



# ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETOS ESTRUTURAIS CONFECCIONADOS COM PÓ DE VIDRO

*Isadora Bedusqui de Goes Radke<sup>1</sup>, Silvia Paula Sossai Altoé<sup>2</sup>, José Venâncio Pinheiro Rotta<sup>3</sup>, Paulo Henrique Carvalho Mello<sup>4</sup>, Daise Fernanda Rubio da Silva<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Mestre, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Maringá. isadora\_goes@hotmail.com

<sup>2</sup> Docente, Doutora, Orientadora, Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Maringá. spsaltoe@uem.br

<sup>3</sup> Mestre, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Maringá. josevprota@hotmail.com

<sup>4</sup> Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Maringá. paulohcm123@gmail.com

<sup>5</sup> Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Maringá. daiserubio.ec@gmail.com

## RESUMO

O concreto é o segundo material mais utilizado no mundo, perdendo apenas para a água. As maiores problemáticas relacionadas a este material estão relacionadas a questões ambientais e de durabilidade de suas estruturas. A busca por materiais alternativos apontam como uma forma de solucionar diversos problemas e o estudo aprofundado dos mesmos é importante para determinar sua real viabilidade. Este trabalho irá abordar a substituição parcial do aglomerante na confecção de concretos estruturais por resíduo do processo de laminação de vidro (PDV), como forma de contribuir tanto em uma solução mais sustentável para a questão ambiental dos materiais, quanto para o ganho de maior durabilidade das estruturas feitas com o mesmo. O resíduo foi escolhido devido à sua grande produção e a indicação de vários estudos sobre uma possível melhora no desempenho do concreto quando utilizado como substituição do aglomerante, principalmente no que diz respeito ao ganho de resistência em idades avançadas. Nesta pesquisa foram adotados teores de substituição parcial de 10, 15, 20, 25 e 30% em massa do aglomerante pelo referido resíduo. Para avaliação foram realizados ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*), absorção de água, módulo de elasticidade e resistência à compressão em 3 idades diferentes (28, 91 e 180 dias). Os resultados obtidos apontam de forma positiva para a substituição parcial proposta, uma vez que não influencia de forma significativa nas primeiras idades e apresentam uma evolução de resistência nas idades avançadas no que diz respeito a resistência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Absorção de água; Concreto com resíduos; Módulo de elasticidade dinâmico. Resistência à compressão.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores de grande importância na sociedade, trazendo consigo muitos benefícios não só econômicos, mas também sociais. Entretanto é um setor que apresenta grandes impactos ambientais que podem ser visto em todas as fases de sua produção (LARUCCIA, 2014). Os impactos de maneira geral podem ser divididos em quatro grandes grupos, consumo de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e perdas e poluição ambiental (FERREIRA; LIMA, 2013).

Os principais componentes do concreto são o cimento, areia, pedra e água, acarretando em uma grande quantidade no uso desses materiais, levando à escassez de alguns destes. Várias pesquisas apontam resíduos de diferentes indústrias como excelente alternativas para sanar essa questão podendo eles serem incorporados como aglomerantes e adições. ANTONIO (2012) aponta que com os benefícios apresentados pelo PDV estudos devem ser realizados sem abrir mão das propriedades originais do concreto, o beneficiando e visando a não escassez de matéria prima.

O vidro e seus resíduos são materiais totalmente recicláveis e que ao mesmo tempo tem sua destinação dificultada devido à logística e as partículas pequenas (de baixa granulometria), o que pode levar ao descarte impróprio gerando problemas ambientais. GUIGNONE (2017) aponta que a utilização do PDV além de proporcionar melhorias em



relação ao desempenho do concreto e também beneficia o meio ambiente. Portanto a utilização deste resíduo traria vantagens tanto para a preservação do meio ambiente quanto para a diminuição de utilização de recursos naturais.

Várias pesquisas foram feitas nas últimas décadas sobre concreto com substituição de resíduos de vidro como agregado ou ligante. Pode-se observar que do ponto de vista técnico e da engenharia os resíduos de vidro podem ser utilizados na produção do concreto contribuindo para características como resistência em idades avançadas, melhoria na absorção de água e na durabilidade das estruturas, o que permitem afirmar que este material pode se apresentar como uma excelente alternativa na composição dos concreto(CHANDRA PAUL; ŠAVIJA; BABAFEMI, 2018).

O uso do pó de vidro pode melhorar a estrutura interna do concreto e aumentar o teor de silicato de cálcio hidratado com maiores idades utilizando uma substituição adequada o que acarreta um incremento de resistência à compressão nas idades avançadas em comparação á outros concretos. Isso contribui para o efetivo prologamento da vida útil das estruturas, redução de patologias e necessidade de manutenções. Esse efeito pode ser atribuído à reação pozolânica e ao efeito microfiller do pó de vidro. (HE et al., 2019).

Segundo os estudos de AZEVEDO et al. (2017) e BARROS (2016) o tamanho dos grãos do agregado interfere na trabalhabilidade do concreto. Para CHANDRA PAUL; ŠAVIJA; BABAFEMI (2018) partículas mais finas têm maior colaboração do que partículas grossas no mecanismo de reação nas propriedades frescas e endurecidas do concreto. Para que o concreto estudado pudesse ter um melhor desempenho foi realizada uma moagem do PDV para que ele pudesse estar o mais fino possível, para possibilidade de melhores resultados.

Para esse estudo foi utilizado o pó de vidro, a partir de agora chamado de PDV, obtido através da lamidação do vidro. Com a utilização do resíduo de vidro tenta-se um aumento na vida útil do concreto, diminuindo a deterioração precoce das construções (GUIGNONE, 2017).

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação das propriedades mecânicas do concreto confeccionado com substituição parcial do aglomerante, diversos terores, por residuos de laminação de vidro (PDV), em diferentes idades, buscando determinar o desempenho deste material alternativo ao longo do tempo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse estudo foi avaliado a substituição parcial do aglomerante pelo PDV. Os índices de substituição foram de 10, 15, 20, 25 e 30% em massa com um fator a/c de 0,55. Os corpos de prova foram colocados em uma câmara úmida até o dia dos ensaios. Esses consistem em resistência à compressão nas idades de 28, 91 e 180 dias, absorção com 28 dias, *slump test* e módulo de elasticidade com 28 dias como mostra a tabela a seguir. Optou-se por fazer os ensaios de absorção e módulo de elasticidade somente aos 28 dias por estas propriedades não apresentarem grandes variações em idades avançadas, de acordo com a literatura.

**Tabela 1:** Ensaios realizados nas idades propostas

Idade (dias)	Resistência à compressão	Absorção de água	Módulo de elasticidade
--------------	--------------------------	------------------	------------------------

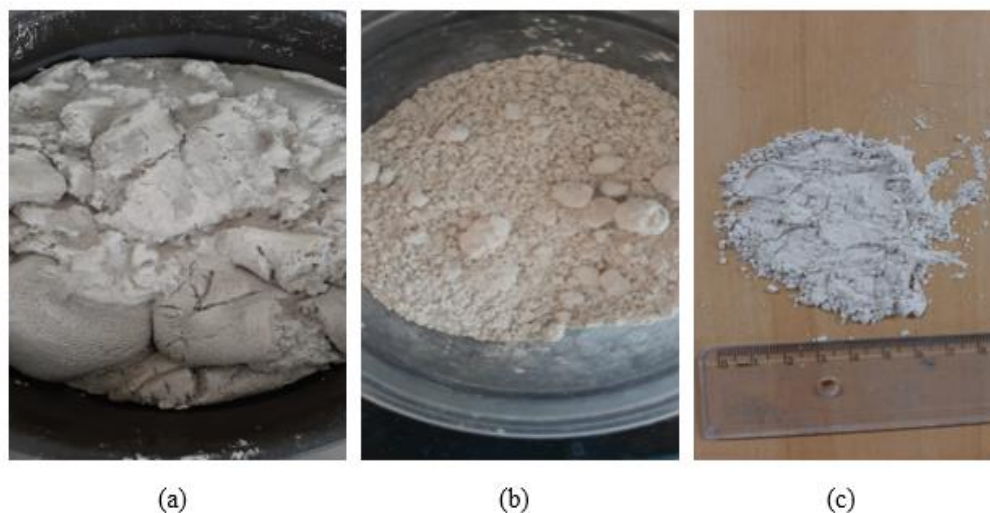


28	X	X	X
91	X	-	-
180	X	-	-

Fonte: Autores

Para confecção do concreto foram utilizados o cimento CPV – ARI, brita 1, areia média e o PDV coletado na empresa laminação de vidro na cidade de Apucarana – PR.

O PDV quando coletado tem uma textura pastosa, então ele precisou passar por um processo de secagem que durou uma semana. Nesse processo a pasta de PDV foi aberta sobre uma lona e deixada para secar ao sol, como mostra a Figura 1(a). Quando estava seco o PDV foi destorroado e então se transformou em um pó, como mostra a Figura 1(b). Para este trabalho procurou-se que o PDV estivesse o mais fino possível para gerar possíveis resultados melhorados. Um moedor foi utilizado para gerar o pó. O resultado é mostrado na Figura 1(c).



**Figura 1:** PDV  
Fonte: Autores

Os traços foram separados pelo teor de substituição e organizados como mostra a Tabela 2.

**Tabela 2:** Traços estudados

Traço	Teor de substituição (%)
T0	0
T1	10
T2	15
T3	20
T4	25



Assim que o concreto foi rodado em betoneira de 400 litros foi determinada a consistência do mesmo por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, seguindo a ABNT NBR NM 67:1998.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado na prensa com corpos de prova no tamanho de 10x20 cm, seguindo o disposto na ABNT NBR 5739:2018 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos).

O ensaio de absorção de água foi realizado fazendo a pesagem dos corpos de prova após saída da câmara úmida. Depois foram colocados na estufa onde secaram por 72 horas. Após serem retirados os corpos de prova foram resfriados a temperatura ambiente e novamente pesados. Em seguida foram imersos em um tanque com água por mais 72 horas e então retirados e pesados. Depois eles foram levados a ferver por 5 horas e posteriormente deixados resfriar por um período de 19 horas e então novas pesagens foram realizadas. Por fim os corpos de prova foram pesados imersos em água com o auxílio de um cesto de arame. Depois os cálculos foram feitos de acordo com a ABNT NBR 9778:2009.

Já o ensaio de módulo de elasticidade foi feito com o *Sonelastic* de acordo com a ABNT NBR 8522-2:2021. A Figura 2 mostra o *Sonelastic*. Antes de começar o ensaio é necessário saber a massa, diâmetro e altura de cada corpo de prova para inserir no programa.

Figura 2: *Sonelastic*



Fonte: Autores

Para realização do ensaio é necessário marcar em cada extremidade do corpo de prova a medida de  $0,224 \times L$ , sendo  $L$  o comprimento do corpo de prova para poder posicionar corretamente no equipamento. O microfone responsável por captar as vibrações emitidas pelo corpo de prova em uma extremidade a uma distância aproximada de 2cm.

Os dados sobre o corpo de prova são inseridos no programa e então na outra extremidade estimulou-se o corpo de prova por meio de uma leve batida com o auxílio de um pulsador manual. O software fez os cálculos com base nas frequências naturais de vibração emitidas pelo corpo de prova e apontou os resultados em uma planilha no programa.





### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Consistência e trabalhabilidade

Após a confecção do concreto, no estado fresco, foi realizado o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*). foram confeccionados em dias diferentes. A Tabela 3 mostra os resultados de acordo com cada traço.

**Tabela 3:** Resultados *Slump Test*

Traço	Fator a/c	<i>Slump</i>	Temperatura	Condição climática
T0	0,55	7	31°C	SOL
T1		6	31°C	SOL
T2		7	31°C	SOL
T3		13	22°C	CHUVA
T4		11	22°C	CHUVA
T5		10	22°C	CHUVA

Fonte: Autores

Optou-se por refazer os traços 0,1 e 2 devido a mudança brusca nas condições climáticas e na influência notada das mesmas na consistência dos concretos. A tabela 4 mostra o resultado do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone refeito. Os agregados utilizados estavam secos.

**Tabela 4:** Resultados refeitos do *Slump Test*

Traço	Fator a/c	<i>Slump</i>	Temperatura	Condição climática
T0	0,55	16	22°C	CHUVA
T1		14	22°C	CHUVA
T2		12	22°C	CHUVA

Fonte: Autores

Com os resultados obtidos podem ser observados dois comportamentos distintos da substituição. O primeiro deles diz respeito a influência da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar na mistura, o que fica claro quando se compara os resultados da modagem em dia de sol e em dia de chuva, isso se deve principalmente a granulometria do material, já que se trata de um material extremamente fino.

O segundo, comprova o que vinha sendo visto em várias pesquisas, que com o aumento do teor da substituição existe uma redução na consistência e consequentemente na trabalhabilidade dos concretos fabricados com PDV, a razão deste comportamento se deve a princípio pela granulometria e pela massa específica do material, que é menor que a do cimento, o que acarreta em uma quantidade maior de material quando da substituição.



### 3.2 Resistência à compressão

Os corpos de prova foram moldados e colocados na câmara úmida. Com 28, 91 e 180 dias foram retirados e realizados os ensaios de resistência à compressão.

A tabela 5 mostra os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão.

**Tabela 5:** Resistência à compressão média

Traço	PDV (%)	Resistência à compressão média (MPa) 28 dias	Desvio padrão	Resistência à compressão média (MPa) - 91 dias	Desvio padrão	Resistência à compressão média (MPa) - 180 dias	Desvio padrão
T0	0	36,80	3,5	42,70	4,10	39,10	6,40
T1	10	33,80	1,0	39,10	4,20	34,90	1,50
T2	15	33,50	0,9	35,10	4,80	38,10	1,30
T3	20	28,70	3,0	36,80	0,60	37,30	2,50
T4	25	30,60	1,3	34,60	4,40	37,80	2,00
T5	30	29,00	1,5	34,80	3,30	38,20	2,20

Fonte: Autores

O concreto apresentou uma diminuição na resistência média em relação ao traço piloto, porém essa variação entre a resistência do traço 0, sem substituição de PDV, e do traço T5 com 30% de substituição de PDV foi de 7,80 MPa. Pode-se avaliar que a proximidade das resistências com teores altos de substituição e o traço referência e mesmo os traços com substituição não atingirem as resistências dos traços pilotos, esses valores ainda se apresentam altos e com uma diminuição no consumo de cimento.

De acordo com a ABNT NBR 8953:2015 concretos que apresentam acima de 20 MPa são considerados estruturais. Conforme os resultados obtidos e as classificações dos concretos os traços foram classificados sendo T0, T1 e T2 como C30 e T3, T4 e T5 como C25.

Pode-se observar que com 91 dias as resistências tiveram um aumento considerável em todos os traços em relação ao concreto com 28 dias. Já com 180 dias os traços de T2 à T5 apresentaram um aumento nos valores, considerável, o que corrobora para a afirmação de diversos pesquisadores quanto a essa característica deste resíduo.

O que se destaca na avaliação da evolução das resistências à compressão nas idades avançadas é o ganho de resistência dos traços com substituição em relação ao traço referência. Enquanto o traço referência apresenta um incremento de 10% em sua resistência o traço T5 tem um valor de mais de 30%, o que pode ser muito positivo no aspecto de durabilidade das estruturas.

### 3.3. Absorção de Água



Em seguida foi realizado o ensaio de absorção de água. A tabela 6 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 6:** Resultados ensaio de absorção de água

Traço	Absorção de água por imersão média (%)
T0	6,13
T1	6,65
T2	6,28
T3	7,01
T4	5,64
T5	6,11

**Fonte:** Autores

Para concretos fabricados com agregados naturais a ABNT NBR 6136:2006 diz que o limite de absorção média de água é de até 10%, portanto todos os traços estão dentro do limite estabelecido. Pode-se observar que o traço T4 com 25% de substituição de resíduo apresentou o melhor resultado em relação a essa propriedade avaliada. A substituição do aglomerante pelo PDV não influenciou de forma significativa os resultados.

#### 3.4. Módulo de Elasticidade

No ensaio utilizando o *Sonelastic* pode-se obter os valores do módulo de elasticidade dinâmico. Para a obtenção do módulo de elasticidade estático foi utilizada a fórmula da norma ABNT NBR 8522-2:2021. A tabela 7 mostra os resultados obtidos, onde Ecd é o módulo de elasticidade dinâmico e o Eci é o módulo de elasticidade estático.

**Tabela 7:** Resultados *Sonelastic* e módulo de elasticidade pela NBR 8522:2021

Traço	PDV (%)	<i>Sonelastic</i>	
		Ecd	Eci
T0	0	33,57	25,22
T1	10	33,87	25,11
T2	15	33,11	24,42
T3	20	33,08	24,5
T4	25	32,49	23,89
T5	30	31,46	22,93

**Fonte:** Autores

Pode-se observar pelos resultados que os módulos de elasticidade diminuem à medida que a substituição de PDV aumenta, comportamento similar ao da resistência à compressão. Os valores dos traços T0 à T5 tiveram uma diminuição de 18,33% e 9,08% entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático respectivamente. Esse comportamento era esperado uma vez que existe uma relação direta entre resistência à compressão e módulo de elasticidade.

## 4 CONCLUSÃO



Com base nos estudos realizados nesse trabalho pode-se concluir que a substituição parcial do PDV no aglomerante se mostrou interessante e viável. A absorção de água pelo concreto ficou abaixo de 10% estabelecido por norma e uma diferença pequena entre os valores dos traços. O módulo de elasticidade também apresentou pouca variação entre os traços apresentados.

O *slump test* foi um ponto que chamou atenção, já que foi percebido durante a moldagem uma relação direta entre o ensaio, a temperatura e a umidade. Com o comportamento apresentado novos corpos de prova, dos mesmos traços, foram moldados para avaliar a diferença dos concretos em relação as condições climáticas diferentes.

Em relação a resistência pode-se observar que com 28 dias o traço piloto apresentou um melhor desempenho em relação aos outros traços com substituição, apesar da diferença entre eles não ser elevada. Já com 91 dias os valores melhoraram consideravelmente em relação a 28 dias, sendo o traço piloto o que ainda apresenta maior valor. Quando se observa os valores das resistências com 180 dias os traços T0 e T1 já apresentam diminuição enquanto os traços de T2 à T5 continuam aumentando. Apesar do traço piloto ainda apresentar o maior valor numérico, ele já começa a apresentar uma queda na qualidade em relação aos traços com maiores substituições, mostrando que os teores com maior substituição melhoram e continuam aumentando a resistência com o passar do tempo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522-2**:Concreto endurecido - determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136**:Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67**:Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953**:Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ANTÔNIO, A. P. **Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo – cálcico na**





**produção de concretos.** 2012. 163F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

AZEVEDO, F. F. DE et al. AGREGADOS MIÚDOS : A Importância dos Agregados Miúdos no Controle Tecnológico do Concreto. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 14, n. 2014, p. 2079–2086, 2017.

BARROS, L. M. **Concreto de alta resistência a partir de matérias-primas amazônicas e vidro reciclado.** 2016. 202f. Doutorado (Doutor em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

CHANDRA PAUL, S.; ŠAVIJA, B.; BABAFEMI, A. J. A comprehensive review on mechanical and durability properties of cement-based materials containing waste recycled glass. **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 891–906, 2018.

FERREIRA, A. R. L.; LIMA, F. M. DA R. DE S. Impactos ambientais e econômicos dos agregados naturais e reciclados na construção civil. **Cetem**, p. 1–5, 2013.

GUIGNONE, G. C. **Desempenho De Concretos Com a Utilização De Resíduos Da Lapidação Do Vidro Como Substitutos Parciais Ao Cimento.** 2017. 286f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

HE, Z. HAI et al. Creep behavior of concrete containing glass powder. **Composites Part B: Engineering**, v. 166, n. November 2018, p. 13–20, 2019.

LARUCCIA, M. M. Construção Civil Sustainability and Environmental Impacts of. p. 69–84, 2014.