

ANÁLISE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA E CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO

SILVA, Evelyn¹
FORIGO, Camila²

RESUMO

O uso de aditivos como a sílica ativa e materiais para substituição de agregados como o vidro temperado são práticas que auxiliam na sustentabilidade, diminuindo o consumo de cimento e consequentemente a redução de emissão de dióxido de carbono, ou, no caso do vidro, proporciona outras opções para a reutilização do mesmo. Neste trabalho foram realizados estudos comparativos entre concreto convencional e concreto com adição de sílica ativa em substituição parcial do cimento e vidro temperado como substituição parcial do agregado graúdo. O desempenho foi analisado através do ensaio de compressão axial. Após a comparação por meio de gráficos de carga por tempo, foi verificado que em relação à sílica ativa os melhores resultados foram com a adição de 15% em relação à massa do cimento, provavelmente devido ao efeito *filler*. Em relação ao vidro temperado os melhores resultados foram com 25%, pois o vidro possui menor ângulo de atrito com os outros materiais, o que facilita o deslizamento do material sob compressão. As adições de resíduos de vidro podem ser utilizadas para fins estruturais, considerando a resistência exigida em projeto, mas são mais indicadas para fins arquitetônicos.

PALAVRAS-CHAVE: Sílica ativa, vidro temperado, concreto, sustentabilidade.

¹Acadêmica do 10º Período de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: evelyn.scivil@gmail.com.

²Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil, Docente no curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: camilaforigo@fag.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Classificado como aglomerante hidráulico por Battagin (2016), o cimento é um material que em contato com a água torna-se sólido, resistente à compressão, à água e a sulfatos. A implantação do cimento como material estrutural tem sido aplicada há anos. Segundo dados publicados pelo SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento) no Brasil, de 2010 até 2013 foram produzidos mais de nove milhões de toneladas de cimento por ano apenas na região Sul, e considerando os dados apresentados no *site* do SNIC, em 2016 foram 57 milhões de toneladas no Brasil.

A fabricação do cimento envolve um processo que leva o calcário ao forno para a transformação em clínquer, e nessa etapa a produção de cimento torna-se algo prejudicial ao meio ambiente, pois a queima do clínquer libera CO₂ (dióxido de carbono) para a atmosfera. Além disso, para garantir as altas temperaturas para a queima do calcário no forno, é necessário usar combustíveis de materiais de fontes não renováveis, como o petróleo e o carvão.

Buscando um pensamento sustentável, a sílica ativa é usada para diminuir a quantidade de cimento no concreto, juntamente com o resíduo de vidro, já que este demora mais de mil anos para se decompor na natureza (Ministério da Educação, 2005).

Nesse contexto, a realização deste trabalho acadêmico é justificada por sua relevância social e sustentável, possibilitando a diminuição da quantidade de cimento com a substituição de sílica ativa (e, como consequência, minorando-se a emissão de CO₂ causada pelo alto forno no processo do clínquer) e adicionando o resíduo de vidro como uma opção viável sustentável devido à demora do processo de decomposição, dando mais uma opção de reciclagem para o material.

Sendo assim, a pergunta a ser respondida nesta pesquisa será a seguinte: as adições de sílica poderiam ser utilizadas para substituir parcialmente o cimento juntamente com as adições de vidro substituindo o agregado graúdo sem reduzir a resistência do concreto?

O estudo a ser realizado será limitado a aplicar resíduo de vidro e sílica ativa em corpos de prova separados, no laboratório do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, e será feita posterior análise da resistência à compressão por meio dos resultados obtidos na prensa hidráulica.

Nesse contexto, o objetivo geral deste artigo científico é analisar a resistência do concreto com adição de sílica ativa e do concreto com adição de resíduo de vidro temperado. Para que este trabalho possa ter um desfecho adequado, os objetivos específicos a serem apresentados são:

a) Realização dos ensaios de resistência à compressão em corpos-de-prova convencional, com adição de sílica ativa e com resíduos de vidro.

b) Comparação dos resultados obtidos com as amostras de sílica ativa e resíduos de vidro em relação à mesma dosagem do concreto convencional.

c) Verificação da melhor porcentagem de adição de sílica ativa e resíduos de vidro para a resistência à compressão do concreto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No capítulo anterior foram descritos a importância do tema escolhido, os objetivos gerais e específicos e a justificativa para esta pesquisa, para um entendimento rápido do que se procederá nos capítulos seguintes.

Neste capítulo serão apresentadas as caracterizações dos materiais que são utilizados nos ensaios de compressão, com o objetivo de dar embasamento teórico do motivo da pesquisa e auxiliar no entendimento dos conteúdos de estudo, o qual será realizado por meio de revisão bibliográfica.

2.1 CONCRETO CONVENCIONAL

Atualmente o concreto de cimento Portland é um dos materiais mais utilizados na construção civil, sendo um dos materiais estruturais de maior importância para esse meio. Juntamente com o aço, esses dois elementos alcançam resistência à compressão e à tração de forma mais eficiente.

A sustentabilidade é também um assunto da atualidade. Com a conscientização de um mundo melhor para as gerações futuras, muito tem se falado sobre diminuir impactos ambientais e reduzir o consumo de cimento na construção civil. Isso se deve ao fato de que na fabricação do cimento são usadas fontes de energia não renováveis como o carvão e o petróleo, para que o alto forno consiga atingir altas temperaturas para a fabricação do clínquer (95% da matéria do cimento), causando durante a queima do calcário uma alta emissão de dióxido de carbono.

Segundo WBCSD (2009), cerca de 5% da poluição por dióxido de carbono é gerada nas indústrias de cimento. Por isso, vêm sendo aplicados aditivos ao concreto, tentando manter sua resistência mesmo reduzindo a quantidade de cimento em sua massa.

Além da perspectiva analisada referente à sustentabilidade, tanto o resíduo de vidro quanto a sílica ativa são materiais utilizados para recuperação estrutural em casos de construções civis com patologias que necessitam de reparos (MAILVAGANAM e DEANS, 1992).

2.1.1 Cimento, agregados miúdos e graúdos

Segundo Mehta e Paulo (2014), quanto maior o agregado, maior é a tendência do acúmulo de água ao redor da superfície do mesmo, ou seja, a dimensão e o formato do agregado afetam indiretamente a resistência do concreto. Segundo os mesmos autores, o concreto é a união entre o cimento (aglomerante principal), agregado miúdo e agregado graúdo, água e, se necessário, algum aditivo.

A durabilidade do concreto está diretamente ligada ao número de interstícios na sua estrutura, pois esses vazios facilitam a penetração de substâncias agressivas tanto em forma gasosa quanto em forma líquida. Esse deslocamento de fluidos pode ocorrer não apenas por permeabilidade, mas também por absorção capilar e migração (HELENE, 1993).

2.1.2 Vidro Temperado

Segundo a Associação Nacional de Vidraçarias (2013), o vidro temperado possui a mesma composição de um vidro comum, porém passa por um procedimento que eleva a altas temperaturas seguido por um resfriamento brusco, e isso garante ao vidro temperado um grande aumento da sua dureza e resistência sem perder as características iniciais como coloração e transparência. As etapas de moldagem desse vidro devem ser feitas antes do processo para transformá-lo em temperado, pois depois desse processo ele não fica maleável e fica de difícil trabalhabilidade.

Como podemos verificar na Figura 01, a principal diferença entre os cacos gerados pelo vidro comum e pelo vidro temperado é o formato. O vidro temperado é considerado um vidro de segurança já que ao se quebrar mantém formatos não pontiagudos e geralmente se quebra em pedaços parecidos, segundo a Blindex® (2019).

Figura 01: Diferença entre cacos de vidro comum e cacos de vidro temperado.



A) Vidro comum fragmentado



B) Vidro temperado fragmentado

Fonte: Google Imagens (2019).

A implementação do vidro temperado no concreto visa oferecer mais uma opção viável para a reciclagem do vidro, já que segundo o CEMPRE (2002) o Brasil recicla apenas 27,6% do total gerado.

Atualmente a Austrália é o país que mais utiliza vidro no concreto como agregado graúdo e miúdo. Pode ser usado cerca de 10% a 20% em substituição ao agregado miúdo, ainda exercendo funções estruturais. Substituindo mais que 50% do agregado graúdo no concreto, este só pode ser utilizado em elementos não estruturais (SANTOS, 2015).

2.1.3 Sílica ativa

Este é um dos materiais de origem dos processos para a produção de silício metálico e ligas de silício, pois nesses processos é comum a liberação de poeiras e gases. Este material também pode causar o efeito de *filler* uma vez que, segundo St. John (1997), baseado em seus estudos e análises de amostras com microscopia eletrônica de transmissão, a partícula de sílica ativa é cerca de 100 vezes menor que a partícula de cimento. O efeito *filler* ocorre quando a porosidade do concreto é reduzida pois há o preenchimento dos vazios existentes entre os grãos dos agregados e do cimento (SILVA; BRITO, 2008).

Segundo Malhotra (1985), a adição de sílica ativa gera uma baixa na relação água/cimento, melhorando as propriedades do concreto. Cechella Isaia (2010), conclui que uma massa de concreto com menor proporção de relação água-cimento possui uma resistência mecânica superior a uma massa com valores de relação água- cimento maior, sendo assim a adição de sílica ativa ao concreto

convencional torna-se mais sustentável com a diminuição de cimento, sem perder seu poder de resistência à compressão.

Monteiro (1994) relata que a sílica ativa modifica o arranjo físico da pasta do cimento, especialmente nas proximidades do agregado, pois é a região onde existe o maior número de vazios. Segundo ele, no momento da mistura da sílica ativa com o hidróxido de cálcio é gerada uma reação pozolânica que se assemelha a “pontos de solda” na estrutura da pasta com o agregado. Com essa “soldagem” entre os materiais é possível explicar o motivo da maior densidade e o significativo aumento de resistência quando a sílica ativa é utilizada.

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como experimental da análise da resistência à compressão do concreto com adição de resíduos de vidro temperado e concreto com adição de sílica ativa.

A pesquisa é realizada de forma experimental, ou seja, foram realizados ensaios com corpos de prova que foram submetidos à análise de compressão no laboratório do Centro Universitário Assis FAG. Após a coleta dos resultados gerados através do ensaio de compressão, os mesmos foram analisados, considerando valor de referência o concreto convencional.

3.1.1 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

Neste estudo foram realizados os ensaios de teor de umidade, determinação da composição granulométrica (NBR NM 248) e resistência à compressão (ABNT NBR 5739, 2007), sendo que para a moldagem dos corpos de prova seguiu-se as instruções da ABNT NBR 5738:2003 que trata do procedimento para moldagem e cura de corpos de prova do concreto. Estes foram moldados em cilindros e analisados posteriormente em ensaio de compressão axial.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

3.2.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP II Z 40, que tem classe de resistência de 25, 32 e 40MPa e possui entre 6 e 14% de material pozzolânico (ABNT NBR 11578:91). A dosagem para a composição do concreto utilizada foi de 1:2:3, que segundo Oliveira (2017) é uma dosagem comumente usada para vigas baldrame, primeiras fiadas da alvenaria e contrapiso dentre outros, que exige uma resistência característica à compressão do concreto de no mínimo 20Mpa.

3.2.2 Agregado miúdo

Para este estudo foi utilizada a areia média, que, segundo a NBR 7211 – Agregado para concreto: Especificação (ABNT, 2009), é um agregado que deve possuir grãos que passem pela peneira 4,75mm e fiquem retidos na 150 µm.

Para as características granulométricas desse agregado foi realizado ensaio de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003.

3.2.3 Agregado Graúdo

A brita utilizada nesse experimento foi a brita 1, que, segundo a norma NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação (ABNT, 2005), mede no máximo 19 mm. Para a determinação das características granulométricas desse agregado foi realizado ensaio de acordo com a ABNT NBR NM 248 e foi utilizada a ABNT NBR NM ISO 3310-1 para a definição das peneiras.

3.2.4 Sílica ativa

Nas amostras com sílica ativa foram adicionadas quantidades de 5%, 10% e 15%, pois, segundo Malhotra e Metha (1994), acredita-se que o teor ótimo varia de 7% a 15% em alguns casos. Segundo o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (2008), a composição granulométrica da sílica ativa é de partículas de aproximadamente 45 µm.

3.2.5 Vidro temperado

O vidro temperado utilizado para o procedimento foi obtido em uma vidraçaria da cidade de Cascavel-PR. Por se tratar de um material que se quebra facilmente, não foi necessário levar o material para nenhuma prensa ou moedor.

3.3 Composição granulométrica

Para obter as características granulométricas dos agregados miúdo e graúdo foi necessário primeiramente retirar uma amostragem segundo a NBR NM 26 - Agregados: amostragem (ABNT, 2009), que admitindo o tamanho do grão de areia sendo menor de 9,5mm e os grãos da brita e vidro entre 9,5mm e 19 mm, coletou-se cerca de 25kg dos materiais para proceder com o quarteamento, que foi realizado seguindo a norma NBR NM 27 – Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (ABNT, 2001), para o qual foi necessário posicionar a quantidade de 25 kg de cada material em um local separado, dividir em quatro partes iguais e coletar duas amostras de faces opostas.

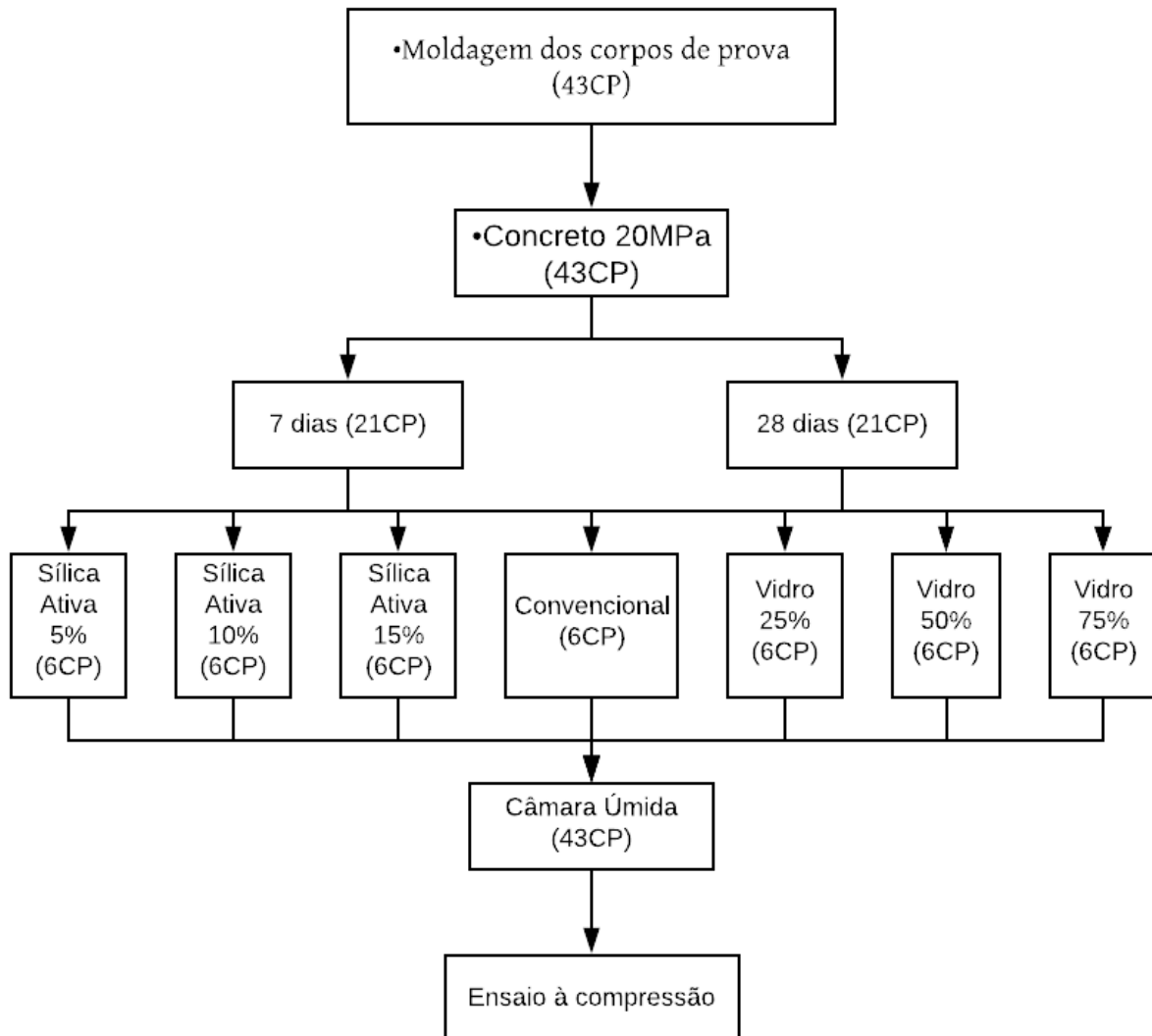
Segundo a NBR NM 248 – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), foi necessário coletar 300g de cada amostra de areia e 5000g das amostras de brita 01. Após essa coleta, as amostras foram levadas para a estufa onde ficaram expostas à temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por mais de 24 horas. Em seguida, foram postas para resfriamento em temperatura ambiente e pesadas para determinação das massas.

A determinação das peneiras foi definida pela NBR 7211 - Agregados para concreto: especificações (ABNT, 2009). Após o peneiramento das amostras, as massas retidas em cada peneira foram pesadas e anotadas.

3.4 Moldagem dos corpos de prova

Segundo as orientações da NBR 5739 - Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de prova (ABNT, 1994), foram moldados seis corpos de prova para cada dosagem diferente, sendo no total 21 para rompimento no dia 7 e outros 21 para romper no dia 28 de cura. Um fluxograma metodológico é representado na Figura 02.

Figura 02: Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Autor (2019).

Os moldes possuem 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, sendo assim, foram necessárias duas camadas com adensamento de dose golpes cada camada.

Antes de moldar os corpos de prova foi realizado o teste de abatimento do concreto para cada dosagem diferente, ou seja, para cada porcentagem de sílica, porcentagem de vidro e o convencional.

Após todos os moldes serem lubrificados com um desmoldante inerte, os seguintes passos foram utilizados para a composição dos corpos de prova:

- Primeiramente, foram adicionados 100% dos agregados graúdos e miúdos e mais 50% de água.

- Em seguida, foi feita a adição dos outros 50% de água juntamente com o aditivo (sílica ativa e posteriormente resíduo de vidro temperado) e o cimento também foi adicionado nesta fase.

Após o acréscimo de todos os materiais, foi realizada uma mistura de três minutos, seguida por um momento de repouso de aproximadamente dois minutos e em seguida mais dois minutos de mistura.

Foram moldados seis corpos de prova (CPs), com a adição de sílica ativa em 5%, 10% e 15%, mais seis corpos de prova com a adição de 25%, 50% e 75% de resíduo de vidro temperado substituindo o agregado graúdo e seis corpos de prova com o concreto convencional, ou seja, três corpos de prova de cada mistura cimentícia para que cada um possa ser analisado com 7 dias e 28 dias de cura.

Todos os CPs tiveram dimensões padrões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, porém para serem ensaiados os CPs foram retificados e tiveram suas medidas anotadas antes do procedimento. Os CPs foram colocados na prensa hidráulica da marca Conteco, Modelo Máquina Universal 100t 380V, de forma bem centralizada entre os dois pratos.

A prensa é programada para liberar o carregamento de forma precisa e contínua, isso é de extrema importância para uma boa análise da resistência à compressão, pois se o ensaio for realizado de forma muito rápida a carga de ruptura aumenta, e se for lenta em demasia a carga de ruptura será minorada. Uma metade dos CPs foi rompida na idade de sete dias e o restante com 28 dias de cura, sucedendo-se assim com todas as amostras, cada uma em seu tempo de cura determinado.

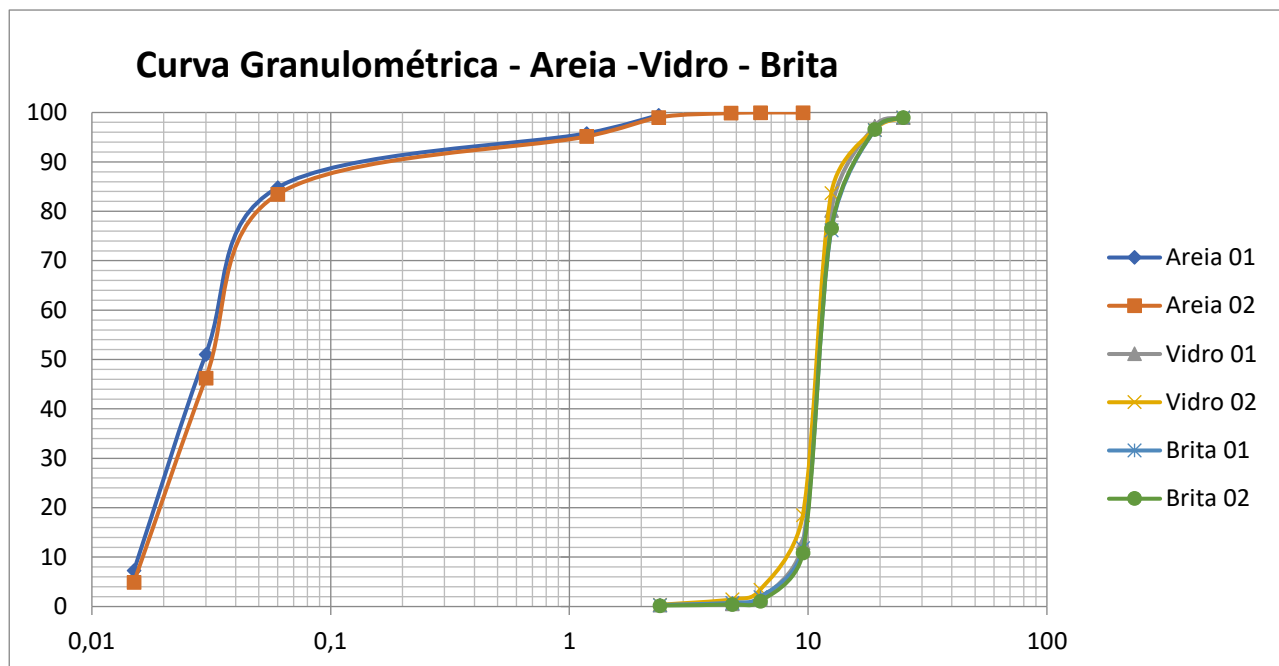
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão expostos os resultados obtidos em cada uma das etapas dando ênfase para a análise dos resultados de resistência à compressão dos corpos de prova.

4.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A curva granulométrica obtida das amostras de brita e vidro são bem semelhantes e as amostras de areia obtiveram resultados próximos. As curvas granulométricas geradas através das porcentagens retidas e passantes nas peneiras estão indicadas no Gráfico 01.

Gráfico 01: Resultados para as amostras do concreto convencional para 7 e 28 dias.



Fonte: Autor (2019).

Em alguns pontos a granulometria das amostras de vidro e de brita ficaram sobrepostas devido à semelhança.

4.2 TEOR DE UMIDADE

Para a determinação dos teores de umidade dos materiais foi utilizada a equação a seguir.

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

h: é o teor de umidade total, em porcentagem;

m_i: é a massa inicial da amostra, em gramas;

m_f : é a massa final da amostra seca, em gramas.

Após a retirada das amostras da estufa e a pesagem, através da equação anterior, obteve-se os resultados exibidos na Quadro 01. O teor de umidade dos materiais foi verificado para estabelecer a relação água/cimento para a mistura.

O vidro e a brita apresentaram teores de umidade mais baixos do que a areia e a sílica.

Quadro 01: Resultados da caracterização dos agregados utilizados no concreto.

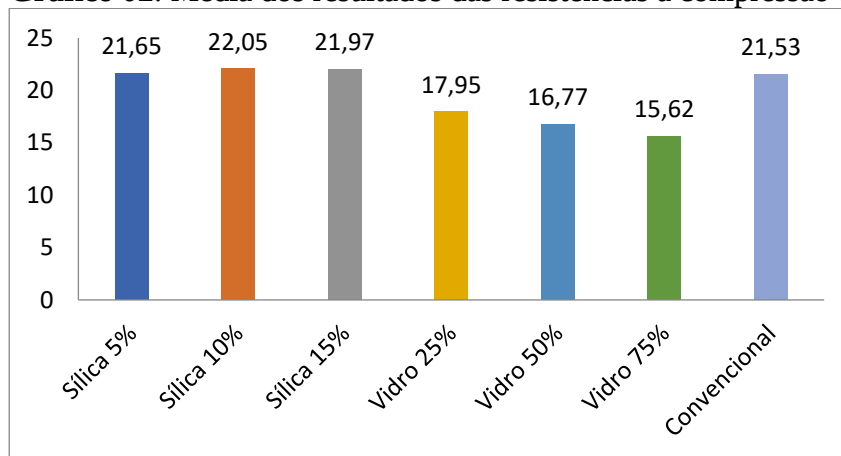
Teor de umidade				
Amostra	Peso Inicial (g)	Temperatura Estufa	Peso Final (g)	Umidade (h)
Areia	500	105 ± 5°C	497,8	0,442
Areia	500	105 ± 5°C	498,6	0,281
Sílica	500	105 ± 5°C	499,3	0,140
Sílica	500	105 ± 5°C	498,9	0,220
Vidro	3000	105 ± 5°C	2999,1	0,030
Vidro	3000	105 ± 5°C	2999,7	0,010
Brita	3000	105 ± 5°C	2998,6	0,047
Brita	3000	105 ± 5°C	2997,9	0,070

Fonte: Autor (2019).

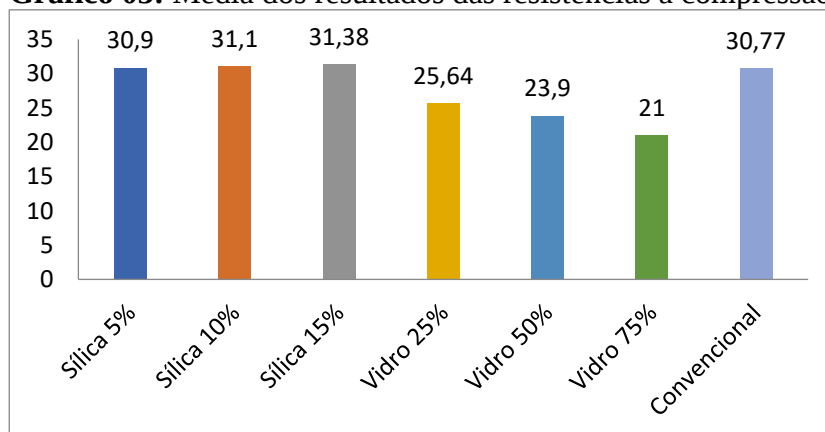
4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os dados foram obtidos em cada rompimento dos corpos de prova da seguinte maneira: após realizada a medição dos corpos de prova já retificados, foi feito o ensaio de resistência à compressão, o corpo de prova foi carregado até a carga máxima e a partir da carga máxima e do diâmetro médio calculou-se a tensão de ruptura do concreto, que se dá por meio da carga dividida pela área.

Como a prensa hidráulica nos fornece as curvas de carga por deslocamento, podemos analisar os resultados de cada corpo de prova, fazendo a média da resistência atingida por cada dosagem da amostra, obtendo os resultados apresentados no Gráficos 02 aos sete e no Gráfico 03 aos 28 dias.

Gráfico 02: Média dos resultados das resistências à compressão das amostras aos 7 dias.

Fonte: Autor (2019).

Gráfico 03: Média dos resultados das resistências à compressão das amostras aos 28 dias.

Fonte: Autor (2019).

4.3.1 Sílica ativa

Segundo o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento de Curitiba (2008), em um estudo realizado comparando o desempenho mecânico da sílica ativa, em todas as adições analisadas as resistências foram superiores ao concreto base. O autor confirmou que a adição do material traz benefícios ao concreto, aumentando a resistência logo nos primeiros sete dias e tornando-se ainda mais evidente aos 28 dias.

Em um estudo realizado para o Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais em 2016 também foi relatado que os resultados da adição da sílica são benéficos para o concreto, com aumento de resistência mesmo com pequenas dosagens, e foi relacionado esse aumento de resistência

à diminuição dos poros e melhora das ligações na pasta do concreto nos pontos de soldas, conforme descrito por Monteiro (1994).

Neste estudo, obtivemos resultados semelhantes, uma vez que todas as adições de sílica foram benéficas para o concreto e aumentaram a resistência à compressão. Em 15% de adição de sílica obtivemos cerca de 2,01% acima do concreto usado como referência, estando de acordo com o estudado por Mehta e Monteiro (1994), em que afirmam que a adição da sílica ativa como substituição parcial do cimento traz melhorias ao concreto e as suas propriedades como o aumento da resistência à compressão axial, redução dos poros e aumento da vida útil, pois com a redução da permeabilidade do material é reduzida a possibilidade de infiltração de agentes agressivos.

Podemos observar que os melhores resultados obtidos são das amostras com sílica ativa em 15%, provavelmente devido ao melhor preenchimento dos interstícios entre os agregados miúdo, graúdo e o cimento.

Notamos que todas as amostras com adição da sílica obtiveram resultados acima da resistência à compressão característica do concreto convencional.

Segundo Malhotra e Metha (1994), a melhor dosagem de sílica ficaria entre 7% e 15% e por esse motivo o esperado seria que a adição de 10% obtivesse os melhores resultados. As dosagens superaram a resistência do concreto base, provavelmente devido ao efeito *filler* que é causado pelo preenchimento dos interstícios na composição do concreto, já que a granulometria da sílica é menor que a do cimento.

4.3.2 Vidro temperado

Foram observados nos estudos de Silva e Moraes (2014) o ganho de resistência até adição de 50% de resíduo de vidro, e ultrapassando essa porcentagem apresentou-se perdas. O autor também relaciona o ganho de resistência com partículas bem alocadas assim como a brita, o que também foi possível observar neste estudo, em que nota-se que com dosagens com resíduos de vidro há uma relação inversamente proporcional entre o vidro e a resistência, sendo que quanto maior a adição de resíduo de vidro maior é a redução da resistência atingida.

As dosagens mais bem-sucedidas de vidro foram com 25% do material. Segundo Silva e Moraes (2014), esse efeito possivelmente se deve à superfície extremamente lisa do vidro que se difere da brita, que possui maior rugosidade. A rugosidade do vidro diminuiria assim o coeficiente de atrito

entre o aglomerante e o aglomerado causando facilidade para o deslizamento no momento da compressão levando o concreto à ruptura com cargas inferiores.

Outro estudo que relaciona o aumento de vidro com a baixa resistência é relatado por Pereira (2016), porém o autor menciona que mesmo com a redução da resistência ainda é possível utilizar o concreto com vidro para fins arquitetônicos devido à aparência diferenciada. A mesma aparência pode ser observada neste estudo no concreto com adição de 75%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 SÍLICA ATIVA

Com a execução deste estudo, constatou-se que as adições de sílica nas porcentagens de 15% podem substituir o cimento como aditivo para aumento da resistência à compressão axial se comparado ao concreto base, podendo assim diminuir a quantidade de cimento da massa e reduzir a emissão de dióxido de carbono que é prejudicial para o meio ambiente.

As adições de 10% e 5% em substituição ao cimento também podem ser utilizadas para fins estruturais pois estão acima de 20 MPa.

Esse aumento de resistência à compressão axial do concreto com a adição de sílica ativa entre 5% e 15% é relatado em diversos estudos anteriores. Acredita-se que esse ganho de resistência se deve ao fato de as partículas de sílica ocuparem os espaços vazios entre os agregados e o aglomerante principal, o que ocorre devido à granulometria da sílica estar entre 100 a 150 vezes abaixo da granulometria do cimento (SEIDENSTUCKER, 2018).

De forma geral os resultados obtidos mostram que a utilização da sílica ativa em substituição parcial do aglomerante principal pode ser aplicada na construção civil, garantindo aumento da resistência desde os primeiros dias e redução de emissão de dióxido de carbono.

5.2 VIDRO TEMPERADO

A adição do resíduo de vidro temperado em substituição parcial do agregado graúdo obteve melhor resultado nas adições de 25%. Essas adições de vidro nas porcentagens de 25% podem substituir o agregado graúdo para a redução parcial da brita na massa e proporcionar mais uma opção para a reutilização do vidro.

As resistências obtidas em todas as porcentagens de adição foram minoradas em comparação ao concreto convencional. Sendo assim, a utilização desse material pode ser indicada para fins estruturais, como vigas, pilares, fundações e lajes, porém deve cumprir com a resistência mínima exigida em projeto. A adição de vidro temperado em 75% seria excelente para fins arquitetônicos devido à aparência diferenciada.

Estudos de Silva e Moraes (2014) apontam que a ocorrência desse decréscimo de resistência é comum, pois o ângulo de atrito da superfície do vidro é bem menor em comparação com o ângulo de atrito da superfície da brita. Essa diferença causaria facilidade para o deslizamento do material em contato com o aglomerado após ser submetido a cargas de compressão axial.

A adição de sucata de vidro temperado pode também facilitar para empresas que usam esse material a conquistar certificações como selo verde, pois estaria proporcionando um destino nobre ao resíduo de vidro temperado e, conseqüentemente, aumentaria o valor do imóvel no mercado.

REFERÊNCIAS

ANAVIDRO, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE VIDRAÇARIAS. **Como se fabrica o vidro?** Disponível em: < <https://www.anavidro.com.br/como-se-fabrica-o-vidro-temperado/>>. Acesso em: 05 de setembro de 2019.

ARAÚJO, A. P.; PERUZZI, A. de P.; DIAS, J. F; da, SILVA, T. J. **Verificação das atividades pozolânicas do pó de resíduo de vidro em argamassas cimentícias.** In: 53º

BATTAGIN, Arnaldo. **Uma breve história do cimento Portland.** Disponível em:<<http://www.acbp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimmento-portland>> . Acesso em: 11 de Março 2019

BLINDEX®, **Vidro temperado Blindex®.** Disponível em: <<https://www.blindex.com.br/sobre-a-blindex/historia-do-vidro/o-que-e-vidro-temperado-blindex>> Acesso em: 05 de Setembro de 2019.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988**. Promulgada em 05 de Outubro de 1988. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm > Acesso em 10 nov. 2018.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de Dezembro de 1940**. Código Penal. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del2848compilado.htm > Acesso em 10 nov. 2018.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: **Manual de educação**. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>> Acesso em: 20 de Março 2019.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese (Livre Docência em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

IBRACON, 2011 - **Congresso brasileiro do concreto**, 2011, Florianópolis. Anais. Florianópolis.

IDIR, R.; CYR, M.; TAGNIT-HAMOU, A. **Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars**. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 1309-1312, 2010.

LACTEC/DPTM, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. **Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto**, Acesso em < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n331/a0754331.pdf> > Disponível em 16 de setembro de 2019.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com Fibras de Carbono.** - São Paulo, 2002

MAILVAGANAM. N. P.; DEANS, J. J. **Materials, selection, and handling: repair and protection of concrete structures.** Boca Raton: CRC Press, 1992.

MATOS, A. M.; SOUSA-COUTINHO, J. **Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement.** *Construction and Building Materials*, v. 36, p. 205-215, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.: **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo 1994

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.I.C.; MAINIER, F.B. **Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico.** *Química Nova na Escola*, n. 19, p. 11-14, 2004.

SEIDENSTUCKER, MICAELA; GOULART, CRISTIANO. **Análise Da Contribuição Da Adição Da Sílica Ativa Na Resistência À Compressão De Concretos.** Acesso em < <https://tcc.unipar.br/files/tccs/526f347fc6319ebdb90f9a6709430428.pdf> > Disponível em: 01 de Outubro de 2019.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Reciclagem: Decomposição do lixo**, 2005. Acesso em < <http://portalprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=25766> > Disponível em: 15 de Março de 2019

NORMA BRASILEIRA 5738/2003 - **Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Acesso em:

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/5030/material/NBR%205738%20-%2015_aula.pdf> Disponível em: 15 de Março de 2019

PENACHO, P. M. **Desempenho de argamassas com incorporação de resíduos finos de vidro: Reciclagem de agregados (RCD) e reacção álcalis-sílica (RAS).** 292p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

SANTOS, ALTAIR. **Uso de vidro moído como agregado limita o concreto.** Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/vidro-moido-como-agregado/>> Acesso em: 05 de Setembro de 2019.

SILVA FILHO, L. C. P. **Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica.** 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre.

TRINDADE, D. S. **Patologia em estruturas de concreto armado,** 2015. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_DIEGO%20DOS%20SANTOS%20DA%20TRINDADE.pdf>. Acesso em: 31 de Março 2019.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. **“Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reductions up to 2050”.** WBCSD, 2009. 36 p.

ZAMBERLAN, F. B., **Penetração de cloretos em concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.