

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE VIDRO AUTOMOTIVO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

ARISTON SILVA MELO JÚNIOR ¹, KLEBER ARISTIDES RIBEIRO, ABRÃO CHIARANDA MERIJ, DIEGO HENRIQUE FURTADO, THAIS CONCEIÇÃO SANTOS, TUANE SILVA BARROS, SALVADOR DIAS SILVA

RESUMO

O crescimento dos grandes centros urbanos e o progresso impulsionado pela engenharia civil, sobretudo pela construção civil, torna importante o estudo de materiais recicláveis. A construção civil em todos os grandes centros urbanos é o ponto chave para impulsionar progresso e qualidade de vida ao homem. Para tanto, devido ao crescente aumento de lixo dos processos industriais é importante que o engenheiro civil do século XXI pense na sustentabilidade e na redução de custos dos processos produtivos. O uso de materiais recicláveis como vidro na mistura de concreto vem como um ponto interessante a ser estudo e implementado nos canteiros de obras. O presente trabalho teve como intuito estudar o processo de resistência à compressão e o módulo de elasticidade de corpos de prova de concreto com adição de diferentes porcentagens de vidro de origem de sucata automotiva, nas faixas de 3%, 6% e 9%. Durante o levantamento das curvas de compressão axial e módulo de elasticidade, respectivamente. As amostras com idades de estudo de 5 e 30 dias, os valores de variação de compressão e elasticidade foram de 1% a 5%, respectivamente, em se tratando do tipo de ensaio e também no grau de adição de vidro. Permitindo avaliar que o material adicionado no concreto não interfere e nem muda as propriedades de resistência, importantes para a construção civil.

Palavras chaves: Vidro, Edifício, Sustentabilidade, Resíduo, Concreto.

ABSTRACT

The growth of large urban centers and the progress made by civil engineering, especially by civil construction, make it important to study recyclable materials. Civil construction in all major urban centers is the key to driving progress and quality of life for man. For this reason, due to the increasing waste of industrial processes, it is

¹ Pós-Doutor em Materiais Cerâmicos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) da USP; Pesquisador colaborador da Universidade Estadual de Campinas e Professor do Departamento de Engenharia Civil do Complexo Educacional FMU. Contato: ariston.junior@fmu.br

important that the civil engineer of the 21st century think about the sustainability and cost reduction of the productive processes. The use of recyclable materials such as glass in the concrete mix comes as an interesting point to be studied and implemented at construction sites. The aim of this work was to study the compressive strength and modulus of elasticity of concrete specimens with different percentages of automotive scrap glass in the 3%, 6% and 9% bands. During the lifting of the axial compression curves and modulus of elasticity, respectively. Samples with study ages of 5 and 30 days, values of variation of compression and elasticity were of 1% to 5%, respectively, when dealing with the type of test and also the degree of addition of glass. Allowing to evaluate that the material added in the concrete does not interfere or change the resistance properties, important for civil construction.

Keywords: Glass, Building, Sustainability, Waste, Concrete.

INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das áreas de maior incremento para o desenvolvimento econômico e tecnológico de um país. Dessa forma, torna-se importante garantir que o novo engenheiro civil do século XXI aprenda a desenvolver novas e melhores formas de aproveitamento de materiais de forma a garantir e preservar o equilíbrio ambiental e garantir um custo minimizado das novas obras civis.

Segundo FERREIRA (2015) os materiais que são rejeitos em determinado segmento, podem ser matéria-prima em outro. Assim, é preciso que sejam adotados recursos tecnológicos que viabilizem o uso mais eficaz desses materiais, e um deles é a reciclagem. Isso porque, o uso da areia natural assim como o pó de pedra como agregado miúdo tem gerado a degradação do meio ambiente, além da escassez do produto nas proximidades dos grandes centros urbanos. Quanto mais distante está a fonte dessa matéria-prima, maior é o impacto no custo do produto final, tais como, concretos e argamassas.

Segundo ainda FERREIRA (2015) ao se analisar o impacto no custo do empreendimento, deve-se levar em conta o transporte do material e os custos ambientais pelo processo de extração de materiais em novas jazidas.

Para MEHTA e MONTEIRO (2008) quando se pensa no setor da construção civil, tem-se que levar em conta que se trata do setor com maior consumo de matérias-primas naturais.

A base dessas matérias-primas é sem dúvida a base que constitui a formação do concreto, que segundo estimativas de consumo atual estão na ordem de 11 bilhões de toneladas ao ano (FERREIRA, 2015).

A composição do concreto moderno foi obtida em 1963, nos EUA, é obtida pela mistura de cimento *Portland* com adição de areia, brita e água. Em que segundo MEHTA e MONTEIRO (1994) estudos apontaram que 63 milhões de toneladas de cimento *Portland* foram convertidos em 500 milhões de toneladas de concreto, gerando um consumo cinco vezes superior ao consumo de aço, sendo que os autores afirmam que em outros países o consumo de concreto sobre o de aço chega a uma proporção de 10 para 1.

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtos de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), no Brasil, o consumo estimado de agregados apenas para a produção de concreto e argamassas no ano 2000, foi de 130 milhões de toneladas. Enquanto que no ano de 2013 a mesma ANEPAC com o SINDIPEDRAS (Sindicato da Indústria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo) mencionam que a produção de agregados alcançou a ordem de 770 milhões de toneladas.

O presente trabalho teve como intuito estudar as características de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade de corpos de prova de concreto com adição de diferentes porcentagens de vidro de origem automotiva, nas faixas de 3%, 6% e 9%.

CONSTRUÇÃO CIVIL *VERSUS* SUSTENTABILIDADE

Ao se conceituar adequadamente o termo sustentabilidade deve-se ter em mente a necessidade de um crescimento econômico e tecnológico com baixo INOVAE - ISSN: 2357-7797, São Paulo, Vol.7, JAN-DEZ, 2019 - pág. 110-127

impacto ambiental. Tal conceito quando elaborado e aplicado à construção civil tem um foco ainda maior pelo fato do setor ter grande relevância na geração de divisas e renda no setor secundário e terciário. Dessa forma o setor da construção civil pode dar forte contribuição à sustentabilidade do planeta, para tanto se faz necessário uma ampla alteração nos códigos de obras das cidades, conjuntamente com a educação ambiental nos mais diversos segmentos da sociedade (PETRUCCI, 2007).

Para AGOPYAN (2011) a cadeia produtiva da construção civil é responsável pela transformação do ambiente natural no ambiente construído, que precisa ser permanentemente atualizado e mantido. Isso implica que o ambiente construtivo implica em consideráveis impactos ambientais, incluindo grande quantidade de extração de matérias primas, produção e transporte de materiais, mão de obra, água, energia e geração de resíduos.

Atualmente, são inúmeras as evidências da deterioração do meio ambiente e suas consequências na escala global, cuja responsabilidade é do ser humano em sua forma de habitar e explorar os recursos do meio ambiente (AGOPYAN, 2011).

Para FERREIRA (2015) o futuro da sustentabilidade inscreve-se numa realidade social onde o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico são as ferramentas corretas a serem utilizadas em seu benefício e qualidade de vida dos povos. A sustentabilidade é uma meta que obrigatoriamente tem que ser perseguida por toda a sociedade e em todos os níveis, para tanto se faz necessário o conhecimento por parte de todos, seja da população, das fábricas, do comércio ou dos governos municipal, estadual e federal que devem estar articulados dentro de uma visão sistêmica.

O setor da construção civil pode dar forte contribuição à sustentabilidade do planeta, para tanto se faz necessário uma ampla alteração nos códigos de obras das cidades, conjuntamente com a educação ambiental nos mais diversos segmentos da sociedade.

CONCRETO

Os primeiros materiais a serem empregados nas construções foram a pedra natural e a madeira, sendo o ferro e o aço empregados séculos depois (PETRUCCI, 2007).

O concreto armado surgiu recentemente, por volta de 1850. Sendo um material de construção considerado bom, pelo fato de apresentar duas características básicas importantes: resistência e durabilidade (PETRUCCI, 2007).

Ao analisar outros materiais antecessores ao concreto como a pedra natural observa-se que esta possui resistência à compressão (35 MPa) e durabilidade superiores (acima de 30 anos), porém, sua resistência à tração é relativamente baixa (FERREIRA, 2015).

Outro material típico de construção que pode ser citado é a madeira, esta tem razoável resistência a tração (3,0 MPa) e compressão (18,5 MPa), mas tem durabilidade limitada a aproximadamente 15 anos (IPT, 2018).

Já o aço tem resistências elevadas a tração (420 MPa) e compressão (400 MPa), mas requer proteção contra a corrosão (PEREIRA, 2002). Dessa forma o concreto armado pode ter surgido da necessidade de se aliar as qualidades da pedra (resistência à compressão e durabilidade) com as resistências mecânicas do aço, com as vantagens de poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade. Também pode proporcionar ao aço proteção contra corrosão.

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (FERREIRA, 2015).

RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A geração de resíduos pela indústria de construção civil é um problema atual em todos os países, sendo que em muitos deles já existem leis ambientais severas, como nos EUA, através da EPA (*Environmental Protect Agency* – Agência de

Proteção Ambiental), que regulamenta a disposição, gerenciamento e controle destes rejeitos (FERREIRA, 2015).

Segundo TOALDO (1993) tem-se que em países como o Japão, os construtores são obrigados a incluir em seus projetos a destinação final do resíduo gerado pela construção civil.

VAN ACKER (1996) afirma que a estimativa de resíduos sólidos dos materiais da construção na Comunidade Europeia gera 170 milhões de toneladas por ano de resíduos. Segundo o autor, pode-se classificar o percentual de distribuição de resíduos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição Percentual de Resíduos da Construção Civil.

Material	Porcentagem (%)
Concreto	41
Tijolo, Bloco	40
Asfalto	12
Materiais Cerâmicos	7

Ao analisar os dados da Tabela 1, pode-se notar uma grande influência dos resíduos de concreto no volume total de material, 68 milhões de toneladas por ano, que constitui uma quantidade considerável que poderia ser utilizada em potenciais aplicações na construção civil, desde que tratada adequadamente.

RESÍDUOS SÓLIDOS E NORMATIVAS

O crescimento industrial vem acompanhado de avanços tecnológicos e científicos que visam o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população. Uma das consequências desse processo é a geração de resíduos dos mais variados tipos, que podem ser danosos ou não, ao meio ambiente e à vida da população (FERREIRA, 2015).

Os vários processos industriais geram uma infinidade de resíduos que, por vezes, não encontram uma aplicação definida. No caso Brasileiro, a fim de orientar a sociedades sobre as formas adequadas de aproveitamento destes resíduos, foram

criados vários instrumentos legais, como a NBR 10004/2004, NBR 15116/2004 e as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

A NBR 10004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Já a NBR 15116/2004 estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

A Resolução CONAMA 307 de 05/07/2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. A gestão do resíduo na construção civil abrange a geração do resíduo em obras, a captação e transporte até o aterro e a recepção no aterro licenciado.

Dentre os mais variados resíduos gerados no Brasil merecem destaque os resíduos de vidro.

O Brasil encontra-se entre os principais fabricantes de vidro do mundo e 90% de sua produção destinam-se a vidros planos eocos do tipo sodo-cálcicos (FERREIRA, 2015).

Estima-se que o consumo *per capto* de vidro no Brasil seja da ordem de 12 kg ao ano (ROSA *et al.*, 2007).

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), no Brasil, para produzir em torno de um milhão de toneladas de embalagens de vidro, são utilizados, por ano, 470 mil toneladas de caco de vidro (CEMPRE, 2008).

No Brasil, 47% das embalagens de vidro são recicladas, o que equivale a 470 mil toneladas ao ano. Desse total, 40% são oriundos da indústria de envaze, 40% do mercado difuso, 10% do "canal frio" (bares, restaurantes, hotéis, etc.) e 10 % do refugo da indústria (CEMPRE, 2008).

De um modo geral, ocorre um grande desperdício de resíduos potencialmente recicláveis e notadamente na geração de resíduos de vidro que assume valores expressivos.

Tal constatação em reflexo com o potencial de reuso e a sustentabilidade do meio ambiente demonstra que a viabilidade tecnológica de uma alternativa para a substituição do agregado miúdo na argamassa ou no concreto, por resíduos de vidro não reciclado pode ser um material interessante para construção civil.

EMPREGO DO VIDRO

Segundo FERREIRA (2015) o vidro comum é um material 100% reciclável e largamente utilizado no mundo todo. As suas propriedades mecânicas incluem elevados valores de resistência à compressão (1.000 MPa), à tração (7 MPa), e a flexão (40 MPa). Além disso, segundo FERREIRA (2015) mais de 70% de sua matéria é constituída por óxido de sílica, SiO_2 , o que lhe confere boas propriedades pozolânicas, semelhantes ao cimento Portland, caracterizando-o como um potencial material constituinte para o concreto.

PETRUCCI (2007) comenta que pelo fato do vidro ser um material de elevada massa específica e com alto custo de transporte entre o local da origem de sua utilização e o local de reciclagem, o vidro é descartado incorretamente em depósitos de lixo e aterros sanitários. A viabilização técnica do uso desse resíduo pode ajudar a solucionar o impacto ambiental causado por esse material.

PETRUCCI (2007) ainda considera a utilização do concreto com vidro possível, por dois motivos. O primeiro está no fato de que o vidro adere perfeitamente ao cimento, pois a adesividade é de natureza molecular, e a segunda é que o coeficiente de dilatação do vidro é vizinho daquele do concreto e do aço e, na verdade, ligeiramente menor.

COMPOSIÇÃO DO VIDRO

O vidro é constituído como uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida do resfriamento de uma massa à base de sílica em fusão.

Sua utilização vem desde os primórdios da humanidade, inicialmente como artefato e posteriormente em construções, como na extinta cidade romana de Pompéia, onde se encontra ainda pedaços de vidros que faziam parte das janelas das casas (FERREIRA, 2015).

A constituição do vidro possui óxidos de sílica (72%) e de sódio (12%), muito embora outros elementos tomem parte dessa composição final, tais como o sódio, cálcio, magnésio, alumínio e potássio, todos relacionados na Tabela 2.

Tabela 2 – Constituição geral do vidro.

Componente	Fórmula Química	Composição %	Função
Óxido de Sílica (areia)	SiO ₂	74	Vitrificante
Óxido de Sódio	Na ₂ O	12	Baixo ponto de fusão da sílica
Óxido de Cálcio	CaO	9	Estabilidade
Óxido de Magnésio	MgO	2	Resistência Mecânica
Óxido de Alumínio	Al ₂ O ₃	2	Resistência
Potássio	K ₂ O	1	Estabilidade

Segundo FERREIRA (2015), uma das razões do vidro ser tão popular e duradouro talvez esteja na sua composição, pois os vidros mais comuns, aqueles destinados aos vidros planos e embalagens, que são denominados “silício-sodo-cálcicos” são formados pelos elementos mais abundantes na crosta terrestre, conforme é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação percentual de óxidos em vidro.

Óxido	Percentual na crosta terrestre	Percentual nos vidros comuns
SiO ₂	60%	74%
Al ₂ O ₃	15%	2%
Fe ₂ O ₃	7%	0,1%
CaO	5%	9%
MgO	3%	2%
Na ₂ O	4%	12%
K ₂ O	3%	1%

Propriedades físicas do vidro

BARROS (2010) relaciona as seguintes propriedades físicas do vidro em comparação com outros materiais: densidade, dureza, resistência à abrasão, coeficiente de condutibilidade térmica, calor específico, coeficiente de dilatação térmica, resistência química. A Tabela 4 apresenta algumas características importantes em relação ao vidro, segundo BARROS (2010).

Tabela 4 – Características importantes relacionadas ao vidro (BARROS, 2010).

Densidade (ρ)	2,5 kg.dm ⁻³
Dureza	6,5 MOHS
Resistência à abrasão	16 vezes mais resistente que granito
Coefficiente de condutibilidade térmica (k)	0,79 Kcal/hm °C
Calor específico (c)	0,20 Kcal/kg °C
Coefficiente de dilatação térmica (α)	8,6.10 ⁻⁶ °C
Resistência química	Alta resistência a compostos químicos exceto ácido fluorídrico

Propriedades mecânicas do vidro

Ao se estudar as propriedades mecânicas envolvidas têm-se: módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, resistência à tração, resistência à compressão e resistência à flexão. A Tabela 5 apresenta os dados relacionados às respectivas características, segundo informações de PETRUCCI (2007).

Tabela 5 – Características importantes relacionadas ao vidro (PETRUCCI, 2007).

Módulo de elasticidade	80 GPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,22
Resistência à tração	70 MPa
Resistência à Compressão	100 kN
Resistência à Flexão	1000 MPa

ESTUDO DE CASO: LOCALIDADE E MATERIAL BASE

Os experimentos foram realizados nas instalações do CCTM (Centro de Ciências e Tecnologia de Materiais) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

O material de descarte utilizado foi o pó de vidro oriundo de para-brisa automotivo de modelos sucateados do ano de 1980 em depósito de “ferro velho” localizado na periferia da zona leste, região da vila formosa, no município da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Brasil.

A figura 1 apresenta o local de coleta de amostras.



Figura 1: Localização do comércio doador de material para testes.

O material colhido de carros sucateados variáveis é constituído por um painel sanduiche de vidro e PVB (Poli vinil butiral), que impede o estilhaçamento do vidro ao romper por impacto.

O material passou pelo processo de moagem com bolas por 30 minutos. Em seguida foi peneirado em peneiras de 0,50 mm para utilização do pó final, apresentado na Figura 2.



Figura 2: Material preparado.

O processo de moagem em bolas permite o rompimento das fibras de modo a uniformizar e obter um material fino. O tamanho de peneira utilizado para peneiramento foi utilizado a partir da Figura 3, em relação a tamanho de grão de vidro (PETRUCCI, 2007).

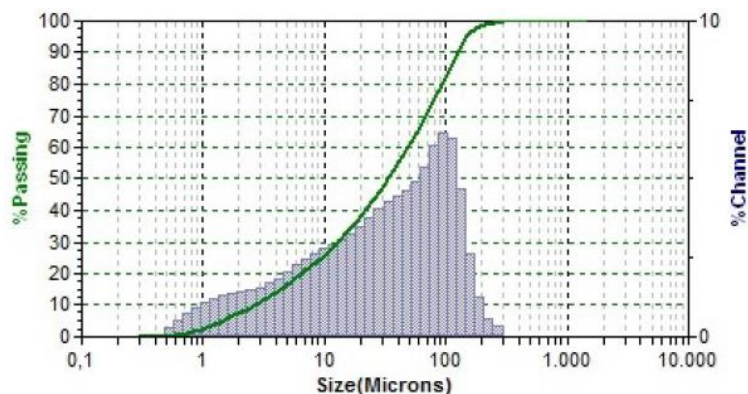


Figura 3: Distribuição do tamanho de grãos do vidro (PETRUCCI, 2007).

A Tabela 6 apresenta uma complementação à Figura 3, mostrando no vidro moído a distribuição percentual das partículas finas do vidro moído.

Tabela 6 – Distribuição granulométrica (PETRUCCI, 2007).

Diâmetro particular (μm)	<10%	<50%	<90%
Vidro moído	2,65	33,61	122,5

O processo de formulação de corpos de prova em concreto reciclável teve como ponto a utilização de um traço de composição de concreto de 1:5.

Na composição aplicou-se ainda areia fina com massa específica de $170,98 \text{ kg.m}^{-3}$, areia grossa de 680 kg.m^{-3} , brita 1 de 1003 kg.m^{-3} e água $167,20 \text{ kg.m}^{-3}$. A composição utilizada no experimento foi de traço unitário nas proporcionalidades apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição utilizada nos corpos de prova da pesquisa.

Proporção	Materiais compostos na proporção
1: 0,46 : 1,84 : 2,7 : 0,45	Cimento : Areia fina : Areia grossa : Brita : Água

Nesse processo foram utilizados três dosagens de adição de vidro, em teores de 3 em 3 percentuais, iniciando com 3%, depois 6% e 9%. Além de uma amostra sem adição de vidro para avaliação da eficiência do material.

A Tabela 8 apresenta as concentrações além do abatimento obtido pelo *Slump Test*, conforme a NBR 7223/98.

Tabela 8 – Traço Amostral.

TRAÇO 1:5		1 : 0,46 : 1,84 : 2,7			
α igual 55%	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	
	0% vidro	3% vidro	6% vidro	9% viro	
Cimento	1,000	1,000	1,000	1,000	
Areia fina	0,460	0,460	0,460	0,460	
Areia grossa	1,840	1,840	1,840	1,840	
Brita 1	2,700	2,700	2,700	2,700	
Relação água/cimento	0,450	0,450	0,450	0,450	
Abatimento (cm)	10,500	10,500	10,500	10,500	

Após as definições de traço, o processo para moldagem e cura de corpos de prova moldou 12 corpos de prova, sendo 3 moldes por tipo de traço definido pela Tabela 8.

O ensaio de resistência à compressão pela NBR 5739 (Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos) foi realizado utilizando anéis de alumínio. O módulo de elasticidade e a curva tensão-deformação foram obtidos seguindo a NBR 8522 (Determinação dos Módulos Estáticos de Elasticidade e de Deformação). Foram ensaiados os 12 corpos de prova com idades de 5 e 30 dias.

Para uma análise mais criteriosa da distribuição dos componentes após a cura, efetuou-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um pedaço de amostra para verificar a distribuição intergranular do composto final. O equipamento de MEV utilizado foi o VEGA3 SBH modelo *EasyProbe*, marca TESCAN.

A Tabela 9 apresenta as características do equipamento.

Tabela 9 – Características gerais do MEV utilizado.

Resolução		3,0 nm
Detector		SE
Filamento de W		30 kV
Diâmetro interno		160 mm
Abertura de porta		120 mm
Eixos excêntricos	X	45 mm

	Y	45 mm
	Z	27 mm
Software operacional		VegaTC
Detector resolução		133 eV

RESULTADOS

Os dados levantados e analisados são observados nesse tópico de modo a detalhar a problemática do trabalho.

Análise Intergranular

A distribuição intergranular referente à adição do vidro nos corpos de prova pode ser observada graças ao equipamento de MEV utilizado na pesquisa.

As figuras 4 e 5 apresentam uma mostra de composto com adição de vidro e uma amostra tradicional (sem adição de vidro), respectivamente.

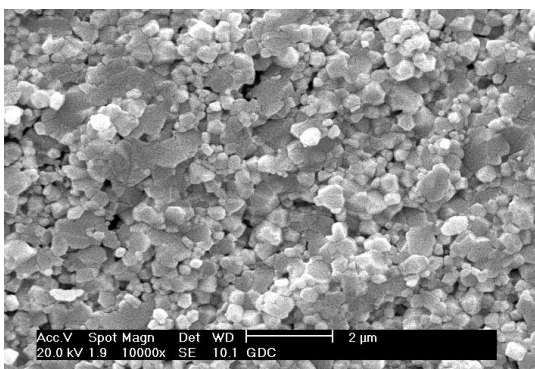


Figura 4: Micrografia de um dos traços de concreto COM adição de vidro.

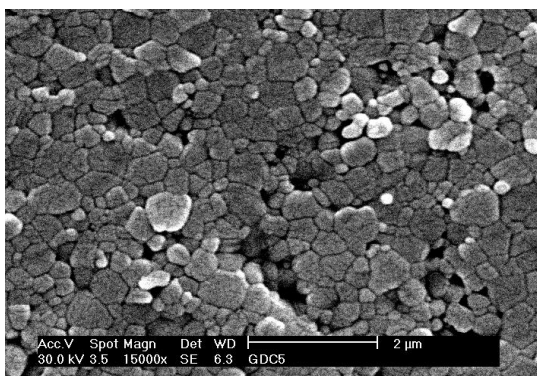


Figura 5: Micrografia do corpo de prova SEM adição de vidro.

Compressão Axial

Os dados obtidos para as amostras de 5 dias são apresentados na Tabela 10 para cada traço específico.

Tabela 10 – Testes de ensaio à Compressão para 5 dias.

Amostra Número	Percentual de Vidro (%)	Resistência à Compressão (MPa)
1	0	36,50
2	3	38,10
3	6	38,48
4	9	38,51

Pela Tabela 10 pode-se observar que a adição de vidro gerou um leve aumento na resistência a compressão, sendo que em relação a amostra com 0% de vidro e de 9% de vidro o aumento percentual foi de 5,48%, respectivamente.

Para as amostras de 30 dias, a Tabela 11 apresenta os valores de compressão axial, em que os valores ficaram muito próximos, mesmo para o corpo de prova com 0% de vidro.

Tabela 11 – Testes de ensaio à Compressão para 30 dias.

Amostra Número	Percentual de Vidro (%)	Resistência à Compressão (MPa)
1	0	49,50
2	3	53,45
3	6	53,55
4	9	53,90

A Tabela 11 apresenta um comportamento de aumento à resistência de compressão similar ao observado pela Tabela 10. Na Tabela 11 é verificado que a relação percentual de aumento a resistência entre a amostra 1 (0% de vidro) e amostra 4 (9% de vidro) foi de 8,89%, respectivamente.

Módulo de Elasticidade

A Tabela 12 apresenta os dados para o módulo de elasticidade do concreto com e sem adição de vidro.

Tabela 12 – Módulo de Elasticidade para 5 dias.

Amostra Número	Percentual de Vidro (%)	Módulo Elasticidade (GPa)
1	0	35,80
2	3	36,02
3	6	36,89
4	9	37,40

A partir da Tabela 12 é apresentado que o módulo de elasticidade entre, por exemplo, a amostra 1 foi de 35,80 GPa, enquanto que para a amostra 4 foi de 37,40 GPa. Tal variação permiti observar que a adição de vidro nas amostras propiciou um aumento percentual entre as amostras 1 e 4 de 4,47%, respectivamente.

A Tabela 13 apresenta os valores do módulo de elasticidade para os corpos de prova com 30 dias.

Tabela 13 – Módulo de Elasticidade para 30 dias.

Amostra Número	Percentual de Vidro (%)	Módulo Elasticidade (GPa)
1	0	40,00
2	3	40,02
3	6	41,05
4	9	41,10

Os valores da Tabela 13 para as amostras com 30 dias apresentaram um leve aumento do módulo de elasticidade. Sendo observado, por exemplo, que entre as amostras 1 e 4, o aumento percentual foi de 2,75%.

CONCLUSÃO

A adição de vidro em concreto apresentou resultados promissores, uma vez que houve melhora nas características a resistência à compressão e quanto ao módulo de elasticidade.

Nota-se que o aumento da idade dos corpos de prova apresentar um aumento na resistência à compressão considerável, sendo que para 5 dias foi de 5,48%, enquanto que para 30 dias foi de 8,89%.

Contudo, para o módulo de elasticidade os valores percentuais de aumento foram de 4,47% (5 dias) e 2,75% (30 dias). Para o estudo, inicialmente o módulo de elasticidade parece ter uma eficiência maior para amostras mais recentes, representadas pelos corpos de prova de 5 dias. Isso gera a possibilidade de novos estudos para avaliar melhor a relação do módulo elasticidade.

A melhora nos ensaios de compressão e módulo de elasticidade ao se comparar aos testes de MEV, representados pela figura 4, apresentam que a adição de vidro permitiu uma melhora na distribuição intergranular, ao se comparar com uma amostra tradicional de concreto (figura 5) obtida pelo traço usual na construção civil.

A melhora na distribuição intergranular permitiu concluir para os testes preliminares que havendo menos espaçamentos entre grãos (figura 4), haverá melhora nas características estruturais do concreto.

Para a pesquisa os resultados mostraram e revelaram a necessidade de mais testes e mais adições e estudos com vidro como aditivo ao concreto.

Isso permite esperar que futuramente tenha-se um concreto com melhores características estruturais para emprego a construção civil.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial, Rio de Janeiro, 1991.

AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

BARROS, C. Apostila de vidros. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, Campus Pelotas, 2010.

FERREIRA, A. P. **Estudo experimental da resistência de blocos de concreto com vidro como agregado miúdo.** Dissertação de Mestrado. UFF. 153p. 2015.

IPT. **Informações sobre madeira.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo. Editora Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo. Editora Instituto Brasileiro do Concreto, 1994.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção.** 12ªed. São Paulo. Editora Globo, 2007.

PEREIRA, S. S. **Análise do Comportamento e da Resistência de Pilares de Aço Eletrossoldados.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas. UFMG. 2002. 151pg.

ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, 2007.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais.** São Paulo. 6ª edição. Editora Person, 2008.

TOALDO, E. **Para não virar pó. Construção.** São Paulo. N. 2348, p.10. Fevereiro, 1993.

VAN ACKER, A. **Recycling of concrete at precast concrete plant.** BIBM. Paris. P. 55-67. 1996.