



ARTIGOS COMPLETOS .....	115
RESUMOS .....	135



**ARTIGOS COMPLETOS**

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE ARGAMAMASSA EM REVESTIMENTO DE PAREDE .....	116
ANÁLISE SOBRE A BARRAGEM DE TERRA ALTEADA POR MONTANTE DESTINADA AO ARMAZENAMENTO DE REJEITO ARENOSO EM MARIANA – MG .....	127

## ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE ARGAMASSA EM REVESTIMENTO DE PAREDE

Gabriel Gaspar Rodrigues<sup>1</sup>, Beatriz De Mello Massimino Rotta<sup>1</sup>, Felipe Sterza Marconato<sup>1</sup>, João Ricardo Da Silva Rotta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP, <sup>2</sup>Centro de Tecnologia e Controle da Qualidade – ANALIX, Presidente Prudente, SP. E-mail: [beatrizmello@unoeste.br](mailto:beatrizmello@unoeste.br)

### RESUMO

A adequação dos traços das argamassas com junção do uso de aditivos e testes de dosagem e a escolha do tipo de substrato são pontos importantes para redução do custo de produção. O ensaio de resistência à tração, tem o intuito de avaliar se o traço utilizado na fabricação da argamassa está em acordo com a resistência mínima à tração exigida pela norma ABNT NBR 13749:1996. Para realização do ensaio, é utilizado o aparelho dinamômetro de tração, que aplica o esforço de tração contínuo no revestimento até o rompimento do corpo de prova. O revestimento de camada única é executado de acordo com os procedimentos e processos contidos na norma ABNT NBR 7200:1998, após 28 dias é iniciada a realização da escolha dos pontos para realização dos corpos de prova e realizados os processos do ensaio de arrancamento. Com os resultados obtidos, verificou-se que o revestimento em argamassa está suportando a resistência mínima de tração exigida pela norma ABNT NBR 13749:1996 nos substratos de bloco de concreto, elemento estrutural em concreto e bloco cerâmico, também se analisou que a camada com menor eficácia e menor resistência à tração no revestimento é camada de argamassa de reboco de camada única.

**Palavras-chave:** arrancamento; aderência; traço de argamassa.

### ANALYSIS OF THE RESULTS OBTAINED BY THE TENSILE STRENGTH TEST OF MORTAR IN WALL COVERING

#### ABSTRACT

The adequacy of the mortar traces with the addition of the use of additives and dosage tests e. the choice of substrate type are important points to reduce the production cost. The tensile strength test is intended to assess whether the trace used in the manufacture of the mortar is in accordance with the minimum tensile strength required by the ABNT NBR 13749:1996 standard. To carry out the test, a traction dynamometer device is used, which applies the continuous traction effort in the coating until the rupture of the specimen. The single-layer coating is carried out in accordance with the procedures and processes contained in the ABNT NBR 7200:1998 standard, after 28 days, the choice of points for carrying out the specimens and the pullout test processes are carried out. With the results obtained, it was verified that the mortar coating is supporting the minimum tensile strength required by the ABNT NBR 13749:1996 standard in concrete block substrates, structural element in concrete and ceramic block, it was also analyzed that the layer with lower effectiveness and lower tensile strength in the coating is single-layer plastering mortar layer.

**Keywords:** pullout; adhesion; mortar trace.

#### 1. INTRODUÇÃO

Data-se de 7000 anos a.C. o registro da primeira utilização de argamassa. Foi em 1985 que descobriram em Israel o seu uso: um piso polido com cerca de 180 m<sup>2</sup>, feito de pedras e assentado com argamassa. Mas, de forma geral, o que hoje é chamado de argamassa, teve seu desenvolvimento em Roma, com a ideia de unir o aglomerante pozolana, provindo das cinzas vulcânicas, com materiais inertes e miúdos (areia), formando assim um dos materiais mais utilizados na construção civil (MORAES, 2012).

A escolha do melhor traço para as argamassas vem ao encontro da qualidade e do melhor custo-benefício de uma construção. Há uma busca pelas construtoras em adequar os traços das argamassas com

junção do uso de aditivos e testes de dosagem para reduzir seu custo de produção e desenvolver as suas diferentes características. Além disso, para as argamassas de revestimento, ainda é importante verificar a sua resistência à tração, pois são exigidas pela norma ABNT NBR 13749:1996 valores mínimos de resistência à tração, sendo tal verificação realizada pelo ensaio de aderência de argamassa.

O revestimento composto por argamassa é a principal camada que irá realizar a proteção e isolamento das casas e edifícios, realizando a estanqueidade de água e gases, proporcionando o isolamento térmico e acústico, também é responsável por adequar as imperfeições da superfície, deixando-a regular para que seja realizada a pintura ou acabamento desejado.

O tipo de substrato também é importante, cada material reage de uma forma quando é aplicado o revestimento. Substratos menos rugosos e com baixa absorção de água tendem a não ter boa aderência com o revestimento, o que pode implicar na diminuição da sua resistência de aderência à tração, ocasionando a ruptura na interface da argamassa com substrato. Assim, uma das causas de patologias em revestimento está relacionada a essa baixa aderência, provocando um descolamento de placa de revestimento ou trincas que podem reduzir a vida útil e sua eficácia quanto à estanqueidade, isolamento térmico e acústico.

Para evitar tais patologias, as construtoras têm realizado ensaios de resistência da argamassa à tração, para verificar sua aderência a tração com o intuito de observar se há a necessidade da mudança em seus traços e procedimentos operacionais. Esses testes são realizados a partir do ensaio de aderência de argamassa em revestimento de parede.

Ele verifica a resistência à tração que o revestimento em argamassa está desempenhando no substrato, o ensaio segue os regulamentos da ABNT NBR 13749:1996 (Revestimento de paredes e tetos em argamassa inorgânica - especificações), que estabelece um valor mínimo de resistência à tração igual ou maior que 0,20 MPa para revestimento internos e igual ou maior que 0,30 MPa para externos, e estabelece espessuras admissíveis.

A preparação do substrato e da argamassa seguem os procedimentos da ABNT NBR 7200:1998 (Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - procedimento), a execução do ensaio segue o procedimento da ABNT NBR 13528:2010 (Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração).

Para qualificar a argamassa de acordo com as normas, é utilizado o aparelho dinamômetro de tração que realiza a aplicação contínua de força no corpo de prova dos ensaios de resistência à tração. Com o auxílio de uma broca serra copo, são perfurados o revestimento por completo e um milímetro do substrato, o diâmetro da broca serra copo deve ser o mesmo da pastilha que será colada no revestimento.

Assim, é posicionado o dinamômetro em alinhamento com a pastilha e enganchado a ela, após seu travamento, é exercida a força constante até que o revestimento sofra o rompimento. Com a realização desse ensaio, será possível compreender a interação das camadas do revestimento entre si e com o substrato, quantificar sua resistência à tração e qualificar os traços associados às argamassas.

### **1.1. Objetivo geral**

Realizar a avaliação do desempenho do traço de argamassa de revestimento de parede interna, em diferentes substratos quanto à resistência de aderência do revestimento.

### **1.1. Objetivos específicos**

Como objetivos específicos, este artigo pretende:

- a) Realizar o ensaio de resistência à tração do revestimento em argamassa, realizado em área interna coberta, ventilada e protegida das intempéries.
- b) Analisar a camada do revestimento que sofreu ruptura, identificando a camada com menor eficiência e menor resistência à tração.
- c) Resistir ao esforço de tração mínimo exigido pela norma ABNT NBR 13749:1996.

## **2. MATERIAIS CONSTITUINTE E PROPRIEDADES DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

A argamassa é um dos revestimentos mais utilizados no Brasil e, dentre eles, a massa única ou reboco paulista é a que se destaca. Ela consiste em uma camada única de argamassa lançada sobre o chapisco que regulariza a superfície para receber o acabamento desejado. Além de garantir as condições

mínimas associadas às argamassas (isolamento térmico e acústico, durabilidade, estanqueidade à água e gases, proteção do substrato, segurança ao fogo e desgaste).

Segundo Carasek (2010), para fabricação de uma argamassa de qualidade são necessárias algumas propriedades nos materiais que a constituem. O principal material, cimento Portland, é responsável pela resistência mecânica à tração e compressão e aderência da argamassa ao substrato ou base, quanto maior a dose de cimento à mistura da argamassa, maior será a sua retração, sendo que a retração acelerada causa fissurações no revestimento, influenciado na aparição de patologias.

Os demais componentes da argamassa também proporcionam características inerentes para o seu bom funcionamento. A cal hidratada está associada a uma melhor trabalhabilidade, absorção de deformações e tem uma grande contribuição para hidratação do cimento. Não podendo ser utilizada em excesso, pois, em contrapartida, ela reduz a resistência mecânica e aderência da argamassa. Já a areia auxilia na redução da perda de água, retendo a umidade no revestimento.

A perda acelerada de umidade da argamassa influencia negativamente nas trincas e rachaduras, o ideal é que seja gradativa a perda de umidade.

Além desses materiais básicos, podem ser adicionados aditivos à mistura e, mesmo em pouca quantidade, eles são responsáveis por modificar as propriedades da argamassa, influenciando na capacidade da argamassa em manter sua umidade, aumentar o tempo de pega, manter sua trabalhabilidade e aumento da propriedade de aderência ao substrato ou base.

A água realiza a mistura dos materiais, com isso promovendo as reações químicas entre os componentes, em principal as reações ao cimento. Ela é adicionada até que esteja no ponto ideal de trabalhabilidade e a água em excesso pode afetar a eficácia da argamassa.

### **3. INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO SUBSTRATO NA RESISTÊNCIA DO REVESTIMENTO EM ARGAMASSA**

Há estudos que têm o intuito de analisar a influência da absorção da água no substrato, no que se diz respeito a sua resistência à aderência, pois a absorção da pasta de argamassa absorvida pelo substrato, tem relação direta com a influência da resistência à tração da argamassa, de forma que quanto maior seja a absorção do substrato maior será sua aderência, isso é por causa das microancoragem da pasta de argamassa ao substrato.

Ensaio realizados por Carasek e Honório (2010) confirmam isso, eles realizaram ensaios analisando dois tipos de materiais que são utilizados convencionalmente na execução de alvenaria de vedação: cerâmica e concreto. Em ambos foram determinadas a absorção de água no período de 24 horas e a absorção inicial.

A argamassa escolhida foi a do tipo industrializada, constituída com cimento Portland, agregado miúdo e aditivo. Preparada em laboratório, a argamassa foi empregada no substrato por um equipamento lançador de argamassa. A partir da análise dos resultados obtidos, concluiu-se que, há diferença na absorção de água dos substratos, isso por serem constituídos de materiais diferentes.

Ainda foi verificado que, quanto maior a absorção da pasta de argamassa pelo substrato, melhor será a aderência e a resistência à tração do revestimento em argamassa. Os elementos estruturais em concreto também sofrem influência na resistência de aderência à tração quanto à absorção de água pelo substrato dos elementos estruturais em concreto.

Segundo o estudo realizado por Speck (2018), quanto maior a absorção de água dos pilares, vigas, lajes ou outros elementos estruturais em concreto, maior será a resistência à tração da argamassa ao substrato concreto, como os substratos com blocos de concreto e cerâmicos. Assim, observa-se que é essencial uma boa absorção de água para uma melhor resistência de aderência da argamassa.

Segundo a ABNT NBR 7200:1998 (Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - procedimento), prescreve que quando o revestimento for aplicado sobre bases porosas, estas devem ser umedecidas, com exceção do bloco de concreto. Mas, após os estudos dos ensaios apresentados, verificou que a aplicação excessiva de água no substrato pode comprometer a absorção da pasta de argamassa que será empregada logo após o umedecimento do substrato.

### **4. INFLUÊNCIA DA LIMPEZA DO SUBSTRATO NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO REVESTIMENTO**

Segundo os procedimentos que a ABNT NBR 7200:1998 (Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas- procedimento) específica para revestimentos em argamassa de camada

única, o substrato deve ser limpo de quaisquer impurezas e resíduos da construção civil, para isso a norma ABNT NBR 7200:1998 especifica a lavagem do substrato ou base com água, mas há estudos que comprovam que o substrato deve-se absorver a pasta da argamassa, o umedecimento excessivo do substrato pode interferir na eficiência da absorção da pasta de argamassa.

Um ensaio realizado por Silva, Pereira e Póvoas (2019), verificou a influência que a limpeza implica sobre a resistência à tração do revestimento em argamassa nos substratos de blocos cerâmicos e blocos de concreto, em um dos testes realizou-se a lavagem do substrato antes e após a aplicação do chapisco, e empregado o revestimento de camada única em argamassa, no segundo teste foi executado o chapisco e depois o revestimento de camada única em argamassa sem nenhuma limpeza, após realizado os ensaios de arrancamento de revestimento segunda a norma ABNT NBR 13528:2010, observou-se que não houve diferença sobre a resistência à tração, os corpos de prova de ambos os ensaios tiveram seu rompimento na argamassa, indicando que a limpeza do substrato não influenciou no resultado de resistência à tração, pois se o rompimento ocorre-se na interface entre o substrato/ chapisco ou argamassa/ chapisco, a limpeza exerceria influência sobre o resultado.

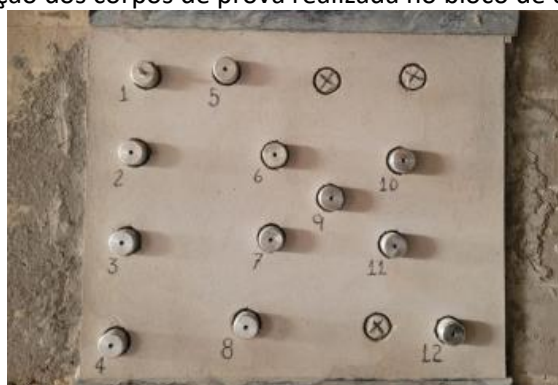
## 5. METODOLOGIA

A pesquisa parte de um método hipotético-dedutivo e a sua investigação é realizada a partir de procedimento experimentais, consistindo em analisar o estudo de caso – argamassa de revestimento interno de uma edificação residencial em construção – explicitando as variáveis que podem exercer algum tipo de influência no experimento, definindo formas de controle e de observação das respostas. Assim, para realização do ensaio de resistência à tração de revestimento em argamassa pelo método de arrancamento, foram utilizados para análise 3 (três) materiais de substratos, sendo eles: substrato em alvenaria de bloco cerâmico com dimensões de 9x19x19 centímetros; substrato em alvenaria de bloco de concreto não estrutural com dimensões de 19x19x39 centímetros; substrato de elemento estrutural em concreto armado, sendo o concreto com resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) de 30 MPa.

Os processos, para a execução do revestimento em argamassa, seguem os procedimentos especificados pela norma ABNT NBR 7200:1998 (Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento). Para o ensaio, realizou-se a limpeza dos substratos com água em abundância e auxílio de esponja, com o intuito de retirar qualquer impureza proveniente dos métodos executivos deles, como a argamassa utilizada para assentamento de alvenaria, poeira e materiais residuais da desforma dos elementos estruturais. Para comparação da influência do chapisco na resistência à tração do revestimento em argamassa, foi realizado um ensaio com os corpos de prova sem a execução de chapisco no substrato de bloco cerâmico, ou seja, serão respeitados todos os procedimentos de execução do revestimento em argamassa, apenas o processo de chapisco será excluído.

A realização do processo de ensaio para determinar a resistência à tração do revestimento é realizada 28 dias após a execução do revestimento de camada única em argamassa, é realizado a escolha de 12 pontos no revestimento em argamassa, sendo eles no mesmo substrato, ou seja, para realização do ensaio nos 3 tipos de substratos sendo eles bloco cerâmico; bloco cerâmico sem chapisco; bloco de concreto; elemento estrutural, foram retirados no total 48 corpos de prova, todos os corpos de prova são enumerados e analisados separadamente, como apresentado na Figura 1.

**Figura 1.** Exemplo de numeração dos corpos de prova realizada no bloco de concreto não estrutural.



Fonte: autores.

A Figura 2, demonstra o aparelho dinamômetro de tração utilizado no ensaio, que aplica o esforço contínuo de tração no corpo de prova até o rompimento de uma das camadas constituintes do revestimento, no momento da ruptura do corpo de prova o aparelho indica o pico de carga de tensão que foi aplicado no revestimento para que ele rompesse, a realização do ensaio segue os procedimentos especificados pela norma ABNT NBR 13528:2010 (Revestimento de paredes e tetos em argamassa inorgânica- Determinação da resistência de aderência à tração).

**Figura 2.** Aparelho dinamômetro de tração.



Fonte: autores.

## 6. PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO DE ENSAIO

### 6.1. Chapisco

Após o procedimento de limpeza é executado o processo de chapisco dos substratos, os mesmos processos de chapisco descritos abaixo foram realizados nos três materiais de substrato, para realização do chapisco é seguido os procedimentos de execução do traço e do lançamento.

O traço utilizado faz parte do procedimento de execução da construtora responsável pela execução da obra, utilizando como recipiente de medida uma lata 18 litros, o traço realizado para fabricação do chapisco foi na proporção de 1:5,25, sendo 1 volume com cimento Portland composto CP II-F32 e 5,25 volumes com areia média, e adicionado junto à mistura o aditivo Bianco na proporção de 1:2, sendo 1 volume de Bianco para cada 2 volumes de água, a mistura foi realizada mecanicamente com a máquina betoneira. Já o lançamento do chapisco ao substrato foi realizado manualmente com a colher de pedreiro, não sendo realizada a cobertura completa do substrato com o chapisco como especifica a norma ABNT NBR 7200:1998. Após a aplicação respeitou-se o tempo mínimo de idade de dois dias para que fosse realizado o próximo passo

### 6.2. Reboco de camada única

A realização do reboco de camada única ou popularmente dito como reboco paulista é aplicada diretamente sobre o chapisco sem emboço ou qualquer cheia de argamassa. Para a execução do reboco, foi seguido o tempo de cura descrito no procedimento de chapisco e realizado o taliscamento com espessura de 1,8 centímetros do substrato, para que não seja excedida a espessura máxima admissível de 2 centímetros para revestimento interno, seguindo a exigência da norma ABNT NBR 13749:1996 (Revestimento de paredes e tetos em argamassa inorgânica - especificações), a altura do taliscamento está ergonomicamente correta para aplicação do revestimento com total eficiência.

O traço utilizado faz parte do procedimento de execução da construtora responsável pela execução da obra, utilizando como recipiente de medida uma lata 18 litros o traço realizado para fabricação da argamassa de revestimento foi na proporção de 1:5,25:1,75, sendo 1 volume com cimento Portland composto CP II-F32, 5,25 volumes com mistura pronta de areia fina e cal fornecida pela empresa de concreto e argamassas, 1 volume de areia média peneirada e adicionado junto ao aglomerante 50 mililitros do aditivo Vedalit, a mistura foi realizada mecanicamente com a máquina betoneira.

O lançamento da argamassa sobre o chapisco é realizado manualmente com a colher de pedreiro, cobrindo totalmente o chapisco e vazios. Após o lançamento, é realizado o aperto da argamassa ao

chapisco com a colher de pedreiro, este ato consiste em retirar os vazios, aumentando a área de contato entre a argamassa e o chapisco para melhorar a aderência da argamassa ao chapisco.

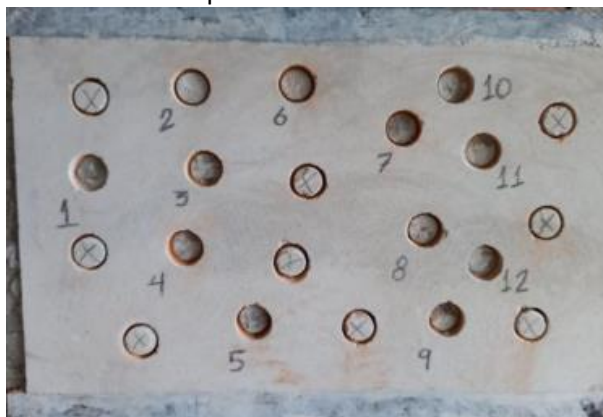
Espera-se alguns minutos após o lançamento para executar o processo de acabamento, nesse tempo a argamassa perde parte da água para o chapisco e retrai, seria esse o “tempo de pega” ou “tempo de sarrafeamento”, espera-se este tempo para que não ocorram fissuras de retração após ser realizado o acabamento na argamassa. Para saber se a argamassa está de acordo para o próximo processo, é só realizar pressão com o dedo na argamassa lançada, deve ocorrer uma pequena deformação e o dedo continuar limpo, com esta confirmação a argamassa está pronta para ser sarrafeada, após a retirada da argamassa em excesso e o nivelamento realizado pelo sarrafeamento é realizado o acabamento com a desempenadeira e feltro. Após realizado o acabamento do reboco como demonstrado, o período de cura para revestimento em argamassa de camada única é de 28 dias.

## 6. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Foram preparados 12 corpos de prova por substrato para os ensaios, a determinação dos pontos dos mesmos no revestimento é feita de maneira aleatória respeitando o espaçamento mínimo entre os corpos de prova de 5 centímetros, definidos os pontos é realizado o corte a seco dos corpos de prova com broca serra copo acoplada à furadeira elétrica, a realização do corte é feita com o equipamento em esquadro com o revestimento, para que o corte não possua angulação ou deformação que irá influenciar em sua resistência quando tensionado; caso ocorra, o corpo de prova é excluído e feito outro corpo de prova para substituí-lo, o corte deve se aprofundar no máximo de 1 milímetro a 5 milímetros no substrato, e são numerados de 1 a 12. Esses procedimentos podem ser visualizados na Figura 3.

Realizado o corte é aplicada a cola epóxi sobre a face do corpo de prova e colada a pastilha à face de maneira centralizada, é aguardado um período de 24 horas para secagem completa da cola para que seja executado o próximo passo – conforme Figura 4. O aparelho dinamômetro deve estar centralizado à pastilha e bem apoiado pelo técnico que irá executar o ensaio para que não ocorra a sua movimentação durante a aplicação do esforço de tração no revestimento.

**Figura 3.** Corte no revestimento com serra copo.



Fonte: autores.

**Figura 4.** Pastilhas coladas.



Fonte: autores.



Após o posicionamento, é realizado o acoplamento dele à pastilha, mantendo-o imóvel, Assim, é realizado a aplicação do esforço de tração girando a manivela do aparelho de forma contínua até a ruptura do corpo de prova. Após a ruptura, o dinamômetro de tração apresenta no visor a resistência que o revestimento suportou – Figuras 5.

**Figura 5.** Acoplamento do aparelho dinamômetro à pastilha para aplicação do esforço de tração.



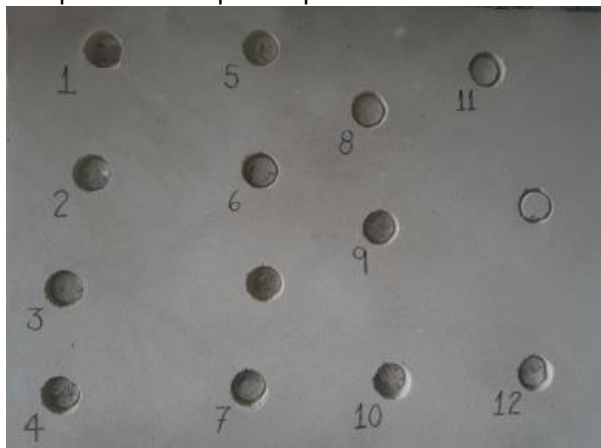
Fonte: autores.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisou-se a resistência à tração que o revestimento suportou até a ruptura para verificar se estão suportando o esforço de tração exigido pela norma ABNT NBR 7200:1998, e se analisou a camada constituinte do revestimento que menos suportou o esforço de tração, sendo está camada o ponto mais fraco do revestimento em argamassa, a verificação da camada com menor resistência é executada por análise visual, apresentando porcentagens para as camadas que obtiveram a ruptura, é realizada a análise visual pelos corpos de prova apresentados nas Figuras 6 e 7.

Os resultados de resistência de tração obtidos pelo dinamômetro de tração são apresentados em quilograma força (kgf), ou seja, o revestimento é submetido a uma força de tração de X quilograma, a carga é aplicada continuamente ao girar a manivela do dinamômetro de tração, a análise dos resultados obtidos pelo dinamômetro de tração é realizada em Mega Pascal (MPa), se fazendo necessário a conversão de quilograma força (kgf) para Mega Pascal (MPa).

**Figura 6.** Revestimento após a ruptura dos corpos de prova.



Fonte: autores.

**Figura 7.** Corpos de prova após a ruptura

Fonte: autores.

As tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios de resistência à tração obtidos com o dinamômetro de tração no revestimento em argamassa de massa única dos substratos de bloco de concreto, elemento estrutural em concreto, bloco cerâmico e bloco cerâmico sem a aplicação de chapisco.

**Tabela 1.** Resultado do substrato de bloco de concreto.

Nº	Corpos de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Sub.	Sub./Chap.	Forma de ruptura (%)				
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	ÁREA (mm²)	Bloco	Junta					Chap.	Chap./Arg.	Arg.	Arg./Cola	Cola/Past.
1	47,00	41,00	44,00	1520,53		X	156,91	0,10					100		
2	45,00	44,00	44,50	1555,28	X		225,55	0,15			10		90		
3	47,00	45,00	46,00	1661,90	X		333,42	0,20			5		95		
4	46,00	47,00	46,50	1698,23	X		333,42	0,20					100		
5	46,00	47,00	46,50	1698,23	X		647,24	0,38			5		95		
6	47,00	46,00	46,50	1698,23		X	441,30	0,26			10		90		
7	47,00	47,00	47,00	1734,94	X		294,20	0,17			10		90		
8	42,68	41,80	42,24	1401,32		X	382,46	0,27					100		
9	47,00	46,00	46,50	1698,23		X	362,84	0,21			40		60		
10	47,00	46,00	46,50	1698,23	X		500,14	0,29			20		80		
11	47,00	46,00	46,50	1698,23		X	245,17	0,14			50		50		
12	45,00	46,00	45,50	1625,97	X		431,49	0,27			20		80		

Fonte: autores.

**Tabela 2.** Resultado do elemento estrutura em concreto.

Nº	Corpos de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Sub.	Sub./Chap.	Forma de ruptura (%)				
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	ÁREA (mm²)	Bloco	Junta					Chap.	Chap./Arg.	Arg.	Arg./Cola	Cola/Past.
1	42,20	42,40	42,30	1405,31	N/A	N/A	608,01	0,43			15		85		
2	46,70	46,41	46,56	1702,61	N/A	N/A	304,00	0,18			5		95		
3	47,60	45,64	46,62	1707,00	N/A	N/A	431,49	0,25			3		97		
4	44,84	47,07	45,96	1659,01	N/A	N/A	362,84	0,22			40		60		
5	47,54	47,52	47,53	1774,29	N/A	N/A	490,33	0,28			20		80		
6	47,80	47,28	47,54	1775,04	N/A	N/A	490,33	0,28			3		97		
7	47,54	47,51	47,53	1774,29	N/A	N/A	500,14	0,28			20		80		
8	47,40	46,00	46,70	1712,87	N/A	N/A	490,33	0,29					100		
9	47,45	47,47	47,46	1769,07	N/A	N/A	441,30	0,25			80		20		
10	47,88	46,27	47,08	1740,86	N/A	N/A	382,46	0,22			50		50		
11	46,48	47,42	46,95	1731,26	N/A	N/A	490,33	0,28					100		
12	46,33	47,28	46,81	1720,95	N/A	N/A	549,17	0,32			10		90		

Fonte: autores.

**Tabela 3.** Resultado do substrato de bloco cerâmico.

Nº	Corpos de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (%)					
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	Bloco	Junta			Sub.	Sub./Chap.	Chap.	Chap./Arg.	Arg.	Arg./Cola
1	47,15	47,46	47,31	1757,91	X		98,07	0,06		25	50		25	
2	47,83	47,35	47,59	1778,78		X	794,33	0,45					100	
3	47,55	47,56	47,56	1776,53		X	362,84	0,20		15		85		
4	47,91	47,76	47,84	1797,51		X	333,42	0,19				20	80	
5	47,58	47,34	47,46	1769,07		X	353,04	0,20				15	85	
6	48,31	48,08	48,20	1824,67		X	617,82	0,34					100	
7	47,59	48,15	47,87	1799,77	X		196,13	0,11		5		50	45	
8	46,99	47,27	47,13	1744,56		X	568,78	0,33		5	10		85	
9	47,99	47,26	47,63	1781,77	X		304,00	0,17		20		30	50	
10	47,25	47,79	47,52	1773,55		X	519,75	0,29				30	70	
11	47,68	47,55	47,62	1781,02		X	480,52	0,27		3		22	75	
12	46,46	47,65	47,06	1739,38	X		382,46	0,22				30	70	

Fonte: autores.

**Tabela 4.** Resultado do substrato de bloco cerâmico sem aplicação de chapisco.

Nº	Corpos de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (%)					
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	Bloco	Junta			Sub.	Sub./Arg.	Arg.	Arg./Cola	Cola/Past.	
1	46,70	47,50	47,10	1742,34		X	147,10	0,08				100		
2	47,63	47,70	47,67	1784,76		X	254,97	0,14				100		
3	48,00	47,34	47,67	1784,76		X	127,49	0,07				100		
4	47,91	47,47	47,69	1786,26		X	49,03	0,03				60	40	
5	47,37	46,25	46,81	1720,95		X	147,10	0,09				100		
6	47,89	45,36	46,63	1707,74		X	29,42	0,02				100		
7	47,02	46,72	46,87	1725,36		X	166,71	0,10				90	10	
8	45,37	46,37	45,87	1652,52		X	421,68	0,26				80	20	
9	46,72	47,65	47,19	1749,00		X	235,36	0,13				90	10	
10	47,55	46,66	47,11	1743,08		X	29,42	0,02				95	5	
11	45,10	46,37	45,74	1643,17		X	598,20	0,36				70	30	
12	47,10	46,61	46,86	1724,62		X	411,88	0,24				80	20	

Fonte: autores.

Através dos resultados obtidos pelos corpos de prova e transferidos para a Tabela 1, comprova-se que o revestimento de argamassa sobre o substrato de bloco de concreto resiste ao esforço de tração mínimo exigido pela norma ABNT NBR 13749:1996 de 0,20 MPa, pois é necessário que 8 de 12 corpos de prova resista à tração igual ou superior a 0,20 MPa, ou seja, o traço empregado e o procedimento executado está tendo excelência em sua aplicação, a junta entre os materiais do substrato não influenciou no resultado. Analisando o local de ruptura dado na tabela em porcentagem, verifica-se que a camada com menor resistência, ou seja, a camada em que houve a ruptura, é a camada de argamassa de reboco, pois a maior concentração das porcentagens dos resultados de ruptura dos corpos de prova foi na argamassa de reboco.

Através dos resultados obtidos pelos corpos de prova e transferidos para Tabela 2, comprova-se que o revestimento de argamassa sobre o substrato de elemento estrutural em concreto resiste ao esforço de tração mínimo exigido pela norma ABNT NBR 13749:1996 de 0,20 MPa, pois é necessário que 8 de 12 corpos de prova resista à tração igual ou superior a 0,20 MPa, ou seja, o traço empregado e o procedimento executado estão tendo excelência em sua aplicação. Analisando o local de ruptura dado na tabela em porcentagem, verifica-se que assim como na tabela 1 a camada com menor resistência, ou seja, a camada em que houve a ruptura, é a camada de argamassa de reboco, a maior concentração das porcentagens dos resultados de ruptura dos corpos de prova foi na argamassa de reboco.

Através dos resultados obtidos pelos corpos de prova e transferidos para Tabela 3, comprova-se que o revestimento de argamassa sobre o substrato de bloco cerâmico resiste ao esforço de tração mínimo exigido pela norma ABNT NBR 13749:1996 de 0,20 MPa, pois é necessário que 8 de 12 corpos de prova resista à tração igual ou superior a 0,20 MPa, ou seja, o traço empregado e o procedimento executado está tendo excelência em sua aplicação, a junta entre os materiais do substrato não influenciou no resultado. Analisando o local de ruptura dado na tabela em porcentagem, verifica-se que a camada com menor resistência, ou seja, a camada em que houve a ruptura é a camada de argamassa de reboco, apesar de haver rupturas em partes na interface chapisco/ argamassa. Isso demonstra que a argamassa não obteve boa aderência ao chapisco, o que fez com que a argamassa se solta-se do chapisco quando solicitado o esforço de tração, e a maior concentração de porcentagens está na ruptura da camada de argamassa de reboco.

Através dos resultados obtidos pelos corpos de prova e transferidos para a Tabela 4, comprova-se que o revestimento de argamassa sobre o substrato de bloco cerâmico sem a aplicação de chapisco não está de acordo com a norma ABNT NBR 13749:1996, pois apenas 3 dos 12 corpos de prova resistiram ao esforço de tração mínimo exigido pela norma de 0,20 MPa. A camada com menor eficiência e resistência à tração é na interface do substrato/ argamassa, verificou-se que a argamassa não obteve aderência ao substrato, o procedimento de exclusão do chapisco sobre o substrato no processo de execução do revestimento em argamassa reduziu drasticamente a eficiência e a resistência à tração do revestimento em argamassa, comprovando a necessidade da aplicação de chapisco para melhor eficiência do revestimento.

## 8. CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados obtidos pelo aparelho dinamômetro de tração nos substratos de bloco de concreto, elemento estrutural em concreto e bloco cerâmico, foi possível a confirmação que o traço utilizado para fabricação do chapisco e da argamassa de reboco em camada única está resistindo à carga mínima de tração exigida pela norma ABNT NBR 13749:1996, pois no mínimo 8 corpos de prova dos 12 corpos de prova ensaiados do revestimento de cada substrato atingiram a resistência mínima exigida de maior ou igual à 0,20 MPa para revestimentos internos, comprovando a eficiência do traço utilizado para fabricação do chapisco e argamassa de reboco.

Através da análise visual dos corpos de prova dos substratos, de bloco de concreto, elemento estrutural e bloco cerâmico, após a ruptura, verificou-se que a camada constituinte do revestimento de parede em argamassa com menor resistência à tração, ou seja, a camada que apresentou colapso e ocasionou a ruptura é a camada de argamassa de reboco em camada única, pois os corpos de prova obtiveram em sua maior porcentagem a ruptura na camada de argamassa de reboco e pequenas porcentagens na interface argamassa/chapisco, com estes resultados conclui-se que a argamassa de reboco em camada única é a camada com menor eficiência do revestimento de parede.

Comparando os resultados da Tabela 3 do revestimento em argamassa sobre o bloco cerâmico e os resultados da Tabela 4 do revestimento em argamassa sobre o bloco cerâmico sem aplicação de chapisco, são visíveis a eficiência e a necessidade da aplicação do chapisco sobre os substratos, pois apenas 3 dos 12 corpos de prova do ensaio no substrato de bloco cerâmico sem aplicação de chapisco obtiveram resistência igual ou superior a 0,20 MPa, comparado com os resultados da Tabela 3, nos quais 8 dos 12 corpos de prova obtiveram excelência na resistência à tração. O revestimento de argamassa em parede é a camada protetora para os ambientes contra as intemperes. A comprovação da eficiência da resistência à tração do revestimento em argamassa é de suma importância para prevenção de ocorrências de patologias no revestimento a curto e longo prazo, tais como fissuras, trincas, manchas na parede e deslocamento do revestimento. Além do ensaio de resistência à aderência de revestimento à outros ensaios para verificação da eficiência do revestimento, ficando como sugestão para próximos trabalhos a realização dos ensaios complementares.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO DIAS SILVA, R; BRINGEL PEREIRA, R; VIEIRA PÓVOAS, Y. Viabilidade da utilização de argamassa estabilizada através do ensaio de arranchamento. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 4, n. 4, p. 19-27, 2019. Disponível em: <http://revistas.poli.br/index.php/repa/article/view/1161/521>. Acesso em: 12 jan. 2022. <https://doi.org/10.25286/repa.v4i4.1161>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas- Procedimento. NBR 7200. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de parede de argamassas inorgânicas- Determinação da resistência de aderência à tração. NBR 13528. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas- Especificação. NBR 13749. Rio de Janeiro, 1996.

CARASEK, H. Avaliação e interpretação de resultados de ensaios de aderência de sistemas de revestimento de argamassa, 2010. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/283/anexo/ensaiosdea.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

HONÓRIO, T. CARASEK, H, 2010. Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimento de argamassa. Disponível em: [https://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2045\\_2010.pdf](https://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2045_2010.pdf). Acesso em: 12 jan. 2022.

MORAES, M. Argamassa de revestimento e assentamento, 2012. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii1/argamassas-de-revestimento-material-auxiliar>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SPECK, M. Investigação da influência da rugosidade e da capacidade de absorção do substrato de concreto na aderência de argamassa com diferentes comportamentos reológicos, 2018. Disponível em: [https://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2045\\_2010.pdf](https://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2045_2010.pdf). Acesso em: 12 jan. 2022

## ANÁLISE SOBRE A BARRAGEM DE TERRA ALTEADA POR MONTANTE DESTINADA AO ARMAZENAMENTO DE REJEITO ARENOSO EM MARIANA – MG

Adilson Aparecido Campos Junior, Lucas Passetti da Silva, Beatriz de Mello Massimino Rotta

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP. E-mail: [beatrizmello@unoeste.br](mailto:beatrizmello@unoeste.br)

### RESUMO

As barragens são estruturas que atendem às necessidades básicas, como o represamento de água de abastecimento, ou às mais complexas, como armazenar rejeitos provindos das escórias da mineração. Por vezes, o planejamento e execução dessas estruturas para fins mais específicos são realizados de maneira precária e, com isso, coloca-se em risco a vida humana e do meio ambiente. Notícias atuais, acerca do rompimento de barragens, levaram aos estudos elaborados neste artigo. Com o objetivo de analisar o rompimento da barragem de rejeitos localizada no município de Mariana – MG – e propor as soluções que poderiam ter sido utilizadas para evitar seu rompimento, é utilizada a metodologia *ex-post facto*. Assim, ao analisar o caso do colapso da estrutura da barragem, observa-se que esse ocorreu devido a três erros principais: utilização da barragem para uma finalidade para qual não foi projetada; manutenção mal planejada, e; abalo sísmico muito pequeno, 2,7 na escala Richter, que gerou numa mudança na percolação da água, gerando acúmulo em local inadequado. Mesmo ao utilizar a barragem para outro propósito, o desastre poderia ser evitado, se houvesse o controle adequado a partir de mecanismos de monitoramento, já existentes e destinados a esse fim.

**Palavras-chave:** monitoramento; colapso; mineração.

### ANALYSIS ON THE EARTHFILL DAM RAISED BY AMOUNT DESTINED FOR THE STORAGE OF SANDY WASTE IN MARIANA – MG

#### ABSTRACT

Dams are structures that meet basic needs, such as the damming of supply water, or more complex ones, such as storing tailings from mining slag. Sometimes, the planning and execution of these structures for more specific purposes are carried out in a precarious way and, as a result, human life and the environment are put at risk. Current news about the rupture of dams led to the studies elaborated in this article. To analyze the failure of the tailings dam located in the municipality of Mariana – MG – and to propose solutions that could have been used to avoid its failure, the *ex-post facto* methodology is used. Thus, when analyzing the case of the collapse of the dam structure, it is observed that this occurred due to three main errors: use of the dam for a purpose for which it was not designed; poorly planned maintenance, and very small earthquake, 2.7 on the Richter scale, which resulted in a change in water percolation, generating accumulation in an inappropriate location. Even when using the dam for another purpose, the disaster could be avoided, if there were adequate control from monitoring mechanisms, already in place and intended for this purpose.

**Keywords:** monitoring; collapse; mining.

#### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Caputo (2017), as barragens são estruturas que obstruem um curso d'água ou outros fluidos. Portanto, são utilizadas para diversos fins, como o armazenamento de água, de rejeitos industriais, para suprimento para irrigação e para a produção de energia. Como os volumes armazenados em barragens são elevados, torna-se imprescindível a utilização de diversos fatores de segurança. São levados em consideração o tipo de material a ser utilizado, o terreno onde será acomodado e as técnicas construtivas empregadas nela. Porém, as escolhas das variáveis de projeto podem ser insuficientes, tornando-as inseguras.

### 1.1. Barragens de terra

Barragens de terra, são do tipo convencional, onde geralmente são construídas em estágio único, em um curto período. Sendo divididas em homogêneas, zonadas e mistas. São vistas como um recurso, com finalidades básicas que atendem grande parte da população, como abastecimento de água, geração de energia elétrica, dentre outros. Por isso, sua execução, funcionamento e manutenção recebem um elevado padrão de cuidado e atenção, feita por uma equipe de engenheiros experientes (COSTA, 2012).

Elas são de propriedade do Estado ou companhia de utilidade pública que gerenciam o recurso água, possuindo recursos substanciais à sua disposição, além de possuírem maior aprovação pública, já que seu objetivo beneficia diretamente a população (DUARTE, 2008).

### 1.2. Risco em barragens de terra

Em barragens de terra, sabe-se que fatores como infiltrações e escorregamentos são críticos para a ruptura de barragens. Notando-se a importância da realização de um estudo minucioso acerca da estabilidade e percolação de água no maciço da barragem e em sua fundação. Quando as pressões da percolação se tornam excessivas, podem acarretar o carreamento de partículas finas, provocando a ocorrência de erosão interna, pela qual se forma um orifício dentro do corpo da barragem, levando a uma consequente ruptura (CAPUTO 2017). Esse fenômeno é denominado de erosão regressiva e pode comprometer seriamente a estabilidade e com isso, a segurança da barragem.

Outro fenômeno que também podem acabar gerando a erosão regressiva é o *piping*, ocorrendo a formação de canais. Por meio deste fluxo acontece a percolação do solo de forma contínua direção de montante para jusante da estrutura do maciço ou através da fundação, podendo levar a formação de fendas e a perda de estabilidade na estrutura (FELL *et al.*, 2008).

As atividades mineradoras geram uma grande quantidade de resíduos sólidos, dos quais os mais volumosos, são os gerados pelas atividades de extração de minério e pelas usinas de beneficiamento. A disposição destes rejeitos pode ser feita a céu aberto, de forma subterrânea, ou subaquática. A disposição mais comum é a céu aberto, podendo ser feita em pilhas controladas ou em estruturas de contenção localizadas em bacias ou vales. Também existem disposições dos rejeitos vinculadas com os sistemas de extração do minério, por deposição a céu aberto; nesse caso, os rejeitos formam camadas de fundação para os equipamentos de extração (LOZANO, 2006).

Os rejeitos são transportados para estas estruturas de contenção por meio de tubulações, por gravidade ou por bombeamento, com grande quantidade de água. As barragens de rejeitos podem ser construídas utilizando os solos da região, estéreis (agregado natural de um ou mais minerais) ou mesmo do próprio rejeito.

O grande volume de rejeitos gerados, unidos aos custos do transporte, faz com que seja atrativa a utilização destes materiais na construção das próprias barragens de contenção, desde que sejam obedecidas algumas regras, sendo elas: separação da fração grossa e fina, controle da granulometria, utilização de sistemas de drenagens eficientes, compactação dos rejeitos e proteção superficial da barragem (DUARTE, 2008).

A estrutura de contenção deste tipo de barragem, é construída levantando-se inicialmente um dique, partindo do solo de empréstimo, o qual deve ter uma capacidade de retenção de rejeitos para dois ou três anos de operações de mineração. Os próximos estágios são chamados de alteamento, onde se constroem degraus com o próprio material de rejeito ou o material de empréstimo disponível na região, por deposição hidráulica ou ciclonação (LOZANO, 2006). O método de alteamento é classificado em três classes mais comuns: método de montante, método da jusante e método da linha de centro.

### 1.3. Justificativa

Os casos de Mariana e Brumadinho – MG –, onde suas barragens de rejeitos foram ao colapso, tiveram esses fenômenos como pontos de partida para a análise das causas. Segundo relatório emitido pelo Centro Internacional de Métodos Numéricos em Engenharia, para o Ministério Público, a barragem de Brumadinho acabou se rompendo por causa do efeito de liquefação, *piping*, que ocorreu por conta dos rejeitos que, em sua maioria, eram fofos, contráteis, saturados e mal drenados o que acabou contribuindo para o fenômeno.

A barragem em Mariana, teve sua ruptura decorrente de três fatores, que são os objetivos de análise deste artigo. Eles servem como ponto de partida para propostas de soluções aplicadas ao caso, mas,

soluções essas, que também se destinam a outros potenciais colapsos de barragens em risco, categorizadas dessa forma pela Agência Nacional de Mineração.

#### 1.4. Objetivos

Realizar uma pesquisa *ex-post facto* acerca dos motivos que levaram ao rompimento da barragem de rejeito em Mariana – MG. Entender as formas de evitar esse colapso e propor soluções para casos semelhantes.

## 2. METODOLOGIA

Este artigo utiliza a metodologia *ex-post facto*, que se caracteriza como uma investigação sistemática e empírica, onde não se pode ter controle sobre as variáveis independentes, pelos motivos que já ocorreram as manifestações, sendo o estudo realizado em torno de um evento já ocorrido e, portanto, imutável (GIL, 2008).

Assim, como embasamento, é necessária uma extensa pesquisa em livros, artigos científicos, noticiários e dissertações de mestrado. Partindo do ponto da introdução no tema de barragens, passando desde a situação atual do Brasil em relação ao seu quantitativo desse tipo de construção e suas funções de utilização, o estudo dos sistemas de segurança que compõe uma barragem e a análise do caso real do rompimento de uma barragem.

Para a análise dos resultados, foram utilizados como base, os estudos feitos pela dissertação de Rezende (2013). A construção utilizada como estudo foi a barragem de Mariana - MG, que colapsou em 2015. A estrutura era robusta e possuía diversos problemas construtivos, desde o seu método de construção, sendo considerado o mais instável, até a altura que alcançou seu alteamento. Também h

ouve a falta de equipamentos de monitoramento de alta precisão e três abalos sísmicos de 2,7 na escala Richter, e isso ocorreu no mesmo período que a estrutura da barragem passava por manutenções.

## 3. BARRAGEM DE MARIANA

A construção da barragem de Fundão, situada no município de Mariana em Minas Gerais, teve início em 2007, sendo o dique de partida concluído em 2009. A estrutura foi feita com alteamento a montante, sendo o método construtivo no qual após o dique de partida, os demais alteamentos utilizam como base o próprio rejeito adensado.

A barragem funcionava como um depósito de resíduos provenientes da mineração de ferro, e toda a escória era armazenada em grandes diques que eram ampliados de acordo com a necessidade. Os sistemas de segurança desta estrutura eram precários ou inexistentes o que levou, a falta de alarme de sua movimentação até o rompimento.

## 4. ANÁLISE DO COLAPSO DE MARIANA

Ao analisar os resultados obtidos por Rezende (2013), foi visto que a barragem foi dividida em dois Diques, sendo o primeiro utilizado para rejeitos arenosos e o segundo para rejeitos finos, conforme demonstrado na Figura 1

**Figura 1.** Localização dos diques da barragem de Mariana.



Fonte: Google Earth Pro (2014).

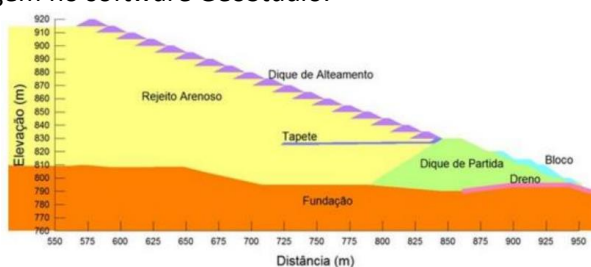


Até o ano de 2012, haviam sido feitos seis alteamentos a montante, totalizando um total de 60 metros de altura em relação a sua fundação que era composta de solo saprólito (solo constituído pela mistura de minerais primários e secundários resultantes do intemperismo físico e químico). Cada alteamento sendo feito por cima do próprio material granular de rejeitos arenosos sem compactação.

O sistema de drenagem da barragem contava com um tapete drenando de 120 metros de comprimento consistindo em uma camada de 50 centímetros de brita 1 e transições de brita 0, além de uma camada de areia com espessura de 30 centímetros. Além dessas camadas existiam 27 tubos de dreno flexível que recebia o nome canaleta.

Para modelagem foi utilizado o mesmo modelo de estrutura que se iniciaria na cota de 790 metros e terminaria na cota 920 metros, sendo a cota final de projeto prevista para essa estrutura, conforme mostrado na Figura 20, além de apresentar os materiais presentes na barragem, sendo o rejeito arenoso o único material lançado no depósito com índice de vazios igual a 0,88.

**Figura 2.** Estrutura da barragem no software GeoStudio.



Fonte: (Rezende, 2013).

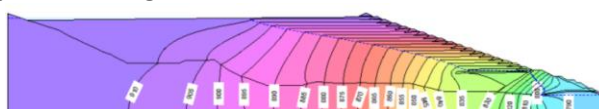
Os parâmetros hidráulicos inseridos no software para análise no *seep* adotados pelo trabalho, seguiram as análises de laboratórios e além de conteúdos didáticos acerca do tema. Após a aplicação dos materiais, foram lançadas as condições de contorno que são dados que limitam as zonas de influência de percolação. Esses dados podem variar de acordo com passagem de tempo denominado período transicional.

Para a realização das análises, a solução numérica requer a definição das condições de contorno nas fronteiras da geometria analisada, limitando as zonas de influência de percolação. A simulação numérica no programa permite superfícies de contorno com prescrição de carga ou de fluxo. Essas condições de contorno podem variar ao longo do tempo no chamado regime transiente ou para uma condição permanente.

Na determinação da fase transiente foi criada uma condição de contorno denominado “elevação do lago” no qual se aplicava diferentes magnitudes de carga que seguiam a curva de enchimento do reservatório, explicando a disposição dos rejeitos na barragem.

Com a análise de percolação executada no programa, foi possível notar que as linhas de fluxo, permeavam pelo tapete de drenagem da estrutura e atravessavam o dique de partida, conforme Figura 3, em que mostra que o fluxo percorria quase que completamente pelo dique de partida, onde ocorre a mudança de pressão em trechos de mudança de alteamento, ou seja, a cada vez que a barragem é aumentada, um novo fluxo de percolação se cria e aumenta com isso a chance de erosões por causa desta descontinuidade.

**Figura 3.** Análise de percolação na barragem de Mariana.

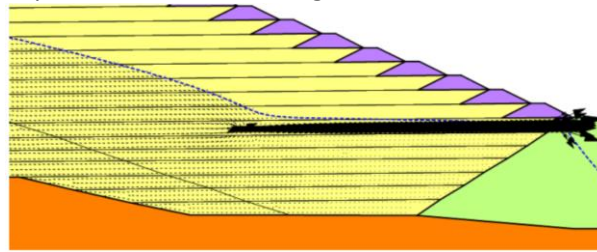


Fonte: (Rezende, 2013).

Por meio dessa análise, é possível observar que o fluxo atravessa o tapete de drenagem e o maciço, chegando ao dreno que se encontra na base. Não é possível notar grandes danos a estrutura, contudo é uma operação delicada, pois em qualquer manutenção nesse tipo de estrutura, deve-se ter muita cautela, caso leve ao entupimento do dreno ou ocasionar uma modificação no eixo da estrutura, assim mudando o

fluxo para uma área em que os rejeitos eram mais instáveis e com menor permeabilidade, como ocorreu na barragem de Mariana. A Figura 4, mostra o fluxo percorrendo todo o tapete drenante onde ele se encontra em estado de afogamento.

**Figura 4.** Análise do fluxo no tapete drenante na barragem de Mariana.



Fonte: (Rezende, 2013).

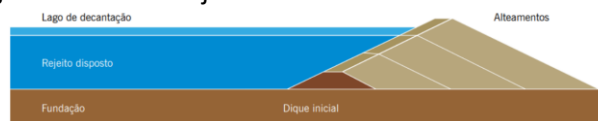
Com a vazão se afluindo na base do dique de partida, é possível perceber que, conforme o passar do tempo, poderá ocorrer o chamado *piping*, que é a liquefação da base levando assim ao comprometimento da segurança de toda a barragem.

## 5. SOLUÇÕES PARA A BARRAGEM

A construção de barragens de rejeitos utilizando outro tipo de alteamento teria sido muito eficaz para evitar o rompimento da estrutura. O método a jusante, considerado mais seguro, tem seus alteamentos feitos a jusante, tornando a barragem mais resistente e evitando a saturação do talude de partida, desde que o dreno interno seja prolongado a cada alteamento, a Figura 5, demonstra um exemplo de barragem de rejeito que foi construída a jusante.

Um dos motivos que levam esse tipo de barragem a ser mais estável, é pelo seu alteamento não ser executado sob rejeitos de qualquer tipo, mas sobre um solo compactado com controle de qualidade tecnológico, o que evita que comportamentos não previstos sejam evitados.

**Figura 5.** Exemplo de barragem construída à jusante.



Fonte: (IBRAM, 2016).

Conforme a Figura 6, em que é mostrado esse tipo de estrutura lançado no software, em que demonstra que o fluxo de água segue de maneira mais estável pelo dreno na base da construção, isso se deve aos pontos elencados no parágrafo anterior, o que torna essa estrutura mais segura.

Os diques de alteamento são mais estreitos e tem sua extensão por todo o dique de partida não tendo nenhum contato com os rejeitos em pontos importantes que seriam entre as junções, evitando as erosões. Também, conforme a elevação de cada camada, a base da estrutura vai ficando mais larga e com isso as cargas dos rejeitos sob a estrutura não afeta sua estabilidade.

Outro método construtivo, seria o alteamento pela linha de centro (Figura 7), esse tipo de construção intermediário, traz mais segurança que o método de alteamento a montante e tem um menor custo de construção que o método a jusante, sendo construído tanto sob o rejeito a montante quanto sob reforço a jusante.

**Figura 7.** Exemplo de barragem construída pela linha de centro.



Fonte: (IBRAM, 2016).

A construção se inicia no dique de partida e se prossegue o alteamento com diques sucessivos, porém permanecem no eixo de simetria da barragem constante. Caso na parte superior do talude perca o confinamento, podem aparecer fissuras, causando problemas de erosão e aumento da porosidade da estrutura.

Ainda, outra forma de solucionar o problema, seria a implantação de sistemas de monitoramento mais tecnológicos, que pudessem ter previsto a mudança de eixo da barragem e, com isso, as obras teriam se intensificado na manutenção desse trecho.

**Figura 6.** Alteamento à jusante lançado no software GeoStudio.



Fonte: (autores).

Os sistemas de monitoramento são equipamentos de alta precisão que aumentam a capacidade dos técnicos de saber o que está acontecendo na barragem, sendo recomendado por diversos livros que sejam evitados equipamento de medição manuais, que causam grandes atrasos na análise dos dados.

**Figura 8.** Medidor de vazão triangular.



Fonte: (Commetro, 2022).

De acordo com Silveira (2006), alguns modelos de equipamentos de monitoramento automatizados são os medidores de vazão (Figura 8), sendo utilizados para conduzir vazões menores de 1800 l/min, nessa faixa são os mais econômicos, precisos e fáceis de se instalar, podendo ser dimensionados de acordo com o projeto.

**Figura 9.** Shape Array Accelerometer.



Fonte: (Measurand, 2022).

Um outro equipamento é o denominado *Shape Array Accelerometer* (SAA), apresentado na Figura 9. Esse equipamento monitora movimentações na estrutura subsuperficial, sendo capaz de detectar planos e cisalhamento, dentre outras deformações que possam levar ao comprometimento da estabilidade da estrutura. É composto basicamente em uma fita instrumentada de fibra de vidro, com pouca flexibilidade, que se deforma conforme as movimentações na estrutura. No comprimento da fita são instalados inúmeros sensores de deformação com dimensões variadas, sendo acoplados em cadeia e dispostos de acordo com a necessidade de cada zona de monitoramento (MEASURAND, 2021)

Ainda, existe o Piezômetro de Corda Vibrante, sendo é um equipamento que foi desenvolvido na década de 1930 na França. Ele mede a pressão da água que é transmitida pelas rochas da estrutura que causa uma deflexão que é captada e medida por um transdutor de pressão do tipo corda vibrante que tem uma alta sensibilidade e se localiza perpendicular ao plano do diafragma interno (SILVEIRA, 2006). Os

modelos eletrônicos e automatizados deste equipamento trazem os benefícios da possibilidade que a leitura seja feita a distância e com uma diminuição na porcentagem de erros. É necessário que o ele seja calibrado de maneira exata para evitar desvios (Figura 10).

**Figura 10.** Piezômetro de corda vibrante.



Fonte: (RST Instruments LTD, 2022).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As barragens são estruturas de extrema importância para humanidade, possuindo as mais diversas finalidades. Desde atividades mais simples como represamento de água em pequenas áreas rurais até sua utilização para geração de energia e armazenamento de rejeitos.

Porém, são estruturas que apresentam risco a população e ao meio ambiente, por isso, necessitam de monitoramento e serem construídas utilizando os métodos corretos para sua finalidade em específico, a fim de garantir o bom funcionamento da barragem, possibilitando intervenções preventivas e corretivas, minimizando o risco de acidentes, preservando a segurança da estrutura, do meio ambiente e de terceiros em sua área de influência.

A análise de risco é uma metodologia amplamente utilizada para supervisionar barragens, onde se procura as probabilidades de falhas ao mesmo tempo que se prevê as consequências de um rompimento, sendo empregada em atividades com potencial de afetar a segurança pública. É feita por meio de modelagem de projetos em softwares, revisões de segurança, análise de erros humanos e de falhas em estruturas semelhantes.

Nessa análise também entra o estudo de percolação, sendo o principal causador de acidentes em barragens de terra e rejeitos. Esse problema ocorre quando a água presente no reservatório flui através dos poros da fundação, removendo partículas no interior da estrutura, criando “caminhos” vazios.

O estudo de estanqueidade aliado a utilização de equipamentos para evitar a percolação, como filtros verticais e drenos, resolve esse problema na grande maioria das estruturas. Entretanto mesmo com métodos de monitoramento eficazes, ainda ocorrem rompimentos de barragens devido a falhas de projetos, problemas operacionais e manutenção inadequada.

Nas barragens de terra, é onde se concentram a maioria dos acidentes, devido a serem as mais utilizadas no Brasil. A barragem de Mariana, localizada no estado de Minas Gerais, foi um exemplo de tragédia de grandes consequências. Por meio de alteamentos consecutivos feitos sobre os próprios rejeitos, em uma estrutura não preparada para isto, a água passou a percolar e passar pelo tapete de drenagem presente na estrutura, chegando ao seu dique de partida.

Apesar desta percolação não ter causado danos perceptíveis, sua manutenção era necessária, entretanto a mesma em conjunto com três pequenos abalos sísmicos na região, causaram uma modificação no eixo da estrutura. Com isso o fluxo anterior, passou a percolar para locais com rejeitos de menor permeabilidade em sua base, causando sua liquefação, o que levou ao comprometimento total da estrutura e seu rompimento.

A estrutura não estava preparada para alteamentos consecutivos feitos da forma como foram. Um projeto bem elaborado, utilizaria de alteamentos feitos a jusante, onde o dreno é prolongado para cada alteamento, além ser feito sobre solo devidamente compactado e com controle tecnológico.

Apesar de ser um método mais complexo, apresenta maior segurança a percolação, já que seu tapete drenante é colocado em cada alteamento. Mesmo a estrutura sendo utilizada para uma finalidade para qual não foi projetada, resistiu por um longo período ao acúmulo de rejeitos sem inutilizar sua operação. Caso a manutenção contasse com um melhor planejamento e estivesse a par da situação em que a barragem se encontrava, poderia ter sido efetuada de maneira correta, evitando tal desastre.

## REFERÊNCIAS

CAPUTO, R. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, v. I, 2017.

COMMETRO. Medidores de vazão. São Paulo, 2022. Disponível em: <http://www.commetro.com.br/instrumento-detalhes/7/medidores-de-vazao> . Acesso em: 17 de agosto de 2022.

COSTA, W. D. Geologia de Barragens. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. I, 2012.

DUARTE, A. P. Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de minas gerais em relação ao potencial de risco. Meio ambiente e recursos hídricos, Belo Horizonte, p. 14-34, 2008.

FELL, R., FOSTER, M., DAVIDSON, R., SILLS, G., (2008). Seepage and piping toolbox initiation of internal erosion, USSD Conference, Portland, OR, 28th April-2nd May 2008.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Gestão e manejo de rejeitos da mineração, Brasília, p. 19-22, 2016

LOZANO, F. A. E. Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MEASURAND. Shape Array, instruments ready to measure deformation off the reel. 2022. Disponível em: <https://measurand.com/products/shapearray/> Acesso em: 17 de agosto de 2022.

REZENDE, V. A. Estudo do comportamento de barragem de rejeito arenoso alteada por montante, Ouro Preto, Abril 2013.

RST INSTRUMENTS, Piezometers, 2022. Disponível em: <https://rstinstruments.com/product-category/instruments/piezometers/> Acesso em: 17 de agosto de 2022.

SILVEIRA, J. F. A. Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

## RESUMOS

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A MODELAGEM COMPUTACIONAL ESPACIAL E O MÉTODO DE PÓRTICOS PLANOS ASSOCIADOS NA VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO .....	136
ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS DE CONCRETO REFORÇADAS COM CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM FIBRAS .....	137
ANÁLISE TEÓRICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO POR BAMBU NAS ARMADURAS LONGITUDINAIS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.....	138
CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO MODIFICADO COM A ADIÇÃO DE PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO COM TRATAMENTO ALCALINO.....	139
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO USO DE RESÍDUOS DE MARMORARIA NO DESEMPENHO DE COMPÓSITOS DE CONCRETO.....	140
ESTUDO DA VIABILIDADE DE EDIFICAÇÕES COM ENERGIA SOLAR INTEGRADA .....	141
ESTUDO DE CASO - ANÁLISE COMPARATIVA DA EDIFICAÇÃO DE UMA IGREJA NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE VENCESLAU - SP EXECUTADA SEM PROJETO ESTRUTURAL.....	142
INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO FINO E ÁGUA DE AMASSAMENTO POR RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO ALTERNATIVO .....	143
USO DA VINHAÇA ASSOCIADA A NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS	144

---

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A MODELAGEM COMPUTACIONAL ESPACIAL E O MÉTODO DE PÓRTICOS PLANOS ASSOCIADOS NA VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO

VITOR HUGO TREVISAN DOS SANTOS  
RITERSON JACQUES NUNES

Ao longo dos anos o homem buscou alternativas para solucionar a necessidade de habitações com maior capacidade de pessoas, foi então que surgiu a verticalização das construções, isso só foi possível com o avanço da tecnologia de materiais aliada à engenharia estrutural que, com o avanço da tecnologia computacional, passou a ter métodos rigorosos para a obtenção das análises de estabilidade global utilizando uma constante modificação na matriz de rigidez dos elementos. Isso fez com que se pudesse obter resultados muito precisos e muito próximos à realidade, porém, esses processos demandam muita capacidade computacional e podem inviabilizar a análise em relação à alta precisão comparada com outros métodos mais simplificados que atendem à demanda de maior rapidez e resultados aproximados satisfatórios. O presente trabalho buscou analisar a eficiência de modelagens simplificadas de edifícios em concreto armado com pórticos espaciais utilizando pórticos planos associados, e investigou a sua influência no cálculo da estabilidade global pelo parâmetro normativo coeficiente gama-Z. As cargas de vento incidente na estrutura foram calculadas seguindo o que é preconizado na ABNT NBR 6123 (1988) com o auxílio do software educacional Ciclone. O cálculo dos deslocamentos horizontais fora realizado nos softwares Ftool, pelo método dos pórticos planos associados, e no software SCIA Engineer, pelo método dos elementos finitos. Após a obtenção dos valores de deslocamento foram realizados os cálculos do coeficiente gama-Z, seguindo o que é preconizado na ABNT NBR 6118 (2014) Todos os edifícios apresentaram valores de gama-Z < 1,10 que, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), em uma situação de projeto seriam desconsiderados os efeitos globais de segunda ordem na estrutura. Pode-se notar também que os valores calculados se mostraram muito próximos, sendo a maior diferença para o edifício de pórticos regulares igual a 0,28%, para o edifício com núcleo rígido igual a 0,86%, para o edifício de geometria escalonada com 0,181% e por último o edifício simulando um hall com 0,54%. Por fim, todas as análises mostraram-se satisfatórias, evidenciando que o método dos pórticos planos associados pode ser utilizado na verificação da estabilidade global comparado com o método dos elementos finitos, haja visto que, os valores da diferença do coeficiente gama-Z, considerando todos os modelos, foram no máximo 1%, concluindo que não há diferença significativa entre os métodos.

---

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS DE CONCRETO REFORÇADAS COM CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM FIBRAS

APARECIDO MARINHO SILVA JUNIOR

O concreto de ultra alto desempenho reforçado com fibras (UHPFRC) é um compósito onde se utiliza pós reativos, geralmente cimento, sílica ativa e pó de quartzo, juntamente com agregados miúdos, aditivos e fibra de aço, podendo ser aplicado como reforço estrutural, uso em pontes e produção de peças pré-fabricadas, além de obras de construção civil, como placas decorativas para uso em elementos de fachadas e produção de casas pré-fabricadas. Trata-se de um material com alta resistência à compressão, comparado ao concreto convencional, produzido com baixa relação água/cimento. A alta ductilidade e o aumento da resistência à tração se dá pelo uso das fibras, em especial a fibra de aço. Além do excelente comportamento mecânico, o concreto de ultra alto desempenho reforçado com fibras apresenta grande durabilidade, exigindo uma quantidade menor de manutenções periódicas. Analisar experimentalmente vigas de concreto reforçadas com concreto de ultra alto desempenho com fibras de aço, submetidas à flexão simples, visando contribuir nos estudos sobre a utilização do UHPFRC como material de reforço para estruturas de concreto. Avaliar o ganho de capacidade resistente à flexão das vigas reforçadas com UHPFRC. Avaliar a influência da espessura do reforço nas vigas. Propor um modelo analítico de previsão da capacidade resistente de vigas reforçadas com UHPFRC. Os materiais utilizados para o UHPFRC são cimento CP V ari, areia industrializada, pó de quartzo, sílica ativa, fibras metálicas, aditivo. Para o concreto convencional cimento CP-32, areia, brita 01, aditivo. Serão realizados no concreto convencional e no UHPFRC os ensaios de caracterização de compressão axial, compressão diametral e flexão em 4 pontos. A análise é realizada por meio das tensões internas, baseando-se em seções na distribuição tensão-deformação. Neste modelo preliminar, a seção reforçada com UHPFRC apresentou um momento resistente de 5,57KN.m. Para calcular o momento resistente da seção em concreto convencional eliminou-se os parâmetros relacionados ao UHPFRC, obtendo um momento resistente de 2,51KN.m. Percebe-se, como resultado prévio no modelo analítico preliminar, um aumento do momento resistente na seção reforçada com UHPFRC, tendo em vista que na seção reforçada em UHPFRC obteve-se um momento resistente de 5,57 KN.m enquanto que na seção apenas em concreto convencional apresentou um momento resistente de 2,51 KN.m, ou seja, um aumento de aproximadamente 55%.



---

## ANÁLISE TEÓRICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO POR BAMBU NAS ARMADURAS LONGITUDINAIS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

MORANDIR MEIRA BRANDAO JUNIOR  
RITERSON JACQUES NUNES

O aço é um dos materiais de maior importância na obra quando se trata de elementos estruturais de concreto armado, ele combate os esforços de tração que atuam nas estruturas. O bambu possui crescimento 30% maior que outras árvores, com rendimento 25 vezes superior quando comparado com outras madeiras, sendo possível produzir 20 a 30 toneladas por hectare por ano. Isso faz com que o bambu seja considerado uma madeira de fácil plantio e cuidados, gerando uma alta produtividade com baixo custo, tornando-se uma madeira altamente sustentável. Com o intuito de reduzir os impactos gerados na natureza, a proposta do trabalho consiste em substituir o aço pelo bambu impermeabilizado, através de uma análise teórica das armaduras longitudinais para vigas de concreto armado. Este estudo se utilizou de métodos teóricos para analisar a utilização do bambu como armadura longitudinal das vigas, sendo a determinação das cargas solicitantes por meio da ABNT NBR 6120 (2019) e aplicada sobre a situação hipotética de uma residência térrea comum. Os métodos de cálculos utilizados obedecem a ABNT NBR 6118 (2014), e foram empregados para uma análise paramétrica de cinco vigas com largura de 12 cm, variando a altura de 20 a 40 cm e comprimento de 250 a 450 cm. Para as propriedades mecânicas do bambu utilizou-se o estudo de Tsutsumoto (2016), no qual foram realizados ensaios experimentais da espécie *Bambusa Vulgaris*. A partir da resistência à tração do aço ser 5 vezes a do bambu, 500 e 100 MPa respectivamente, foram calculadas as armaduras para as vigas hipotéticas definidas neste estudo. No geral foram encontradas áreas de armadura aproximadamente 7 vezes maiores que a armadura de aço. Este aumento das áreas de armadura, necessárias para suprir a equivalência da resistência do aço para o bambu, acarreta uma variação do centro geométrico da armadura, aproximando a armadura da linha neutra da viga, este efeito explica o aumento da área superar a diferença de resistência. Esta proposta de substituição do aço por bambu como armaduras longitudinais de vigas, reduz o consumo de aço para as armaduras principais, oferecendo assim uma solução mais sustentável. Porém, ainda são necessários estudos sobre o tema, principalmente com ensaios experimentais para investigar a aderência bambu-concreto e a durabilidade do bambu impermeabilizado.

---

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO MODIFICADO COM A  
ADIÇÃO DE PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO COM TRATAMENTO ALCALINO

ALBA YSADORA SOARES SAPUCCI  
VINÍCIUS FILIPE NUNES DE FREITAS  
GABRIEL DELTREJO RIBEIRO

A alta procura por novos materiais cimentícios vem se expandindo na busca para diminuir o grande consumo de recursos naturais e também para dar novos destinos aos resíduos produzidos pela sociedade. Entre os resíduos para o estudo e reaproveitamento, tem-se o pó de serra de Eucalipto. Sua incorporação ao concreto é capaz de fornecer benefícios como térmicos, acústicos, redução do custo final do produto e ainda manter as propriedades mecânicas. Caracterizar os compósitos de concreto através da compressão axial aos 7, 14 e 21 dias com o uso do resíduo de pó de serra em adição e substituição em relação ao agregado miúdo na proporção de 30%. Os materiais utilizados são resíduo de pó de serra de Eucalipto, areia, brita basáltica nº1, cimento CP V Ari da marca Votoran, 0,5% de aditivo da marca Sika ViscoFlow - 30 BM em relação a massa do cimento e o hidróxido de cálcio para tratamento do resíduo por 24 horas, ficando em solução com 5% do mesmo. O traço piloto é 1:2:3 e fator água/cimento de 0,45, foram feitos compósitos de adição e substituição tanto com o resíduo em sua condição natural como também tendo sido tratado. Foi realizado também o slump test, ensaio de massa específica, densidade dos agregados e análise granulométrica do resíduo e agregados. A substituição de 30% de areia por pó de serra sem tratamento apresentou uma resistência a compressão média de 38,82 MPa e com tratamento atingiu 37,14 MPa. O piloto alcançou uma resistência a compressão de 42,86 MPa aos 21 dias. O traço de adição sem tratamento foi inferior a todos, atingindo aos 21 dias 21,07 MPa, já a adição com o tratamento atingiu 38,42 MPa na mesma data. Nas demais datas, os corpos de prova apresentaram a mesma tendência. Assim, o tratamento ajudou na dispersão do resíduo de forma mais eficiente quando foi adicionado, já na substituição atingiu valores próximos do piloto, garantindo a boa interação do resíduo com a matriz, não enfraquecendo as ligações de cura. A influência do tratamento alcalino no resíduo pó de serra foi satisfatória. Todos os traços, de substituição e adição, com e sem tratamento atingiram a condição de uso estrutural, segundo a ABNT NBR 8953/2015, em que o limite do concreto estrutural, com resistência a compressão característica ( $F_{ck}$ ) de classes I com o  $F_{ck}$  é entre 20 MPa e 50 MPa. Órgão de fomento financiador da pesquisa: UNOESTE

---

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO USO DE RESÍDUOS DE MARMORARIA NO DESEMPENHO DE COMPÓSITOS DE CONCRETO

JOYCE ALVES SANTANA  
LIGIA SILVA DO NASCIMENTO  
RITERSON JACQUES NUNES

O setor da construção civil é responsável por um grande impacto ambiental devido à alta geração de resíduos. Segundo Oliveira (2009), a quantidade de resíduos gerados nas marmorarias corresponde, em média, a 25% do volume consumido. Portanto, considerando a quantidade de resíduos de rochas ornamentais produzidas no Brasil, é indispensável buscar alternativas para sua reciclagem e reutilização. Avaliar a influência da incorporação de resíduos de marmoraria, nas propriedades físicas de compósitos de concreto, em teores de 0%, 5%, 7,5% e 10% em relação à massa cimentícia, por meio de adições e substituições. A metodologia consiste na caracterização dos materiais utilizados na produção dos concretos e nos ensaios realizados para a determinação das suas propriedades como consistência, resistência à compressão axial, absorção de água, índice de vazios e massa específica. Para isso, utilizou-se o Cimento Portland II-F, areia natural média comercial, brita 1 do tipo basáltica, água e resíduos de mármore e granito em pó. Na avaliação do concreto no estado fresco, observou-se que as amostras com teores de 10%, tanto na substituição, quanto na adição, apresentaram uma diminuição na consistência quando comparadas à amostra padrão, ou seja, o teor de 0%. No ensaio de resistência à compressão axial, todas as amostras apresentaram resistência abaixo do concreto de referência. Entretanto, na substituição, nenhum teor apresentou diferenças significativas quando comparados com a amostra padrão, em ambas idades. Já na adição, aos 28 dias, a amostra de 5% apresentou resistência próxima do concreto sem incorporação. No entanto, os demais teores apresentaram diferenças relevantes. Em relação à absorção de água e índice de vazios, observou-se que as amostras apresentaram resultados variáveis em relação ao concreto de referência, porém sem diferenças significativas. Quanto à massa específica das amostras de substituição, apenas o teor de 10% apresentou diferença significativa. Já para as amostras de adição, os valores não apresentaram variação significativa para o teor 7,5%, diferente dos teores de 5% e 10%. Porém, observou-se que os resultados foram muito próximos entre valores com resíduo adicionado. A partir da análise dos resultados, constatou-se que a amostra de adição no teor de 5% apresentou resultados mais satisfatórios, já que a resistência à compressão se manteve próxima do concreto de referência e houve melhorias nas propriedades de absorção de água e índice de vazios.

---

## ESTUDO DA VIABILIDADE DE EDIFICAÇÕES COM ENERGIA SOLAR INTEGRADA

RICHARSDSON LEANDRO NUNES

RITERSON JACQUES NUNES

O consumo crescente de energia elétrica na atualidade impulsiona o desenvolvimento de formas diferentes de geração de energia elétrica ao redor do mundo. Tal demanda vem sendo suprida, em sua maior parte, por fontes fósseis de energia, deste modo, comprovam a agressão e degradação do meio ambiente. Estudos atuais preveem o esgotamento dessa energia ainda nesse século. (GONÇALVES, CUNHA, RHEINGANTZ, 2017). A fonte de energia que está se destacando atualmente é a energia solar fotovoltaica, que será por este motivo abordada neste trabalho. Diante desse cenário, o presente trabalho buscou avaliar 3 estudos de caso para demonstrar a viabilidade do uso de energia solar fotovoltaica em edificações comuns. Para o estudo de viabilidade do sistema fotovoltaico foram simulados estudos de caso e aplicou-se o método do tempo de retorno do investimento. Foram elaborados dados de três residências (A, B e C) comuns e fictícias, que foram enviados para uma empresa de projetos de sistemas fotovoltaicos fazer o estudo de viabilidade. Os valores adotados para as residências foram de 400 kWh/mês com custo médio de R\$0,64/kWh; 1738 kWh/mês com R\$0,72/kWh; e 457 kWh/mês com R\$0,80/kWh. Os orçamentos contemplaram valores de projeto, equipamentos, instalação e ativação, apresentando custos totais na faixa de 16 a 50 mil reais. Os casos estudados apresentaram retorno de investimento em 5,3 anos, 3,3 anos e 3,8 anos, respectivamente para as residências A, B e C. Considerando que os módulos de energia solar apresentam garantia do fabricante de 25 anos, os sistemas funcionarão de 3,3 a 5,4 anos para recuperar o investimento e o restante da vida útil gerando economia para a edificação. Considerando o prazo de garantia e os tempos de retorno do investimento, concluiu-se que os sistemas são viáveis financeiramente. A curto prazo, a instalação necessita de investimento, porém na maior parte de sua vida útil vai gerar economia financeira.

---

ESTUDO DE CASO - ANÁLISE COMPARATIVA DA EDIFICAÇÃO DE UMA IGREJA NO MUNICÍPIO DE  
PRESIDENTE VENCESLAU - SP EXECUTADA SEM PROJETO ESTRUTURAL

GABRIEL DE JESUS COSTA  
RITERSON JACQUES NUNES

A concepção e o dimensionamento das estruturas de concreto armado, devem sobre tudo, garantir que a edificação atenda os critérios fundamentais de segurança e durabilidade, e em paralelo, buscar a melhor relação custo benefício e viabilidade econômica. No Brasil, a prática da autoconstrução, inserida de forma muito consistente na sociedade, por vezes, acaba por impedir o atendimento destes aspectos, devido à ausência de um responsável técnico em todas as fases do projeto. Tendo em vista esta frequente prática de autoconstrução, o trabalho propôs analisar o desempenho estrutural e a viabilidade econômica de uma edificação executada em concreto armado sem o auxílio de projeto estrutural, visando identificar possíveis falhas e propor uma nova solução estrutural mais viável. Para isso, adotou-se a metodologia de estudo de caso, visto que se trata de uma única estrutura com localização especificada. O estudo analisou a estrutura principal da edificação (pilares e vigas), e as informações necessária foram coletadas através de visitas in loco, em diferentes etapas da obra. Já a análise de desempenho e dimensionamento da nova proposta, foi auxiliada pela ferramenta computacional AltoQi Eberick que utiliza o método dos elementos finitos, aplicando as recomendações das normas ABNT NBR 6118(2014) e ABNT 6120(2019). Os resultados obtidos a partir das análises apontaram elementos estruturais conforme o recomendado quanto a área de seção transversal, porém, diversos deles apresentaram armadura longitudinal deficitária, o que ao longo do tempo pode ocasionar problemas que comprometam a segurança e durabilidade da edificação. Quanto ao consumo de material, a maior parte dos elementos empregou quantidades de aço superiores ao necessário. As análises via método dos elementos finitos, mantendo as dimensões executadas, sinalizaram uma possível economia de 27,8% e 12,7% respectivamente no emprego dos aços CA50 e CA60. Adotando uma nova concepção, atendendo as solicitações, bem como os parâmetros de dimensionamento mínimo especificados por norma, a economia gerada foi de 41% e 23,4% para o aço CA50 e CA60, e também 25,1% no volume de concreto, devido à redução de seções. Assim, conclui-se que, a contratação de um profissional habilitado para realizar o planejamento de todo o projeto, inclusive elaborar o projeto estrutural é essencial, visto que seu conhecimento irá permitir adotar soluções mais eficientes que atendam as normativas e garantam segurança e economia para a edificação.

---

## INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO FINO E ÁGUA DE AMASSAMENTO POR RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO ALTERNATIVO

FABIO FRIOL GUEDES DE PAIVA  
JACQUELINE ROBERTA TAMASHIRO  
LUCAS HENRIQUE PEREIRA SILVA  
ANGELA MITIE OTTA KINOSHITA

O aumento da demanda por mais espaços nos aterros sanitários industriais e o correto manejo para destinação final de resíduos exigem novas alternativas tecnológicas para o seu reaproveitamento. O reuso de resíduos oferece uma solução sustentável para reduzir o impacto ambiental tanto da disposição final desses resíduos, como substituto de recursos não renováveis (água, agregados e cimento). Neste sentido, visando reduzir o consumo de água potável e areia de rio na construção civil, foram produzidos argamassas e concretos com a substituição de água por 60% de vinhaça da cana-de-açúcar (VCA) e areia natural por 25 e 50% de areia descartada de fundição (ADF). A VCA foi coletada em uma indústria de álcool, localizada no município de Narandiba, São Paulo, Brasil. A ADF foi coletada na indústria de fundição MIG, localizada no município de Presidente Prudente, SP, Brasil. As argamassas e concretos no estado fresco foram caracterizados por testes de trabalhabilidade e, no estado endurecido, foram avaliados por resistência a compressão mecânica, índice de vazios, absorção de água e densidade aparente. Os resultados mostraram que a VCA aumentou a trabalhabilidade dos compósitos, enquanto a ADF reduz a trabalhabilidade devido ao menor tamanho de partículas e, conseqüentemente, maior absorção de água. A resistência mecânica das argamassas com VCA e ADF reduziu em até 39%. Essa redução acentuada pode estar associada com a alta porosidade das argamassas causada pela ADF, reduzindo a durabilidade das argamassas. No entanto, quando confeccionado o concreto, foi utilizado superplastificante para melhorar a homogeneidade dos concretos produzidos. Os resultados mostraram que os materiais produzidos obtiveram resistência estatisticamente similar ao concreto controle. O desenvolvimento de argamassa e concreto alternativo se mostrou promissor. Primeiramente, nas argamassas, a vinhaça supriu a maior demanda de água da ADF, não precisando aumentar a dosagem do fator água/cimento, mantendo as propriedades mecânicas em comparação aos compósitos apenas com a ADF. No entanto, em argamassas, os resultados mecânicos mantiveram com redução de aproximadamente 26% em relação à argamassa controle. Porém, quando desenvolvidos os blocos de concreto alternativos, as propriedades físico-mecânicas foram semelhantes ao concreto controle, com resistência mecânica de 94% em relação ao controle. Portanto, a VCA e a ADF podem ser alternativas para confecção de concreto mais sustentável. Órgão de fomento financiador da pesquisa: CAPES.

---

## USO DA VINHAÇA ASSOCIADA A NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

JACQUELINE ROBERTA TAMASHIRO  
NAIARA MARIA PAVANI  
LUCAS HENRIQUE PEREIRA SILVA  
FABIO FRIOL GUEDES DE PAIVA  
MARYANE PIPINO BERALDO DE ALMEIDA  
DANIEL ÂNGELO MACENA  
ANGELA MITIE OTTA KINOSHITA

A vinhaça é o principal subproduto da indústria sucroalcooleira. Por ser um resíduo gerado em grande volume, outras aplicações, como a substituição de água na fabricação de compósitos cimentícios, podem ser viáveis. Estudar o tratamento da vinhaça com nanopartículas de óxido de zinco (ZnO-NP) para redução da carga microbiana e fúngica para aplicação como aditivo em compósitos de matrizes cimentícias. As sínteses das ZnO-NPs foram feitas por precipitação e tratamento térmico. Foram caracterizadas por Difração de Raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Alta Emissão por Campo (MEV-FEG). Foi realizada a fotocatalise com ZnO-NP para reduzir DQO, DBO e proporcionar o tratamento antimicrobiano. Foram fabricadas matrizes cimentícias com adição de 40 e 60% ZnO-NP ao agente hidratante (vinhaça ou água). A resistência à flexão e compressão mecânica foi determinada nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias de cura. A análise estatística one-way ANOVA e teste Tukey foi usada para determinar a significância estatística ( $p < 0,05$ ). A atividade antimicrobiana foi avaliada por concentração inibitória mínima (CIM), plaqueamento e unidades formadoras de colônias (UFC). As análises de DRX e MEV-FEG detectaram a estrutura típica de ZnO com tamanho médio de 26 nm. Os tratamentos fotocatalíticos mostraram redução de 17% DQO e 71% DBO comparados ao controle (DQO 41.441 mg.L-102 e DBO 17.666 mg/L). A CIM dos compósitos mostrou inibição de UFC de *A.niger* na concentração  $10^5$  células/mL com 40 e 60% de ZnO-NPs em adição à água ou vinhaça (25 a 1,562 mg/mL). Maiores adições de ZnO-NP afetaram a hidratação e resistência mecânica dos compósitos em dias iniciais. Posteriormente, a resistência das amostras com 40 e 60% de vinhaça e água com ZnO-NP, foram iguais estatisticamente e compatíveis à referência (~67 MPa). Já os compósitos com 40 e 60% vinhaça e ZnO-NP apresentaram desempenho superior à referência em 74 e 72 MPa, respectivamente. Conclui-se que o uso de nanopartículas é uma abordagem eficiente para subsidiar caráter tecnológico tanto ao tratamento de água residual da agroindústria (vinhaça), quanto aos compósitos de matrizes cimentícias, influenciando diretamente no alcance de um melhor desempenho que possam apresentar, sendo eficazes para utilização em compósitos cimentícios fungicidas. Órgão de fomento financiador da pesquisa: CAPES.