

Comportamento mecânico e de durabilidade de concretos produzidos com efluente industrial tratado e bruto

Mechanical behavior and durability of concrete produced with treated and raw industrial effluent

A. Zaleski^{a†}, B. Marangoni^b, S.C. Vanzetto^b

^a *Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil*

^b *Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Departamento de Engenharia Civil, Rio Grande do Sul, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: alessandra_zaleski@hotmail.com*

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das maiores poluidoras do meio ambiente e consumidora de recursos naturais, água doce e energia. O processo de fabricação do concreto requer uma grande quantidade de água e libera grandes quantidades de CO₂ na atmosfera. Em vista disso, uma alternativa que se mostra viável é utilizar efluentes de esgotos tratados na execução de serviços e processos na construção civil que não necessitem de uma água com padrão de qualidade elevado. Posto isto, busca-se nesta pesquisa analisar a viabilidade de reuso de efluentes de esgoto (tratado e bruto) em substituição a água de amassamento do concreto, comparando-os com a substituição de referência, a água potável. Inicialmente, realizou-se a escolha dos materiais empregados para o trabalho, bem como a dosagem experimental e a moldagem dos corpos de prova. Após, avaliou-se as propriedades dos concretos por meio dos ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial, Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo de Elasticidade e Absorção de Água. Através dos resultados obtidos nos ensaios mecânicos e de durabilidade, pode-se concluir que é possível utilizar efluente de esgoto para produção de concreto sem influenciar na qualidade do mesmo, no entanto, deve haver um tratamento adequado e estar de acordo com as normas técnicas NBR 15900-1/2009 e NM 137/1997.

ABSTRACT

The construction industry is one of the biggest polluters of the environment and a consumer of natural resources, fresh water, and energy. The concrete manufacturing process requires a large amount of water and releases large amounts of CO₂ into the atmosphere. In view of this, an alternative that proves to be viable is to use treated sewage effluents in the execution of services and processes in civil construction that do not require water with a high-quality standard. Having said that, this research seeks to analyze the feasibility of reusing sewage effluents (treated and raw) to replace concrete kneading water, comparing them with the reference replacement, drinking water. Initially, the choice of materials used for the work was carried out, as well as the experimental dosage and molding of the specimens. Afterwards, the properties of the concrete were evaluated through tests of Uniaxial Compression Strength, Diametral Compression Tensile Strength, Modulus of Elasticity and Water Absorption. Through the results obtained in the mechanical and durability tests, it can be concluded that it is possible to use sewage effluent to produce concrete without influencing its quality, however, there must be an adequate treatment and be in accordance with the NBR technical standards 15900-1/2009 and NM 137/1997.

Palavras-chave:

Concreto; Efluentes de esgoto; Ensaio mecânicos e de durabilidade.

Keywords:

Concrete; sewage effluents; Mechanical and durability tests.

1. Introdução

A indústria da construção civil é uma das maiores poluidoras do meio ambiente e consumidora de recursos naturais, água doce e energia. O processo de fabricação do concreto requer uma grande quantidade de água e libera grandes quantidades de CO₂ na atmosfera. Limitar o uso de recursos não renováveis e minimizar as emissões de gases de efeito estufa são duas formas vitais para alcançar um desenvolvimento mais sustentável [1].

A limitação dos recursos hídricos em todo o mundo destacou a importância da recuperação da água. O uso de água recuperada como alternativa à água doce pode ser uma maneira eficaz de economizar recursos hídricos.

Neste contexto, o uso de efluente proveniente de esgoto tratado, em substituição à água no preparo do concreto, revela-se como uma possibilidade de reuso para fins industriais que não exijam uma água com padrão de qualidade elevado. Porém é necessário que haja uma certificação que essa alternativa é viável sob alguns aspectos de padrões de segurança nas edificações, especificamente deve atender os requisitos de água para amassamento do concreto segundo a NBR15900-1/2009 [2].

Sendo assim, este trabalho busca analisar a possibilidade de utilização de diferentes efluentes de esgoto (tratado pelo sistema de lagoa facultativa e bruto), para substituição na água de amassamento do concreto, visando inertizar o efluente potencialmente poluidor, além disso, beneficiar a construção civil agregando valor a utilização de componentes mais sustentáveis, abrangendo os aspectos econômicos, ambientais e sociais.

2. Metodologia

2.1. Programa Experimental

Na Figura 1, apresentam-se todas as etapas que foram realizadas no programa experimental, para tornar possível o objetivo deste trabalho.

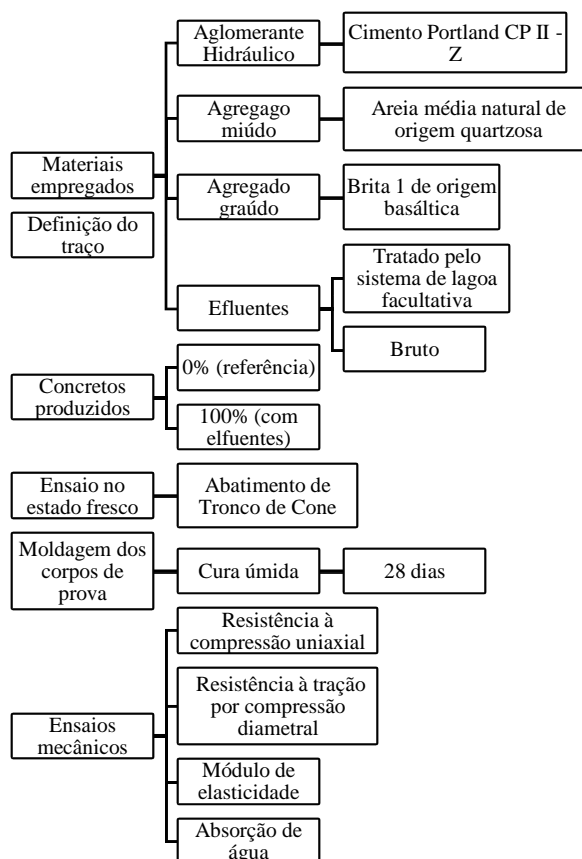


Figura 1 – Programa experimental

A seguir na Tabela 1, os ensaios que foram feitos, as respectivas normas seguidas e as quantidades de corpos de prova.

Tabela 1 - Ensaios e normativas.

Propriedades	NBR	N° CP'S		
		Referência	Efluente Tratado	Efluente Bruto
Resistência à compressão uniaxial	5739/2007	4	4	4
Resistência à tração por compressão diametral	7222/2011	4	4	4
Módulo de elasticidade	8522/2003	4	4	4
Absorção de água	9779/2012	4	4	4

2.2. Efluentes

Para a elaboração deste trabalho, utilizaram-se efluentes de esgoto industrial em dois estados: tratado pelo sistema de lagoa facultativa, cujo mecanismo de limpeza do efluente ocorreu em três zonas: anaeróbica, aeróbica e facultativa; e bruto (sem tratamento). Ambos em substituição total na água de amassamento do concreto. Os efluentes foram coletados na Estação de Tratamento de Esgotos (ETEs) da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus I, Erechim/RS. Na Figura 2, pode-se observar a diferença de cor entre a água potável e os efluentes coletados.

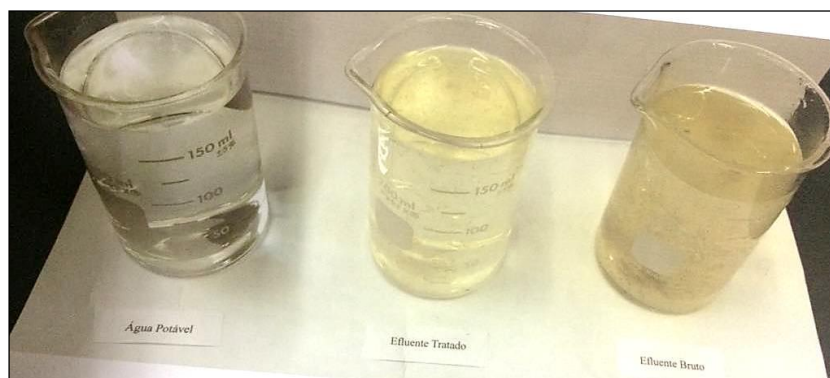


Figura 1 - Água potável, efluente tratado e efluente bruto.

Após a coleta dos efluentes na ETEs, os mesmos foram submetidos à caracterização físico-química em laboratório. Os resultados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios físico-químicos

Ensaio	Efluente Tratado	Efluente Bruto
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,3 x 10 ¹	> 1,6 x 10 ⁴
Cloretos (mg/L)	11,44	6,89
D.B.O (5 dias) (mg/L)	104,33	364,0
D.Q.O (mg/L)	231,62	461,21
Dureza Total (mg/L)	20,81	18,07
pH	5,46	6,98
Sulfatos (mg/L)	158,99	5,65
Sólidos Suspensos (mg/L)	72,0	170,0
Surfactantes (mg/L)	2,92	4,92

Segundo a NBR 15900-1 [3], que determina os requisitos da água para amassamento do concreto, a água para uso em concreto deve estar em conformidade com tais exigências:

- O teor de cloreto na água não deve exceder o limite de 4500 mg/L (para concreto simples). Onde neste trabalho (Tabela 2) se obteve 11,44 mg/L para o efluente tratado e 6,90 mg/L para o efluente bruto;
- Os ácidos devem satisfazer a condição de $\text{pH} \geq 5$. O efluente tratado atingiu um pH de 5,46 e o efluente bruto 6,98;
- O teor de sulfato não deve ultrapassar 2000 mg/L, logo, para o efluente tratado obteve-se 158,99 mg/L e para o efluente bruto 5,65 mg/L.

Conforme se observa na Tabela 2, os efluentes apresentam sólidos suspensos em suas composições nos valores de 72 e 170 mg/L, para o Efluente Tratado e Efluente Bruto, respectivamente. Segundo a NM 137 [4] – que especifica as características para a água destinada à preparação de argamassa e concreto de cimento Portland – o limite máximo de sólidos suspensos deve ser de 5000 mg/L, onde os resultados respeitaram o limite estabelecido em norma. Porém, faz-se necessário salientar que a água potável pode possuir quase nada ou até mesmo nada de sólido suspensos em sua constituição.

Ainda, a norma [3] estabelece que deve haver uma inspeção preliminar da água destinada ao amassamento de concreto. Não devendo apresentar mais do que traços visíveis de óleos e gorduras, espumas de detergentes devem desaparecer em 2 min, a cor deve ser comparada com a água potável devendo ser amarelo claro a incolor e a água deve ser inodora [3].

O parâmetro de Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O) foi utilizado para conhecer a concentração da carga orgânica existente nos efluentes. A D.B.O envolve a quantidade de oxigênio dissolvido usado pelos microrganismos para oxidação bioquímica da matéria orgânica. Consequentemente, o efluente bruto que não passou por tratamento, teve uma carga orgânica maior (364,0 mg/L) que o efluente tratado (104,33 mg/L).

Já a Demanda Química de Oxigênio (D.Q.O) foi usada para medir a quantidade de oxigênio equivalente para a oxidação química da matéria orgânica, por meio de um agente oxidante em meio ácido. Devido ao efluente bruto ter uma carga orgânica maior, gastou uma maior quantidade de oxigênio (461,21 mg/L) para realizar a oxidação da matéria orgânica do que o efluente tratado (231,62 mg/L).

Para avaliar as características biológicas dos efluentes, realizou-se o ensaio de coliformes totais, onde foi possível observar a quantidade de microrganismos que compõem os efluentes. Ficando evidente que o efluente tratado apresentou uma quantidade de coliformes totais significativamente menor (redução de 99,92%) que o efluente bruto, o qual não passou pelo sistema de lagoa facultativa.

Com base nas análises realizadas e inspeção preliminar dos efluentes, os mesmos obedeceram aos respectivos requisitos e ficaram aptos para serem usados na produção dos concretos.

2.3. Dosagem experimental

Usou-se o método de dosagem do IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian [5], por ser o mais utilizado em obras de engenharia para concretos convencionais. Os parâmetros utilizados foram à obtenção no estado fresco de um abatimento de tronco de cone de 100 ± 20 mm, segundo a NBR NM 67/1998 [6].

Conforme o método, produziram-se concretos com traços de 1:3,5 (traço rico), 1:5 (traço intermediário) e 1:6,5 (traço pobre), realizando ajustes até atingir um teor de argamassa ideal (α), capaz de proporcionar a melhor trabalhabilidade e coesão, bem como, um bom envolvimento dos agregados nas misturas e respeitando o abatimento estabelecido. Assim, encontrou-se um teor de argamassa ideal (α) de 52%. Após, obteve-se a resistência média do concreto construindo o Diagrama de Dosagem para o Cimento Portland, o qual é composto por quatro eixos: a tensão de dosagem do concreto aos 28 dias (F_c), a relação água/cimento (a/c), o traço unitário (m) e o consumo de cimento (C_c).

A partir do Diagrama de Dosagem alcançado e da relação fixa na resistência de 25 MPa, pode-se definir o traço de concreto para este trabalho. Obtendo os resultados mostrados na Tabela

3.

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizadas fôrmas cilíndricas de 10x20 cm, sendo essas metálicas, que visam à redução de perdas da pasta de cimento e da variabilidade dimensional. Após moldados e devidamente vibrados em mesa vibratória, os corpos de prova foram identificados, perfazendo um total de 48 corpos de prova. Após 24 horas, os mesmos puderam ser desmoldados e posteriormente dispostos em câmara úmida até completar a idade de cura de 28 dias para a realização dos ensaios mecânicos e de durabilidade.

Tabela 3 - Traço definido pela dosagem experimental

Relação a/c	M	Consumo de cimento (Kg/m ³)	α	Traço unitário			Quantidade de material (Kg)				
				C	A	P	C	A	P	Água (Kg)	Aditivo (%)
0,52	5	371,53	0,52	1	2,12	2,88	10,27	21,78	29,58	5,34	0,1

M – teor de materiais secos (M=A+P); A – areia; C – cimento; P – pedra.

2.4. Métodos de ensaios

Para o ensaio de resistência à compressão uniaxial, seguiu-se a NBR 5739/2007 [7], que prescreve um método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi baseado na NBR 7222/2011 [8], que designa o ensaio para obtenção de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassas e concretos.

Para o módulo de elasticidade, utilizou-se a NBR 8522/2008 [9], a qual preceitua a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto endurecido, em corpos de prova cilíndricos sob carregamento estático, à compressão axial simples, utilizando uma prensa hidráulica.

No ensaio de absorção de água no concreto, obedeceu-se a NBR 9779/2012 [10], a qual determina o ensaio para a absorção de água por capilaridade de argamassas e concretos endurecidos. A seguir na Figura 3, os ensaios mecânicos e de durabilidade realizados.



Figura 2 - Ensaios mecânicos e de durabilidade.

a - Resistência à compressão uniaxial; b - Resistência à tração por compressão diametral; c - Módulo de elasticidade; d - absorção de água.

Para maior confiabilidade nos dados, foi realizado um tratamento estatístico nos resultados desta pesquisa, por meio de aplicação do método de análise de variância simples (One Way ANOVA). Esta análise é proposta com significância estatística com 95% de confiança, usando o software STATISTICA 8.0, o qual buscou avaliar se os fatores de controle causam efeitos significativos na variável de resposta medida.

A fim de analisar se os dados obtidos na pesquisa são estatisticamente iguais ou diferentes, utilizou-se o teste de Tukey, que é um teste de comparação de média que consiste na construção de intervalos de confiança para todos os pares de médias de tal forma que o conjunto de todos os intervalos tenha um determinado grau de confiança.

3. Resultados e Discussões

3.1. Resistência à compressão uniaxial

A resistência à compressão uniaxial é a característica utilizada para relacionar a capacidade de um elemento em resistir a esforços, sem entrar em colapso. As médias da resistência à compressão foram obtidas através da média aritmética e desvio padrão. Os resultados se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão uniaxial aos 28 dias.

Substituições	Resistência à compressão uniaxial média (MPa)	Coefficiente de variação (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Água Potável	24,21	3,68	0,89
Efluente Tratado	21,41	5,85	1,25
Efluente Bruto	19,80	0,25	0,05

De acordo com a Tabela 4, pode-se perceber que as resistências à compressão uniaxial média nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto obtiveram um decréscimo de 11,56% e 18,21%, quando comparados com a Água Potável.

O mesmo comportamento pode ser observado no estudo de Asadollahfardi et al. [11], onde a resistência à compressão aos 21 dias de amostras de concreto produzido com efluente doméstico tratado por lagoa de aeração, com 300 kg/m³ e 350 kg/m³ de cimento, foram de 10,11% e 11,7% menores do que amostras de concreto com água potável. Por meio da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura, observaram que os concretos produzidos com águas residuais apresentaram maiores quantidades de elementos como sódio, cloro e enxofre do que os concretos com água potável, fator esse que contribuiu com o menor desempenho mecânico nessas amostras.

Raza et al. [12] analisaram amostras de concreto feitas com cinco tipos diferentes de efluentes, onde a água potável foi totalmente substituída por efluente, incluindo efluente doméstico, efluente de fábrica de fertilizantes, efluente de fábrica têxtil, efluente de fábrica de açúcar e efluente de estação de serviço. Com exceção do concreto produzido com efluente de fábrica têxtil, todos os concretos produzidos com os demais efluentes apresentaram resistências à compressão inferiores ao concreto de água potável, aos 28 dias. A mistura que apresentou a menor resistência foi a com efluente doméstico, 32% menor que a mistura de referência (água potável). Essa diminuição na resistência foi atribuída a um grande número de compostos orgânicos e sulfato no efluente doméstico, que reagem com os componentes do cimento e, assim, diminuem a resistência do concreto eventualmente.

Na Figura 4, verificam-se os resultados da influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre a resistência à compressão uniaxial dos concretos.

Observa-se no gráfico da Figura 4, que houve um decréscimo na resistência à compressão uniaxial do Efluente Tratado e do Efluente Bruto, com 21,41 MPa e 19,8 MPa, quando comparados com a Água Potável que obteve 24,21 MPa.

Por meio da análise do teste de Tukey – que avalia a diferença significativa entre duas médias de tratamento, mostrando se os dados obtidos na pesquisa são estatisticamente iguais ou diferentes e atestando que um teor pode ser substituído por outro sem perder suas características –, faz-se possível observar que a resistência à compressão do concreto com Efluente Tratado é estatisticamente igual aos valores de resistência dos concretos com Efluente Bruto e Água Potável. Porém quando se analisa estatisticamente o concreto com Efluente Bruto em comparação ao com Água Potável, percebe-se que a queda na resistência se fez significativa, interferindo nessa propriedade do concreto.

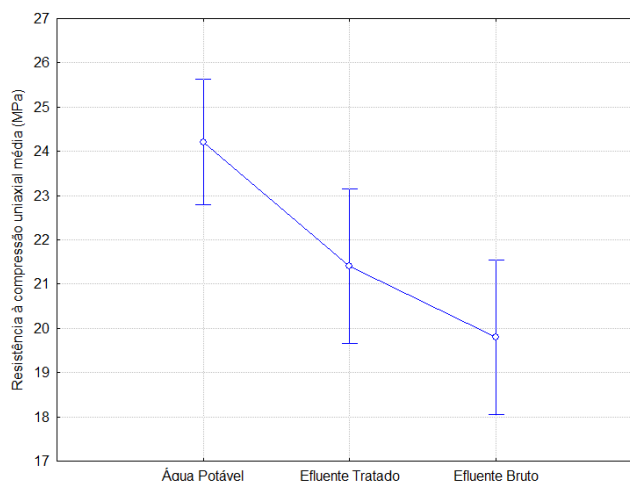


Figura 3 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto em comparação a Água Potável na compressão uniaxial dos concretos.

3.2. Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral é usado para obter de forma indireta a resistência à tração do material. Essa propriedade mecânica permite estimar a carga à qual ocorre fissuração em uma estrutura. As médias da resistência à tração foram obtidas através da média aritmética e desvio padrão. Os resultados obtidos se encontram a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

Substituições	Resistência à tração por compressão diametral média (MPa)	Coefficiente de variação (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Água Potável	3,00	3,56	0,11
Efluente Tratado	2,71	2,25	0,06
Efluente Bruto	2,37	0,60	0,01

Conforme a tabela 5 percebe-se que as resistências à tração por compressão diametral média nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto obtiveram um decréscimo de 9,67% e 21,0%, quando comparados à Água Potável.

A figura 5 apresenta os resultados da influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre a resistência à tração por compressão diametral dos concretos.

Analisa-se no gráfico da Figura 5, que houve um decréscimo na resistência à tração por compressão diametral entre a água potável, com 3,00 MPa e as substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto, com 2,71 MPa e 2,37 MPa, respectivamente.

Por meio do teste de Tukey, é plausível afirmar que os valores médios dos concretos com Água Potável, Efluente Tratado e Efluente Bruto são significativamente diferentes entre si.

As possíveis causas que podem ter gerado perdas nas resistências à tração por compressão diametral dos concretos com efluentes, podem ter sido pelo teor de sólidos dissolvidos, sólidos

suspensos e ainda, a presença de matéria orgânica que não foi totalmente estabilizada pelo oxigênio molecular.

Além disto, acredita-se que seria necessária uma maior idade de cura para avaliar os efeitos dos efluentes perante a resistência. Raza et al. [12] avaliaram as amostras de concreto com efluentes ao longo do tempo de 7, 28 e 90 dias. Onde para todas as amostras ocorreram ganhos na resistência à tração conforme aumento da idade de cura. Para o concreto produzido com efluente de fábrica têxtil a resistência foi de 2,14 MPa em 7 dias, 2,49 MPa em 28 dias e 3,04 MPa em 90 dias. Ghrair et al. [13], também obtiveram reduções nas resistências dos concretos com efluentes (tratado e bruto) em comparação ao concreto com água potável, porém observaram um desenvolvimento lento e contínuo das resistências por até 200 dias. A evolução na resistência para o efluente tratado foi de aproximadamente 28% de 28 a 200 dias e para o bruto foi de 30,3%, respectivamente.

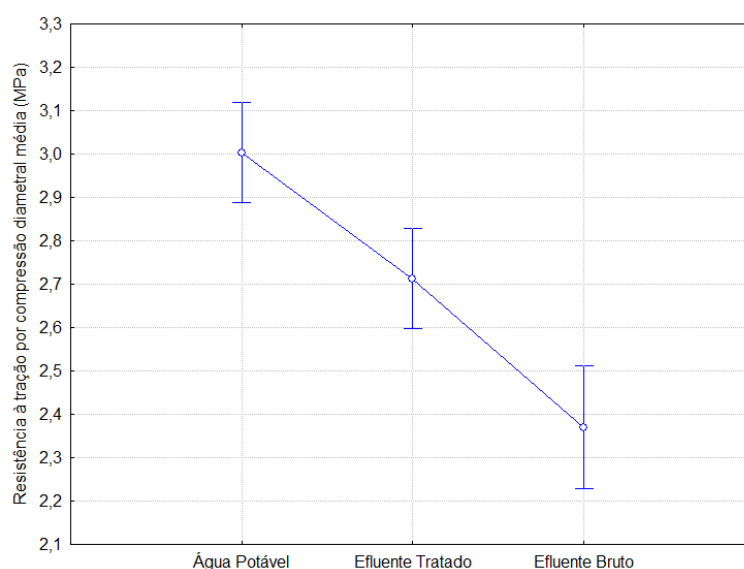


Figura 4 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto em comparação a Água Potável na tração por compressão diametral dos concretos.

3.3. Módulo de elasticidade

O ensaio de módulo de elasticidade é definido como a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado. As médias do módulo de elasticidade foram obtidas através da média aritmética e desvio padrão. Exibem-se os resultados na Tabela 6.

Tabela 6 - Médias do ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias

Substituições	Módulo de elasticidade média (GPa)	Coefficiente de variação (MPa)	Desvio Padrão (GPa)
Água Potável	35,10	8,22	2,88
Efluente Tratado	34,10	4,03	1,37
Efluente Bruto	31,27	3,20	1,00

Segundo observa-se na Tabela 6, o módulo de elasticidade médio nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto obtiveram um decréscimo de 2,84% e 10,91%, quando comparados a Água Potável.

Em seguida na Figura 6, apresentam-se os resultados da influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre o módulo de elasticidade.

Analisando o gráfico da Figura 6, percebe-se que houve um decréscimo no módulo de elasticidade das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto, com 34,1 GPa e 31,27 GPa,

quando comparados com a Água Potável com 35,1 GPa. Pode-se verificar que conforme aumentou o teor de sólidos suspensos na composição dos efluentes (Tratado: 72 mg/L; Bruto: 170 mg/L), diminuíram os valores de módulo. Abushanab e Alnahhal [14], relatam que a presença de sólidos suspensos na composição da água residual de amassamento do concreto, atrasam o processo de hidratação do cimento Portland e enfraquecem a camada de zona de transição interfacial entre os agregados e a matriz de cimento, consequentemente se obtêm um concreto com propriedades de resistência e durabilidade mais baixas do que o concreto com água potável.

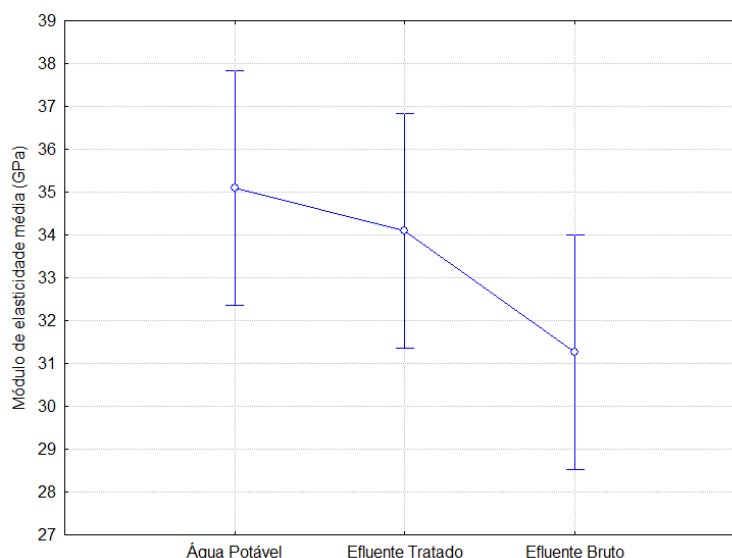


Figura 5 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto em comparação a Água Potável no módulo de elasticidade dos concretos.

Contudo, mediante análise do teste de *Tukey*, a substituição de Efluente Tratado e a de Efluente Bruto não apresentam diferenças significativas comparadas ao teor de referência, ou seja, são estatisticamente iguais entre si.

3.4. Absorção de água

O ensaio de absorção de água por capilaridade avalia a durabilidade do produto final, por meio do desvio padrão e coeficiente de variância, podem-se obter os valores médios de absorção de água (Tabela 7).

Tabela 7 - Médias do ensaio de absorção de água por capilaridade aos 28 dias.

Substituições	Absorção média de água 72h (g/cm ²)	Coefficiente de variação (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)
Água Potável	0,71	9,85	0,07
Efluente Tratado	0,79	17,72	0,14
Efluente Bruto	0,86	17,97	0,16

De acordo com a Tabela 7, pode-se perceber que a absorção de água por capilaridade média para as substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto, obtiveram acréscimos de 11,26% e 21,12%, quando comparados a Água Potável.

Por meio do método de variância simples, é possível observar na Figura 7, a influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre a absorção de água por capilaridade dos concretos.

Observa-se no gráfico da Figura 7, que houve um acréscimo na absorção de água nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto com 0,79 g/cm² e 0,86 g/cm², em relação à Água Potável com 0,71 g/cm².

O aumento na absorção de água nos concretos com efluentes está diretamente relacionado com as composições físico-químicas de cada um, como a presença de matéria orgânica e cloretos. À medida que o número de cloreto aumenta e/ou há presença de uma grande quantidade de matéria orgânica, a densidade do concreto diminui, representando diminuição da resistência à compressão e tração, juntamente com um aumento da proporção de poros no concreto, ocasionando uma maior absorção de água. A água é absorvida por esses resíduos durante o processo de mistura, depois é liberada durante a concretagem, aumentando a relação água/cimento e diminuindo a densidade do concreto [12].

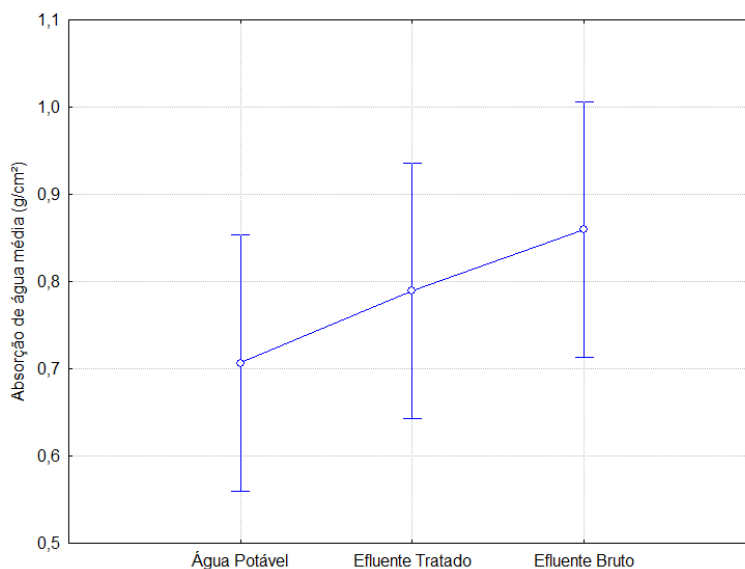


Figura 6 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto na absorção de água dos concretos.

Através do teste de Tukey, é possível afirmar que os valores médios dos concretos com Água Potável, Efluente Tratado e Efluente Bruto são estatisticamente iguais entre si, ou seja, esse aumento na absorção de água dos concretos com efluentes não foi significativo em comparação a Água Potável.

Esse comportamento também foi observado em outros estudos que produziram concretos com efluentes. Onde o aumento na absorção de água dos concretos produzidos com efluentes não foram significativos em comparação ao concreto de controle (água potável), não afetando a durabilidade dos concretos [11,13,12].

4. Considerações finais

Nesta pesquisa buscou-se analisar a viabilidade do uso de efluentes industriais, sendo estes, tratado e bruto em substituição total a água de amassamento para produção de concretos. Procurando uma maneira de racionalizar o uso de água e consequentemente reduzir os impactos ambientais causados pelo desperdício na construção civil.

Com base nos resultados expostos neste trabalho, os concretos com efluentes (tratado e bruto) apresentaram resultados inferiores em todas as análises realizadas se comparadas com a água potável. Porém quando é realizada a verificação estatística, os resultados do concreto com efluente tratado não mostraram diferenças significativas, ou seja, podem ser considerados estatisticamente iguais ao concreto com água potável, com exceção da propriedade de resistência à tração. Já o concreto com efluente bruto quando comparado com a água potável, apresenta diferenças significativas em suas propriedades mecânicas (resistência à compressão e à tração), porém valores estatisticamente iguais nas propriedades de durabilidade (módulo e absorção de água).

Sendo assim, pode-se afirmar que é possível obter concreto de boa qualidade utilizando efluentes de esgoto industrial no lugar de água potável. Entretanto, salienta-se a importância do

efluente passar pelos devidos tratamentos em Estações de Tratamento de Esgoto. Suas propriedades físico-químicas devem respeitar os limites estabelecidos pela NBR 15900-1/2009 [2] e NM 137/1997 [4], que prescrevem as características normativas para a água de amassamento do concreto. Por fim, ressalta-se a necessidade de mais estudos de cunho científico na área, viabilizando a utilização de efluentes de esgoto para produção de materiais cimentícios.

Referências

- [1] M. Delnavaz, A. Sahraei, A. Delnavaz, R. Farokhzad, S. Amiri, S. Bozorgmehrnia, Production of concrete using reclaimed water from a ready-mix concrete batching plant: Life cycle assessment (LCA), mechanical and durability properties, *J. Build. Eng.*, 45 (2022) 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103560>.
- [2] D.D.N. Oliveira, E.S. Almeida, L.S.P. Cardoso, J.D. Viana, Produção de blocos de concreto empregando efluente tratado por lodos ativados e por lagoas de estabilização, *Ver. Virtual Quim.*, 8 (2016) 1054-1066. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20160075>.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15900-1:2009, Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos, 2009.
- [4] Asociación Mercosur de Normalización (AMN). NM 137:1997, Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland, 1997.
- [5] P. Helene, P. Terzian, Manual de Dosagem e Controle do Concreto, PINI, São Paulo, 1992.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 67:1998, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5739:2018, Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, 2018.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7222:2011, Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico, 2011.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 8522:2017, Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão, 2017.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 9779:2012, Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade, 2012.
- [11] G. Asadollahfardi, M. Delnavaz, V. Rashnoiee, A. Fazeli, N. Gonabadi, Dataset of producing and curing concrete using domestic treated wastewater, *Data Br.*, 6 (2016) 316-325. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.12.020>.
- [12] A. Raza, U. Rafique, F. Ul Haq, Mechanical and durability behavior of recycled aggregate concrete made with different kinds of wastewater, *J. Build. Eng.*, 34 (2021) 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101950>.
- [13] A.M. Ghrair, O.A. Al-Mashaqbeh, M.K. Sarireh, N. Al-Kouz, M. Farfoura, S.B. Megdal, Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes, *Ain Shams Eng. J.* 9 (2018) 1519-1525. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.005>.
- [14] A. Abushanab; W. Alnahhal, Performance of sustainable concrete incorporating treated domestic wastewater, RCA, and fly ash, *Constr. Build. Mater.*, 329 (2022) 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127118>.

ORCID

- A. Zaleski 0000-0002-4005-9950 (<https://orcid.org/0000-0002-4005-9950>)
B. Marangoni 0000-0002-0551-2297 (<https://orcid.org/0000-0002-0551-2297>)
S.C. Vanzetto 0000-0002-5942-548X (<https://orcid.org/0000-0002-5942-548X>)