENHA COIMBRA
RONEY AUGUSTO OTONI**

**TESTE COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE
PROVA DE CONCRETO TRADICIONAL E CORPOS DE PROVA DE CONCRETO
COM RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – FUPAC, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Emanuel Bomtempo Matos

BARBACENA/MG**2022**

COIMBRA, Rejane Penha; OTONI, Roney Augusto. **Teste comparativo de resistência à compressão de corpos de prova de concreto tradicional e corpos de prova de concreto com resíduo de vidro temperado**. Barbacena: 2022. 16p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Centro Universitário Presidente Antônio Carlos.

Resumo: Este trabalho tem como foco a prática da sustentabilidade na construção civil e apoia o estudo de materiais inovadores na construção civil. Analisa-se o uso de aparas de vidro temperado em vez de britas em concretos. Os concretos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão axial aos 28 dias. Os resultados permitiram avaliar alterações nas propriedades do concreto equiparando com um traço referência. Portanto, nesta pesquisa, acredita-se que substituir o agregado graúdo por resíduo de vidro em um teor de até 100% seja viável, visto que tal percentual é encontrado em grande escala, podendo gerar considerável redução dos impactos ambientais no descarte irregular e devido ao aumento da resistência à compressão quando comparado ao concreto de referência.

Palavras-chave: Concreto. Sustentabilidade. Resíduo de Vidro.

Abstract: This work focuses on the practice of sustainability in civil construction and supports the study of innovative materials in civil construction. The use of tempered glass shavings instead of crushed stone in concrete is analyzed. The concretes were subjected to axial compression strength tests at 28 days. The results allowed the evaluation of changes in the properties of the concrete, equating it with a reference mix. Therefore, in this research, it is believed that replacing the coarse aggregate with glass waste in a content of up to 100% is feasible, since this percentage is found on a large scale, which can generate a considerable reduction of environmental impacts in the irregular disposal and due to the increased compressive strength when compared to reference concrete.

Keywords: Concrete. Sustainability. Glass waste

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento da construção civil tem constituído um dos principais setores da crescente atividade econômica do nosso país. A razão pela qual a indústria da construção pode impulsionar o crescimento econômico se deve à proporção do valor agregado das atividades da indústria no valor agregado total, ao efeito multiplicador que produz e à interdependência estrutural. Além de impulsionar o crescimento econômico, a construção civil também interfere na geração de empregos, o que contribui para o crescimento do Produto Interno Bruto - PIB brasileiro (PINHEIRO, 2020).

Além de contribuir com o crescimento do PIB e proporcionar a evolução de toda a sociedade, cresce também o número de resíduos gerados por todos os processos construtivos da engenharia civil. São considerados resíduos, materiais provenientes de demolições, escavações de terrenos que, de maneira mais comum, são conhecidos por entulhos (CONAMA, 2002).

Conhecer e definir a destinação destes resíduos da construção passa e ser de suma importância, visto que um controle dos mesmos contribui para a qualidade de vida da sociedade, além de impulsionar estudos para definir utilizações em outros materiais ou cenários antes nunca utilizados (OLIVEIRA, et al, 2020).

Visto que a reutilização de resíduos e a reaplicação em diferentes cenários traz consigo benefícios para o meio ambiente e sociedade, este trabalho teve como finalidade a comparação de desempenho do concreto tradicional, composto por um agregado miúdo conhecido por areia lavada e agregado graúdo de pedra britada, com o concreto onde foi substituída, em sua totalidade, a pedra britada por resíduo de vidro temperado, frente a testes de resistência a compressão axial com tempo de cura de 28 dias, embasado nas normas brasileiras, analisando a viabilidade técnica e econômica do uso desse material.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 O Concreto na construção civil

O concreto é a mistura composta de cimento, areia, pedras britadas e água, pode-se ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições. É oriundo de reações químicas de liberação de calor, que são ocasionadas pela mistura homogênea de cimento, agregados graúdos e miúdos e água (NEVILLE, 2016).

O cimento, material imprescindível aos concretos, tem a propriedade aglomerante, isto é, combinar agregados miúdos, que são as areias, com os agregados graúdos, que são as pedras britadas, formando um material rígido e com propriedades especiais para a construção civil (PETRUCCI, 1998).

Segundo Bauer (2019), o que torna o concreto um material amplamente utilizado nas construções civis são:

- Trabalhabilidade;
- Resistência à água
- Plasticidade
- Menor consumo de energia em relação a outros materiais;
- Baixo custo;
- Fácil acesso;
- Resistência térmica;
- Resistência à compressão.

Ainda conforme Bauer (2019), as propriedades do concreto podem ser alteradas, dependendo do tipo de cimento que é utilizado em sua fabricação, podendo assim influenciar diretamente na qualidade e homogeneidade da pasta.

Faz-se necessário observar a proporção correta dos aglomerantes, consumo de água e utilização de aditivos, levando em consideração também a correta forma de adensamento, manipulação e a cura do concreto, a fim de se obter um concreto com as características desejadas em projeto (PINHEIRO, 2020).

Para a determinação da resistência, estuda-se o f_{ck} , termo definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma NBR 6118 de 2014, como sendo a resistência característica do concreto à compressão. É uma variável de grande importância para a correta elaboração de projetos estruturais. Sua unidade no Sistema Internacional de Medidas (SI) é o Mega Pascal (MPa).

De acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2018), a resistência à compressão da peça, expressa em mega pascal (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando-se o resultado pelo fator p , valor tabulado que é em função da altura da peça, sendo para tal usada equação (1):

$$f_{cd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \quad (1)$$

0.1. Resíduos na construção civil

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define resíduo sólido como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível [...] (BRASIL, 2010, p.3).

O setor da construção civil é um dos principais consumidores dos recursos naturais, além de ser gerador de um grande volume de resíduos. Analisando o fator ambiental, esse setor se torna ainda mais preocupante. As práticas utilizadas nesse setor com ideias sustentáveis possuem o mesmo objetivo que é o uso racional dos recursos naturais, em especial, o reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados (STEIN et al, 2022).

Os resíduos gerados pela construção civil durante os processos de construção e demolição, geralmente são considerados sem utilidade, causadores de diversos problemas ambientais quando não dispostos em local adequado. Como alternativa para reciclagem desses resíduos, o autor cita que os mesmos podem ser utilizados em obras de pavimentação, na confecção de concreto, argamassas entre outros (TELLES, 2022).

Para um destino adequado dos resíduos sólidos e a necessidade de preservação do meio ambiente, visando a sustentabilidade, é necessário desenvolver materiais alternativos. Segundo Stein et al (2022), os profissionais da construção civil são responsáveis por adequar os princípios da construção sustentável ao cotidiano. O resíduo de vidro ainda apresenta uma baixa taxa de reciclagem, embora apresente um tempo estimado de decomposição de aproximadamente quatro mil anos (RIBEIRO, 2021).

0.2. O material vidro: fabricação e utilização

O vidro é uma substância inorgânica, sem estrutura atômica definida e fisicamente homogênea, podendo ser encontrado no resfriamento de uma massa em fusão ou no aquecimento de óxidos ou derivados, em temperaturas que podem variar entre 1500°C e 1600°C. Com essa elevada temperatura o vidro se torna fluido, podendo ser moldado em diferentes formatos, e após essa etapa são resfriados em condições controladas (TOLENTINO, 2019).

Após o vidro passar pelo processo de arrefecimento controlado, o mesmo se transforma em um material rígido, homogêneo, inerte, amorfo e isotrópico, tendo como uma de suas principais qualidades ser moldável a elevadas temperaturas, sem que ocorra qualquer tipo de degradação ao material. Além disso, o vidro pode ter características como a transparência e a dureza, essas que o distinguem de outros materiais por tais características, sem ser um material poroso e nem absorvente, possuindo um índice de dilatação e condutividade térmica baixo, sendo um ótimo isolador (GOTO, 2019).

As fases de fabricação e pós fabricação dos elementos vítreos exigem um controle adequado da temperatura, o que favorece a utilização do gás natural, sendo aplicado em fornos de fusão, de têmpera, queima e linha de choque térmico (MARQUES, 2012).

Segundo Thomas e Adorno (2018), após o término do processo de fabricação do vidro, o mesmo pode ser comercializado diretamente ao consumidor final, como grandes empresas, distribuidores, lojas ou até mesmo para o público em geral. Além de ser utilizado em sua forma tradicional de produção, o vidro pode ter suas propriedades específicas alteradas, apenas passando por um processo de tratamento.

Segundo dados da ABIVIDRO (2022), estima-se que o Brasil produz em média 800.000 toneladas de vidro por ano, sendo que desse total 220.000 toneladas/ano são recicladas, o que corresponde a 25,8% do total gerado.

De acordo com GOTO (2019), a quantidade de vidro descartado nos aterros e lixões do Brasil corresponde a 4% do total de resíduos gerados.

O vidro temperado possui uma resistência cinco vezes maior comparado ao vidro float.

Diante deste tema, uma alternativa para a reutilização/reciclagem do vidro é a sua incorporação no concreto, visando à manutenção das propriedades mecânicas, além de atentar-se também à questão sustentável. A utilização de vidro na composição do concreto vem sendo bastante explorada. Ribeiro (2021) avaliou a resistência à compressão em concretos, e constatou um aumento de 60% nesta propriedade, o que, pelo vidro não ser absorvente, diminuiu a porosidade do concreto.

Pinheiro (2021) avaliou a potencialidade da utilização de vidro temperado para substituir o agregado graúdo, destacando as propriedades mecânicas dos concretos feitos com diferentes porcentagens de substituição e concluiu que, da forma que foram elaborados os ensaios e o uso dos materiais, houve uma melhoria das propriedades mecânicas, ressaltando que também não houve perda de resistência.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo exibir materiais e métodos utilizados no experimento que estudou a resistência de corpos de prova de concreto com a substituição da pedra britada por resíduos da fabricação do vidro temperado.

Para a elaboração dos procedimentos e fornecimento dos materiais, pôde-se contar com o apoio do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos, em

Barbacena – Minas Gerais e, para o ensaio à compressão dos corpos de prova, com a empresa CIMEC - CIMENTO E CONCRETOS LTDA, localizada na cidade de Barroso, MG. As aparas de vidro temperado utilizadas foram recolhidas da empresa MB TEMPER VIDROS LTDA, Barbacena, cujo descarte mensal aproximado é de vinte toneladas, oriundos dos processos de têmpera e corte do vidro, e descartados conforme legislação vigente.

Para a presente pesquisa foram produzidos corpos de prova de concreto convencional como referência e corpos de prova com o agregado vidro, objeto de estudo. A mistura do concreto de referência foi composta por cimento Holcim CP II – Ultra Forte, agregado miúdo (areia lavada) e agregado graúdo (pedra britada) (FIG. 1). Para a mistura do concreto modificado, o agregado graúdo foi substituído em sua totalidade por aparas de vidro temperado (FIG. 2). Com a utilização da betoneira os materiais foram misturados até se obter uma mistura homogênea.

O objetivo da pesquisa foi a comparação de resistência dos corpos de prova ditos como referência com os corpos de prova moldados com aparas de vidro. Não foi contemplado neste trabalho a caracterização dos agregados utilizados, mas todos os corpos de prova foram moldados seguindo o traço de 1:3:3, medido em gramas, igual para todos os corpos de prova, utilizando-se os mesmos agregados. Portanto as características dos agregados não tiveram interferência no estudo da comparação de resistência.

Figura 1: Materiais utilizados na moldagem dos corpos de prova



Fonte: os autores (2022)

Figura 2: Separação das aparas de vidro temperado



Fonte: os autores (2022)

Para a moldagem dos corpos de prova de referência e dos corpos de prova objeto de estudo foram utilizadas as seguintes proporções, conforme a TABELA 1 e TABELA 2.

Tabela 1 – Componentes e quantidades da mistura de referência

Corpo de prova referência	Componentes e suas quantidades			
	Cimento (g)	Areia (g)	Brita (g)	Água (ml)
	800	2400	2400	400

Fonte: os autores (2022)

Tabela 2 – Componentes e quantidades da mistura modificada

Corpo de prova modificado por aparas de vidro	Componentes e suas quantidades			
	Cimento (g)	Areia (g)	Aparas de vidro (g)	Água (ml)
	800	2400	2400	400

Fonte: os autores (2022)

Foram moldados três (3) corpos de prova de referência e três (3) corpos de prova com vidro. Os cilindros para moldagem possuem dimensões de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Após a preparação do traço, moldagem dos corpos de prova e desmoldagem (após dois dias de cura), os mesmos foram colocados em imersão de água para que ocorressem as reações necessárias até a data de realização dos ensaios (FIG. 3).

Os corpos de prova não apresentaram porosidade aparente, característica importante para a resistência à água (BAUER, 2019).

O ensaio de resistência à compressão seguiu a NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2018) sendo realizado no laboratório da empresa CIMEC. Os corpos de provas foram rompidos com idade de cura de 28 dias. O valor da força exercida no momento da ruptura indica a resistência máxima que o concreto suporta (FIG. 4). Antes da realização dos ensaios, os corpos de prova tiveram as faces retificadas para garantir planicidade das mesmas, a fim de não haver irregularidade que pudesse interferir nos resultados. Além disso foram coletadas as medidas dos diâmetros (transversalmente nas duas faces) e alturas dos corpos de prova.

Figura 3: Corpos de prova em imersão



Fonte: os autores (2022)

Figura 4: Máquina de ensaio de compressão do concreto com corpo de prova



Fonte: os autores (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As dimensões dos corpos de provas, assim como a força aplicada na máquina universal de ensaio até a ruptura dos corpos de prova e a resistência alcançada são indicadas nas TABELAS 3 e 4, tanto para os corpos de prova de referência quanto para os corpos de prova moldados com aparas de vidro, respectivamente.

Tabela 3 – Resultado do teste de compressão - Corpo de prova (CP) de referência

Identificação do Corpo de Prova de referência	Força medida no ensaio (kN)	Resistência em MPa	Diâmetro medido Ø 1 (mm)	Diâmetro medido Ø 2 (mm)	Altura do corpo de prova
CP 01	49,197	6,264	99,87	99,86	192,15
CP 02	41,619	5,299	99,74	99,79	195,72
CP 03	48,865	6,222	99,69	99,8	194,32

Fonte: os autores (2022)

Tabela 4 – Resultado do teste de compressão - Corpo de prova modificado

Identificação do Corpo de Prova com vidro	Força medida no ensaio (kN)	Resistência em MPa	Diâmetro medido Ø 1 (mm)	Diâmetro medido Ø 2 (mm)	Altura do corpo de prova
CP 04	58,925	7,503	99,85	99,81	194,09
CP 05	56,125	7,146	100,24	99,85	196,30
CP 06	55,833	7,109	100,24	99,91	196,88

Fonte: os autores (2022)

A TABELA 5 indica as resistências à compressão média dos corpos de prova de referência e dos corpos de prova com aparas de vidro.

Tabela 5 – Resistência média dos corpos de provas ensaiados

Corpos de prova ensaiados	Resistência média em MPa
Corpos de prova de referência	5,928
Corpo de prova com vidro	7,252

Fonte: os autores (2022)

Ao comparar os resultados da TABELA 5, observa-se que o concreto com a incorporação de resíduo de vidro apresentou aproximadamente 7,3 MPa de valor de resistência à compressão, valor superior à resistência e à compressão do concreto tradicional (5,9 MPa, aproximadamente).

Nota-se que a resistência à compressão de ambos apresentou um valor bastante inferior às resistências dos concretos convencionais, geralmente superiores à 15 ou 20 MPa. Neste experimento, a relação água/cimento foi estabelecida arbitrariamente, sem estudo prévio de umidade dos agregados, sendo um dos possíveis agravantes à queda geral de resistência, tanto para o concreto referência, quanto para o concreto com vidro. Mas, como relatado anteriormente, as proporções entre materiais foram mantidas, assim como a relação água/cimento, sendo possível ser realizado o comparativo entre resistências.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de resíduos da construção civil é uma das maneiras em que a sustentabilidade pode ser realmente colocada em prática. Muitos são os resíduos da construção civil, dentre eles, os vidros.

Os vidros podem considerados resíduos, mas até o momento, poucos são os estudos de sua reutilização. Foi constatado neste estudo que umas das possibilidades de sua reutilização consiste na incorporação ao concreto, em substituição ao agregado graúdo.

Os ensaios realizados confirmaram um acréscimo de resistência à compressão do concreto, comparado a um concreto padrão, quando incorporado à sua estrutura as aparas de vidro temperado.

Portanto, quando se analisa a resistência à compressão, à incorporação de vidro que poderia ser descartado de forma incorreta, na composição de concreto, apresenta-se como opção para o uso de resíduos de vidro na construção civil de maneira sustentável.

Deixa-se claro que somente o ensaio de resistência à compressão não é capaz de decretar a utilização do vidro em concretos. Ensaio complementares devem ser realizados para conhecer possíveis obstáculos e adversidades de sua utilização como por exemplo na pavimentação inter travada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIVIDRO. **Associação técnica brasileira das indústrias automáticas de vidro 2022**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/>>. Acesso em: 15 set 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro – 2018.

_____. - **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014

Bauer, L. A. Falcão. **Materiais de construção, v. 1**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 12 set. 2022.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). **Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002

GOTO, Hudson; Ribeiro, João Paulo Caixeta Centofante, Roberta. **Materiais da construção**. Porto Alegre: SER - SAGAH, 2019.

MARQUES, Fernando Rodrigues. Gás natural, inovação e economia de baixo carbono. **Revista Business School**. São Paulo, São Paulo, v. 7, n. 3, mar. 2012. Disponível em: Acesso em: 23 nov. de 2022.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888p.

OLIVEIRA, Larissa Jhennifer Conceição et al. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de resíduos na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24447-24462, 2020.

PETRUCCI, E. G. R.. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Globo, 1998.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Materiais de construção**. São Paulo: Erica, 2020.

Ribeiro, Bibiana Zanella. **Tecnologias na construção civil**. São Paulo: Platos Soluções Educacionais, 2021.

STEIN, Ronei Tiago Souza; GONÇALVES, Tamiris Fonseca de; PINTO Filipe Mattos; SILVA, Laysse Núbia de Oliveira; BARBOSA, Lilia Albuquerque da, ALVES, Nazaré. **Tratamento de minérios**. Porto Alegre: SAGAH, 2022.

TELLES, Dirceu D'Alkmin. **Resíduos sólidos**. São Paulo: Blucher, 2022.

THOMAS, Maurício; Adorna, Diego da Luz Schmitz, Rebeca Jéssica. **Construções especiais**. Porto Alegre: SER - SAGAH, 2018.

TOLENTINO, Nathalia Motta de Carvalho. **Processos químicos industriais**. São Paulo: Erica, 2019.