

**Amanda Fernandes Pereira da Silva**  
(Organizadora)

# ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e  
tecnológicas e aspectos ambientais 3



**Amanda Fernandes Pereira da Silva**  
(Organizadora)

# ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e  
tecnológicas e aspectos ambientais 3



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 3

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaiddy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Amanda Fernandes Pereira da Silva

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 3 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0747-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.478220411>

1. Engenharia civil. 2. Construção. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A coleção “Engenharia Civil: Demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 3” possui o objetivo de expandir estudos e tecnologias para a proteção do meio ambiente pautados nos avanços científicos de questões ligadas à Engenharia Civil e contribuir na consolidação das bases (ensino, pesquisa e extensão) da instituição de ensino superior com demandas ligadas à essa linha.

Gerenciamento de resíduos sólidos, busca de melhorias com o uso dos mesmos nas propriedades do concreto/aglomerante, avanços no desenvolvimento de cisternas para uso de água e somar conhecimentos necessários acerca da vital importância da segurança no trabalho da construção civil, são alguns destaques da obra.

Sendo assim, é inevitável o desenvolvimento de atividades da construção civil mais adequadas aos princípios da construção sustentável, que não causem tantas ações degradantes, adotando formas de exploração de matéria-prima mais conscientes e alternativas, utilizando materiais e processos construtivos que objetivem a harmonia entre o homem e o meio e dando uma destinação apropriada aos resíduos.

Sabendo que a indústria da Engenharia Civil ocupa posição de evidência na economia, a Atena Editora apresenta-se como grande instrumento em difundir temas de pesquisa sustentáveis nos quais se aplicam nessa área.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **INFLUÊNCIA DE DIFERENTES AGLOMERANTES MINERAIS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA EM COMPÓSITOS COM CELULOSE *KRAFT***

Tháisa Mariana Santiago Rocha  
Maria Clara Cavalini Pinto  
Silvana Nisgoski  
Graciela Inês Bolzón de Muniz  
Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa  
Leonardo Fagundes Rosembach Miranda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204111>

### **CAPÍTULO 2..... 17**

#### **DIMENSIONAMENTO DE UMA CISTERNA COM A CAPTAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL PARA REUTILIZAÇÃO DOMÉSTICA EM ITAJUBÁ – MG**

Caio Cruz Rodrigues  
João Pedro Oliveira de Souza  
João Vitor Martins de Moraes  
Thanus Eduardo Nogueira e Silva  
Tiago Costa de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204112>

### **CAPÍTULO 3..... 25**

#### **UM ROTEIRO PARA BOAS PRÁTICAS DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Paulo Pinheiro Castanheira Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204113>

### **CAPÍTULO 4..... 49**

#### **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO VIDRO EM TRAÇOS DE CONCRETO UTILIZANDO FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS**

Ciro Parente Barroso  
Lucas Antonio Silva de Carvalho  
Antonio Rafael de Souza Alves Bosso  
Roberta Paula Medeiros Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204114>

### **CAPÍTULO 5..... 63**

#### **ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TELHA EM INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA E FORMAS DE REUTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL**

Laiany Teixeira Costa  
Letícia Lustosa Bezerra  
Ítalo Thiago Silva  
Frankilandio Teixeira Costa  
Amanda Fernandes Pereira da Silva

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias  
Artemária Côelho de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204115>

<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>73</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>74</b>

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO VIDRO EM TRAÇOS DE CONCRETO UTILIZANDO FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

Data de aceite: 01/11/2022

### **Ciro Parente Barroso**

Graduandos de Engenharia Civil, FACTO -  
Campus Palmas  
Palmas- TO

### **Lucas Antonio Silva de Carvalho**

Graduandos de Engenharia Civil, FACTO -  
Campus Palmas  
Palmas- TO

### **Antonio Rafael de Souza Alves Bosso**

Professor Doutor, Curso de Engenharia Civil  
Palmas- TO

### **Roberta Paula Medeiros Silva**

Professora Mestra, Curso de Engenharia Civil  
Palmas- TO

**RESUMO:** A utilização de vidros moídos na produção de traço de concreto ou argamassa é uma alternativa sustentável para redução desses resíduos que são destinados em sua grande porcentagem para aterros sanitários (NEVILLE, 1997). Com base nisto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o efeito que o vidro triturado graduado, de embalagens não retornáveis, desempenha no concreto como matéria prima ao realizar a substituição parcial ou integral do agregado miúdo convencional. No uso da metodologia de planejamentos de experimentos fatorial  $2^2$  acrescidos de triplicatas genuínas de ponto central para estimativa de erro experimental e otimização dos experimentos, onde foram analisados os efeitos de duas

variáveis:  $x_1$  e  $x_2$ . A resistência a compressão axial aos 14 dias de cura úmida por imersão, determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone e o ensaio de absorção de água. Nas quais foram submetidas as análises estatísticas para complementar o estudo do planejamento de experimentos e obter os pontos ótimos do sistema experimental. Os traços com resíduos de vidro foram superiores ao concreto usando material convencional. Portanto, pode-se afirmar que o vidro não influenciou estatisticamente na resistência mecânica do concreto, dessa forma, torna-se viável a utilização do vidro na substituição da areia no concreto.

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE PARTIAL REPLACEMENT OF THE AREA BY THE GLASS IN THE CONCRETE TRACES USING STATISTICAL TOOLS

**ABSTRACT:** The use of ground glass in the production of concrete or mortar is a sustainable alternative for the reduction of these residues, which are destined in large part to landfills (NEVILLE, 1997). Based on this, the present work has the objective of analyzing the effect that the graduated crushed glass, of non-returnable packaging, performs in the concrete as a raw material when performing the partial or integral replacement of the conventional small aggregate. In the use of the methodology of factorial experimental planning  $2^2$  plus central point triplicates for estimating experimental error and optimization of the experiments, where the effects of two variables will be analyzed:  $x_1$  and  $x_2$  axial compression strength at 14 days of wet curing by immersion, determination of consistency by cone

trunk abatement and water absorption test. In which the statistical analyzes were submitted to complement the study of the planning of experiments and to obtain the optimal points of the experimental system. The marks with looters are consistent with the conventional material, supported, nonpolyvistically, deformed, becomes feasible and becomes more applicable in replacing the sand in the concrete.

**KEYWORDS:** Factorial planning, Recycled, Glass.

## 1 | INTRODUÇÃO

Conforme a resolução do CONAMA 307/2002, o vidro é classificado como material que deve ter destinação final para reuso ou reciclagem, e faz parte da “Classe B” de resíduos reutilizável que agrupam os demais materiais que são: papéis e papelões (embalagens de argamassa, embalagens em geral, documentos), metais (perfis metálicos, tubos de ferro galvanizado, marmitex de alumínio, aço, esquadrias de alumínio, grades de ferro e resíduos de ferro em geral, fios de cobre, latas). No entanto, os resíduos de vidros (garrafas de refrigerante, embalagens de bebidas alcoólicas, utensílios domésticos e outros) quando utilizadas e descartadas de forma irregular na sua maioria das vezes, gera um grande impacto ambiental, por conta de sua decomposição tardia, demorando centenas de anos para se decompor e contribuindo negativamente para o esgotamento dos aterros sanitários.

De acordo com Cempre (2009), no Brasil são gerados em média 980 mil toneladas de resíduos provenientes do vidro anualmente, e apenas 47% dos cacos de vidros foram reciclados no Brasil em 2010, totalizando 470 mil t/ano. O principal consumidor desse mercado são as vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem através de campanha voltadas para reciclagem do mesmo. E o restante dos resíduos de vidro são destinados ao aterro sanitários.

Neville (2016) defende que o uso de vidros moídos na substituição da areia em traço de concreto ou argamassa é uma alternativa sustentável para redução desses resíduos que são destinados em grande porcentagem para aterros sanitários. Já Rodrigues *et al* (2017) apresenta que a reciclagem de resíduos de vidros é muito empregada em todo mundo, que traz benefícios para economia da matéria-prima e auxilia para desenvolvimento sustentável do planeta. O vidro tem inúmeras utilidades nas mais variadas indústrias, tendo suas particularidades de dureza, inalterabilidade, resistência e propriedades térmicas tornando-se um dos materiais ainda insubstituível, presente cada vez mais em pesquisas científicas para desenvolvimento sustentável (CEBRACE, 2014).

Países como Austrália e Estados Unidos já utilizam o pó do vidro proveniente do lixo em concreto na construção civil e recomendam o uso deste material para desenvolver uma política de sustentabilidade nas obras (Crentsil et al., 2005).

Com base nisto, o presente trabalho teve como objetivo responder a seguinte pergunta: Em quais concentrações a substituição da areia por resíduo de vidro adicionados

ao concreto, possibilitaria uma melhoria nas características mecânicas deste material?

Para responder o problema de estudo do trabalho, foi utilizado a metodologia do planejamento de experimentos fatorial  $2^2$  acrescidos de triplicatas de ponto central resultando em sete traços de concreto que foram comparados com um traço padrão com matéria prima convencional. O planejamento fatorial em questão é útil para estimativa de erro experimental e otimização dos experimentos, onde foram analisados os efeitos das variáveis:  $x_1$  - a porcentagem de substituição do agregado miúdo convencional proveniente da areia de rio pelo agregado reciclado oriundo do pó de vidro de embalagens não retornáveis, e  $x_2$  - a porcentagem de adição de aditivo superplastificante para obter a trabalhabilidade no intervalo considerado do método de dosagem. As respostas experimentais estudadas foram: a resistência a compressão axial aos 28 dias de cura úmida por imersão, determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone e o ensaio de absorção de água.

Com isso, o objetivo do trabalho foi analisar o efeito da incorporação do vidro no concreto e o uso de aditivo nas propriedades físico-mecânicas para obtenção de um produto com características sustentáveis.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Planejamento Experimental

Foi utilizado a metodologia do planejamento de experimento fatorial  $2^2$  com triplicatas genuínas do ponto central para se chegar às condições otimizadas de um variáveis.

Traço	Variáveis				s_exp	Resposta Experimental
	Reais (%)		Codificadas			
	$x_1$	$x_2$	$x_1$	$x_2$		
T <sub>1</sub>	20	0,64	-1	-1	-1	y <sub>1r</sub>
T <sub>2</sub>	20	0,78	-1	1	a	y <sub>2r</sub>
T <sub>3</sub>	40	0,64	1	-1	b	y <sub>3r</sub>
T <sub>4</sub>	40	0,78	1	1	ab	y <sub>4r</sub>
T <sub>5</sub>	30	0,71	0	0	O <sub>1</sub>	y <sub>5r</sub>
T <sub>6</sub>	30	0,71	0	0	O <sub>2</sub>	y <sub>6r</sub>
T <sub>7</sub>	30	0,71	0	0	O <sub>3</sub>	y <sub>7r</sub>

Na segunda coluna da direita para esquerda, s\_exp significa símbolos dos experimentos, -1 significa os experimentos realizados no nível menor das variáveis, **a** significa o nível menor da  $x_1$ , **b** significa o nível menor da  $x_2$  e **ab** significa o nível maior de  $x_1$  e  $x_2$

Tabela 1 - Planejamento fatorial  $2^2$  com triplicatas genuínas do ponto central.

Fonte: Autores, 2019

Na Tabela 1 a quantidade de experimentos realizados foi dada pela metodologia do planejamento fatorial com ponto central (BOX et al, 1978; BRUNS et al, 2001):

$$n=2^k+n_c$$

Onde 2 significa que cada k variável foi estudada em dois níveis, e  $n_c$  indica a quantidade de repetições do ponto central estipulado para verificar se houve erro experimental na dosagem do concreto. Neste caso,  $n = 7$ , sendo  $k = 2$  e  $n_c = 3$ . Em cada tratamento (traço) foi obtido 6 replicatas de corpos de provas  $r_{cp} = 6$ .

As variáveis foram codificadas de acordo com a equação:

$$x_{\text{Nível}} = \frac{v_{\text{Nível}} - \bar{v}}{\bar{v} - v_{\text{Nível\_Menor}}}$$

Aonde  $\bar{v}$  é a média dos valores das variáveis,  $v_{\text{Nível}}$  é o valor do nível desejado para codificar,  $v_{\text{Nível\_Menor}}$  é o valor do menor nível e  $x_{\text{Nível}}$  é a codificação do nível desejado.

O modelo linear considerado foi o completo para avaliar se há sinergismo entre as variáveis:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_3 x_1 x_2$$

Os coeficientes do modelo podem ser obtidos pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) ou método da máxima verossimilhança (MV). Segundo Gujarati (2006), esses dois métodos produzem resultados estimados idênticos para os coeficientes de regressão, por isso limita-se neste trabalho ao método dos MQO. Os coeficientes foram calculados de acordo com:

$$\hat{\beta}_{c \times 1} = (\mathbf{X}^t \mathbf{X})_{c \times c}^{-1} \mathbf{X}_{c \times n}^t \mathbf{Y}_{n \times r}$$

Onde  $c$  é a quantidade de coeficientes do modelo,  $n$  é a quantidade de experimentos realizados e  $r$  é as replicatas dos corpos de provas de concreto. As medidas de estatística experimental, os efeitos do planejamento fatorial e o estudo da significância deles, e os gráficos correlacionados foram obtidos de acordo com o trabalho de doutorado descrito na tese de Bôssso, 2012.

## 2.2 Materias e métodos

Utilizou-se o método de dosagem ABCP para definição do traço referência no planejamento de experimento fatorial 1;1,4;2,9;0,05;0,5 com aferição na umidade da areia, no qual, foi realizado mais sete traços alternando a substituição de parte do agregado miúdo (areia) por vidro moído, nas proporções de 20, 30 e 40%, bem como a proporção adicional de aditivo superplastificante de 20, 30 e 40%.

O vidro utilizado no experimento foi proveniente da coleta seletiva de garrafas do tipo long-neck, sendo que este material foi escolhido devido a sua abundância e por não possuir uma destinação adequada na região. Inicialmente, procedeu-se a trituração

mecânica das garrafas pelo britador de mandíbulas, em seguida, os cacos foram inseridos no equipamento de abrasão los angeles onde resultou no pó de vidro, por conseguinte, o pó graduado foi peneirado manualmente e separados em cada peneira de malha #4,75;2,36;1,18;0,60;0,30;0,15 mm, por fim, foram realocados nas mesmas proporções da areia.



Figura 1 Peneiramento manual

Fonte: Autores, 2019

Peneiras (#)	Massa (g)				
	Areia	Vidro (a)	%dif.	Recalculo	Vidro (b)
4,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,36	120,0	140,0	-14,3	1.548,0	115,0
1,18	132,0	138,0	-4,3	1.900,8	132,0
0,6	153,0	209,0	-26,8	1.675,4	162,0
0,3	375,0	447,0	-16,1	4.725,0	372,0
0,15	180,0	49,0	367	134,8	195,0
Fundo	40,0	17,0	135	17,0	37,0
Total $\Sigma$	1.000,0	1.000,0		10.000,0	1.000,0

Tabela 2: Caracterização granulométrica do agregado miúdo.

Fonte: Autores, 2019

Resultou nas seguintes curvas granulométricas.

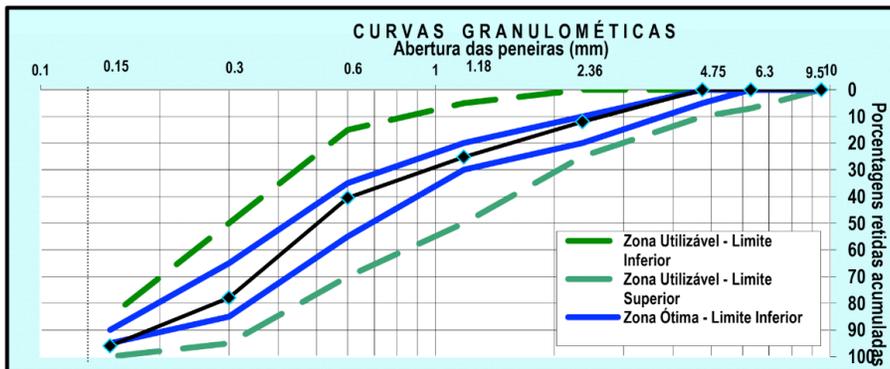


Figura 2 Granulometria do agregado miúdo: Areia natural de rio grossa

Fonte: Autores, 2019

Figura 2 representa a curva granulométrica da areia que está na zona ótima em azul, infoma que o material está dentro dos parâmetros para uso.

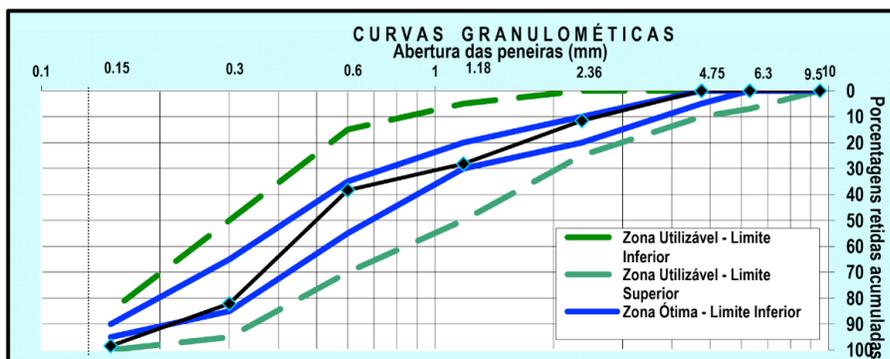


Figura 3 Granulometria do agregado miúdo: Pó de vidro

Fonte: Autores, 2019

E a figura 3, refere-se curva do pó de vidro que foi produzida para ter um material que possibilite aproximação da curva granulométrica da areia. Não idêntica, mas está na zona ótima sendo possível o uso para produzir o concreto.

Material	Massa específica	Granulometria	
	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) *	$\varnothing$ Máx. (mm) **	Módulo Finura
Areia	2,53	2,36	2,51
Brita - 1	2,72	19	7,17
Vidro	2,54	2,36	2,58
Cimento	3,21		

\*  $\gamma$  – Massa específica

\*\*  $\varnothing$ Máx – Dimensão máxima característica dos agregados

Tabela 3: Caracterização dos materiais.

Fonte: Autores, 2019

- Areia: Ensaio de granulometria conforme a NBR 248. Através do ensaio de granulometria, foi obtida a dimensão máxima característica do agregado miúdo, o módulo de finura utilizado no estudo e a curva ótima;
- Brita – 1: Procedeu-se o ensaio de granulometria conforme a NBR 248, o ensaio de massa específica conforme NBR NM 53. No ensaio de granulometria, foi determinada a dimensão máxima característica do agregado graúdo e o módulo de finura utilizado no estudo;
- Vidro: Ensaio de granulometria conforme a NBR 248. Através do ensaio de granulometria, foi obtida a dimensão máxima característica do agregado miúdo, o módulo de finura utilizado no estudo e a curva ótima;
- Aditivo superplastificante: É um aditivo líquido, superplastificante de pega prolongada, composto por matérias primas de origem natural, que possuem grande poder de dispersão, mantendo a trabalhabilidade, dado fornecido pelo fabricante;
- Aglomerante: Utilizado o Cimento Portland tipo CPII-F-32, dado fornecido pelo fabricante.

## 2.3 Preparação dos corpos de provas

Após a caracterização do material, foram moldados 10 corpos-de-prova cilíndricos de concreto para sete traços em estudo e 10 corpos-de-prova cilíndricos de concreto para o traço referência, com dimensões de 10 x 20 cm (diâmetro x altura), utilizando as recomendações do Método de Dosagem ABCP (Associação Brasileira De Normas Técnicas).

Traço	Cimento	Areia	Vidro (kg)	Brita (kg)	Aditivo(ml)	Água(l)
1	10,0	12,0	2,0	29,0	64,0	5,00
2	10,0	12,0	2,0	29,0	78,0	5,00
3	10,0	10,0	4,0	29,0	64,0	5,00
4	10,0	10,0	4,0	29,0	78,0	5,00
5	10,0	11,0	3,0	29,0	71,0	5,00
6	10,0	11,0	3,0	29,0	71,0	5,00
7	10,0	11,0	3,0	29,0	71,0	5,00
<b>BASE</b>	10,0	14,0	0,0	29,0	50,0	5,00

Na Tabela 4: apresentam-se os traços e as respectivas quantidades de materiais utilizadas.

Fonte: Autores, 2019

Os corpos-de-prova foram curados por imersão em solução de água e cal hidratada durante 14 dias e, após este período, foram retirados para o ensaio de resistência a compressão axial e ensaio de absorção. Após quatorze dias, os corpos de prova cilíndricos, foram retirados do tanque de cura. Por conseguinte, utilizou-se uma prensa hidráulica equipada com dois pratos, cujo prato inferior de compressão fixa e um prato superior de compressão flexível, que adequa-se com o formato do molde, para fazer os rompimentos dos corpos de provas.



Figura 4 Ensaio de compressão axial

Fonte: Autores, 2019

Realizou-se o ensaio de absorção do concreto pela diferença de peso do corpo de prova submerso a água e em estufa a 105° C após 24, 48 e 72 h, obteve-se a representatividade em porcentagem da diferença com a aplicação da seguinte fórmula:

$$A(\%) = \frac{m_U - m_S}{m_S} \cdot 100\%$$

A é a porcentagem de absorção da amostra,  $\mu$  é massa saturada e  $m_s$  é a massa seca.

Traço	Média
1	5,8
2	4,9
3	7,3
4	5,5
5	6,3
6	6,6
7	6,7
BASE	6,9

Tabela 5: Resultado do ensaio de absorção do concreto.

Fonte: Autores, 2019

As médias foram obtidas através de ensaios realizados com três corpos de provas para cada traço.

Classificação do concreto	Teor de absorção de água
Convencional	$\leq 4,2\%$
Convencional	$4,2\% \leq a \leq 6,2\%$
Deficiente	$\geq 6,2\%$

Tabela 6: Classificação de absorção do concreto.

Fonte: Autores, 2019

Conforme a Tabela 6, pode-se observar que os traços com maior porcentagem de vidro e aditivos estão com a classificação de concreto deficiente.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 7 são apresentadas as medidas estatísticas de resistência a compressão axial do  $T_0$  e dos traços relativos ao planejamento fatorial  $2^2$  com triplicatas genuínas do ponto central ( $T_1$  a  $T_7$ ).

Grandeza	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>
$\bar{x}$	18,71	26,30	22,19	21,70	21,91	20,81	21,47	19,82
s <sup>2</sup>	7,08	2,68	4,09	2,37	4,36	1,36	6,85	4,36
s	2,66	1,64	2,02	1,54	2,09	1,17	2,62	2,09
cv (%)	14,22	6,23	9,11	7,10	9,52	5,61	12,19	10,54

$\bar{x}$  é a média aritmética da resistência a compressão axial, s<sup>2</sup> é a variância amostral, s é o desvio padrão amostral e cv é o coeficiente de variação amostral (%)

Tabela 7: Medidas estatísticas do planejamento fatorial 2<sup>2</sup> com triplicatas genuínas do ponto central.

Fonte: Autores, 2019

Vale ressaltar que nos traços T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> e T<sub>7</sub> uma das replicatas das resistências a compressão axial foi considerada *outline*, desse modo realizou-se a substituição da mesma pela média dos demais corpos de provas de cada traço para manter o mesmo grau de liberdade dos demais traços.

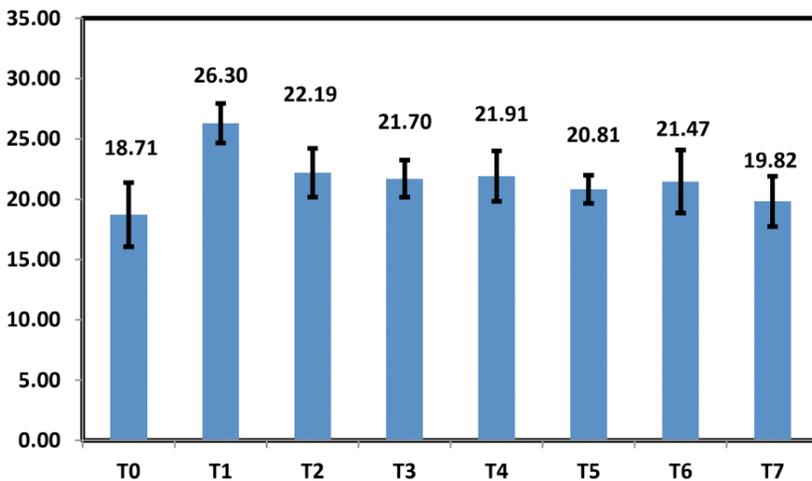


Gráfico 1 – Resistência a compressão axial aos 14 dias de cura úmida por imersão do Traço padrão (T<sub>0</sub>) dos traços referentes ao planejamento fatorial (T<sub>1</sub> a T<sub>7</sub>).

Fonte: Autores, 2019

Efeitos	Medida	s	Julgamento
Média	22,03	0,31	Significativo
X1	-1,95	0,83	Significativo
X2	-2,44	0,83	Significativo
X1X2	2,16	0,83	Significativo
EC	2,33	0,69	Significativo

s é o desvio padrão amostral,  $X_1$  é o efeito principal provocado pela variável  $x_1$ ,  $X_2$  é o efeito principal provocado pela variável  $x_2$  e  $X_1X_2$  é o efeito de segunda ordem provocado pela variável  $x_1$  e  $x_2$  ao mesmo tempo (sinergismo), EC é a estimativa da curvatura do modelo analisado para verificar se o modelo linear é adequado.

Tabela 8 - Resumo dos Efeitos do Planejamento Fatorial  $2^2$  com triplicatas genuínas do ponto central.

Fonte: Autores, 2019

Na Tabela 8 percebe-se que a média das respostas experimentais (resistência a compressão axial), os efeitos principais  $X_1$  e  $X_2$  e o efeito de interação de segunda ordem,  $X_1X_2$ , para avaliar se há sinergismo entre as variáveis  $x_1$  e  $x_2$  são todos significativos tomando como base o desvio padrão. A estimativa da curvatura, EC, mostrou-se que é significativo, ou seja, o que contribui para inferir que há sinergismo entre as variáveis.

O vidro tem suas particularidades de dureza, inalterabilidade, resistência e propriedades térmica e o aditivo que é inserido na massa do concreto melhora sua trabalhabilidade, compacidade, resistência, permeabilidade e retração e absorção da água. Por isso, os dois componentes auxiliam estatisticamente um sinergismo no concreto.

O modelo numérico estimado para o sistema experimental é

$$\hat{y} = 22,03 - 0,97 x_1 - 1,22 x_2 + 1,08 x_1 x_2 .$$

$\pm 0,31$        $\pm 0,42$        $\pm 0,42$        $\pm 0,42$

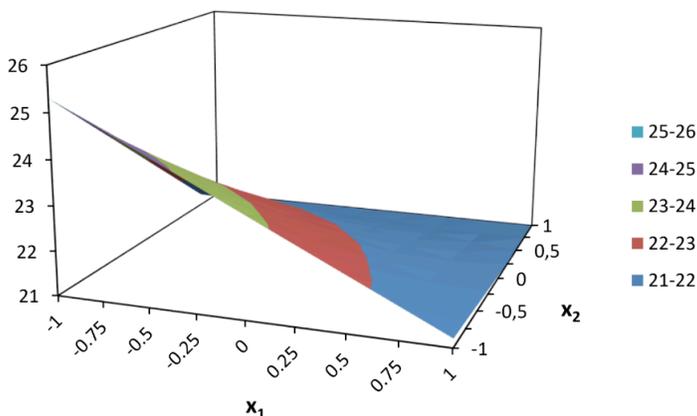


Gráfico 2 – Superfície de resposta da resistência a compressão axial em MPa do modelo estimado do Planejamento Fatorial  $2^2$  com triplicatas genuínas do ponto central.

No Gráfico 2 percebe-se que o ponto ótimo está ao redor de 26 MPa quando  $x_1$  se aproxima de -1 (20%) e  $x_2$  de -1 (0,64%). No gráfico foi considerado o sinergismo para visualizar se a superfície gerada pelo modelo linear é adequada para representar o sistema experimental. Na Tabela 6, percebe que os efeitos principais e o sinergismo são significativos ao considerar o desvio padrão como parametro, ou seja, exercem influência na resposta experimental dada pela resistência a compressão. Nesse sentido, as ferramentas do planejamento fatorial foram importantes para realizar tal diagnóstico.

N Gráfico 2 percebe-se que a interação de segunda ordem,  $X_1X_2$ , influencia com certa intensidade a superfície de resposta, levando a crer que o modelo linear poderia ser substituído por um quadrático, o que seria necessário expandir o sistema experimental para um planejamento estrela (BÔSSO, 2012). Isso é confirmado pelo coeficiente de determinação que está na ordem de  $R^2 = 57,52\%$ , sugerindo que será necessário realizar novos experimentos em diferentes níveis para complementar o estudo.

Os efeitos que estão mais distantes do centro, coluna vertical 0, exercem mais influência na resposta experimental (MPa). A variável  $X_1X_2$ , é a que apresenta menor influência nos traços desenvolvimentos, pois é a que mais se aproxima do centro do gráfico Normal Plot.

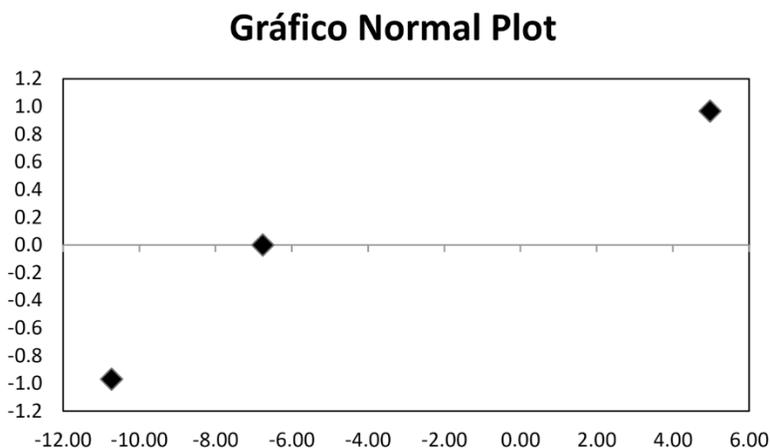


Gráfico 3 – Gráfico Normal Plot- Representação de influência na resposta experimental nos traços.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises estatísticas, o planejamento fatorial foi útil para investigar a determinação dos efeitos gerados pela substituição da areia pelo vidro e do uso de aditivo.

Os traços do planejamento fatorial estão em torno de 80% da resistência planejada de 25 MPa aos 14 dias de cura úmida por imersão, ou seja, estão dentro do planejado. Os

traços com resíduos de vidro foram superiores ao concreto usando material convencional.

De acordo com gráfico 1, o melhor traço foi  $T_1$  que teve uma porcentagem de adição de 20% de vidro chegando 26,30 Mpa. Os traços  $T_3$  e  $T_4$  foram que obtiveram maior quantidade de resíduos de vidros no experimento e teve resultados semelhantes estaticamente iguais aos resultados do ensaio de T2 e T3.

Através do ensaio de absorção do concreto, pode-se observar que maiores porcentagens de vidro e aditivo em conjunto, o concreto tende a ficar deficiente, podendo ocasionar patologias. Com dosagens equilibradas entre os dois fatores em conjunto é possível a utilização deles no concreto.

Portanto, pode-se afirmar que o vidro não influenciou estatisticamente na resistência mecânica do concreto, dessa forma, torna-se viável a utilização do vidro na substituição da areia no concreto.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248** – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP – Método de dosagem. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/>>. Acesso em: 15 fevereiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10004** - Classificação De Resíduos Sólidos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821** – Preparação de concreto em laboratório.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** - Concreto - Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248** Agregados – Determinação da composição granulométrica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53** - Agregado Graudo - Determinação de Massa Específica\_ Massa Específica Aparente e Absorção de Água.

BÔSSO, Antônio Rafael de Souza Alves. Desenvolvimento do *Software* PlanEx de Planejamento de Experimentos *Online* e sua Aplicação Didática na Pós Graduação UFG, 2012.

BOX, George E. P.; HUNTER, William G.; HUNTER, J. Stuart. *Statistics for Experimenters*. Estados Unidos: John Wiley e Sons, 1978.

BRASIL. 2002. Resolução CONAMA n.º 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 17 de julho de 2002.

BRUNS, Roy Edward; FAIGLE, José Fernando Gregori. Quimiometria. Química Nova, Vol. 8, 84-99, 1985.

CEBRACE. 2019. O Vidro, <<http://www.cebrace.com.br/v2/vidro>>. Acesso em 10/03/2019.

CRENTSIL et al. 2001. Recycled glass as sand replacement in premix concrete, Ed. EcoRecycled Australia and CSIRO, p 45-46.

LEVIN, Jack; FOX, James Alan; FORDE, David R. Statistics for human sciences. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

Neville, A. M. Propriedades do concreto [recurso eletrônico] / A. M.Neville ; tradução: Ruy Alberto Cremonini. – 5. ed. Porto Alegre : Bookman, 2016. 72-120.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acidentes 25, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 37, 44, 46, 47, 48

Aditivo 4, 5, 6, 8, 51, 52, 55, 59, 60, 61, 72

Aglomerante 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 55

Água 6, 8, 10, 11, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 49, 51, 56, 57, 59, 68, 70

Água pluvial 17, 19, 22

Alternativas de utilização 63

Areia 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 60, 61, 68, 70

### C

Caixa d'água 17

Cal hidratada 2, 3, 14, 15, 56

Celulose 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15

Cerâmica vermelha 63, 64, 65, 67, 69, 70, 71, 72

Chamote 63, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Chuva 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24

Cimento Portland 1, 2, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 55, 61, 70

Cisterna 17

Compósito 1, 2, 5, 6, 13, 15

Concreto 15, 33, 37, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 59, 61, 62, 70, 73

Consistência 1, 7, 8, 9, 14, 49, 51

Construção Civil 1, 13, 14, 15, 25, 26, 27, 32, 37, 41, 42, 46, 50, 61, 63, 64, 69, 71, 73

### D

Dados pluviométrico 17

Desperdício 19, 63, 66

### G

Gesso 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14

### I

Impacto ambiental 50, 63, 68, 71

Indústrias 44, 46, 50, 63, 64, 65, 68, 69, 71

## **K**

KRAFT 1, 2, 3, 4, 5, 13, 15

## **N**

Normas regulamentadoras 27, 29, 38

## **P**

Planejamento fatorial 51, 52, 57, 58, 59, 60

Prevenção 25, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 45, 47, 48

## **R**

Reciclado 51, 69, 70, 71

Resíduo 4, 50, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Resíduo de Cerâmica Vermelha – RCV 64, 70

Resíduos cerâmicos 63, 69

Resíduos sólidos 61, 64, 71, 72

Resistência 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 49, 50, 51, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 71

## **S**

Saúde 25, 26, 27, 28, 29, 34, 35, 38, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 64

Segurança 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Sustentabilidade 23, 45, 50, 63, 64

## **T**

Tecnologia verde 2

Telha 63, 67, 72

Traço 49, 50, 51, 52, 55, 57, 58, 61

Treinamentos diários de segurança 27, 47

## **V**

Vidro 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 59, 60, 61, 62

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)   
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)   
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)   
[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e  
tecnológicas e aspectos ambientais 3



  
Ano 2022

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)   
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)   
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)   
[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e  
tecnológicas e aspectos ambientais 3

