INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA EM TUBOS DE CONCRETO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081139

COLONETTI; LUÍS GUSTAVO VIEIRA[1]; PIROLLA; DOUGLAS LEFFA[2]; PIVA; JORGE HENRIQUE[3]; MACCARINI; HELENA SOMER[4]; WANDERLIND; AUGUSTO[5]; ANTUNES; ELAINE GUGLIELMI PAVEI[6]
[1]UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC; [2]UNESC; [3]UNESC; [4]UNESC; [5]UNESC; [6]UNESC.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ELAINEGPA@UNESC.NET

RESUMO: Esta pesquisa tem por finalidade analisar a influência da substituição da areia natural pelo pó de pedra na fabricação de tubos de concreto de 400 mm. Para tal, foram executados tubos de concreto com cinco diferentes traços, sendo o primeiro, considerado de referência, e os outros quatro com percentuais de substituições de 100, 75, 50 e 25% da areia natural pelo pó de pedra. Para análise dos tubos realizou-se ensaios de resistência à compressão diametral e de absorção de água. Verificou-se que a resistência à compressão não foi influenciada pela substituição, no entanto, houve um aumento na absorção de água.

PALAVRAS-CHAVES: Artefatos de concreto; drenagem urbana; componente de concreto, pó de pedra.

ABSTRACT: This research aims to analyze the influence of replacing natural sand by stone powder in the manufacture of concrete pipes of 400 mm. For this purpose, concrete pipes were made with five different mixes, being the first one considered as the reference, and the other four with replacement percentages of 100, 75, 50 and 25% of the natural sand by stone powder. For the analysis of the pipes, strength tests were performed for diametrical compression and water absorption. It was verified that the compressive strength was not influenced by the substitution, however, there was an increase in water absorption.

KEYWORDS: Concrete artifacts; urban drainage; concrete component; stone powder.

1 | INTRODUÇÃO

O índice de construção civil vem obtendo crescimento significativo nos últimos anos e a disponibilidade de materiais de construção no mercado contribuem para tal crescimento. Dentre os materiais de construção que contribuem para o desenvolvimento destacam-se os materiais que são empregados em grande volume, como por exemplo, os agregados. Os agregados são materiais amplamente utilizados na construção civil e, principalmente, na fabricação de concretos e argamassas. De acordo com Anuário Mineral Estadual Santa Catarina Anos Base 2017 a 2018 (BRASIL, 2019)[1], o consumo de areia, por exemplo, em Santa Catarina, tanto bruta quanto beneficiada, ultrapassou as 6.171.203 toneladas. No entanto, conforme Viacelli (2012)[2], existem dificuldades em algumas cidades ou regiões para se obter areia de qualidade, isto é, que atenda efetivamente as diretrizes normativas para seu uso em concretos e argamassas. Além

disso, cita-se também, a proibição da extração de algumas jazidas naturais, tendo em vista que a extração de areia natural traz impactos à agressivos ao meio ambiente (TEODORO, 2013)[3]. Dado esses fatores, a areia média lavada aumentou seu custo, entre os anos de 2019 e 2020, em aproximadamente 21%, valor este acima do Índice Geral de Preços de Mercado (IGP-M) (MULATO, 2020)[4].

Nesse contexto, torna-se importante pesquisar resíduos e/ou novos materiais que possam ser utilizados como agregado miúdo, como é o caso, do pó de pedra. O pó de pedra, também conhecido como areia artificial, é proveniente do beneficiamento de rochas, trata-se de um material pétreo fino gerado durante o processo de britagem (VIACELLI, 2012)[2]. Campos (2015)[5] ressalta que a utilização do pó de pedra tem base na sustentabilidade, levando em consideração que a utilização do resíduo reduz a deposição na natureza, aumenta a preservação dos corpos hídricos, além de poder conferir as construções desempenho e ter um viés econômico, já que se trata de um resíduo.

E, para implementar o uso do pó de pedra em quantidades mais expressivas, a fim de diminuir o uso de areia lavada, definiu-se, nessa pesquisa, o estudo do uso de pó de pedra para a fabricação de tubos de concreto, considerando que no Brasil os órgãos públicos optam majoritariamente pelo uso de tubos de concreto para drenagem urbana (NETO, 2008)[6]. Segundo Trentin (2014)[7], "O material concreto apresenta uma série de vantagens, como durabilidade, baixa permeabilidade, resistência às intempéries e resistência a compressão. Estas qualidades fizeram com que a sua aplicação na captação de águas pluviais fosse difundida, uma vez que os condutos geralmente são enterrados, e dessa maneira, estão sujeitos a esforços de compressão e expostos à ação da água". Os tubos de concreto, podem ser classificados quanto a seu diâmetro nominal que varia de 200 a 2000 mm em seções circulares, quanto à resistência a compressão diametral, quanto à estrutura, com ou sem reforço estrutural, e quanto ao tipo de ligação (macho/fêmea ou ponta/bolsa) segundo a ABNT NBR 8890:2020[8].

Nesse contexto, esta pesquisa tem por objetivo analisar a influência na resistência à compressão diametral e absorção de água da substituição total e parcial da areia por pó de pedra em tubos de concreto com diâmetro nominal de 400 mm.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O cimento adotado na pesquisa para a produção dos tubos foi o cimento Portland CPV ARI (Alta Resistência Inicial). Os agregados utilizados foram: areia lavada média; pó de pedra, pedrisco e brita 1. Todos os agregados passaram por ensaios de caracterização física de granulometria (NBR NM 248:2003)[9], massa específica e massa unitária (ABNT NBR NM 45:2006[10], ABNT NBR 16917: 2021[11], ABNT NBR16916: 2021[12]), conforme as normativas pertinentes. Segundo a ABNT NBR 8890:2020[8], os agregados devem atender às exigências da ABNT NBR 7211:2019[13], sendo sua dimensão máxima característica limitada ao menor valor entre um terço da espessura da parede do tubo.

Os tubos foram fabricados com o sistema macho e fêmea em uma prensa rotativa onde a intensidade da compressão é determinada pela velocidade da subida do êmbolo e a velocidade da subida do êmbolo é determinada pela adição de concreto na execução do tubo. Segundo Gimenez (2008)[14] esse processo de fabricação é o mais usual para tubos de concreto. O desforme do tubo foi realizado logo após sua confecção,

pois eles já tinham resistência para suportarem o própriopeso. O processo de cura foi realizado ao ar, em um ambiente protegido das intempéries durante três dias, de modo a evitar a ocorrência de fissuras e garantir sua capacidade resistente, como prescreve a ABNT NBR 8890:2020[8] e, posteriormente, estocados ao ar livre até completarem os 28 dias.

O traço de referência empregado na pesquisa foi estabelecido com base no traço utilizado por empresa especializada na fabricação de tubos da região do extremo sul catarinense. O traço unitário de referência foi de: 1: 4,6: 3,6: 1,8: 0,6 (cimento: areia: pedrisco: brita: água), em massa. Os percentuais de substituição da areia pelo pó de pedra foram de 25%; 50%, 75% e 100%, em relação à massa seca da areia. Como há poucas pesquisas cientificas na área de fabricação de tubos de concreto e, por conseguinte, não se encontrou estudos com substituição de areia por pó de pedra em traços de tubos, optou-se, inicialmente, por uma substituição total (100%) e por substituições fracionárias de 25%, 50% e 75%. Os traços foram codificados conforme o teor de substituição T25, T50, T75, T100 e TREF para o traço de referência – sem substituição. A Tabela 1 apresenta a quantidade de cada material para a produção de 3 tubos de concreto, de acordo com a porcentagem de substituição.

Para a execução do ensaio de compressão diametral, seguiu-se as diretrizes da ABNT NBR 8890:2020[8]. Os testes foram realizados com o uso de uma célula de carga HBM U10M com capacidade máxima de 500kN, apoiado sob um pórtico de reação. A aplicação de carga foi de 35 $kN.min^{-1}$ constantemente, portanto, não inferior a 5 $kN.min^{-1}$ e nem superior a 35 $kN.min^{-1}$, como preconiza a ABNT NBR 8890: 2020[8]. Após a ruptura do tubo, obteve-se o valor de resistência em $kN.m^{-1}$.

Materiais	TREF (kg)	T25 (kg)	T50 (kg)	T75 (kg)	T100 (kg)
Cimento Portland	50	50	50	50	50
Areia	230	172,5	115	57,5	0
Pó de Pedra	0	57,5	115	172,5	230
Pedrisco	180	180	180	180	180
Brita	90	90	90	90	90
Água	30	30	30	30	30

Tabela 1 – Quantitativo de materiais para a produção de 3 tubos de concreto

Segundo a ABNT NBR 8890: 2020[8], os tubos de concreto sem reforço estrutural podem ser classificados quanto à sua compressão diametral em: Pluvial Simples (PS) e Esgoto sanitário (ES); os pluviais ainda se subdividem em dois grupos PS1 e PS2. Os valores de carga mínima de ruptura para tubos com diâmetro nominal 400 mm, sendo para PS1: 16 kN/m, PS2: 24kN/m e ES: 36 kN/m.

O ensaio de absorção de água foi desenvolvido com base nas diretrizes do ensaio de absorção de água repassada pelo Anexo D da ABNT NBR 8890: 2020[8], sendo a absorção máxima de água em relação à sua massa seca limitada a 6% para esgoto sanitário e 8% para água pluvial. A mesma normativa indica utilizar corpos de prova

com área nominal entre 100 e 150 cm², porém utilizou-se amostras dos tubos rompidos devido à dificuldade de se cortar o concreto.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A areia possui modulo de finura igual a 3,1 e diâmetro máximo de 4,75 mm. Já, o pó de pedra tem seu módulo de finura igual a 3,0 e diâmetro máximo de 4,75 mm, classificando- os como areia grossa, segundo a classificação pertinente à ABNT NBR 7211:2019[13]. Ambos atendendoos limites da zona utilizável da ABNT NBR 7211:2019[13]. A Figura 1 representa a curva de distribuição granulométrica dos agregados miúdos bem como os limites da zona utilizável e zona ótima, determinada pela ABNT NBR 7211:2019[13].

Como pode ser visualizada na Figura 1, a composição granulométrica da areia atende aos limites utilizáveis pré-determinados pela ABNT NBR 7211:2019[13]. Enquanto, o pó de pedra tem excesso de grãos encontrados nas peneiras 2,36 mm e 1,18 mm totalizando 52,08% do seu material, ultrapassando o limite utilizável, e 17,45% passante na peneira 0,15 mm, sendo assim, um material com uma porcentagem de material fino maior do que o limite utilizável segundo a ABNT NBR 7211:2019[13].

Uma alta porcentagem de material fino, passante na 0,15mm, exige aumento de água de amassamento, pois a maior superfície específica desse material requer maior quantidade de água para hidratação de todos os grãos. Essa supremacia na presençade finos foi perceptível nos traços T75 e no T100. Segundo Viacelli (2012)[2] a granulometria de um agregado está diretamente ligada à qualidade do concreto, devido ao empacotamento dos grãos diminuírem vazios internos influenciando diretamente na sua resistência mecânica. Ainda, segundo o mesmo autor, concretos com agregados com módulo de finura elevado tendem a ser pouco trabalháveis, já concretos com agregados muito finos requerem uma quantidade maior de água, influenciando diretamente na sua resistência.

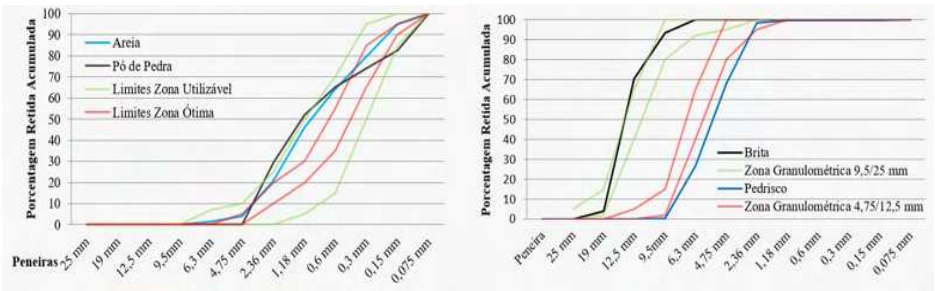


Figura 1 - Composição Granulométrica dos Agregados Miúdos e Graúdos respectivamente

Fonte: Autor

Ainda, conforme visualiza-se na Figura 1, verificou-se que o agregado pedrisco ficou fora da zona granulométrica 4,75/12,5mm dita pela norma como d/D, onde "d" é o diâmetro mínimo e "D" é o diâmetro máximo. Cabe salientar, que está é a menor

zona granulométrica encontrada na ABNT NBR 7211:2019[13].

Por meio de análise dimensional, foi verificado que o tubo de 40 cm, teve uma média de espessura de parede de 45 mm. Segundo a ABNT NBR 8890:2020[8], o diâmetro máximo do agregado se limita a um terço da espessura de parede do tubo. O diâmetro máximo encontrado na brita, não respeitou os limites de norma.

Os valores de massa unitária no estado solto verificados para a areia, pó de pedra, pedrisco e brita foram de 1.448,8 kg/m³, 1.545,0 kg/m³, 1.452,5 kg/m³, 1.510,0 kg/m³, respectivamente. Enquanto os valores de massa unitária no estado compactado foram de 1.572,5 kg/m³, 1.725,0 kg/m³, 1.563,7 kg/m³ e 1.663,7 kg/m³, na mesma sequencia elencada na frase acima. Já, os valores de massa específica verificados para a areia, pó de pedra, pedrisco e brita foram de 2.630,0 kg/m³, 2.860,0 kg/m³, 2.890,0 kg/m³, 2.920,0 kg/m³, sequencialmente.

A maior presença de finos pode gerar um menor índice de vazios aumentando sua massa unitária, porém o aumento de finos acarreta também no aumento de consumo de cimento, aumentando o custo do tubo.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão diametral dos tubos de concreto estão apresentados na Tabela 2.

Ao se analisar os valores, apresentados na Tabela 2, de média e desvio padrão, percebe-se uma diminuição da resistência a partir do T50. Ao se comparar os resultados obtidos para a resistência à compressão com os resultados de composição granulométrica dos agregados, verificou-se que, a não ser pela maior presença de finos, que a areia e o pó de pedra são similares. E, por tal motivo, justifica-se o porquê da substituição da areia lavada pelo pó de pedra não ter influenciado estatisticamente nos valores de resistência à compressão dos tubos de concreto.

TREF		T25		T50		T75		T100	
CP 01	32,90	CP 01	30,37	CP 01	35,70	CP 01	30,09	CP 01	29,03
CP 02	32,50	CP 02	37,38	CP 02	35,07	CP 02	29,57	CP 02	31,90
CP 03	33,90	CP 03	34,65	CP 03	31,55	CP 03	29,88	CP 03	29,95
CP 04	32,13	CP 04	30,26	CP 04	33,41	CP 04	32,16	CP 04	28,45
CP 05	31,65	CP 05	30,10	CP 05	31,61	CP 05	31,30	CP 05	32,45
Média	32,62	Média	32,55	Média	33,47	Média	30,60	Média	30,36
Desv. Pad	0,85	Desv. Pad	3,31	Desv. Pad	1,92	Desv. Pad	1,09	Desv. Pad	1,76

Tabela 2 – Resistência à compressão diametral (kN/m)

Analisando as médias de cada traço, verifica-se que os tubos ensaiados atenderam à resistência mínima de 16 e 24 $kN.m^{-1}$ de águas pluviais, porém nenhum traço atendeu as especificações de esgoto sanitário, prescritas na ABNT NBR 8890:2020[8].

Segundo a ABNT NBR 8890:2020[8], a absorção de água nos tubos de concreto não deve ultrapassar os 8% para condutos de águas pluviais e de 6% para condutos

de esgoto, este último mais rigoroso pelo fato de que os esgotos podem apresentar contaminantes. Somente um caso pontual no T100 não atendeu à absorção 6%. Os resultados médios de absorção de água podem ser visualizados no gráfico apresentado na Figura 2.

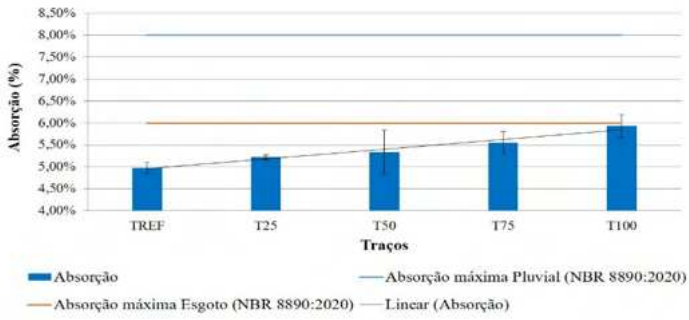


Figura 2 – Absorção de Água

Fonte: Autor

Na Figura 3 se apresenta um gráfico ao qual relaciona a compressão diametral com a absorção nos tubos de concreto. Com base na visualização percebe-se que a partir do T75 as absorções de água são maiores e as resistências de compressão diametral médias são menores.

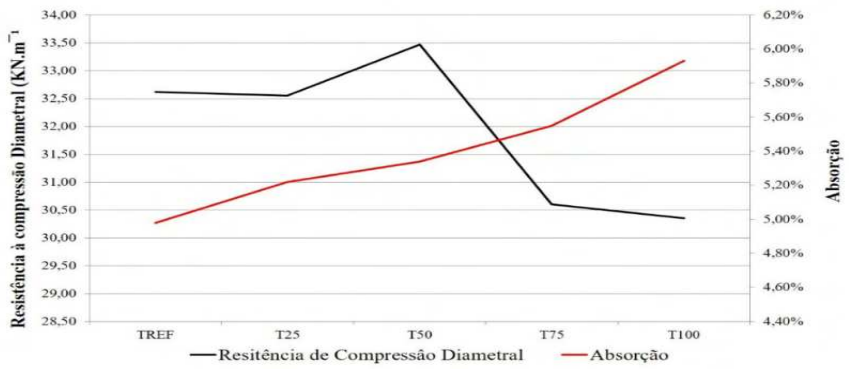


Figura 3 – Relação entre a compressão diametral e absorção

Fonte: Autor

Nota-se que à medida que foi substituindo os materiais, a absorção de água foi aumentando.

4 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados verifica-se que a substituição da areia pelo pó de pedra nos diferentes percentuais não influenciou estatisticamente no resultado de resistência à compressão dos tubos. No entanto, ao se analisar somente os valores de média, percebe-se uma tendência de diminuição da resistência a partir do T50. A pouca distinção de resistência pode ser justificada ao fato da composição granulométrica ser similar entre os agregados empregados. A absorção de água do concreto variou à medida que o percentual de substituição da areia por pó de pedra foi aumentado, onde se observa que a substituição de 75% e 100% têm mudanças significativas em relação ao traço referência. No entanto, todos os tubos atendem a resistência mínima de 24 $kN.m^{-1}$, para condutos de águas pluviais, exigida pela ABNT NBR 8890: 2020[8], enquanto os mesmos não podem ser utilizados para esgoto sanitário. Segundo a ABNT NBR 8890: 2020[8], os tubos da pesquisa podem ser classificados como tubos de concreto de condução pluvial, classe de resistência PS2, sem reforço estrutural, diâmetro nominal (DN) 400 mm e encaixe macho/fêmea de junta rígida. (PS2 DN400 MFJR).

REFERÊNCIAS

1. Brasil. Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Estadual – Santa Catarina** / Coord. Técnica de Marina Dalla Costa et al.; Equipe Técnica por Júlio César Recuero. – Brasília: ANM, 2019. 57 p.

2. VIACELLI, Luana. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. 2012. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012.

3. TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora, 2013.

4. MULATO, Y. **Custo da Construção em SP se mantém estável em dezembro**. AECweb, São Paulo, 06 de Jan. de 2020. Disponível em:< https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/custo-da-construcao-em-sp-se-mantem-estavel- em-dezembro/19571>. Acesso em 30 de mai. de 2019.

5. CAMPOS, H. F. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: Estudo experimental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

6. NETO, P. J. C; DEBS, M.K.E, **Manual técnico de drenagem e esgoto sanitário - Histórico e principais aplicações**. 1.ed São Paulo: Ribeirão Preto. 2008.

7. TRENTIN, T. F. S. **Análise estrutural de tubos de concreto armado com resíduo de borracha de pneu**. 2014. 104 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2014.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 8890**: tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2020.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 248**: Composição granulométrica para agregados miúdos – Especificação. Rio de Janeiro, 2003

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 45**: Agregados -Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

14. GIMENEZ, Arlindo, B. **Processos de Produção, Problemas e Dificuldades Encontradas na Fabricação de Tubos e Aduelas de Concreto.** In: CHAMA NETO, Pedro J. (Coord.). Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário. 1º ed. Ribeirão Preto – SP: Associação Brasileira dos Produtores e Tubos de Concreto – ABTC, 2008.