

EFEITOS DA ADIÇÃO DE CINZA VOLANTE E FIBRAS DE VIDRO NA COMPOSIÇÃO DE UM CONCRETO SUSTENTÁVEL

Davy Andrade da Silva¹

Cleidson Rosa Alves²

Resumo

A busca por materiais de construção mais sustentáveis ganhou destaque global, impulsionada pela necessidade de redução do impacto ambiental da indústria da construção civil, responsável por grande parte das emissões de CO₂ e pelo consumo de recursos naturais. Nesse contexto, a utilização de resíduos industriais, como a cinza volante e a incorporação de fibras de vidro em concreto, apresentam-se como alternativas promissoras para o desenvolvimento de materiais com melhor desempenho e menor impacto ambiental. Este estudo avalia o comportamento mecânico do concreto com substituição parcial de cimento por cinza volante e adição de fibras de vidro. Para isso, foram realizados ensaios de resistência à compressão, densidade aparente, absorção de água e consistência. Embora a resistência mecânica tenha apresentado redução em relação à referência, os resultados indicam que a incorporação de cinza volante melhorou a sustentabilidade do concreto e as fibras puderam ser incorporadas sem comprometer significativamente seu desempenho estrutural. Por fim, a utilização desses materiais alternativos mostra uma estratégia viável para a construção civil, contribuindo para a redução do impacto ambiental sem comprometer a aplicabilidade estrutural do concreto.

Palavras-Chave: Concreto sustentável; Fibras de vidro; Cinza volante

EFFECTS OF THE ADDITION OF FLY ASH AND GLASS FIBERS ON THE COMPOSITION OF A SUSTAINABLE CONCRETE

Abstract: The search for more sustainable construction materials has gained global prominence, driven by the need to reduce the environmental impact of the construction industry, which is responsible for a large part of CO₂ emissions and the consumption of natural resources. In this context, the use of industrial waste, such as fly ash, and the incorporation of glass fibers in concrete are promising alternatives for the development of materials with better performance and lower environmental impact.

¹ Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Civil, no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). E-mail: davy.a2001@aluno.ifsc.edu.br

² Professor do Curso de Graduação em Engenharia Civil, no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). E-mail: cleidson.alves@ifsc.edu.br

This study evaluates the mechanical behavior of concrete with partial replacement of cement by fly ash and the addition of glass fibers. For this purpose, tests were performed on compressive strength, apparent density, water absorption, and consistency. Although mechanical strength showed a reduction in relation to the reference, the results indicate that the incorporation of fly ash and glass fibers improved the sustainability of concrete without significantly compromising its structural performance. Finally, the use of these alternative materials shows a viable strategy for civil construction, contributing to the reduction of environmental impact without compromising the structural applicability of concrete.

Keywords: Sustainable concrete; Fiberglass; Fly ash

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da construção civil é responsável pela emissão de quantidades significativas de gás carbônico (CO₂) geradas na produção de cimento Portland. Para cada tonelada de cimento produzido é emitido na atmosfera aproximadamente uma tonelada de gás carbônico, principal gás contribuinte para o aumento do efeito estufa, assim distribuída nas etapas de produção: descarbonatação (50 %), combustão no forno de clínquer (40 %), transporte de matérias-primas (5 %) e eletricidade (5 %) (FARIAS et al., 2023).

O clínquer é amplamente empregado na produção do cimento sendo o segundo material mais utilizado no mundo, atrás somente da água. Sua produção representa de 5 a 8 % das emissões anuais de CO₂ liberadas na atmosfera, se tornando um dos focos para a descarbonização deste setor industrial. Globalmente, em 2019, quase 4,1 giga toneladas de cimento foram produzidas, resultando em 2,3 giga toneladas de CO₂ sendo liberados para a atmosfera (PISCIOTTA et al., 2023).

Cortar as emissões de carbono da produção de cimento é difícil devido à dependência global de matérias-primas. Reduções profundas exigem uma implementação massiva de tecnologias inovadoras, como cimentos feitos com matérias-primas alternativas. O clínquer por sua vez, enfrenta um desafio único, pois as emissões de CO₂ se originam tanto dos combustíveis fósseis usados em sua produção quanto da química do processo. As emissões que se originam da química, compõem quase 60 % do CO₂ gerado pela produção (IEA,2023; PISCIOTTA et al., 2023).

Acerca desta premissa, os chamados materiais cimentícios suplementares (MCSs) ganham destaque no âmbito da redução do impacto ambiental. A cinza volante (CV), um subproduto da combustão de carvão em usinas termelétricas, possui características pozolânicas que permitem reduzir a quantidade de cimento necessária, por consequência ocorrendo a diminuição do clínquer. (WANG et al., 2022)

A reação pozolânica entre a cinza volante e hidróxido de cálcio pode produzir um silicato de cálcio hidratado estável, que tende a melhorar a propriedade de ligação do agregado e da matriz cimentícia (WEI et al., 2021).

O concreto, amplamente utilizado na construção civil, possui alta resistência à compressão, mas é vulnerável a fissuras e possui baixa resistência à tração, o que reduz sua durabilidade e limitações estruturais, especialmente sob condições de carga

dinâmica. A inclusão de fibras de vidro oferece uma solução promissora para mitigar esses problemas, pois aumenta a resistência à tração e controla a propagação de fissuras, atuando como uma "ponte" que limita a extensão das fissurações no elemento estrutural (LEE et al., 2021; USANOVA et al., 2022).

A principal desvantagem da fibra de vidro é que ela se degrada em ambientes alcalinos devido à sua baixa resistência a álcalis. O concreto por sua vez, possui um meio altamente alcalino, o que pode causar a degradação das fibras de vidro ao longo do tempo. Isso compromete sua eficácia como material de reforço. A adição de revestimentos protetores ou o uso de fibras de vidro resistentes à alcalinidade (AR) são soluções, mas aumentam os custos (LEE et al., 2020).

Segundo Peruzzi (2002), como sugestão para contornar essa degradação, menciona-se a modificação da matriz cimentícia adicionando sílica ativa, cinza volante ou metacaulinita, materiais que têm por objetivo baixar o pH da solução dos poros e reduzir a formação de hidróxido de cálcio.

Ahmad et al. (2022), em seu estudo sobre concreto reforçado com fibras, salienta a insignificância das fibras em relação ao ganho de resistência à compressão do concreto. Entretanto segundo o autor, pode-se inferir que ao alterar o tipo e a quantidade de materiais pozolânicos utilizados, a resistência a compressão das amostras do concreto reforçado com fibra de vidro aumentou significativamente ao longo do tempo.

Hussain & Yadav (2023), avaliaram o desempenho mecânico e de durabilidade do concreto reforçado com fibras de vidro resistente a álcalis. Os autores salientaram que a inclusão de fibras de vidro resistentes a álcalis proporcionou um acréscimo máximo de 44 % na resistência à flexão em comparação ao concreto controle. A dosagem de 1,5 % de fibras foi classificada como ideal.

Bhargava et al. (2020) avaliaram um processo experimental de um concreto com substituição de cinzas volantes classe F e escória de alto forno combinadas em diferentes teores, e fibras de vidro fixadas a um teor de 0,5 %. Os autores concluíram que 25 % de escória de alto forno e cinzas volantes obtiveram os melhores resultados.

Panditharadhya et al. (2023) pesquisaram em relação aos estudos mecânicos e de durabilidade de um concreto reforçado com fibras de aço e fibras de juta, à base de cinzas volantes. As amostras foram preparadas com 5, 10, 15 e 20 % de adições de cinzas volantes juntamente com 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 % de adição de fibras. Os autores constataram que a adição de 15 % de cinza volante e 1,5 % de fibras melhorou

as propriedades mecânicas, enquanto a adição de 10 e 15 % de cinza volante e 1,5 e 2,0 % de fibras melhorou as propriedades de durabilidade em comparação com as propriedades do concreto convencional.

Acerca das premissas apresentadas, o presente estudo tem como objetivo investigar o comportamento mecânico do concreto, especificamente quando este é modificado pela substituição da cinza volante em relação ao cimento, em conjunto com um percentual de adição de fibra de vidro. A análise buscará avaliar as influências desses materiais no desempenho do concreto, considerando aspectos como resistência à compressão, densidade aparente, absorção de água e principalmente consistência. A combinação desses elementos visa não apenas aprimorar as propriedades mecânicas do concreto, mas também contribuir para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes para a construção civil.

2. MATERIAIS

2.1 Caracterização dos materiais

2.1.1 Cimento

Para a realização dos ensaios, o cimento utilizado foi o CP IV - 32 RS da marca Votoran, composto por silicato de cálcio, alumínio, ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e pozolana.

2.1.2 Agregados

Tanto o agregado miúdo quanto o agregado graúdo empregados na composição da mistura foram extraídos na região sul de Santa Catarina. Antes da sua incorporação, os materiais passaram por um processo de secagem em estufa a uma temperatura de 110 °C por aproximadamente 24 horas, garantindo a remoção da umidade superficial e melhorando a precisão na dosagem dos componentes.

O agregado miúdo utilizado corresponde a uma areia de granulometria média, enquanto o agregado graúdo consiste em brita classificada como #1, com faixa granulométrica entre 9,5 mm e 19 mm, assegurando adequada distribuição de partículas e melhor compactação da mistura.

Previamente foram realizados ensaios de massa específica para os agregados utilizados nesta pesquisa. Os resultados do ensaio de massa específica aparente são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica aparente dos agregados

Material	Massa específica aparente
Agregado miúdo	1,56 g/cm ³
Agregado graúdo	1,51 g/cm ³

Fonte: Gamba, 2023.

2.1.3 Cinza volante

A cinza volante foi fornecida pelo complexo termelétrico Jorge Lacerda, localizada na cidade de Capivari de Baixo no estado de Santa Catarina conforme Figura 1.

Figura 01 - Cinza Volante



Fonte: Acervo do autor, 2025

2.1.4 Fibra de vidro

Para a fibra de vidro, exposta na Figura 2, foram utilizadas da marca MBT do tipo álcali resistente, material certificado pela Universidade de São Paulo (USP), atendendo NBR 16940 - concreto reforçado com fibras (ABNT, 2021).

Conforme fabricante, esta fibra de vidro foi desenvolvida especialmente para retenção de esforços mecânicos a retração durante a cura do concreto. As propriedades físicas da fibra utilizadas estão expressas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades físicas da fibra de vidro

Resistência à tração	1,698 MPa
Diâmetro	13 – 15 μm
Comprimento	12 mm
Densidade	2,68 g/cm ³
Módulo de elasticidade	72 GPa
Deformação na ruptura	2 – 3,5 %
Resistência ao álcali	Alta
Absorção de água	Insignificante para o traço do concreto

Fonte: Macrofibra do Brasil, 2025.

Figura 02 - Fibras de vidro

Fonte: Acervo do autor, 2025

2.1.5 Aditivo

O uso de aditivos superplastificante em concreto reforçado com fibras de vidro é essencial para melhorar a fluidez da mistura sem comprometer a relação água/cimento, garantindo melhor moldabilidade e homogeneidade, resultando em um concreto mais denso, com maior resistência mecânica e durabilidade e melhorando a aderência das fibras de vidro à matriz cimentícia.

O aditivo utilizado nesta pesquisa foi o superplastificante Liga Flow, fabricado pela empresa Liga Química Industrial, localizada na cidade de Araranguá – SC.

3 MÉTODOS

3.1 Dosagem do concreto e adições

3.1.1 Traço Referência

O traço referência é fundamental para avaliar o desempenho de concretos com adições, permitindo uma análise comparativa entre diferentes composições. Neste estudo, o traço referência foi baseado no autor Panditharadhya et al. (2023). O traço base é apresentado conforme Tabela 3. O objetivo é estabelecer um parâmetro inicial que sirva como controle para mensurar as propriedades mecânicas e a durabilidade dos traços propostos, evidenciando os benefícios e limitações do uso de materiais alternativos no contexto de construção sustentável.

Tabela 3 - Traço Referência

Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Relação Água/Cimento	Aditivo (%)
1	1,65	2,86	0,38	0,38	0,77

Fonte: Panditharadhya et al., 2023.

3.1.2 Determinação da matriz experimental

A matriz experimental foi elaborada a partir da combinação dos dois tipos de adições utilizados variando-os de forma proporcional, a fim de preservar a estatística do estudo. Pré-testes foram realizados com o objetivo de avaliar consistência inicial com adições de 1,5 e 3 % de fibras de vidro. Notou-se que o traço referência era inviável sob a questão da consistência do concreto necessitando de ajustes. Em sequência novos pré-testes foram realizados alterando as proporções dos agregados e ajustando a relação água cimento e a proporção de aditivo. As adições de fibras de vidro também foram alteradas para 1 e 2 %, com o objetivo de obter uma melhor consistência do concreto.

Em relação ao traço referência, ajustou-se a relação água/cimento para 0,5. O percentual de aditivo foi fixado em 1,76 %, em relação à massa de cimento. O teor de argamassa ideal para as adições foi de 1:2:2,5:0,5:1,76 (cimento, brita, areia, água e aditivo). Por fim foram propostos 15 e 30 % de substituições do cimento por cinza volante e 1 e 2 % de adições de fibras de vidro em relação a massa de cimento. Os traços executados são descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Traços propostos

Traço	Cimento %	C.V %	Agregado Miúdo kg	Agregado graúdo kg	F.V %	Relação A/C	Aditivo %
CC	100	0	5,5	4,4	0	0,5	1,76
FV ₁ CV ₀	100	0	5,5	4,4	1	0,5	1,76
FV ₁ CV ₁₅	85	15	5,5	4,4	1	0,5	1,76
FV ₁ CV ₃₀	70	30	5,5	4,4	1	0,5	1,76
FV ₂ CV ₀	100	0	5,5	4,4	2	0,5	1,76
FV ₂ CV ₁₅	85	15	5,5	4,4	2	0,5	1,76
FV ₂ CV ₃₀	70	30	5,5	4,4	2	0,5	1,76

Fonte: Elaborado pelo autor,2025.

3.2 Moldagem e cura dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). Utilizando moldes cilíndricos de 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura. Na superfície interna dos moldes foi aplicado produto desmoldante para facilitar a retirada do material.

Para a mistura dos materiais, foi utilizado uma argamassadeira eletromecânica da marca VENÂNCIO de aproximadamente 5 litros conforme Figura 3, com velocidade a cerca de 100 rpm. Os materiais foram adicionados na seguinte ordem: brita, água com aditivo, cimento, areia e fibras de vidro, com um intervalo de 1 minuto a cada adição de material e 2 minutos para a mistura das fibras.

Figura 03 – Argamassadeira utilizada para mistura



Fonte: Acervo do autor, 2025.

Para a moldagem dos corpos de prova, utilizou-se da haste de adensamento seguindo a quantidade de golpes determinada por norma para garantir total adensamento dos materiais. Para cada traço, foram produzidos 3 corpos de prova. Após 72h da moldagem, ocorreu a desmoldagem dos corpos de prova e iniciou-se o processo de cura por imersão por 7 dias, conforme Figura 4.

Figura 04 - Cura por imersão



Fonte: Acervo do autor, 2025.

Posteriormente aos 7 dias, os corpos de prova foram retirados do tanque e o processo de cura continuou, em contato com o ar, em local seco com uma temperatura média de 25° C até a idade de 28 dias. Aos 28 dias uma parcela dos corpos de provas foi rompida e outras seguiram no processo de cura até os 68 dias, para posterior rompimento e comparação das resistências entre diferentes idades de cura.

3.3 Consistência

A consistência dos traços, foram determinados pelo método do *Slump Test* seguindo a NBR 16889 (ABNT,1998). O molde utilizado neste ensaio, possui uma forma tronco-cônica, com um diâmetro variando de 100 a 200 mm e uma altura de 30 cm, conforme Figura 5.

Figura 05 – Ensaio de abatimento, amostra Fv1CV15



Fonte: Acervo do autor, 2025.

3.4 Densidade aparente e absorção de água

Para a determinação da densidade aparente e da absorção de água no concreto, foram seguidos os procedimentos descritos na norma NBR 9778 (ABNT, 2005). Os ensaios, conduzidos conforme as diretrizes normativas, permitem uma análise detalhada da porosidade, da compactação e da interação do material com a água, fatores que impactam diretamente na durabilidade e na resistência do concreto.

Após os 28 dias de cura, antes de iniciar o processo de rompimento dos corpos de prova, os compósitos foram imersos em água em temperatura ambiente por 72h. Na sequência após retirados, foram secos com pano e pesados para obtenção da massa saturada. Após isso, foram colocados em estufa, a 110 °C, por 72h. Por fim foram retiradas e após o resfriamento para temperatura ambiente, pesadas e obtidas as massas secas.

A determinação da densidade aparente e absorção de água foram realizadas pelos cálculos conforme as equações 1 e 2.

$$\text{Absorção de Água} = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Densidade Aparente} = \frac{M_s}{M_i - M_{sss}} \quad (2)$$

Onde:

M_{sss} = Massa saturada com superfície seca (g)

M_s = Massa seca em estufa (g)

M_i = Massa imersa em água (g)

3.5 Resistência a Compressão

Os ensaios de resistência a compressão foram realizados em dois períodos: aos 28 e aos 68 dias de cura do concreto. Os ensaios foram baseados na NBR 5739 (ABNT, 2018). O rompimento foi realizado em uma prensa hidráulica da marca Intermetric, conforme Figura 6.

Figura 06 – Prensa hidráulica



Fonte: Acervo do autor, 2025.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Consistência

Os resultados do ensaio de consistência para cada traço obtido são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Abatimento das amostras

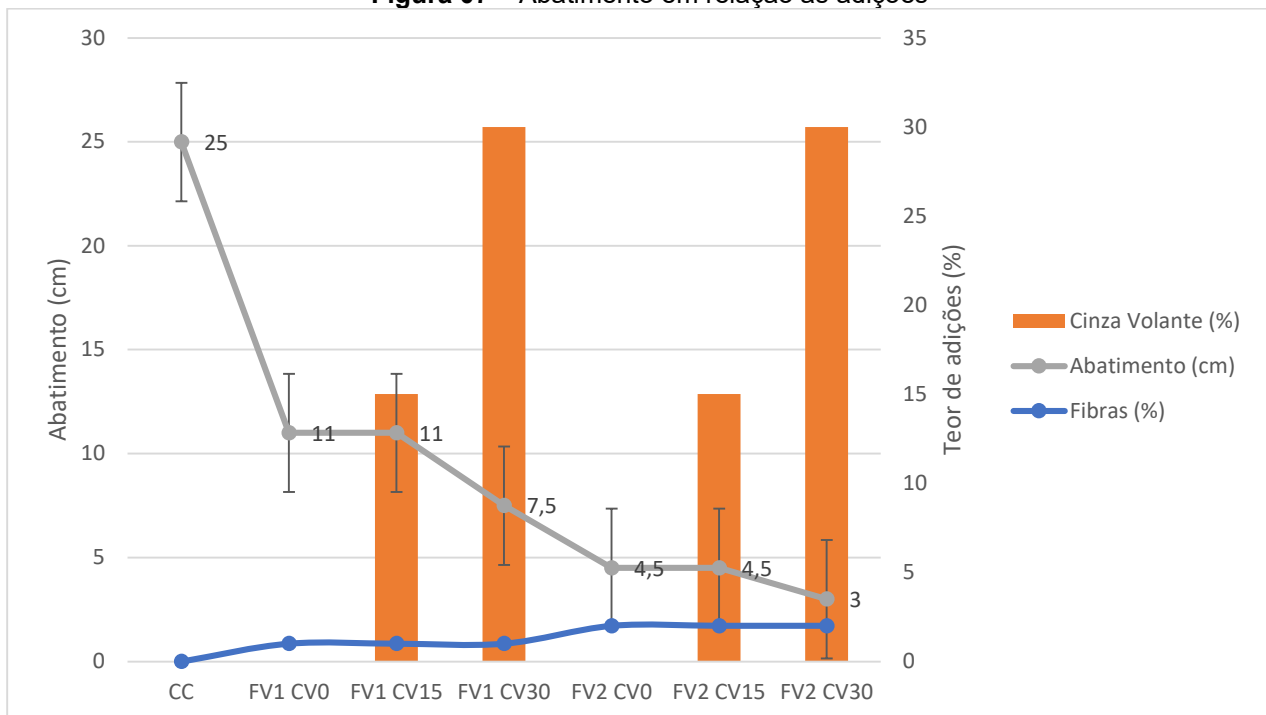
Traço	Cimento %	F.V %	C.V %	Abatimento (cm)	Decréscimo (%)
CC	100	0	0	25	-
FV ₁ CV ₀	100	1	0	11	56
FV ₁ CV ₁₅	85	1	15	11	56
FV ₁ CV ₃₀	70	1	30	7,5	70
FV ₂ CV ₀	100	2	0	4,5	82
FV ₂ CV ₁₅	85	2	15	4,5	82
FV ₂ CV ₃₀	70	2	30	3	88

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

*Decréscimo em relação ao traço controle

A Figura 7 ilustra de forma mais evidente, o comportamento do abatimento, conforme as adições são incorporadas ao traço original.

Figura 07 – Abatimento em relação às adições



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Tibebu et al. (2022), explica que, à medida que aumentamos o percentual de fibras de vidro no concreto, ocorre a diminuição do valor de abatimento, o que mostra um decréscimo na capacidade de fluxo do concreto preparado devido à resistência imposta pela fibra de vidro no fluxo livre do concreto.

Essa afirmação é confirmada conforme os dados da Figura 7. Percebe-se que, ao incorporarmos 1 % de fibras de vidro ao traço, a consistência decai cerca de 56 % em relação ao traço controle o que mostra a excessiva perda de trabalhabilidade conforme a adição das fibras. Adicionando o percentual de 15 % de cinzas volante, a consistência se mantém a mesma. Já para 30 % de cinzas volante a consistência cai novamente cerca de 70 % em relação ao traço controle.

Raut (2023), explica que à medida em que a porcentagem de cinzas volantes aumenta, a trabalhabilidade do concreto também aumenta, e segundo o autor, é 13,33 % maior para 40 % de substituição do cimento em relação à mistura de controle. Nota-se que esse dado diverge dos resultados obtidos nesse experimento, onde é possível observar, conforme Figura 7, que com a substituição de 30% de cinzas volante a trabalhabilidade foi influenciada de forma negativa, podendo ser atribuída ao excesso de finos que podem estar dificultando a mobilidade das partículas na matriz cimentícia, ocasionando em um concreto menos trabalhável.

Além disso é possível observar a expressiva diferença entre o traço controle e os traços com as incorporações de materiais suplementares. Percebe-se que para compensar as perdas de trabalhabilidade impostas pelas fibras, o aditivo teve que ser utilizado em um alto percentual e quando as mesmas não foram adicionadas o abatimento foi excessivamente alto.

As figuras 8, 9 e 10, mostram o resultado dos ensaios para o menor valor de abatimento, o maior valor considerando as adições e também o resultado do traço controle.

Figura 8 – Slump Fv₂CV₃₀**Figura 9 – Slump Fv₁CV₁₅**

Fonte: Acervo do autor, 2024

Figura 10– Slump traço controle

Fonte: Acervo do autor, 2024

4.3 Densidade aparente e absorção de água

Os resultados dos cálculos de densidade aparente e absorção de água, estão descritos abaixo na Tabela 7.

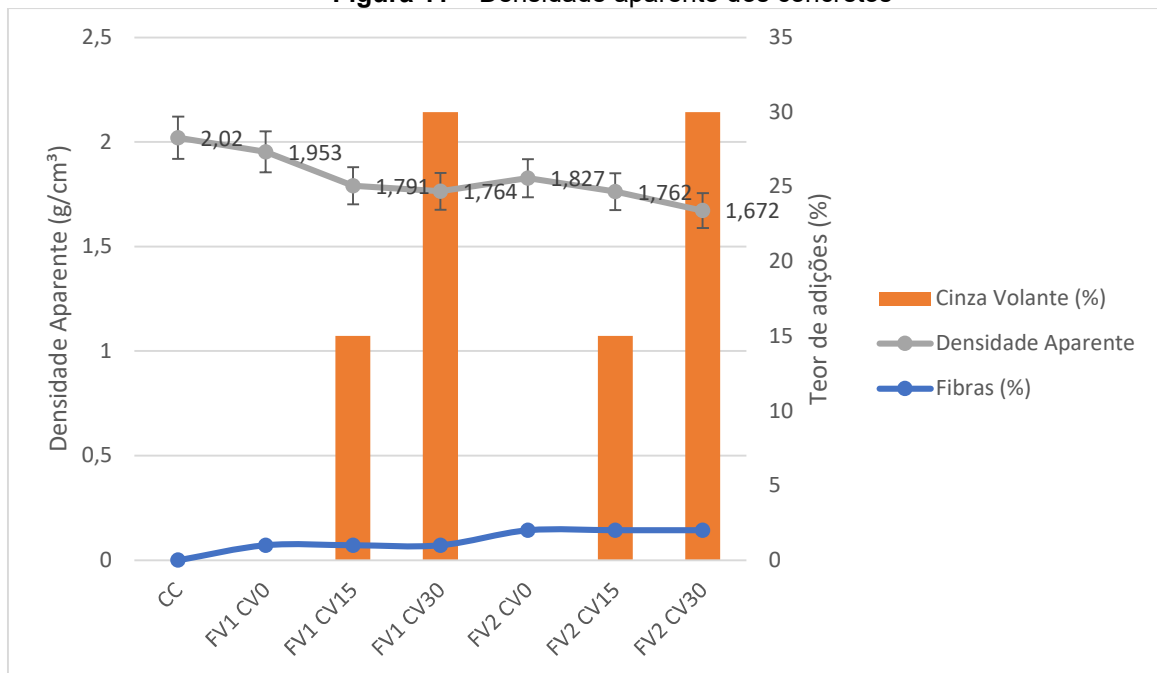
Tabela 7 – Densidade aparente e absorção de água

Traço	Densidade aparente g/cm ³	Absorção %
CC	2,02	6,00
FV ₁ CV ₀	1,953	6,32
FV ₁ CV ₁₅	1,791	7,55
FV ₁ CV ₃₀	1,764	6,14
FV ₂ CV ₀	1,727	6,51
FV ₂ CV ₁₅	1,762	6,70
FV ₂ CV ₃₀	1,672	6,88

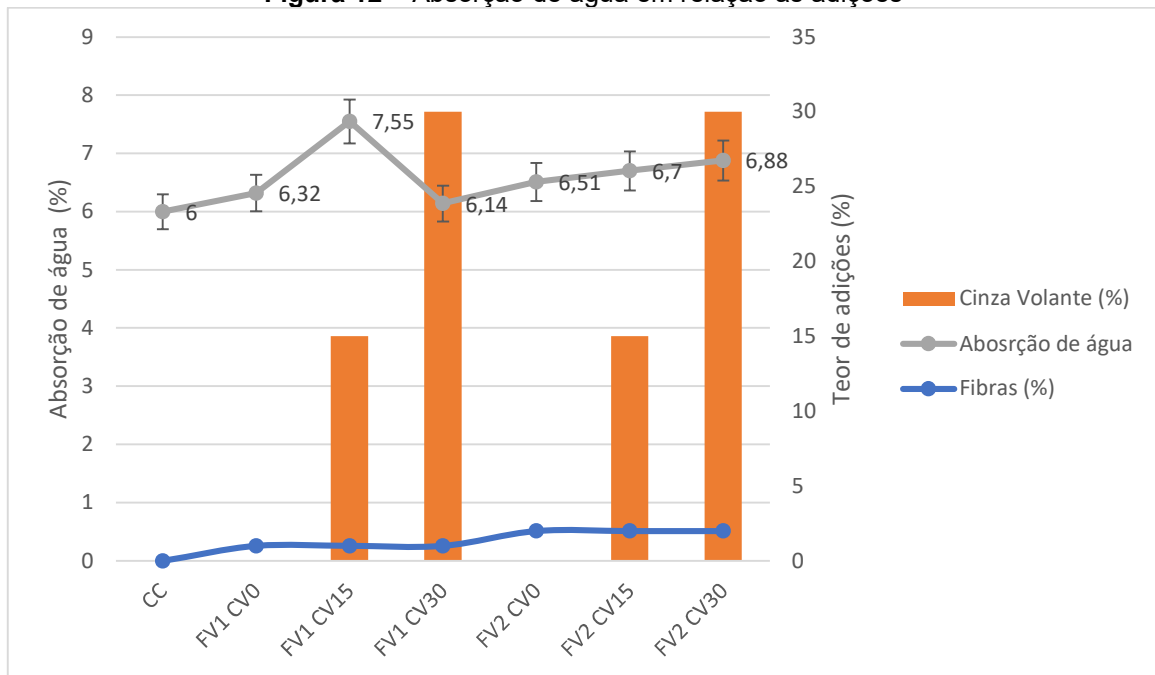
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As figuras 11 e 12 ilustram em formato de gráfico o comportamento da densidade e da absorção de água conforme a adição dos materiais empregados no estudo.

Figura 11 – Densidade aparente dos concretos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 12 – Absorção de água em relação às adições

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Observando o comportamento da densidade discriminado na Figura 11, nota-se que a medida em que as adições são incorporadas ao traço, suas densidades decrescem, sendo o menor valor para o traço com 2 % de adições de fibra de vidro e nenhuma adição de cinza volante, com o valor de $12,2 \text{ g/cm}^3$ de densidade aparente.

Nessas condições é correto dizer que à medida que aumentamos o percentual de fibras de vidro, a densidade do compósito diminuirá e isso pode ser atribuído pela dificuldade do adensamento do material, implementada pelas fibras.

Ainda na Figura 11, nota-se que a mistura de controle teve densidade superior a todas as outras amostras, dado que já era esperado por conta do alto percentual de aditivo utilizado no traço, deixando-o excessivamente fluído e conseqüentemente mais denso. À medida que essa fluidez foi reduzida com as adições das fibras, todas as demais densidades também foram diminuídas confirmando essa relação.

Outro ponto observado é que a variação da adição de cinza volante para o mesmo percentual de adição de fibra de vidro, desfavoreceu o adensamento dos corpos de prova, como exemplo FV2CV30 e FV1CV30 apresentaram maior absorção de água em relação aos traços sem adição de cinza volante.

4.4 Resistência à compressão

Os resultados das resistências à compressão após 28 e 68 dias de cura, para cada traço são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resistência à compressão

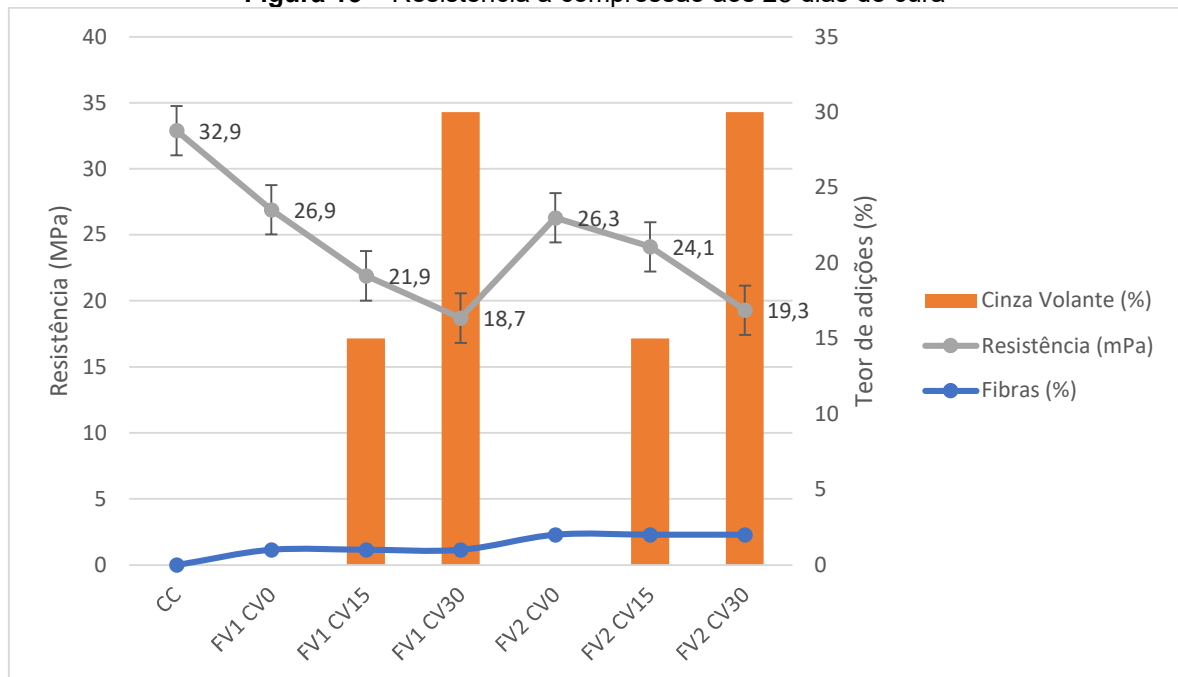
Traço	Cimento %	F.V %	C.V %	Resistência (28 dias) MPa	Decréscimo (%)	Resistência (68 dias) MPa	Decréscimo (%)
CC	100	0	0	32,9	-	34,8	-
FV ₁ CV ₀	100	1	0	26,9	18,23	30,0	13,79
FV ₁ CV ₁₅	85	1	15	21,9	33,43	24,6	29,31
FV ₁ CV ₃₀	70	1	30	18,7	43,16	20,3	41,66
FV ₂ CV ₀	100	2	0	26,3	20,06	28,9	16,95
FV ₂ CV ₁₅	85	2	15	24,1	26,74	23,2	33,33
FV ₂ CV ₃₀	70	2	30	19,3	41,33	21,3	38,79

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

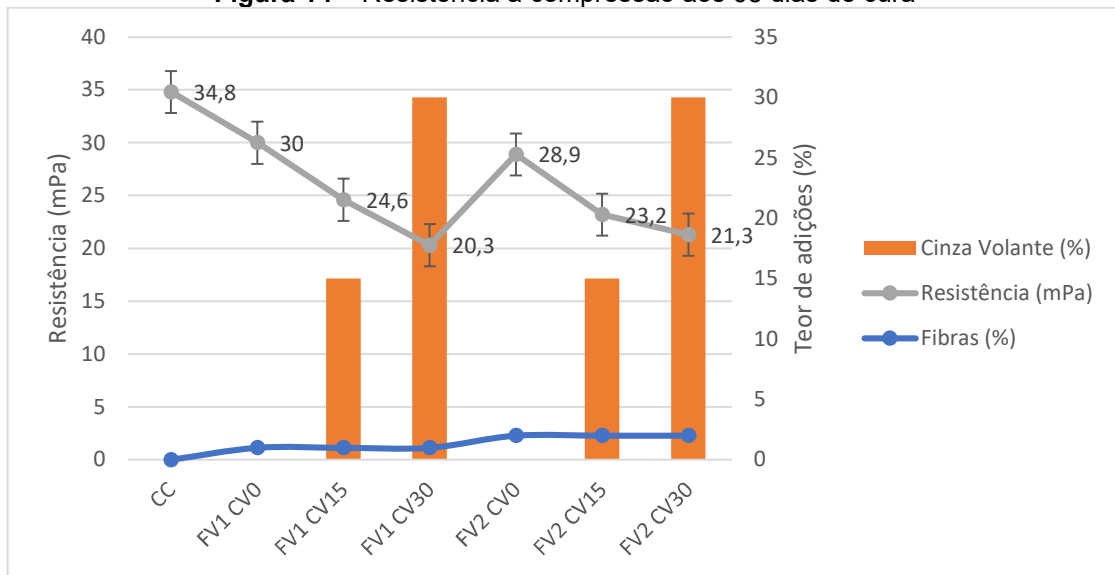
*Decréscimo em relação ao traço controle

A Figura 13 ilustra de forma mais evidente, o comportamento da resistência à compressão, conforme as adições são incorporadas ao traço original.

Figura 13 – Resistência à compressão aos 28 dias de cura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 14 – Resistência à compressão aos 68 dias de cura

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Ahmad et al. (2022) em seus resultados, enfatizam a insignificância do ganho de resistência à compressão pela adição das fibras, dados esses que são confirmados conforme Figura 13. Percebe-se que, aos 28 dias, à medida que incorporadas as fibras de vidro e cinzas volante, a resistência à compressão diminui. Para 1 % de fibras, a resistência é diminuída em cerca de 18 % em relação ao traço referência. Para 2 % de fibras ocorre uma diminuição ligeiramente menor quando comparada com 1 %.

Em relação a cinza volante, percebe-se que para 15 % de substituição ocorre uma diminuição na ordem de 33 % em relação ao traço controle. Para 30 % de substituição a diminuição na resistência sobe para ordem de 43 % em relação ao traço controle. A adição de cinza volante ao concreto pode influenciar a resistência à compressão, especialmente nas idades iniciais de cura. Em razão da reação pozolânica ocorrer de forma mais lenta do que a reação padrão do cimento.

Ainda na Figura 13, é possível observar a confirmação dessas colocações, nos traços FV₁CV₃₀ e FV₂CV₃₀ que possuem o maior percentual de cinzas volantes, nota-se que os valores de resistência a compressão são os menores aos 28 dias.

Comparado aos estudos de Gamba (2023), que avaliou o uso de resíduos industriais como materiais cimentícios suplementares no concreto, quando adicionados 30 % de cinzas, obteve-se uma resistência de 16,65 MPa, mostrando uma diminuição de cerca de 15,92 % na resistência à compressão em relação ao concreto fibroso com 2 % de fibras de vidro, este dado tende mostrar que as fibras de vidro podem auxiliar na resistência à compressão em curtas idades de um concreto a base de cinza volante.

Observando a Figura 14, e visto que, mesmo aos 68 dias de cura, a resistência à compressão segue a mesma tendência das idades iniciais, com os menores valores registrados nos traços com a maior proporção de cinzas volante. Foram realizadas comparações entre as resistências de diferentes idades de cura e são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Acréscimo de resistência entre diferentes idades de cura dos traços

Traço	Cimento %	F.V %	C.V %	Resistência (28 dias) MPa	Resistência (68 dias) MPa	Acréscimo (%)
CC	100	0	0	32,9	34,8	5,78
FV ₁ CV ₀	100	1	0	26,9	30,0	11,52
FV ₁ CV ₁₅	85	1	15	21,9	24,6	12,33
FV ₁ CV ₃₀	70	1	30	18,7	20,3	8,56
FV ₂ CV ₀	100	2	0	26,3	28,9	9,89
FV ₂ CV ₁₅	85	2	15	24,1	23,2	-3,73
FV ₂ CV ₃₀	70	2	30	19,3	21,3	10,36

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Raut (2023) ainda afirma que mesmo com 40 % de substituição de cimento por cinzas volantes em conjunto com fibras de vidro, a resistência da mistura aos 56 dias é ligeiramente superior à resistência aos 28 dias da mistura de controle.

Conforme Tabela 9, é possível observar que, para o traço com 1 % de fibras e 15 % de cinzas ocorreu o maior acréscimo conforme o aumento do período de cura, entretanto ainda diverge dos resultados do autor, mesmo com um percentual de cinzas menor. Analisando o traço com 30 % de substituição de cinzas a resistência é expressivamente menor do que o traço controle. Apesar disso, a tentativa deste estudo de moldar o traço para alcançar uma consistência ideal para o concreto com fibras, resultou em um traço controle com um abatimento excessivamente maior, o que tornou o concreto mais denso e conseqüentemente com maior resistência a compressão. Isso pode explicar a diferença significativa nas resistências dos traços. Ainda assim conseguimos observar o ganho de resistência com o aumento da idade de cura do concreto pela lenta reação pozolânica proporcionada pela cinza volante. Para os traços sem adições de cinza volante, percebe-se que houve uma tendência e apesar da diminuição em relação ao traço controle, não houve diminuição significativa na resistência à compressão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foram realizadas análises das propriedades mecânicas de um concreto com diferentes teores de substituição de cinza volante por cimento Portland combinados com uma variação de teores de fibras de vidro.

Sobre a cinza volante observou-se que a substituição parcial do cimento por cinza volante reduziu a resistência à compressão nos primeiros 28 dias, porém, com o aumento do tempo de cura, verificou-se um ganho progressivo, ainda que inferior ao traço controle.

A incorporação de fibras de vidro, por sua vez, reduziu expressivamente a fluidez das misturas, apesar de não ter sido realizado ensaios de resistência à tração nesta pesquisa, na literatura diversos estudos elucidam os ganhos de resistência à tração proporcionados pelas fibras incorporados aos concretos. Apesar disso, ainda assim foi possível incorporar um teor consideravelmente alto de fibras permitindo que o concreto continuasse com uma consistência adequada sem comprometer sua resistência estrutural.

Acerca dos teores propostos, aquele com 1% de adição de fibras de vidro e 15% de cinzas volantes se mostrou o traço ideal, quando analisamos trabalhabilidade e resistência à compressão.

É esperado que adições de cinza volante reduzam a resistência mecânica, porém como da mesma forma a baixa trabalhabilidade gerada pela incorporação de fibras poderia ser compensada pela adição combinada das cinzas volantes, visto que alguns autores relataram este efeito, porém este comportamento não foi observado nesta pesquisa, e tal fato pode estar associado a especificidade da cinza adotada.

Por fim, a adição combinada de cinza volante com fibra pode ser adotada em concretos a base cimento Portland, visto que os resultados obtidos atingiram um bom comportamento mecânico aliado ao ganho ambiental gerado com a redução do consumo de cimento Portland provocado pela utilização da cinza volante.

Estudos futuros podem explorar outros ensaios como flexão, tração, modulo de elasticidade, bem como a influência de outros aditivos para mitigar as perdas iniciais de resistência e melhorar a aplicabilidade prática dessa solução na construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Santa Catarina, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 1 ed. Brasil, 1998. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16938: Concreto reforçado com fibras - Controle da qualidade**. 1 ed. Brasil, 2021. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos**. 3 ed. Brasil, 2018. 9 p.

Ahmad, J.; González-Lezcano, R.A.; Majdi, A.; Ben Kahla, N.; Deifalla, A.F.; El-Shorbagy, M.A. **Glass Fibers Reinforced Concrete: Overview on Mechanical, Durability and Microstructure Analysis**. *Materials* 2022, 15, 5111. <https://doi.org/10.3390/ma15155111>

FARIAS, M. M.; FARIAS, C. L. DE R.; PIKANÇO, M. DE S.. **Escória de Alto Forno como substituição parcial ao cimento Portland**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 28, n. 2, p. e20230120, 2023. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2023-0120>

GAMBA, Leticia Cardoso. **Avaliação do uso de resíduos industriais como materiais cimentícios suplementares na produção de concretos sustentáveis**. 2023. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, Criciúma, 2023.

HUSSAIN, S.; YADAV, J. S. **Mechanical and Durability Performances of Alkali-resistant Glass Fiber-reinforced Concrete**. *Jordan Journal of Civil Engineering*, v. 17, n. 2, p. 231–246, 2023. <http://dx.doi.org/10.14525/JJCE.v17i2.06>

IEA (2023), Cement, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/cement-3>, Licence: CC BY 4.0. Acesso em 7 de janeiro de 2024.

Lee, S.-Y., Karthick, S., & Lee, H.-S. (2021). **Review of the Effects of Supplementary Cementitious Materials and Chemical Additives on the Physical, Mechanical and Durability Properties of Hydraulic Concrete**. *Materials*, 14(23), 7270. <https://doi.org/10.3390/ma14237270>

PISCIOTTA, M. et al. Opportunities for cement decarbonization. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 15, p. 100667, 1 ago. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100667>

PERUZZI, Antônio de Paulo. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento portland modificada com látex e adição de sílica ativ**. 2002. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

RAUT, M. V. **Influence of fine-grain fly ash along with glass fiber on strength and cost of proposed concrete mixes.** Materials Today: Proceedings, 6 maio 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.515>

TIBEBU, A. et al. **Compression and workability behavior of chopped glass fiber reinforced concrete.** Materials Today: Proceedings, v. 62, p. 5087–5094, 1 jan. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.427>

VENKATA KRISHNA BHARGAVA, V.; BRAHMA CHARI, K. J.; RANGA RAO, V. **Experimental investigation of M40 grade concrete with supplementary cementitious materials and glass fiber.** Materials Today: Proceedings, v. 33, p. 519–523, 1 jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.209>

WEI, Y. et al. **Effect of fly ash on mechanical properties and microstructure of cellulose fiber-reinforced concrete under sulfate dry–wet cycle attack.** Construction and Building Materials, v. 302, p. 124207, 4 out. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124207>

Wang, X., Zhang, Y., & Li, J. (2022). **Effect of Fly Ash Content on the Microstructure and Strength of Concrete under Freeze–Thaw Condition.** Construction and Building Materials, 331, 127207. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings12122113>