



ARTIGOS COMPLETOS .....	135
RESUMOS .....	164
RELATOS DE EXPERIÊNCIA .....	168



**ARTIGOS COMPLETOS**

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE REFORÇO COM CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM FIBRAS EM ELEMENTOS FLETIDOS.....	136
ESTUDO EX POST FACTO DAS INSTABILIDADES GEOLÓGICAS DE PETRÓPOLIS-RJ.....	152

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DE REFORÇO COM CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM FIBRAS EM ELEMENTOS FLETIDOS

Aparecido Marinho Silva Junior

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP. E-mail: [eng.juniorsilva@hotmail.com](mailto:eng.juniorsilva@hotmail.com)

### RESUMO

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. Trata-se de um material com alta resistência à compressão, comparado ao concreto convencional e de alta resistência, produzido com baixa relação água/cimento. Este trabalho avaliou o comportamento do UHPFRC como material de reforço em estruturas de concreto sob esforços de flexão, a partir da análise experimental de prismas com substratos de concreto de diferentes resistências. Foram ensaiados prismas à tração por flexão em 4 pontos com diferentes espessuras de reforço em UHPFRC (20 e 30 mm), e diferentes substratos de concreto, sendo um substrato em concreto convencional (C40) e dois em concreto de alta resistência (C70 e C85). Os resultados mostraram um aumento na ordem de 55 % na capacidade resistente à tração por flexão no conjunto de substrato em concreto C40, 45 % para o concreto de alta resistência C70 e 42 % para o conjunto referente a superfície em concreto de alta resistência C85, logo, percebe-se que quanto menor a resistência do substrato, maior a eficiência e contribuição do reforço no conjunto.

**Palavras-chave:** UHPFRC; Concreto de ultra alto desempenho; Reforço; Flexão.

### EXPERIMENTAL ANALYSIS OF REINFORCEMENT WITH ULTRA HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE IN BENT ELEMENTS

#### ABSTRAC

Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) is a composite using reactive powders, usually cement, silica fume and quartz powder, along with fine aggregates, additives and steel fiber. It is a material with high compressive strength, compared to conventional high-strength concrete, produced with a low water/cement ratio. This work evaluated the behavior of UHPFRC as a reinforcing material in concrete structures under bending stress, based on the experimental analysis of prisms with concrete substrates of different strengths. Tensile prisms were tested by bending at 4 points with different reinforcement thicknesses in UHPFRC (20 and 30 mm), and different concrete substrates, one substrate in conventional concrete (C40) and two in high-strength concrete (C70 and C85). The results showed an increase in the order of 55% in the flexural tensile strength in the C40 concrete substrate set, 45% for the C70 high-strength concrete and 42% for the C85 high-strength concrete surface set, therefore, it is clear that the lower the resistance of the substrate, the greater the efficiency and contribution of the reinforcement to the set.

**Keywords:** UHPFRC; Ultra-high-performance concrete; Reinforcement; Flexural.

#### INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais estruturais mais utilizados no mundo. Contudo, esse material apresenta algumas fragilidades em suas propriedades mecânicas, como a baixa resistência à tração e pequena ductilidade.

Em virtude disto, a pesquisa tecnológica em materiais estruturais avançou sistematicamente para minimizar essas deficiências utilizando técnicas como a combinação do concreto com o aço, com ótima aderência entre os materiais, garantindo com que o concreto trabalhe aos esforços de compressão enquanto o aço suporte as forças de tração, originando o concreto armado.

Mesmo com a adoção do concreto armado, em algumas situações, o uso deste material também pode sofrer algumas limitações decorrentes das condições específicas de sua utilização. Nesses casos faz-se necessário a incorporação de produtos que possam corrigir os efeitos adversos provocados por estas limitações, como por exemplo a adoção de partículas extremamente finas para se obter compósitos densos e, conseqüentemente, mais resistentes, obtendo o concreto de ultra alto desempenho (UHPC).

Este material não possui uma definição específica, sendo assim considerado como um material a base de pós reativos, com uma relação água/cimento entre 0,16 e 0,2, possibilitando o alcance de altas propriedades como elevada resistência à compressão, sendo que a Associação Francesa de Engenharia Civil (2002) considera uma resistência à compressão acima de 150 MPa para ser considerado como um concreto de ultra alto desempenho.

O objetivo principal deste concreto está em eliminar as interferências do agregado graúdo na mistura, reduzindo os vazios internos e, conseqüentemente, a zona de transição, aumentando a estrutura intragranular. Este incremento promove uma mistura mais homogênea, aperfeiçoando a microestrutura do concreto e reduzindo as tensões em uma possível falha da microestrutura, garantindo um acréscimo na resistência última do UHPC. (HELENE *et al.*, 2011).

Apesar das altas resistências obtidas com o UHPC, verifica-se que este material possui comportamento frágil na ruptura, o que pode comprometer significativamente a segurança das obras. Para contornar esse problema muitas pesquisas têm promovido o uso da adição de fibras metálicas, cuja principal vantagem é proporcionar maior ductilidade, aumentando o patamar de escoamento, surgindo assim, o compósito denominado de concreto de ultra alto desempenho com adição de fibras (UHPRFC).

O concreto de ultra alto desempenho reforçado com fibras (UHPRFC) é um compósito contendo pós reativos, geralmente cimento, sílica ativa e pó de quartzo, juntamente com agregados miúdos, aditivo superplastificante e fibra de aço. Possui diversas aplicações como reforço estrutural, uso em pontes e produção de peças pré-fabricadas, seja para uso decorativo ou para uso em construções industrializadas.

Trata-se de um material com alta resistência à compressão, comparado ao concreto convencional, produzido com baixa relação água/cimento, entre 0,1 e 0,2, e, até mesmo por essa questão, faz-se o uso de aditivo superplastificante na composição para que haja uma melhor trabalhabilidade do material. A alta ductilidade e o aumento da resistência à tração se dá pelo uso das fibras, em especial a fibra de aço, como é possível constatar nos trabalhos de Oh (1994) e Ashour *et al* (2000), pelo fato de as tensões se transferirem entre as fibras 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.

Uma alternativa para o uso do UHPRFC está no reparo dessas estruturas de concreto armado, tendo em vista o fato de ser um material que apresenta alta resistência, seja à compressão quanto à tração, podendo ser utilizado para aumentar a capacidade de carga do elemento estrutural, propiciando ainda, uma diminuição nas intervenções durante a vida útil da peça por conta da sua alta durabilidade.

Apesar disso, a interação entre o UHPRFC e a armadura de flexão em peças construídas em escala real ainda necessita de um maior esclarecimento com relação ao mecanismo de transferência de esforços e a deformação necessária para mobilização de um diagrama de resistência em condições de ruptura.

Neste sentido, este trabalho realizou uma análise experimental em prismas de concreto convencional e de alta resistência reforçadas com concreto de ultra alto desempenho com adição de fibras de aço e submetidas à flexão simples. Foi avaliado também a influência de diferentes espessuras de reforço em UHPRFC.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

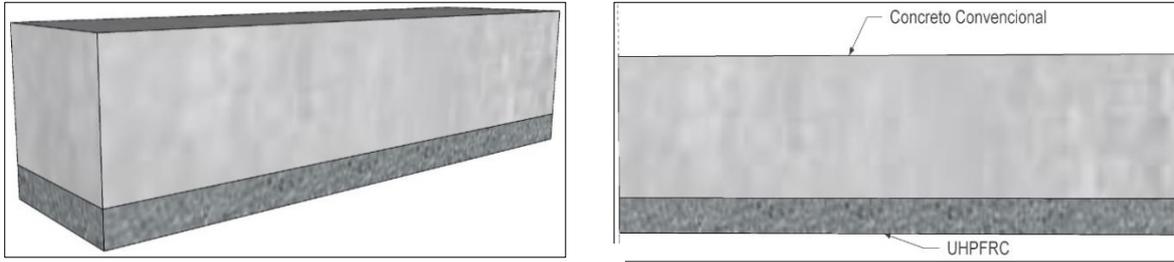
### **MODELO DE ESTUDO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL**

A Figura 1 apresenta o modelo de estudo proposto no programa experimental. É um modelo prismático em concreto convencional, com seção de 10 x 10 cm e 38 cm de comprimento.

O presente estudo utilizou três tipos de substratos de concreto para avaliar a influência da armadura com UHPRFC, dois substratos em concreto de alta resistência (classes C70 e C85) e um substrato em concreto convencional (classe C40), para analisar principalmente o efeito do reforço sobre substratos de alta resistência. O trabalho analisou três grupos para cada conjunto de substrato: um grupo

sem reforço de UHPFRC, outro grupo aplicando uma camada de 20 mm de espessura de UHPFRC e o último grupo aplicando uma camada de 30 mm de espessura de UHPFRC.

**Figura 1.** Modelo de Estudo do Programa Experimental



Fonte: O Autor.

A Figura 2 apresenta as amostras na fôrma de corpos de prova cilíndricos (CP) de concreto convencional e UHPFRC, bem como as amostras prismáticas. Após 24 horas, as amostras de concreto foram desformadas e submetidas à cura em câmara úmida por 28 dias, conforme Figura 3. Após 28 dias de cura do concreto, as amostras de UHPFRC foram produzidas e também retiradas após 24 horas para sofrer cura em câmara úmida por 28 dias. Algumas amostras permaneceram em câmara úmida por 56 dias para concreto convencional, considerando os outros 28 dias de cura realizados com o UHPFRC. Assim, foram necessárias três amostras para cada ensaio de caracterização se considerarmos a realização do ensaio de compressão axial em dois períodos (28 e 56 dias).

Para o preparo do concreto convencional e de alta resistência foram utilizadas misturas que atingem aproximadamente 40, 70 e 85 MPa de resistência à compressão, os traços utilizados foram baseados em ábacos para produção de concreto com materiais da região noroeste do Paraná por Assunção (2002).

**Figura 2.** Amostras Cilíndricas e Prismática em Fôrma



Fonte: O Autor.

**Figura 3.** Amostras no Câmara Úmida

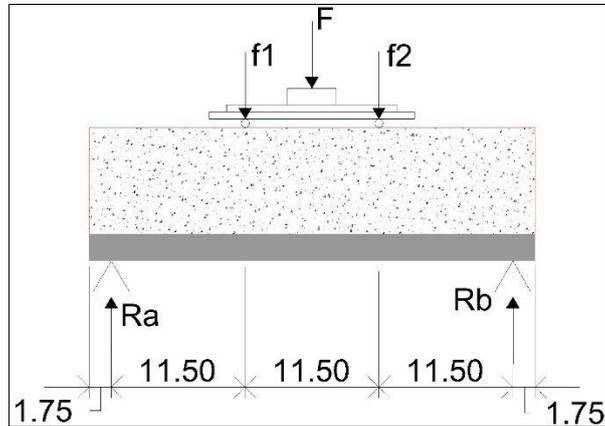


Fonte: O Autor

## ANÁLISE DE PRISMAS REFORÇADOS COM UHPFRC

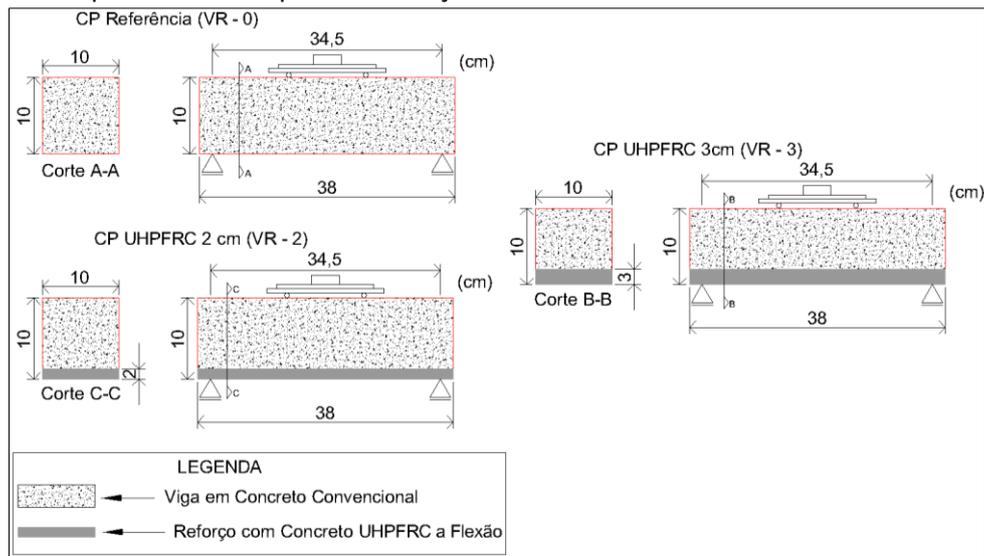
A partir dos prismas fabricados em concreto convencional e de alta resistência, tanto nos grupos sem o reforço como nos grupos reforçados com UHPFRC, estes foram ensaiados à tração por flexão em 4 pontos, atendendo a norma ABNT NBR 12142:2010. Vale destacar que a força aplicada no prisma ( $F$ ) foi dividida igualmente em duas forças ( $f_1$  e  $f_2$ ), conforme mostrado no sistema de forças e reações da Figura 4 e o grupo de corpos de prova analisados na Figura 5.

**Figura 4.** Sistema de forças no prisma



Fonte: O Autor

**Figura 5.** Modelo experimental dos prismas reforçados com UHPFRC



Fonte: O Autor.

A união do reforço com o substrato em concreto foi realizada conforme método aplicado por Granato (2020), utilizando resina epóxi. O mesmo material foi utilizado com *Compound Adesivo de Alta Fluidéz*, nome comercial que mudou desde o período de pesquisa de Granato (2020), que ele citou como *Compound Adesivo Tipo Gel*. Antes da aplicação do adesivo, foi realizado lixamento do substrato para eliminar a nata do concreto e tornar a superfície áspera, garantindo assim melhor aderência entre os materiais. A Figura 6 mostra a esmerilhadeira de alta velocidade com disco diamantado usada no lixamento do substrato, e a Figura 7 mostra o substrato de concreto após o preparo e a rugosidade gerada na face e resultante do lixamento.

**Figura 6.** Ferramenta usada para preparar substrato em concreto



**Fonte:** O Autor.

**Figura 7.** Superfície do substrato de concreto após o lixamento



**Fonte:** O Autor.

A Figura 8 mostra a aplicação da resina epóxi na proporção definida pelo fabricante após a preparação do substrato em concreto convencional, e na sequência a aplicação do UHPFRC como reforço em toda a extensão do prisma para criar um efeito de ancoragem e diminuir as chances de o prisma romper por cisalhamento durante a realização do ensaio de flexão em 4 pontos. O prisma reforçado foi retirado do molde após 24 horas e colocado em câmara úmida por 28 dias.

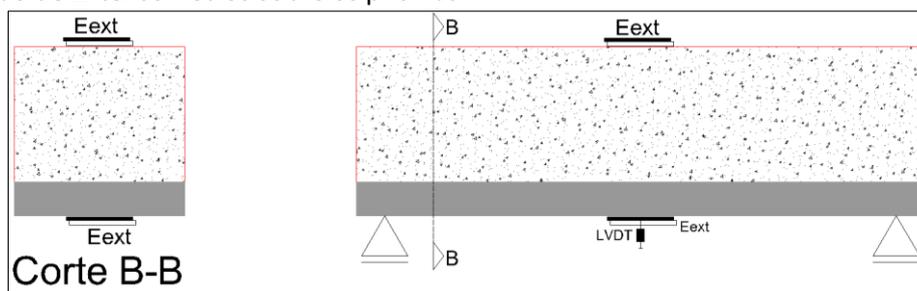
**Figura 8.** Superfície do substrato de concreto após o aplicativo de epóxi resina



**Fonte:** O Autor.

Na etapa de instrumentação das amostras durante o ensaio de tração em flexão, foram utilizados extensômetros elétricos do tipo *strain gage* para determinar as deformações em pontos específicos do prisma, como no concreto, na armadura com UHPFRC e na interface do substrato, em concreto convencional e de alta resistência, e o reforço em concreto de ultra alto desempenho com fibras.

O extensômetro utilizado foi da marca Kyowa, modelo KC-70-120-A1-11, para uso em regiões de concreto, unidirecional, tipo fio com grade de 70 mm e resistência de 120 Ohms. Também foi utilizado um transdutor elétrico vertical do tipo LVDT, com curso de 10 mm, para obtenção das flechas no centro do vão. O posicionamento do LVDT, assim como dos extensômetros, é mostrado na Figura 9.

**Figura 9.** Posição de Extensômetros sobre os prismas

Fonte: O Autor.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### TESTES DE CARACTERIZAÇÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no ensaio de compressão axial em concreto convencional e de alta resistência aos 28 e 56 dias. As resistências foram alcançadas de acordo com o planejado para concretos de resistência normal e de alta resistência, considerando a idade de 28 dias.

**Tabela 1.** Resultados do ensaio de compressão axial em concreto convencional

Grupo	Idade 28 dias		sd (MPa)	Idade 56 dias		sd (MPa)
	Amostras (MPa)	Média (MPa)		Amostras (MPa)	Média (MPa)	
C40	38,72	38,51	0,97	32,13	40,79	4,08
	39,59			40,98		
	37,23			40,60		
C70	67,85	68,14	1,02	71,12	73,18	2,42
	69,50			76,58		
	67,06			71,84		
C85	89,29	85,00	3,84	89,04	92,06	3,00
	79,97			96,16		
	85,73			90,99		

Fonte: O Autor.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no ensaio de compressão axial, aos 28 dias, no concreto de ultra alto desempenho com fibras.

**Tabela 2.** Resultados do teste de compressão axial no UHPFRC

Idade (dias)	UHPFRC		sd (MPa)
	Amostras (MPa)	Média (MPa)	
28	155,08	154,13	2,28
	153,19		
	149,58		

Fonte: O Autor.

Conforme observado, a resistência à compressão resultante no UHPFRC atende a esse tipo de compósito, segundo a Associação Francesa de Engenharia Civil (AFGC), que afirma que o UHPFRC deve apresentar resistência à compressão acima de 150 MPa.

### 3.2 Teste de Flexão de Quatro Pontos

A Figura 10 ilustra uma das amostras C40 antes do teste e atingindo a falha no teste de flexão de 4 pontos. É possível observar que a trinca gerada se encontra na região entre os pontos de aplicação de força, indicando uma falha por flexão pura. As amostras atingiram forças de ruptura semelhantes, com

média de 9,36 kN, correspondendo a uma resistência à tração à flexão de 3,23 MPa, conforme ABNT NBR 12142:2010.

**Figura 10.** Amostra de concreto C40 após o teste de flexão de 4 pontos

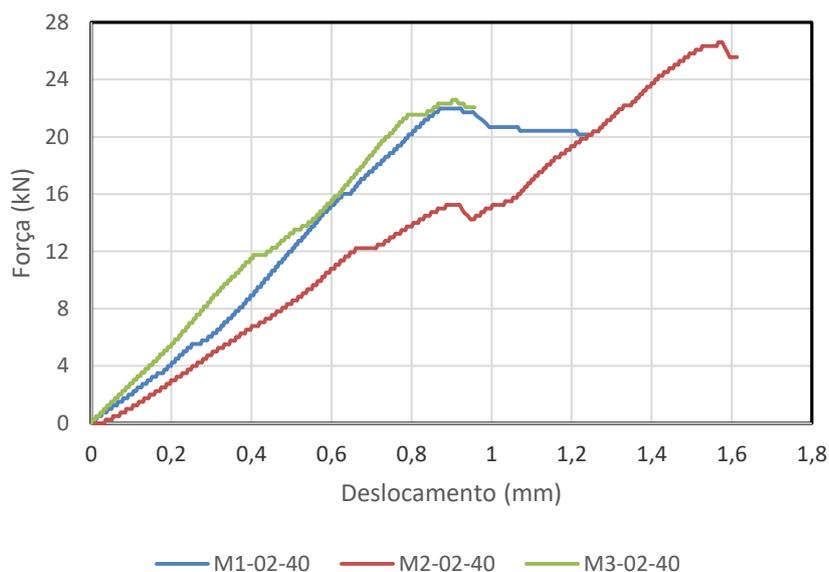


**Fonte:** O Autor.

O gráfico da Figura 11 apresenta os seguintes resultados de força e deslocamento obtidos com a armadura de 20 mm de UHPFRC executada em concreto C40 (Figura 12). O prisma reforçado apresentou uma força de ruptura média em torno de 28 kN, correspondendo a uma resistência à tração à flexão de 9,52 MPa, um aumento de aproximadamente 64,5% considerando o mesmo grupo amostral sem o reforço.

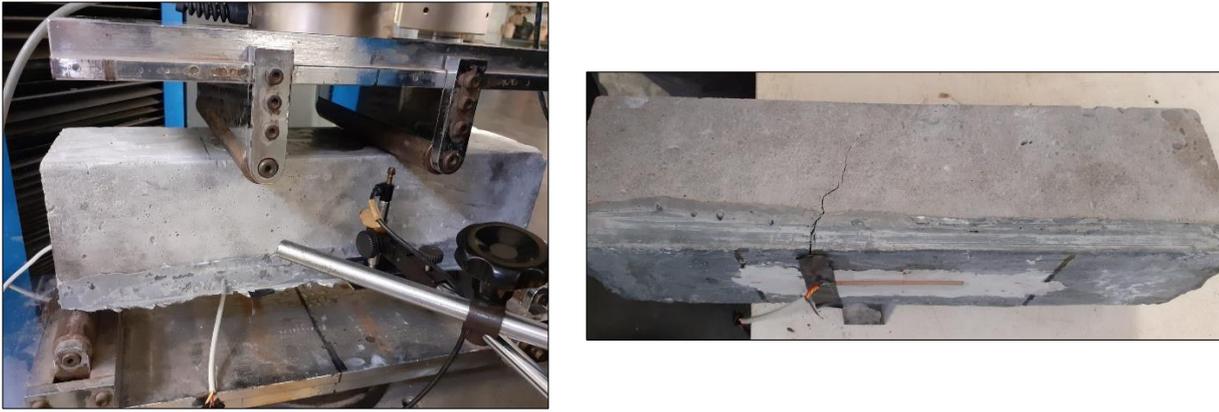
O gráfico mostra que, também na amostra "M2-02-40", o prisma começou a fissurar com a aplicação da carga quando atingiu a força de aproximadamente 12 kN, com deslocamento correspondente de 0,70 mm. Considerando a força de ruptura da ordem de 26,6 kN, a contribuição do reforço em UHPFRC na fase pós-fissuração do prisma foi de 14,6 kN, correspondendo a 55% da força total que o prisma reforçado foi capaz de suportar.

**Figura 11.** Gráfico Força x Deslocamento LVDT Concreto C40 (reforço de 20 mm)



**Fonte:** O Autor.

**Figura 12.** Amostra de concreto C40 (reforço de 20 mm) após o teste de flexão de 4 pontos

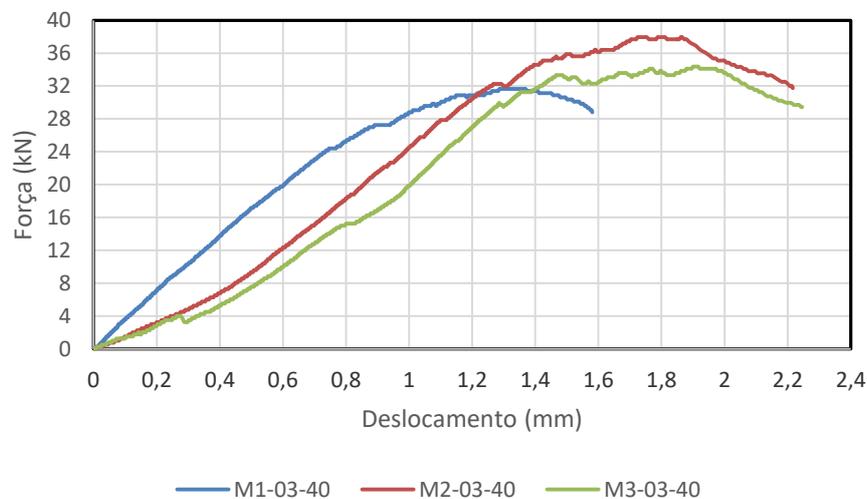


Fonte: O Autor.

Com o reforço de 30 mm de espessura, também houve um comportamento semelhante ao grupo amostra de 20 mm de espessura, conforme o gráfico da Figura 13. Esse grupo obteve força de ruptura média de 34,65 kN , correspondendo a uma resistência à tração à flexão de 11,78 MPa , 71,3% acima da amostra sem reforço e 23,8% acima do grupo com reforço de 20 mm de espessura.

Também é possível observar que, por exemplo, o momento em que o prisma começou a rachar na amostra "M2-03-40" quando a carga estava sendo aplicada não ocorreu quando atingiu a força de aproximadamente 18,79 kN, com um deslocamento correspondente de 0,82 mm. Considerando a força de ruptura da ordem de 37,95 kN, a contribuição do reforço na fase pós-fissuração do prisma foi de 19,16 kN, correspondendo a 50% da força total que o reforço poderia suportar.

**Figura 13.** Gráfico Força x Deslocamento LVDT Concreto C40 (reforço de 30 mm )



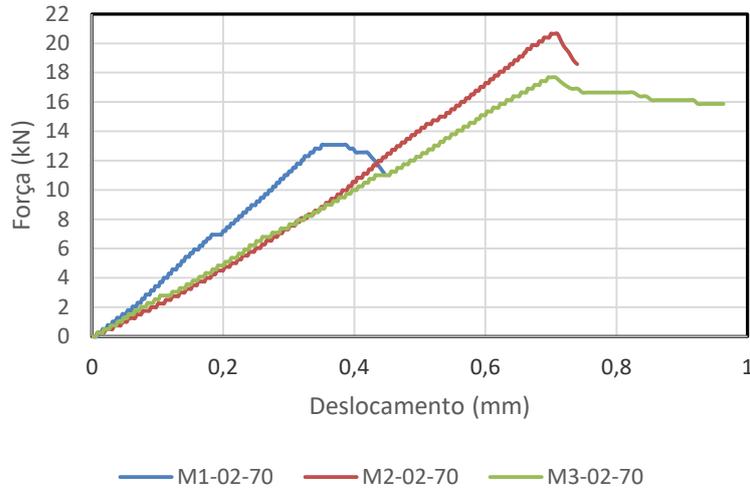
Fonte: O Autor.

As amostras de concreto C70 atingiram forças de ruptura próximas, considerando uma média de 13,8 kN, correspondendo a uma resistência à tração à flexão de 4,76 MPa, aproximadamente 47% superior ao grupo do concreto C40 convencional. Neste grupo de amostras, ao contrário da classe 40, pelo menos duas amostras atingiram suas respectivas forças de ruptura, gerando um deslocamento semelhante do LVDT nas amostras 2 e 3.

Analisando a aplicação do reforço em UHPFRC no substrato em concreto C70, considerando a execução de 20 mm de espessura de reforço, obteve-se uma força de ruptura média de 17,14 kN , correspondendo a uma resistência à tração à flexão de 5,83 MPa, 14,3% a mais que no mesmo não amostra reforçada, conforme gráfico da Figura 14. O efeito positivo do UHPFRC nesse substrato de alta resistência é visível, mas quando comparado aos resultados com o concreto C40, houve uma queda de 41% na

resistência à capacidade; provavelmente por ser um substrato mais resistente, a contribuição do UHPFRC como reforço acaba sendo menos eficiente.

**Figura 14.** Gráfico Força x Deslocamento LVDT Concreto C70 (reforço de 20 mm)

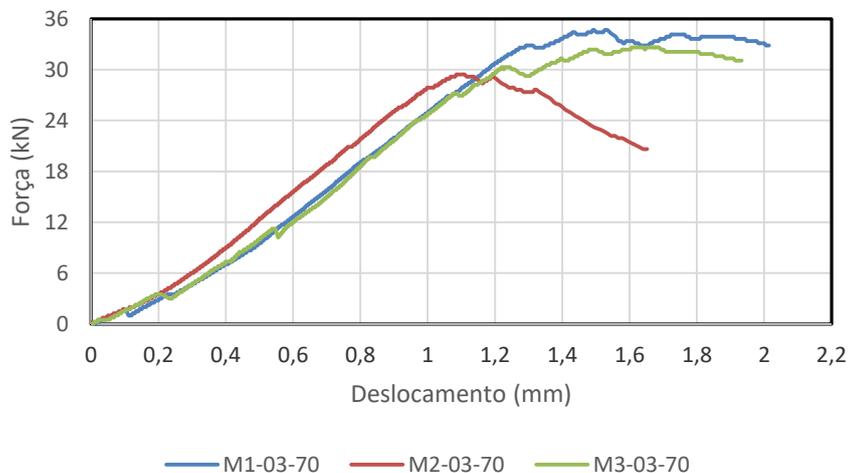


Fonte: O Autor.

Na análise da amostra "M3-02-70", o momento em que o prisma começa a fissurar conforme a aplicação da carga foi no acontece quando ele atinge a força de aproximadamente 11 kN, com um deslocamento correspondente de 0,45 mm. Considerando a força de ruptura na ordem de 17,68 kN, veja que a contribuição do reforço na fase de pós-fissuração do prisma 6,68 kN, 37,8% da força total que o prisma reforçado conseguiu suportar.

O reforço de espessura 30 mm de UHPFRC aplicado no substrato de concreto C70 obteve uma melhor eficiência quando comparado com o reforço de 20 mm de espessura, como é apresentado na Figura 15. Além de uma força de ruptura, com uma média de 32,24 kN, correspondente a uma resistência à tração na flexão de 10,96 MPa, 54% maior que amostra sem reforço e 47% maior que a camada de 20 mm de reforço de UHPFRC. Na amostra "M3-03-70", o momento em que o prisma começou a fissurar quando a carga foi aplicada aconteceu quando ele atingiu a força de aproximadamente 19,68 kN, com um deslocamento correspondente de 0,84 mm. Considerando a força de ruptura da ordem de 32,62 kN, a contribuição do reforço na fase pós-fissuração do prisma foi de 12,94 kN, 39,7% da força total que o prisma armado poderia suportar.

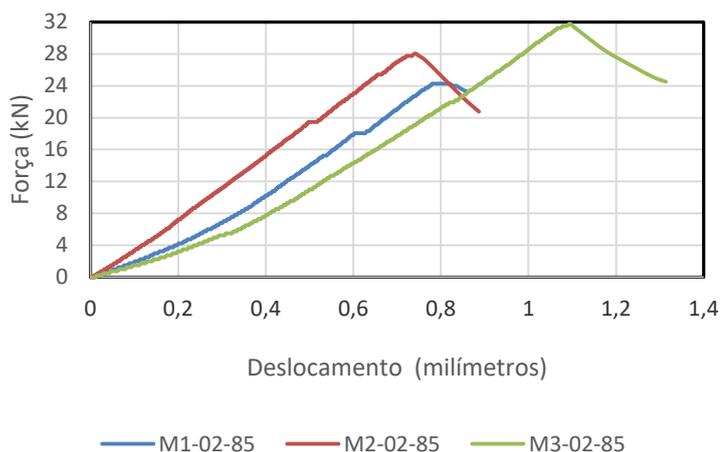
**Figura 15.** Gráfico Força x Deslocamento LVDT Concreto C70 (armadura de 30 mm)



Fonte: O Autor.

Pelo gráfico da Figura 16, para o conjunto substrato de concreto de alta resistência C85, considerando o grupo de reforço em UHPFRC com camada de 20 mm de espessura, pode-se observar um aumento na capacidade de resistência em relação ao conjunto não reforçado com força de ruptura média de 27,92 kN, correspondendo a uma resistência à tração à flexão de 9,49 MPa, uma resistência 38,2% superior à do grupo não reforçado. Na amostra "M1-02-85", por exemplo, o prisma começou a fissurar quando a carga foi aplicada quando atingiu uma força de aproximadamente 15,25 kN, com um deslocamento correspondente de 0,54 mm. Considerando a força de ruptura da ordem de 24 kN, a contribuição do reforço na fase pós-fissuração do prisma foi de 8,75 kN, 36% da força total que o prisma reforçado poderia suportar.

**Figura 16.** Gráfico Força x Deslocamento LVDT Concreto C85 (reforço de 20 mm)



**Fonte:** O Autor.

No grupo de reforço em UHPFRC com 30 mm de espessura, considerando o conjunto do substrato em concreto de alta resistência C85, já não houve a mesma eficiência, tendo em vista que das três amostras ensaiadas, em duas amostras houve uma ruptura na interface entre o reforço e o substrato, como mostra a Figura 17, não funcionando assim a aderência entre os materiais conforme o planejado.

**Figura 17.** Amostra Concreto C85 (ref. 30mm) rompida na Interface Reforço x Substrato

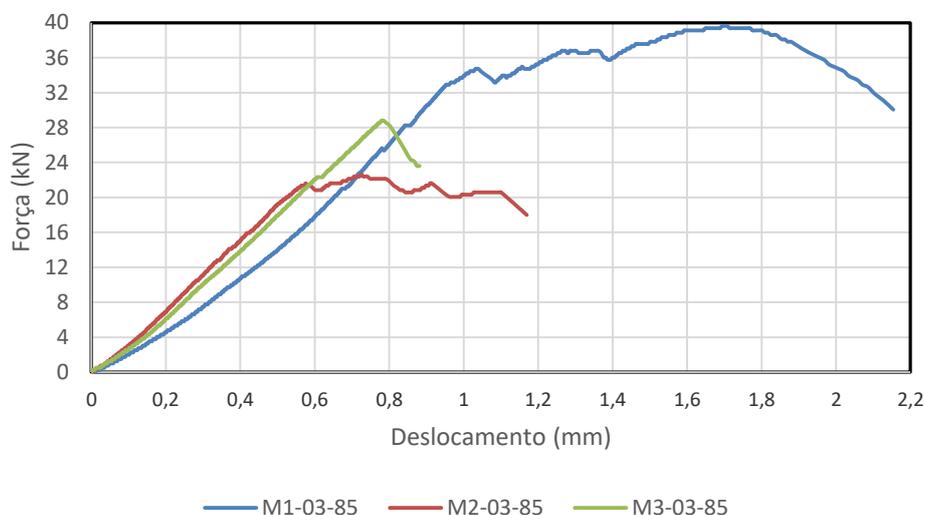


**Fonte:** O Autor.

Neste sentido, para este grupo amostral, foi considerada apenas a amostra "M1-03-85", pois o conjunto substrato e reforço funcionou corretamente e conforme planejado, obtendo eficiência satisfatória com uma força de ruptura de 39,64 kN, correspondendo a uma resistência à tração à flexão de 13,48 MPa, 50,8% maior que na amostra não armada do mesmo substrato com concreto C85, e 29,6% maior que na armadura realizada com camada de 20 mm, conforme mostra a Figura 18. O prisma começou a fissurar à medida que a carga era aplicada quando atingiu uma força de aproximadamente 21,62 kN, com um

deslocamento correspondente de 0,67 mm. Considerando a força de ruptura da ordem de 39,64 kN , a contribuição do reforço na fase pós-fissuração do prisma foi de 18,02 kN , 45% da força total que o prisma reforçado poderia suportar.

**Figura 18.** Gráfico Força x Deslocamento LVDT Concreto C85 (reforço de 30 mm)



**Fonte:** O Autor.

Outra análise observada nos prismas reforçados foi a tenacidade causada pelo UHPFRC. De acordo com a Sociedade Japonesa de Engenheiros Civis – Fibra de Aço 4 (JSCE-SF4), a tenacidade pode ser medida como a área sob a curva força x deslocamento do teste de tração de flexão em amostras prismáticas com um limite de deflexão do vão/150. Quando o corpo de prova se rompe antes de atingir a deflexão especificada em vão/150, deve-se obter a área imediatamente anterior ao rompimento.

Como o vão utilizado no ensaio de flexão foi de 340 mm, a flecha especificada seria de 2,27 mm, valor não alcançado em nenhuma das amostras. Assim, foi calculada a área sob a curva força x deslocamento até a força máxima de ruptura e seu respectivo deslocamento. A área foi medida desde o desenvolvimento da curva de tendência até o polinômio de grau 6. Em seguida, obtida a equação da curva, ela foi integrada, e o valor da integral foi calculado no ponto de desprendimento correspondente à ruptura força da respectiva amostra.

Em resumo, a Tabela 3 destaca os resultados obtidos nas amostras reforçadas com UHPFRC considerando a resistência máxima à ruptura, o deslocamento máximo alcançado, a resistência à tração à flexão e a tenacidade de cada amostra. Uma tenacidade mais notável é visível no grupo armado com espessura de 30 mm nos substratos de concreto de alta resistência. Já para o substrato de concreto convencional, a tenacidade apresentou valores elevados em ambos os grupos de espessura reforçada, mostrando a influência mais significativa que o UHPFRC teve no aumento da capacidade resistente.

**Tabela 3.** Resultados do teste de 4 pontos: Amostras com reforço com UHPFRC

Series	Grupo	Força Máxima (kN)	Resistência à tração flexural (MPa)	Deslocamento máximo do LVDT (mm)	$T_b$ (kN.m m)	FT (MPa)
C40	M1-00-40	9.25	3.19	0,524		
	M2-00-40	10.28	3,55	0,734		
	M3-00-40	10.28	3,55	0,450		
	M1-02-40	22.06	7,50	0,935	70,60	25,70
	M2-02-40	26.59	9.04	1.581	20.57	4.42
	M3-02-40	22.32	7.59	0,918	11h25	4.17
	M1-03-40	31,99	10.88	1.300	25.29	6.61
	M2-03-40	37,69	12.81	1.800	37.04	7.00
	M3-03-40	34.21	11.63	1.921	36,55	6,50
C70	M1-00-70	14h50	5,00	1.412		
	M2-00-70	14.22	4,91	0,696		
	M3-00-70	15.36	5.30	1.338		
	M1-02-70	13.07	4.44	0,383	2.66	2.36
	M2-02-70	20.65	7.02	0,706	6.73	3.24
	M3-02-70	17.68	6.01	0,707	6.23	3,00
	M1-03-70	34.41	11.70	1.541	27,50	6.07
	M2-03-70	29.43	10.00	1.103	15.67	4,83
	M3-03-70	32.62	11.09	1.659	30.44	6.24
C85	M1-00-85	17,98	6.20	0,714		
	M2-00-85	19h50	6.73	0,878		
	M3-00-85	14.22	4,91	0,342		
	M1-02-85	24.38	8.29	0,800	8.79	3,74
	M2-02-85	27,75	9.44	0,749	10.58	4,80
	M3-02-85	31,95	10.86	1.101	15.08	4,66
	M1-03-85	39,63	13h47	1.703	40,95	8.18
	M2-03-85	22h40	7.62	0,730	9.46	4.41
	M3-03-85	28.53	9,70	0,792	11.02	4,73

Fonte: O Autor.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas de concreto armado necessitam, com a idade, de manutenção preventiva. Como essas revisões não acontecem na maioria das obras existentes no Brasil, isso causa uma deterioração da estrutura e uma série de danos não previstos no projeto, como perda da capacidade de resistência ou formação de novas cargas de tensão na estrutura, o que também pode resultar em danos ao elemento estrutural.

Nesse sentido, os reforços estruturais visam promover maior capacidade de carga ao elemento estrutural original. Desde que haja uma preparação adequada do substrato original para posterior aplicação, o UHPFRC pode ser uma alternativa eficiente para reforço em estruturas de concreto.

No conjunto substrato de concreto C40, a armadura promoveu um aumento de 72% na capacidade de carga do prisma em relação à mesma amostra não armada. Já para os concretos de alta resistência C70 e C85, houve um aumento de 65% e 62% na força de ruptura, respectivamente. Portanto, quanto mais significativa for a contribuição da armadura, menor será a resistência do substrato original; neste caso, a armadura apresenta melhor eficiência em substratos de concreto convencional.

Analisando sob a ótica da influência da espessura reforçada com UHPFRC, a camada de 30 mm obteve um aumento médio de resistência em torno de 25% maior que a camada de 20 mm, o que mostra uma vantagem na utilização de camadas maiores de reforço com UHPFRC. Porém, cada caso deve ser estudado de forma específica, pois, como a variação não é grande em relação a uma amostra não armada,

uma espessura de armação mais fina pode ser suficiente, dependendo da situação, gerando assim economia na armadura estrutural.

Outro destaque importante foi a influência da armadura de UHPFRC nos resultados referentes a uma maior deformação específica por tração nos prismas reforçados por ser um material mais dúctil que o concreto, tanto convencional quanto de alta resistência, devido às fibras de aço presentes em sua composição. Além de relacionar diretamente o aumento da resistência à flexão ao aumento da camada de reforço, isso também provoca uma maior capacidade de deformação da estrutura após a fissuração devido ao efeito de ponte que proporciona no compósito, garantindo que haja uma transferência tensão na fase pós-fissuração. Esse efeito pode ser visto tanto pelos deslocamentos gerados pelo transdutor LVDT quanto pelas deformações de tração específicas decorrentes dos extensômetros.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001.

## REFERÊNCIAS

AFGC, SETRA. Concreto Reforçado com **Fibra de Ultra Alto Desempenho, Recomendações Provisórias**. Afgc Publications, Bagneux, França, 2002.

AL-OSTA, MA; ISA, MN; BALUCH, MH; RAHMAN, MK **Comportamento à flexão de vigas de concreto armado reforçadas com concreto reforçado com fibras de ultra-alto desempenho**. Construção e Materiais de Construção, vol. 134, pág. 279–296, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.094>>.

ANDREASEN, AHM; ANDERSEN, J. **Ueber die Beziehung zwischen Kornabstufung und Zwischenraum in Produkten aus perdido Körnern ( mit einigen Experimentem )** . Kolloid-Zeitschrift , Vol. 50, nº 3, pág. 217–228, 1930. <https://doi.org/10.1007/BF01422986>

ASHOUR SA; WAFUFF; KAMAL MI **Efeito da resistência à compressão do concreto e taxa de armadura de tração no comportamento à flexão do concreto fibroso**. Eng Struct 2000;22(9):1145–58.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Dimensionamento de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142: Concreto: Determinação de resistência à tração  $n / D$  flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone** . Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522: Concreto: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e deformação à tração**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222: Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por designs diametral de corpos de prova cilíndricos** . Rio de Janeiro, 2011.

ASSUNÇÃO, JW **Curvas de Dosagem para Concretos Convencionais e Aditivados Confeccionados com Materiais da Região Noroeste do Paraná**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil .

BRÜHWILER, Eugen; DENARIÉ, Emmanuel. **Reabilitação e Reforço de Estruturas de Betão com Concreto Reforçado com Fibras de Ultra-Alto Rendimento**. Engenharia Estrutural Internacional, SL, Vol. 23, nº 4, pág. 450-457, novembro de 2013.

BUTTIGNOL, TET; SOUSA, JLA; BITTENCOURT, TN **Concreto Reforçado com Fibra de Ultra Alto Desempenho (UHPFRC): uma revisão das propriedades do material e procedimentos de projeto**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, Vol. 10, nº 4, pág. 957-971, agosto de 2017. Disponível em: <<https://buttignol.files.wordpress.com/2017/11/riem-uhpfr.pdf>>. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952017000400011>

CORVEZ, D.; BERNARDI, S. **Ductal® Concreto de Ultra Alto Desempenho Rede ABCIC II**. São Paulo, 2018.

DINIZ, JZF; FERNANDES, JF; KUPERMAN, SC **Retração e Fluência**. In: ISAÍÁ, G. (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1ª ed. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto, 2011. p. 672-703.

EIDE, MB; HISDAL, J.-M. **Concreto Reforçado com Fibra de Ultra Alto Desempenho (UHPFRC) - Estado da arte**. 2012.

ELKEM MATERIAIS AMÉRICA DO SUL. **Boletim Técnico: Elkem Microsilica 920U**. Diadema: [sem número], 2020.

ENAMI, Mazia Rodrigo. **Reforço de pilares curtos de concreto armado por encamisamento com concreto de ultra-alto desempenho**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) e Área de Concentração em Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

FERRARI, VJ **Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: botão de incremento de ancoragem**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FIGUEIREDO, AD **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. Boletim Técnico.

NORMA FRANCESA. **NF P 18-710: Concreto Reforçado com Fibra de Ultra Alto Desempenho – Especificações, Desempenho, Produção e Conformidade**. AFNOR, Vol. 33, nº de abril de 2016.

FUNK, James E.; DINGER, Dennis R. **Controle preditivo do processo de suspensões de partículas aglomeradas: aplicado à fabricação de cerâmica**. Springer Science & Business Media, 1994.

TECNOLOGIAS APLICADAS GCP. **Especificação Técnica: ADVA 458**. Sorocaba: [sn.], 2020.

GRANATO, Eduardo Costa. **Reforço de vigas de concreto armado usando Concreto de ultra alto desempenho fibras de com reforçado**. Dissertação (Mestrado). universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020. <https://doi.org/10.4322/2175-8182.62CBC018>

GRAYBEAL, Benjamin A. **Comportamento Compressivo de Concreto Reforçado com Fibra de Ultra-Alto Desempenho**. ACI Materials Journal, vol. 104, nº 2, pág. 146-152, março de 2007.

HABEL, Katrin. **Comportamento estrutural de elementos combinando concretos reforçados com fibras de ultra-alto desempenho (UHPFRC) e concreto armado**. 2004. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2004.

HABEL, Katrin; DENARIÉ, Emmanuel; BRÜHWILER, Eugen. **Investigação Experimental de Membros de Concreto Misto e Concreto Convencional**. ACI Structural Journal, nº 104, p. 93–101, 2007.

HASSAN, AMT; JONES, SW; MAHMUD, GH **Métodos experimentais de ensaio para determinar o comportamento uniaxial à tração e à compressão de concreto reforçado com fibras de ultra alto desempenho (UHPFRC)**. Construção e Materiais de Construção, vol. 37, pág. 874-882, dezembro de 2012.

HELENE, P.; TUTIKIAN, BF; ISAIA, GC **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho**. IBRACON- Concreto : Ciência e Tecnologia . 2011.

HUA, C. *et al* . **Análises e modelos da retração autógena do endurecimento da pasta de cimento**. Cemente and Concrete Research, [s/], vol. 25, nº 7, pág. 1457-1468, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00140-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00140-8). Acessado em: 22 de março de 2023. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00140-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00140-8)

INTERCEMENT BRASIL. **Boletim Técnico Apiaí: Cimento cauê Estrutura CPV ARI 40 Kg** . São Paulo [ sn .], 2020.

JÚLIO, ES; BRANCO, F.; SILVA, VD **Reabilitação estrutural de pilares com revestimento de concreto armado**. Progresso em Engenharia Estrutural e Materiais, vol. 5, nº 1, pág. 29–37, 2003. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/pse.140>>.

LIZ CIMENTOS. **Características Cimento V-ARI Premium**. Disponível em: <<https://www.cimentosliz.com.br/cimento/ensaioCimento>>. Acessado em: 10 de novembro de 2022.

MARTINOLA, Giovanni et al. **Reforço e reparação de vigas de RC com betão reforçado com fibras**. Compósitos de Cimento e Concreto, v. 32, n. 9, pág. 731–739, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.001>>.

METHA, PK; MONTEIRO, PJM **Concreto: microestrutura , propriedades e materiais** . 2<sup>a</sup> ed . 2008.

MINERAÇÃO JUNDU. **Boletim Técnico: Areia Quartzosa – Sílica Moída nº 325 – E**. Analândia: [sn.], 2021a.

MINERAÇÃO JUNDU. **Boletim Técnico: Areia Quartzosa Industrial AG – 50/60 SE**. Analândia: [sn.], 2021b.

NAAMAN, A.; WILLE, K. **O Caminho para o Concreto Reforçado com Fibra de Ultra-Alto Desempenho (UHP-FRC): Cinco Décadas de Progresso, em Proceedings of Hipermat** . 3<sup>o</sup> Simpósio Internacional de UHPC e Nanotecnologia para Materiais de Construção. Kassel University Press: Kassel, Alemanha, 2012.

OH, BH **Análise à flexão de vigas de concreto armado contendo fibras de aço**. Revista Engenharia Estrutural, 1994.

ONGHERO, L. **Modelo para Previsão da Retração Autógena em Concretos de Ultra Alto Desempenho Reforçados com Fibra**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2022.

PONCETTI, Bernardo Lopes. **Confinamento de pilares por encamisamento com concreto de ultra alto desempenho com reforçado com fibras de aço**. Dissertação (Mestrado). universidade Estadual de Maringá.

Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021. See More

RICHARD, P.; CHEYREZY, M. **Composição de concretos em pó reativos. Pesquisa de Cimento e Concreto**, vol. 25, nº 7, pág. 1501-1511, 1995. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00144-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2)

SANT, G.; LURA, P.; WEISS, J. **Medição da Mudança de Volume em Materiais Cimentícios em Idades Precoces: Revisão de Protocolos de Ensaios e Interpretação de Resultados**. Registro de Pesquisa em Transporte: Journal of the Transportation Research Board, [s.l.], Vol. 1979, pág. 21-29, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/1979-05>. Acessado em: 19 de março de 2023. <https://doi.org/10.3141/1979-05>

SANTOS, Vinícius Irmão dos. **Análise experimental da ligação entre o concreto de ultra alto desempenho e concretos de resistência normal e de alta resistência**. Dissertação (Mestrado). universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021. See More

TAYEH, BA *et al.* **Utilizações de concreto de fibra de ultra-alto desempenho (UHPFC) para reabilitação - Uma revisão**. Procedia Engenharia, vol. 54, pág. 525-538, janeiro de 2013.

TAYEH, BA; ABU BAKAR, BH; MEGAT JOHARI, MA **Caracterização da ligação interfacial entre substrato de concreto antigo e compósito de reparação de concreto de fibra de ultra alto desempenho**. Materiais e Estruturas, vol. 46, nº 5, pág. 743-753, 5 de outubro de 2012.

TENG, JG *et al.* **Descolamento induzido por fissura intermediária em vigas e lajes de RC**. Vol. 17, nº 03, pág. 447-462, 2003.

SOCIEDADE DE ENGENHEIROS CIVIL DO JAPÃO. **JSCE-SF4: Método de ensaios de resistência à flexão e tenacidade à flexão de concreto reforçado com fibras de aço**. Biblioteca concreta de JSCE. Parte III-2 Método de ensaios para concreto reforçado com fibras de aço. 1984. No. 3, pág. 58-61.

VANDERLEI, Romel Dias. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

VEDACIT. **Ficha Técnica: CEMIX**. [SL: sn .], 2018.

VOORT, TLV **Projeto e testes de campo de estacas de concreto de ultra alto desempenho cônicas em forma de H**. Universidade Estadual de Iowa, 2008.

YOO, DY; BANTHIA, N.; YOON, YS **Comportamento à flexão de vigas de concreto reforçado com fibra de alto desempenho reforçadas com GFRP e vergalhões de aço**. Estruturas de Engenharia, v. 111, p. 246–262, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.003>>.

YU, R.; SPIESZ, P.; BROUWERS, HJH **Projeto de mistura e avaliação de propriedades de Concreto Reforçado com Fibra de Ultra-Alto Desempenho (UHPFRC)**. Pesquisa de Cimento e Concreto, vol. 56, pág. 29–39, 2014.

## ESTUDO EX POST FACTO DAS INSTABILIDADES GEOLÓGICAS DE PETRÓPOLIS-RJ

Amanda Batista Luglio, Beatriz de Mello Massimino Rotta, Ruth Mello Da Silva

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP. E-mail: [mello\\_ruth@hotmail.com](mailto:mello_ruth@hotmail.com)

### RESUMO

Na primeira metade de 2022, no município de Petrópolis, Rio de Janeiro, uma tragédia que resultou em centenas de mortos e desabrigados se desenvolveu a partir de uma série de precipitações intensas que assolaram a região (PLATONOW, 2022). O presente trabalho pretende analisar as circunstâncias as quais as estruturas do município se encontravam, analisando os fatores predisponentes para a determinada tragédia, buscando por bibliografia a fim de fundamentar a metodologia escolhida para a pesquisa. Observando principalmente a formação e a segurança das encostas assim como as normas técnicas vigentes e métodos para determinação de estabilidade dos taludes. Tendo em vista que os fatores a serem considerados são tanto ambientais como litológicos, foi realizada uma análise abrangente ressaltando os aspectos morfológicos da região. Produzindo uma comparação entre o estado de um solo típico de Petrópolis em um estado com e sem coesão ( $c=0$ ), inferiu-se que de fato o município não atinge o requisito necessário definido por norma técnica, apresentando maciços instáveis. Concluindo, percebe-se que uma intervenção para a estabilização do local é mais do que necessária e, portanto a protelação de uma reforma urbana no local afeta tanto a segurança da população quanto a integridade das estruturas urbanas do município.

**Palavras-chave:** Petrópolis; Taludes; Solo; Encostas Naturais.

## EX POST FACTO STUDY OF GEOLOGICAL INSTABILITIES IN PETRÓPOLIS-RJ

### ABSTRACT

In the first half of 2022, in the city of Petrópolis, Rio de Janeiro, a tragedy resulted in hundreds of deaths and homelessness developed from a series of intense precipitations that devastated the region (PLATONOW, 2022). This research intends to analyze the circumstances in which the structures of the city were found, analyzing the predisposing factors for the tragedy in question, searching for bibliography in order to base the chosen methodology. Observing principally the formation and safety of the slopes even as norms and methods for determining the stability of the slopes. Bearing in mind the factors are both environmental and lithological, a comprehensive analysis was carried out highlighting the morphological aspects of the region. Producing a comparison between the state of a typical soil of Petrópolis in a state with and without cohesion ( $c=0$ ), it was inferred that in fact the city does not reach the necessary requirement defined by norm, presenting unstable massifs. In conclusion, it is clear that an intervention to stabilize the site is more than necessary and, therefore, the postponement of an urban reform at the site affects both the safety of the population and the integrity of the urban structures of the place.

**Keywords:** Petrópolis; Slopes; Soil; Natural Escarpments.

### INTRODUÇÃO

Com o agravamento do aquecimento global a última década foi representada pelo acentuamento de extremos climáticos em diversos locais do mundo. De acordo com BBC (2021), no mesmo ano, La Niña atingiu a encosta do Pacífico, afetando o período de precipitações no Brasil, um desequilíbrio local que levou à inundações de diversas cidades no estado da Bahia. No entanto, fora as mudanças climáticas, é preciso estar ciente de que fatores como estrutura e planejamento também influenciam essas chamadas “tragédias naturais”. A exemplo disso, no dia 23 de março de 2022, em um município do Rio de Janeiro, Petrópolis, as precipitações atingiram um recorde histórico com 534,4 milímetros em um período de apenas vinte e quatro horas. Chuvas atípicas assolavam a região desde fevereiro, provocando uma série de deslizamentos, e deixando centenas de mortos e desaparecidos. As autoridades no assunto alegam que

para este fato, o escoamento deficitário das redes pluviais foi parte contribuinte nas situações de enchentes, agravando as circunstâncias provocadas pela chuva intensa (GONÇALVES, 2014; PLATONOW, 2022; PUENTE, 2022).

Se tratando de Petrópolis, de acordo com Gonçalves (2014), o município possui um histórico de altas precipitações que voltam a se repetir a cada poucos anos, padrão esse que vem assolando a cidade desde muito antes da virada do século. Caracterizado pelo acentuado e típico relevo serrano do Rio de Janeiro, Petrópolis possui encostas de grande declive e solo exposto pela ocupação irregular dos morros. O excesso de chuvas que gera uma infiltração anormal no solo exposto, ocasiona em um aumento do peso específico do solo ( $\gamma$ ) e a perda de atrito e, em locais com grandes declividades, esse fenômeno favorece processos catastróficos como escorregamentos e desmoronamentos. O temor é que, segundo os autores, de acordo com o agravamento do aquecimento global, uma ocorrência ainda mais séria do que o acontecimento do ano de 2022 venha a se repetir no futuro.

Deste modo, é imprescindível a busca pela estabilidade do local, discernindo os locais que necessitam de intervenção. Seguindo a última conjectura, o presente trabalho pretende analisar as circunstâncias predisponentes para os movimentos de terra e instabilidade das encostas, analisando a vulnerabilidade presente no local, observando as normas técnicas vigentes e métodos para determinação de estabilidade dos taludes. Tendo em vista que os fatores a serem considerados são tanto ambientais como litológicos, pretende-se realizar uma análise abrangente ressaltando os aspectos morfológicos da região.

## **OBJETIVO GERAL**

Analisar a relação entre os altos incidentes pluviométricos de Petrópolis e os eventos de deslizamento de solos, verificando a correlação entre as características morfológicas do município e a instabilidade das suas encostas.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a. Descrever, segundo a bibliografia, os parâmetros que permitem avaliar o estado de dano erosivo do município, viabilizando a sua estabilização;
- b. Apresentar a vulnerabilidade do solo de Petrópolis, buscando compreender o comportamento do movimento de massa;
- c. Provar a susceptibilidade ao escorregamento dos taludes naturais do município de Petrópolis a partir do cálculo de seu fator de segurança por meio do método Estabilidade do Talude Infinito.

## **MÉTODO**

### **ESTUDO EX POST FACTO**

Uma pesquisa pode ser definida como um método em que sua finalidade é obter respostas às questões propostas e, adquirir conhecimento. As razões para se realizar uma pesquisa podem ser diversas, desde a absorção de informações sobre determinado tema, até a necessidade de captar conhecimento para realizar certa tarefa de forma mais eficiente. Os tipos de pesquisas são classificados com base em seus objetivos gerais, divididas em três grupos: as exploratórias, como pesquisa bibliográfica ou estudo de caso; as descritivas, como levantamento de dados e análise de trabalho e; por fim, as explicativas, como as pesquisas experimentais e ex post facto, que é utilizado neste trabalho (GIL, 2002).

A tradução direta para ex post facto é “a partir do fato passado” e compreende um estudo realizado após determinado acontecimento, onde não se teve controle e não foi possível alterar tudo que já ocorreu. Por isso, esse tipo de pesquisa só é possível após já ter acontecido o evento, para que haja uma coleta suficiente de informação para o trabalho que está sendo produzido. As variáveis deste método é um conjunto de fatos que consiste em observar o acontecimento, considerar hipóteses e por fim, criar teorias válidas para o mesmo (TUMELERO, 2019).

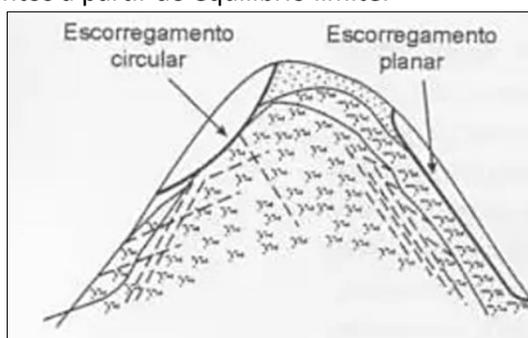
Portanto, a escolha do método ex post facto neste trabalho tem relação direta com todo o histórico calamitoso ocorrido em Petrópolis e, principalmente, em março de 2022. Os vários eventos desenfiados de escorregamentos e desmoronamentos ocorridos nas últimas décadas renderam dados suficientes para tal pesquisa. Também, pode-se ressaltar que todas as informações foram obtidas por outros estudos,

reforçando uma característica descrita por Tumelero (2019), em que não há possibilidade de aplicar uma pesquisa experimental neste método.

### METODOLOGIA DE CÁLCULO DE ESTABILIDADE DE TALUDES

O cálculo de estabilidade de taludes utiliza de modelos matemáticos que têm como base as informações coletadas em campo. Atualmente a análise a partir do equilíbrio limite é a mais utilizada, considerando o emprego das forças ativas de ruptura contrabalanceadas com as forças resistentes. Para os escorregamentos que já aconteceram, essa ruptura se apresenta de forma planar, onde a linha crítica é localizada no contato do solo com o terreno que se rompe e, também, de forma circular, em que a superfície de escorregamento se mantém encurvada, enquanto ocorre a ruptura de rotação do talude (Figura 1).

**Figura 1.** Tipos de escorregamentos a partir do equilíbrio limite.

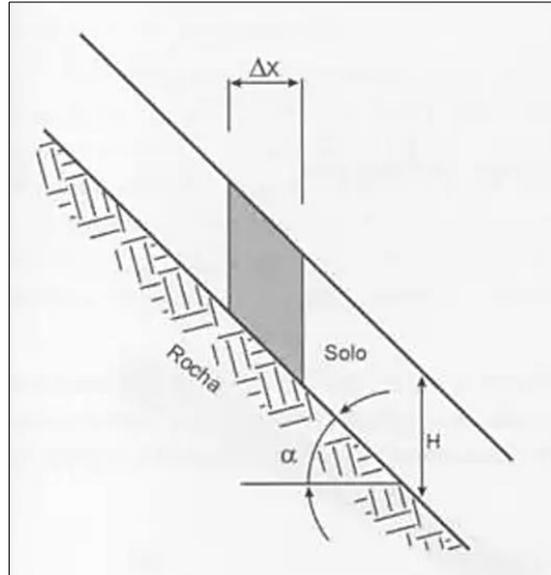


**Fonte:** Massad (2010).

Em um talude natural, os solos costumam apresentarem-se em frações fragmentadas, resultados advindos de diversos fatores naturais que causam a separação das rochas. É através dessas frações que a água da chuva consegue penetrar e causar uma mudança química nas rochas, transformando-as em argila e areia. E, considerando sua grande extensão, pouco revestimento de manto de solo e um perfil indefinido para um talude natural, dados como altura e inclinação costumam ser bastante diversificados. Portanto, para isso, foi adaptado um modelo matemático, denominado de Método do Talude Infinito (MASSAD, 2010).

Conforme Marangon (2018), esse método considera o peso de uma lamela para cálculo do fator de segurança. Nesse caso, a linha potencial de ruptura é paralela à superfície da massa de solo, podendo ser este último um maciço homogêneo ou estratificado que no momento que o talude é submetido a um regime de percolação, consideram-se as linhas de fluxo como paralelas à superfície, supondo que a cunha potencial de deslizamento deslize como um corpo rígido (Figura 2).

**Figura 2.** Representação esquemática de um talude infinito.



**Fonte:** Massad (2010).

Para a resolução do Método do Talude Infinito, Massad (2010) apresenta as deduções para calcular o fator de segurança que, após algumas transformações, designa-se na seguinte equação (Equação 1):

$$F_S = \frac{c + (\gamma' \times H \times \cos^2 \alpha \times \text{tg} \phi)}{H \times \gamma_{SAT} \times \cos \alpha \times \text{sen} \alpha} \quad (1)$$

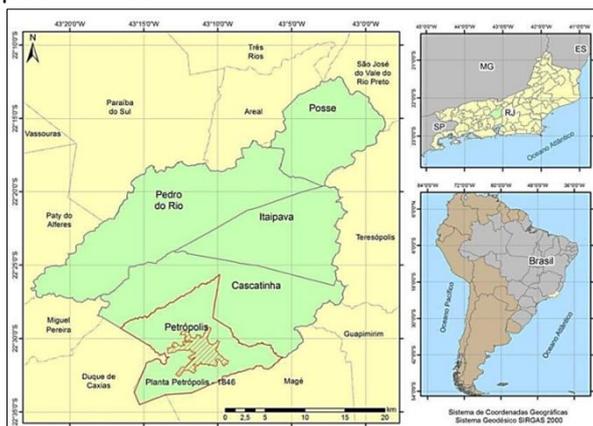
Onde:

- $F_S$  é o fator de segurança ( $F_S = F_R / F_A$ );
- $c$  é a coesão do solo;
- $\gamma'$  é o peso específico submerso ( $\gamma' = \gamma_{SAT} - \gamma_W$ );
- $H$  é a altura (profundidade) do talude;
- $\alpha$  é o ângulo de inclinação do talude;
- $\phi$  é o ângulo de atrito interno do solo;
- $\gamma_{sat}$  é a massa específica saturada do solo.

O Fator de Segurança indicado pela ABNT NBR 11682:2009, é igual a 1,5.

## ESTUDO DE CASO

O estudo em questão se concentra nas ocorrências do município de Petrópolis (Figura 3), do início de 2022, período em que uma precipitação intensa atingiu o município, nos meses de fevereiro e março. As inundações que atingiram o local provocaram a morte de mais de 230 pessoas, deixando cerca de 290 pessoas sob os cuidados da Secretaria de Assistência Social do Rio de Janeiro (PORTO, 2022). De acordo com Resende (2022), o Morro da Oficina, bairro do município de Petrópolis, foi uma das áreas mais afetadas durante o ocorrido, sendo que cerca de 170 das vítimas falecidas residiam no local. O Morro da Oficina era considerado uma área de alto risco de deslizamento desde 2007, possuindo a princípio, um plano do município que visava à regularização fundiária do local. Plano que por fim, em meio aos tramites legais, não saiu da fase de planejamento.

**Figura 3.** Petrópolis e municípios vizinhos.

Fonte: Santos *et. al* (2017).

O município de Petrópolis foi proclamado como tal em 1859, fazendo divisa com os municípios de Areal, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Miguel Pereira, Duque de Caxias, Magé, Guapimirim, Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto (Figura 3). Conforme IBGE (2021) a cidade possui uma área de 791,14 km<sup>2</sup> e 307.144 habitantes, apresentando um alto Índice de desenvolvimento de 0,745. No ano anterior de 1858, a região de Petrópolis possuía seis distritos, sendo ordenados como Petrópolis, Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio, São José do Vale do Rio Preto e Posse. No entanto com a Lei Estadual nº 1255 de 15 de dezembro de 1987, São José do Vale do Rio Preto é desmembrado do distrito de Petrópolis, tornando-se independente. A cidade, portanto, segue com apenas cinco distritos (ALMEIDA *et. al*, 2011; RIO, 1987).

Construída durante o reinado de Dom Pedro II, a cidade foi estabelecida na Serra da Estrela como parte do incentivo da Coroa para a urbanização do sul do país em uma das suas muitas 'Estradas Reais', rotas abertas pelos bandeirantes em busca de ouro, ligando o local a Minas Gerais. Mas a princípio o território passou a obter destaque com o palácio de veraneio construído pelo monarca anterior, Dom Pedro I, e a posterior atuação como capital do Brasil entre 1894 e 1902, fato devido aos levantes em Niterói que ameaçavam a vida do presidente Prudente de Moraes. Recebendo continuamente recursos do governo nas décadas seguintes, mesmo com a mudança da capital, Petrópolis encontrou o seu ponto de mudança em 1962, com a 3ª Revolução Industrial impulsionando o êxodo rural, momento em que se provocou um crescimento desordenado da cidade, com intensa migração das populações marginalizadas para áreas de moradia inadequadas, como as encostas dos morros (ALMEIDA *et. al*, 2011; TALOIS, 20--?).

Nos anos seguintes, entre 1985 e 2020, as ocupações de aglomerados subnormais, considerados como favela, invasão ou loteamento, mais que dobraram em Petrópolis, com um aumento de 108,81%, contabilizadas no ano de 2022 em total de 48 aglomerados (Figura 4). Dentre estes números, a Prefeitura de Petrópolis mapeou nos cinco distritos aproximadamente 28 mil moradias em área de alto risco, sendo o número mais alto desde 1985 (G1, 2022).

**Figura 4.** Relevo predominante de Petrópolis.

Fonte: G1 (2017).

Um elevado número de moradias irregulares é considerado um indicador de desigualdade social, visto que parte da população se viu forçada a construir as suas casas em locais de situação precária em razão da falta de oferta de local adequado e custeável, estas pessoas se privam de infraestrutura e saneamento básico, expondo-se deliberadamente ao risco a fim de permanecer no local.

### Estrutura dos Solos

Estando dentro da delimitação da Mata Atlântica, o solo local apresenta uma predominância de relevo montanhoso, escarpado e forte ondulado, com formações de argissolos, cambissolos, latossolos e neossolos, comumente apresentando afloramento de rochedos. Mais especificamente o aspecto morfoestrutural da região é definido por linhas de vales estruturais de cristas serranas, morros com desníveis altimétricos acentuados, maciços graníticos, e alvéolos intermontanos. Este último, resultado de uma dissecação de rede de drenagem ou de degraus estruturais, fomentou a implantação dos núcleos urbanos e lavoura, semelhante ao restante da região serrana do Rio de Janeiro (DANTAS, 2000; EMBRAPA, 2021).

Segundo Guerra (apud GONÇALVES, 2014), após um levantamento de dados das declividades existentes no município de Petrópolis, é possível definir que as áreas com declividades de 45-75% são as predominantes na região, com 35,70%, seguidas das declividades superiores a 75%, com 26,53% (Tabela 1). Com esses percentuais, foi possível estabelecer que há uma predominância de relevo montanhoso e escarpado. Acrescenta-se ainda que, devido ao crescimento urbano irregular nestas áreas de risco, acrescidos do desmatamento de áreas de encostas, o solo dessa região fica mais pobre e suscetível a escorregamentos, de forma que na cidade de Petrópolis, tal como em Teresópolis, Friburgo e outros municípios da região serrana, as catástrofes quase sempre são uma combinação de enchentes, escorregamentos e enxurradas.

**Tabela 1.** Declividades expressivas do município de Petrópolis.

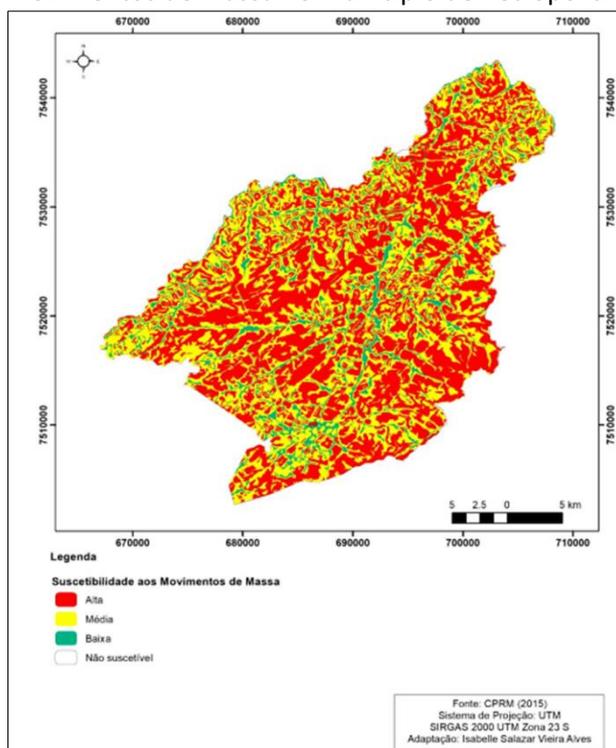
Declividade (%)	Porcentagem de Área (%)
<b>Maior que 75</b>	26,53
<b>45-75</b>	35,70
<b>20-45</b>	22,90
<b>8-20</b>	9,72
<b>Menor que 8</b>	5,15
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Guerra (apud. GONÇALVES, 2014).

Em 2017, o Plano de Risco de Petrópolis definiu sete faixas de riscos a partir da periculosidade analisada nos assentamentos do distrito de Cascatinha, a mesma versão em 2013, focada no município, possuía três faixas. Os planos de risco seguiam as diretrizes propostas pelo Marco de Sendai para Redução de Riscos e Desastres. Seguindo estas determinações o foco principal em Petrópolis eram os movimentos de terra e inundações, sendo estimados os custos de cada obra de melhoria por hectare, como linhas de drenagem, contenções, e barreiras dinâmicas contra quedas de rochas, totalizando aproximadamente R\$ 7.486.150,00 por hectare (DEFESA CIVIL DO PARANÁ, 2015; OLIVEIRA *et. al*, 2017).

Os movimentos de terra foram caracterizados em sete tipos, dentre os mais comuns em Petrópolis, são eles: escorregamentos; corridas de massa; rastejos; avalanches de fragmentos de rocha; solapamento de margens; tombamentos, quedas e rolamentos de fragmentos de rocha; e desmonte hidráulico. Segundo Oliveira *et. al* (2013a) a corrida de massa trata-se de um dos mais perigosos, pois carrega uma grande quantidade de líquido em alta velocidade, incluindo detritos e lama. Alves (2019), em um estudo considerando a suscetibilidade dos movimentos de massa, mapeou as áreas de risco no município (Figura 5).

**Figura 5.** Suscetibilidade de movimentos de massa no município de Petrópolis.



Fonte: CPRM (2015), Adaptado por Alves (2019).

## CLIMA E CHUVAS

A cidade possui um clima mesotérmico, brando super úmido, onde a posição geográfica, altitude, relevo, solos, influência da maritimidade, juntamente com a circulação atmosférica, estabelecem variações climáticas expressivas, ocasionando diferenciações nos índices térmicos e pluviométricos, com baixas temperaturas ao longo do ano e chuvas concentradas de outubro a março, quando ocorre a maioria dos eventos catastróficos, referente aos movimentos de massa e enchentes. A temperatura média anual varia de 13 a 23 °C, e a pluviosidade média entre 1500 e 2600 mm na região, com regime de distribuição periódica, com precipitação máxima entre os meses de dezembro e fevereiro (BONATO, GUERRA e LOPES, 2006; IBAMA, 2005).

Devido à grande favelização da região e da urbanização ter sido realizada de modo irregular, acrescidas do histórico de chuvas fortes e frequentes, assim como enchentes, todos os distritos da cidade de Petrópolis apresentam histórico de eventos envolvendo enchentes e deslizamentos, alguns inclusive fatídicos (GONÇALVES, 2014).

De acordo com Oliveira *et. al* (2013) um desses eventos data de março de 1945, quando foi relatado um volume de 74,4 mm/h de chuva, ocorrendo entre às 20 e 23 horas em suma, até o mais tardar do dia seguinte (Figura 6). Esse fato resultou na criação do Anteprojeto de Defesa de Inundações, propondo um túnel extravasor para o Rio Palatino, entregue em 1963. Porém o extravasor do Rio Quitandinha, proposto em 1977, nunca chegou a ser iniciado, onze anos depois outra inundação, afetando o Primeiro Distrito por completo, resultou na morte de 277 habitantes.

**Figura 6.** Inundação em Petrópolis em frente à Prefeitura, 1945.



**Fonte:** Fróes (1945).

#### CURSOS DE ÁGUA E APA

O município de Petrópolis é banhado por três rios principais, o Rio Piabanha, Rio Quintandinha e Rio Palatino. Segundo Peixoto (2022), um estudo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), comparando dados dos últimos 170 anos, apontou a perda de terreno dos rios, suprimindo ilhas fluviais e retirando cerca de 50% da cobertura vegetal (Tabela 2). Esse fenômeno se deve à ocupação urbana, elevando a porcentagem de terreno impermeabilizado, reduzindo a capacidade de volume de água dos trechos.

**Tabela 2.** Nível de mudança da cobertura vegetal.

Bacia Hidrográfica	Vegetação (km <sup>2</sup> )	Não-vegetação (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Nível de Mudança (%)
Quitandinha	5,72	7,52	13,24	56,78
Palatino	6,60	3,48	10,08	34,51
Piabanha	16,77	7,76	24,53	31,62

**Fonte:** Santos, Antunes e Fernandes (2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### CÁLCULO DA ESTABILIDADE DE TALUDES

Considerando o alto índice de chuvas em Petrópolis, a base de cálculos refere-se ao solo no estado totalmente saturado, conseqüentemente, perdendo toda sua coesão ( $c = 0$ ). Segundo Freitas (201-?), o valor utilizado para o peso específico da água é na ordem de  $10 \text{ kN/m}^3$  e, para os casos em que as partículas estejam com alto teor de umidade, é possível adotar o valor para o peso específico saturado na ordem de  $20 \text{ kN/m}^3$ . Varanda (2006) realizou um levantamento para a região aqui estudada e identificou que os solos rasos sobre rochas, que são encontrados em áreas de pouca habitação é o tipo predominante das calamidades ocorridas em Petrópolis, tendo esse solo camadas com espessura de 1 a 2 metros. Moreira (2018) também define que para as regiões serranas do Rio de Janeiro o ângulo de atrito interno é respectivo a  $45^\circ$ .

Complementando as informações, a Tabela 1 apresenta os dados relativos à declividade, em porcentagem, apresentando a taxa mais expressiva entre 45-75%, que convertido em graus, é dado em aproximadamente  $26-43^\circ$ . Desse modo, analisando a situação mais crítica no cálculo, adota-se uma declividade na ordem de  $43^\circ$ . Comparando com um solo sem a presença de água, Moreira (1974) realizou ensaios de resistência ao cisalhamento em que para um ângulo de atrito interno próximo de  $43^\circ 10'$ , sua coesão respectiva é de  $0,35 \text{ kgf/cm}^2$ , que corresponde a aproximadamente  $35 \text{ kPa}$ . Todos os dados coletados estão dispostos na Tabela 3 que a partir da Equação 1, alcançou os seguintes resultados:

$$F_s = 0,5 \text{ (solo saturado)}$$

$$F_s = 2,3 \text{ (solo natural)}$$

**Tabela 3.** Coleta de dados para o cálculo do fator de segurança.

	Condição do solo natural	Condição do solo saturado
c	35 kPa	0 kPa
$\gamma_{SAT}$	20 kN/m <sup>3</sup>	20 kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_w$	10 kN/m <sup>3</sup>	10 kN/m <sup>3</sup>
H	2 metros	2 metros
$\Phi$	45°	45°
$\alpha$	43°	43°

Fonte: As Autoras (2023).

## DISCUSSÕES

Por meio dos resultados obtidos e pelos dados apresentados neste estudo de caso, é possível analisar que os valores adquiridos com coesão se adequam às recomendações da NBR 11.682, em que o fator de segurança é definido como maior ou igual a 1,5 em razão da proximidade do talude com as edificações habitacionais, garantindo assim, a estabilidade do local a maior parte do tempo e a segurança da população. Enquanto isso, em virtude dos períodos chuvosos registrados em Petrópolis, a base de cálculo se deriva na condição do solo encontrar-se com um alto teor de umidade (encharcado), geralmente em um estado totalmente saturado, que conseqüentemente, perde toda sua coesão e obtém um fator de segurança que não acata as condições da norma. Devido a isso, o solo que até então permanecia estável a maior parte do tempo passa a apresentar instabilidade, assim como é registrado os desmoronamentos e escorregamentos em todos os distritos de Petrópolis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho a partir dos dados bibliográficos coletados apresentou a situação calamitosa e as tragédias naturais registradas na cidade de Petrópolis, no Rio de Janeiro, decorrentes do agravamento do aquecimento global das últimas décadas, com enfoque principal nas elevadas precipitações de chuvas e suas conseqüências, como deslizamentos e escorregamentos de encostas. Diante do exposto, buscou-se entender a vulnerabilidade do solo dessa região serrana, assim como as condições de instabilidade e inadequação para a construção de moradias e, através do ramo da Engenharia Civil, apresentar uma metodologia que assegure variáveis para a estabilidade do local.

Para isso, o modelo matemático aplicado consiste no Método do Talude Infinito, que através dos cálculos do fator de segurança, classificou o município de Petrópolis como instável. Esse método considera o peso de uma lamela como paralela à superfície de massa do solo e, no momento que o talude sofre uma percolação, toda sua cunha potencial desliza como um corpo rígido e, em virtude dos fatos relatados, já era possível conjecturar esse acontecimento na região. Portanto, através do cálculo, o método concretizou que o município não atinge um fator de segurança adequado por norma, ocasionado em escorregamentos e deslizamentos demasiados, como relatados nas últimas décadas.

Diante disso, conclui-se que as moléculas de água advindas dos períodos chuvosos encharcam o solo e como conseqüência desse fenômeno, ele perde toda sua coesão e a região se torna instável a maior parte do tempo. Consumando esse processo, percebe-se que o prolongamento de uma reforma urbana é de fato o maior inimigo para o município, a população de Petrópolis corre contra o tempo e necessita mais do que nunca de uma intervenção em seu meio a fim estabilizar o local e garantir segurança à população.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Camila Vieira de; FREITAS, Anniele Sarah Ferreira de; MENEZES, Paulo Márcio Leal de; GRAÇA, Alan José Salomão. Estudo Histórico Geográfico da Evolução Administrativa do Município de Petrópolis e sua Toponímia. In: 1º Simpósio Brasileiro de Geografia Histórica, 1., 2011, Paraty. **Anais do I Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. Disponível em: [https://www.ufmg.br/rededemuseus/crch/simposio/ALMEIDA\\_CAMILA\\_V\\_ET\\_AL.pdf](https://www.ufmg.br/rededemuseus/crch/simposio/ALMEIDA_CAMILA_V_ET_AL.pdf). Acesso em: 26 jan. 2023.

ALVES, Isabelle Salazar Vieira. **Vulnerabilidade Socioambiental de Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa e Inundações do Município de Petrópolis – RJ**. 2019. Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1234900>. Acesso em 29 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estabilidade de encostas**: NBR 11682. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BBC News. Chuvas na Bahia: Os fenômenos extremos que causam a tragédia no Estado. **BBC News**, São Paulo, 27 dez. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-59804297>. Acesso em: 09 jul. 2022.

BONATO, Gustavo; GUERRA, Antonio José Teixeira; LOPES, Patrícia Batista Melo. Elaboração do Mapa de Danos ambientais da APA – Petrópolis, voltado à previsão de Movimento de Massa – Município de Petrópolis, Estado do Rio de Janeiro – Brasil. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology, 1., 2006, Goiânia. **Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira, 2006. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/9/358.pdf>. Acesso em 04 fev. 2023

CAMARGO, Maria Lucia. **Causas e consequências de creep em talude artificial**: estudo de caso na Rua Melvin Jones, Ponta Grossa, PR. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura de Geografia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: [http://ri.uepg.br:8080/monografias/bitstream/handle/123456789/221/TCC\\_Maria%20Lucia%20Camargo.pdf?sequence=1](http://ri.uepg.br:8080/monografias/bitstream/handle/123456789/221/TCC_Maria%20Lucia%20Camargo.pdf?sequence=1). Acesso em: 27 mar. 2023.

DANTAS, Marcelo Eduardo. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2000.

DEFESA CIVIL DO PARANÁ. **Marco De Sendai para Redução de Riscos e Desastres**. 25 p. 2015. Disponível em: [https://www.defesacivil.pr.gov.br/sites/defesa-civil/arquivos\\_restritos/files/documento/2018-12/MarcodeSendaiPortugues.pdf](https://www.defesacivil.pr.gov.br/sites/defesa-civil/arquivos_restritos/files/documento/2018-12/MarcodeSendaiPortugues.pdf). Acesso em: 17 fev. 2023.

DIAS, Tiago Gerheim Souza. **Avaliação do comportamento de poços de grande diâmetro para fins de Infraestrutura Subterrânea**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/221676900\\_Avaliacao\\_do\\_comportamento\\_de\\_pocos\\_de\\_grande\\_di diametro\\_para\\_fins\\_de\\_infraestrutura\\_subterranea](https://www.researchgate.net/publication/221676900_Avaliacao_do_comportamento_de_pocos_de_grande_di diametro_para_fins_de_infraestrutura_subterranea). Acesso em: 26 mar. 2023. DOI 10.13140/2.1.3160.2889.

EMBRAPA. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 273**: Levantamento Semidetalhado dos Solos da Microbacia do Bonfim, Município de Petrópolis, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021.

FREITAS, Melina. **Índices físico**. 201-?. Goiás. 38 p. Notas de Aula.

FRÓES, José Kopke. **Inundação em frente à Prefeitura de Petrópolis**. 1945. Fotografia, 11,2x16,8 cm. Disponível em: <http://dami.museuimperial.museus.gov.br/handle/acervo/6434>. Acesso em: 14 fev. 2023.

G1. Ocupação irregular de área em Petrópolis mais do que dobrou entre 1985 e 2020. **Tribuna Hoje**, Maceió, 23 fev. 2022. Disponível em: <https://tribunahoje.com/noticias/brasil/2022/02/23/98839-ocupacao-irregular-de-areas-em-petropolis-mais-do-que-dobrou-entre-1985-e-2020>. Acesso em: 19 fev. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo\\_C1\\_como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf). Acesso em 23 maio 2023.

GONÇALVES, Fernanda Cristina. **Projeto de drenagem sustentável para mitigação de cheias na bacia do Rio Quitandinha, em Petrópolis, RJ**. 2014. Graduação (Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/14211/1/monopoli10012009.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.

IBGE. **Cidades e Estados: Petrópolis**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/petropolis.html>. Acesso em: 04 fev. 2023.

KNUST, Karine. Tragédia na Serra do RJ completa dez anos; R\$ 500 milhões ainda devem ser investidos em obras. **G1 Região Serrana**, Rio de Janeiro, 11 jan. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/tragedia-na-serra-do-rj-completa-dez-anos-r-500-milhoes-ainda-devem-ser-investidos-em-obras.ghtml>. Acesso em: 25 mar. 2023.

MARANGON, Márcio. **Geotecnia de Fundações e Obras de Terra**: Capítulo 5 – Resistência ao Cisalhamento de Solos. 2018. Rio de Janeiro. 16 p. Notas de Aula.

MASSAD, Façal. **Obras de terra**: curso básico de geotecnia – com exercícios resolvidos. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MOREIRA, José Eduardo. **Estabilidade de taludes de solos residuais de granito e gnaiss**. 1974. Dissertação (Mestre em Ciência) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Guanabara. 1974. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/2632/1/134987.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2023.

MOREIRA, Verônica. **Mapeamento de áreas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos no Brasil e suas relações com aspectos socioeconômicos**. Tese (Doutora em Geografia) - Universidade de Brasília. Brasília. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31119>. Acesso em: 12 maio 2023.

OLIVEIRA, Luis Carlos Dias de; PEREIRA, Rufo Cunha; GONÇALVES, Rosangela Ramos Moura; LOBATO, Marcela Carvalho; MARCOLINO, Thamyres Aguiar; LICHTENBERGER, Miriam Von Seehausen; REIS, Victor. **Plano Municipal de Redução de Risco. PMRR – 1º (revisão), 2º, 3º, 4º e 5º Distritos – Petrópolis, RJ: 6ª Etapa Reflexão e Proposição de Estratégias de Intervenções Não Estruturais para a Redução do Risco**, 2013. Secretaria de Habitação – SEH. Disponível em: <https://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/Reflexoes.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2023.

OLIVEIRA, Luis Carlos Dias de; PEREIRA, Rufo Cunha; GONÇALVES, Rosangela Ramos Moura; LOBATO, Marcela Carvalho; MARCOLINO, Thamyres Aguiar; LICHTENBERGER, Miriam Von Seehausen; REIS, Victor. **Plano Municipal de Redução de Risco de Movimentos de Massa: 2º Distrito, Cascatinha, Petrópolis, RJ**, 2017. Secretaria de Habitação – SEH. Disponível em: <https://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/PMRR%20-%20C2%BADISTRITO-PETR%C3%93POLIS.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2023.

PEIXOTO, Roberto. Rios de Petrópolis foram ‘estrangulados’, perderam ilhas fluviais e até 56% da sua cobertura vegetal, aponta estudo. **G1 Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, 22 fev. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2022/02/22/rios-de-petropolis-estrangulados-perda-cobertura-vegetal-aponta-estudo.ghtml>. Acesso em: 16 jan. 2023.

PLATONOW, Vladimir. Petrópolis registrou 250 deslizamentos em 24 horas por causa da chuva. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-03/petropolis-registrou-250-deslizamentos-em-24-horas-por-causa-da-chuva>. Acesso em: 22 abr. 2022.

PORTO, Douglas. Defesa Civil alerta para alto risco de deslizamento em Petrópolis. **CNN Brasil**, Rio de Janeiro, 20 mar. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/com-novas-chuvas-defesa-civil-pede-que-populacao-de-petropolis-busque-locais-seguros/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

PUENTE, Beatriz. Com mais de 530 milímetros, Petrópolis registra a maior chuva da história. **CNN Brasil**, Rio de Janeiro, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/com-mais-de-530-milímetros-petropolis-registra-maior-chuva-da-historia/>. Acesso em: 17 mai. 2023

RESENDE, Leandro. Estudo de 2007 da prefeitura de Petrópolis já mostrava riscos no Morro da Oficina. **CNN Brasil**, Rio de Janeiro, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/estudo-de-2007-da-prefeitura-de-petropolis-ja-mostrava-riscos-no-morro-da-oficina/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

RIO de Janeiro. Lei Ordinária nº 1255, de 15 de dezembro de 1987. Cria o Município de São José do Vale do Rio Preto, a ser desmembrado do Município de Petrópolis. **Assembléia Legislativa**, Rio de Janeiro, RJ, 15 dez. 1987. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/rj/lei-ordinaria-n-1255-1987-rio-de-janeiro-cria-o-municipio-de-sao-jose-do-vale-do-rio-preto-a-ser-desmembrado-do-municipio-de-petropolis>. Acesso em: 27 fev. 2023.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares; CANIL, Kátia; RODRIGUES, Samantha Paulo. Exemplo de Aplicação da Geologia de Engenharia no Controle Preventivo e Corretivo dos Processos Erosivos. **Revista Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental – RGBEA**, São Paulo. 2012. Disponível em: [https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE\\_Exemplo\\_de\\_aplicacao.pdf?linkAsp=EXEMPLO+DE%C2%A0+APLICA%C3%87%C3%83O+DA+GEOLOGIA%C2%A0+DE%C2%A0+ENGENHARIA+NO%C2%A0+CONTROLE+PREVENTIVO+E+CORRETIVO+DOS+PROCESSOS+EROSIVOS](https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE_Exemplo_de_aplicacao.pdf?linkAsp=EXEMPLO+DE%C2%A0+APLICA%C3%87%C3%83O+DA+GEOLOGIA%C2%A0+DE%C2%A0+ENGENHARIA+NO%C2%A0+CONTROLE+PREVENTIVO+E+CORRETIVO+DOS+PROCESSOS+EROSIVOS). Acesso em: 27 ago. 2022.

SANTOS, Deivison Ferreira dos; LAETA, Tainá; FERNANDES Manoel do Couto; SOUSA, Gustavo Mota de. Manutenção da planta Koeler para digitalização através de levantamento fotográfico. **RBGeo - Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v.5, n. 2, p. 277-290, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/317926797\\_Manutencao\\_da\\_planta\\_Koeler\\_para\\_digitalizacao\\_atraves\\_de\\_levantamento\\_fotografico/link/5951c564458515a207f4a6cf/download](https://www.researchgate.net/publication/317926797_Manutencao_da_planta_Koeler_para_digitalizacao_atraves_de_levantamento_fotografico/link/5951c564458515a207f4a6cf/download). Acesso em: 13 fev. 2023. DOI <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v5n2.5424>

SANTOS, Kairo da Silva; ANTUNES, Fernando de Souza; FERNANDES, Manoel do Couto. Os rios, a Cidade e o Mapa como objeto de análise das dinâmicas. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, 2019. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e18021>. Acesso em: 13 fev. 2023. DOI <https://doi.org/10.4215/rm2019.e18021>.

TALOIS, Antonio Eugênio. **Turispetro: História**. 20--?. Prefeitura de Petrópolis. Disponível em: <https://www.petropolis.rj.gov.br/turispetro/historia>. Acesso em: 26 jan. 2023.

TUMELERO, Naína. **Pesquisa ex-pos-facto: conceito, características e metodologia**. Blog Mettzer. 07 out. 2019. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/pesquisa-ex-post-facto/#:~:text=Pesquisa%20ex%2Dpost%2Dfacto%3A%20conceito%20e%20significado,que%20j%C3%A1%20ocorreram%20suas%20manifesta%C3%A7%C3%B5es..> Acesso em: 23 mai. 2023.

VARANDA, Érica. **Mapeamento quantitativo de risco de escorregamentos para o 1º distrito de Petrópolis/RJ utilizando sistema de informações geográficas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp017537.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2023.

**RESUMOS**

AVALIAÇÃO DA BLINDAGEM OFERECIDA POR MOBILIÁRIO URBANO EM ZONAS AFETADAS POR CONTAMINAÇÃO RADIOATIVA DECORRENTE DE EVENTO NUCLEAR HIPOTÉTICO.....	165
CINZAS DAS FOLHAS DE BAMBU: MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR SUSTENTÁVEL .....	166
MATRIZ CIMENTÍCIA COMPOSTA POR PÓ DE ROCHA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	167

---

AVALIAÇÃO DA BLINDAGEM OFERECIDA POR MOBILIÁRIO URBANO EM ZONAS AFETADAS POR CONTAMINAÇÃO RADIOATIVA DECORRENTE DE EVENTO NUCLEAR HIPOTÉTICO

RODRIGO VIEIRA MACHADO  
SUZANA COLADELLO TROMBETTA NEVES  
LUIS RICARDO PINOTTI HORTA  
CÍNTIA RAMOS LOPES EVANGELISTA  
ANA PAULA ALVES FAVARETO  
ALBA REGINA AZEVEDO ARANA  
EDSON RAMOS DE ANDRADE

A contaminação radioativa decorrente de eventos nucleares caracterizados por explosões nucleares táticas gera a necessidade de ampliar a proteção e segurança para o ambiente e a sociedade, trabalharemos como o campo hipotético pois a impossibilidade de simular um evento sem que haja contaminação do ambiente e de pessoas pela exposição aos agentes radiológicos. A ferramenta utilizada para a simulação foi desenvolvida pelo laboratório LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY localizado nos EUA em que é um dos dois laboratórios que desenvolvem ogivas nucleares nos EUA. Este laboratório desenvolveu o software que realiza as simulações da explosão, gera dados, área afetada, contaminação gerada desde a primeira hora até 1 ano após o evento, bem como a blindagem que alguns materiais fornecem de proteção a contaminação, com estes dados ele gera parâmetros para tomada de decisão para uma evacuação da área afetada. O Objetivo deste estudo é investigar através de simulações computacionais a proteção que os materiais que estão em nossas cidades podem fornecer em um evento radiológico gerado pela explosão de um artefato com potência 1 a 10 kT (quilotons), com esta simulação obtemos uma grande quantidade de dados referente a explosão, desde as doses iniciais após a chegada da pluma radioativa até 1 ano após o evento, também gera dados da blindagem dos materiais que são utilizados nas construções das zonas urbanas e veículos, com esses dados vamos poder fornecer dados para um plano de ação de evacuação das pessoas, pois a radiação com o passar do tempo aumenta pois a precipitação dos materiais radioativos e a blindagem que é fornecida pelos materiais também a um decréscimo com o passar do tempo. A metodologia inclui avaliação da blindagem estrutural urbana de uma zona afetada hipotética pela consideração dos fatores de transmissão de cada material constituinte das barreiras consideradas. Para a simulação do cenário foi utilizado o software especialista Hotspot Health Physics versão 3.1.2. Os resultados permitem avaliar a dose de radiação ao longo da área afetada pela pluma gerada pela explosão e também a blindagem que os materiais fornecem como proteção, diminuindo a exposição da radiação gerada pelo evento. As doses serão quantificadas pela aplicação do desvio-padrão com intervalo de  $0 < \text{dose de radiação} < = 3,0 \text{ Sv}$ . A simulação fornecera dados para uma tomada de decisão sobre ações de evacuação da área afetada mesmo sendo hipotética também pode ser utilizada em caso real.

Pesquisa (ENAPI)

UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA - UNOESTE

Comunicação oral  
(presencial)Engenharias  
Engenharia Civil

---

**CINZAS DAS FOLHAS DE BAMBU: MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR SUSTENTÁVEL**

LUCAS HENRIQUE PEREIRA SILVA  
JACQUELINE ROBERTA TAMASHIRO BERGUERAND XAVIER  
FABIO FRIOL GUEDES DE PAIVA  
VIVIAN MONISE ALVES DE OLIVEIRA  
ANGELA MITIE OTTA KINOSHITA

Desde sua descoberta os materiais pozolânicos se destacam por sua capacidade de conferir melhores propriedades de durabilidade aos compósitos cimentícios. Mesmo comprovada a reatividade de um resíduo pozolânicos estes enfrentam grande resistência de uso uma vez que sua durabilidade é colocada em dúvida. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência a compressão e a durabilidade, de argamassas compostas com 0%, 20%, 25% e 30% de cinza de folha de bambu (CFB), frente a carbonatação e a difusão de cloretos. Foram realizados ensaios de resistência a compressão em 2, 7 e 28 dias de cura (UNE-EN 196-1) e os resultados foram analisados usando teste de Shapiro Wilk e one way ANOVA. Para avaliação da durabilidade foi mensurada a capacidade de resistir a difusão de cloretos (NT Build 443) e a carbonatação (UNE-EN 12390-12). A CFB, utilizada apresenta características físicas e químicas adequadas, conforme NBR 12653-14 e não levou a grandes quedas na resistência a compressão das argamassas ensaiadas. Aos 28 dias de cura a resistência a compressão, em MPa, das argamassas controle e com 20%, 25% e 30% de CFB em substituição ao cimento foi 65,90, 61,00, 63,00 e 61,25. Realizando teste estatístico é possível notar que a resistência das argamassas composta é estatisticamente igual ao controle. Com relação a resistência a penetração de cloretos, em ensaio acelerado, o coeficiente de difusão efetivo para as argamassas 0%, 20%, 25% e 30% é de 4,09, 2,06, 1,79 e 1,70 e o coeficiente aparente destas mesmas argamassas é de 9,00, 3,66, 3,60, 3,42. O valor do coeficiente das argamassas compostas muito inferior a argamassa controle mostra que a CFB proporcionou uma matriz mais densa, com maior resistência a entrada deste agente externo que é citado como o mecanismo mais comum de degradação das estruturas por corrosão. Já no ensaio acelerado de carbonatação, com concentração de carbono a 3%, a argamassa controle e com 20% de CFB tiveram desempenho ligeiramente superior as argamassas com 25% e 30% de CFB. A argamassa controle e com 20% CFB não apresentaram profundidade de carbonatação em nenhuma das análises realizadas, mesmo após 70 dias. Os dados mostram que a CFB é um bom material cimentício suplementar com grande potencial para ser incorporado aos cimentos nas regiões onde o resíduo está presente, melhorando características de durabilidade dos compósitos e minimizando impactos de extração e transporte de recursos naturais e do processo de clinkerização. CAPES

---

**MATRIZ CIMENTÍCIA COMPOSTA POR PÓ DE ROCHA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES**

MARYANE PIPINO BERALDO DE ALMEIDA  
VIVIAN MONISE ALVES DE OLIVEIRA  
JACQUELINE ROBERTA TAMASHIRO BERGUERAND XAVIER  
POLLYANA SAORI SHIMADA  
FABIO FRIOL GUEDES DE PAIVA  
LUCAS HENRIQUE PEREIRA SILVA  
ANGELA MITIE OTTA KINOSHITA

Materiais cimentícios são amplamente utilizados nas construções civis, com grande demanda de produtos e matérias-primas, cuja extração e manejo destes podem gerar impactos ambientais. A fim de minimizar esses impactos, o uso de resíduos vem ganhando destaque. Um subproduto da produção da britagem de rochas, denominando "pó de rocha", é conhecido por suas características compatíveis quimicamente com matrizes cimentícias e tem sido comumente utilizado em diversos países como aditivo em concretos ou em substituição parcial ao cimento ou à areia. Entretanto, uma característica relevante e pouco explorada é seu potencial fotocatalítico. A fotocatalise heterogênea é um dos processos que podem ser empregados no tratamento de efluentes. A interação de um semicondutor com a luz, acarreta na formação de espécies radiculares altamente reativas, que atuam na degradação de compostos. Em vista disso, o objetivo desse trabalho é elaborar uma matriz cimentícia com pó de rocha em substituição à areia, para aplicação em tratamento de efluentes. Dessa forma, foram confeccionadas placas de argamassas cilíndricas com 60 mm de diâmetro e 15 mm de espessura, com substituição parcial de areia por pó de rocha (50% e 100%), além da argamassa controle, sem substituição da areia. As amostras foram feitas em um traço de acordo com a ASTM C109M-20, utilizando o cimento Portland CP V-ARI, água, areia e o pó de rocha. Para testar o potencial fotocatalítico do material, as placas de argamassa foram submersas em 500 mL de corante azul de metileno com concentração de 10 µg/mL, mantidas dentro do reator fotocatalítico, exposto à luz UV e em agitação constante a 500 rpm por 2 horas. Após o tempo de exposição, a solução testada com a argamassa controle atingiu uma concentração de 2,6 µg/mL, já as argamassas com substituição de 50% e 100% atingiram uma concentração de 1,0 µg/mL e 0,7µg/mL, respectivamente. As argamassas com pó de rocha demonstraram eficiência fotocatalítica maior que a argamassa controle. Diante disso, este novo material pode contribuir ao meio ambiente, visto que reaproveita um subproduto de pedreiras e evita o descarte inadequado, além do potencial fotocatalítico seu uso se torna interessante para o tratamento de efluentes. Porém, é de suma importância estudos mais aprofundados para a análise de outras propriedades, como resistência mecânica, consistência e variação da temperatura na hidratação do material. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

**RELATOS DE EXPERIÊNCIA**

O ENSINO DA ESTRUTURA ATRAVÉS DE MODELOS E MAQUETES ..... 169

Extensão (ENAEXT)

UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA - UNOESTE

Comunicação oral  
(presencial)Engenharias  
Engenharia Civil

---

## O ENSINO DA ESTRUTURA ATRAVÉS DE MODELOS E MAQUETES

BRUNO CESAR DE CASTRO CARDOSO  
BRUNA BESSA ROCHA

Proporcionar aos participantes uma imersão profunda na realidade da construção é um elemento crucial para abordar o tema. Isso é alcançado por meio de uma série de encontros nos quais eles exploram e concebem estruturas, analisando diversas possibilidades de execução. O projeto se destaca por oferecer métodos de aprendizado práticos e interativos, promovendo uma compreensão mais eficaz dos conceitos, tanto em sala de aula quanto no cenário profissional. A comunidade recebe o objeto de estudo, nesse caso a estrutura de bambu construída, obtém benefícios substanciais ao ter a oportunidade de conhecer, apreciar e vivenciar um espaço construído. Esta estrutura, feita de um material não convencional mas ambientalmente sustentável, desempenha a função de abrigo. Projeto executivo da estrutura; Tabelas com quantitativo, dimensionamento e classificação visual das peças utilizadas; Maquetes em escala reduzida da estrutura; Estrutura de bambu em escala real executada parcialmente no laboratório de estruturas e implantada no parque do povo. Encontros Semanais: Estes encontros resultaram em discussões voltadas para a concepção da estrutura, abrangendo estudos de esboços, elaboração de desenhos técnicos e executivos, além da criação de maquetes em escala reduzida. Durante esse processo, houve debates e análises criteriosas. Planejamento da Execução: A partir desses encontros, foi traçado o planejamento detalhado para a execução da estrutura. Parte Prática: A etapa prática englobou diversas atividades, incluindo a coleta e tratamento dos bambus, o dimensionamento das peças, a montagem dos pórticos e encaixes, bem como a execução dos próprios encaixes. Montagem Parcial: Neste estágio, realizou-se a montagem parcial da estrutura, colocando em prática os resultados das etapas anteriores. Execução Final: A estrutura foi finalmente executada no local de implantação, culminando na inauguração do espaço. Os resultados obtidos foram satisfatórios, mediante ao processo de estudos dos modelos, na qual foi analisado e discutido durante os encontros, como por exemplo, técnica construtiva, sistema estrutural, materiais empregados, conexões e montagem. Durante os encontros, cada item descrito anteriormente era discutido e executado conforme o projeto, e também na forma de tentativas. A avaliação da ação pode ser realizada de forma satisfatória e com sucesso, pois superou todas as expectativas, tanto dos professores, alunos, pessoas externas e comunidade.