

Uso do lodo residual da estação de tratamento de água em matriz de concreto para construção verde

Giovanna Lenza de Sousa¹, Adler Ernesto de Lima Ferreira², Pedro Henrique do Nascimento Pereira^{3*}, José Waldir de Sousa Filho¹, Monica Hitomi Okura⁴ e Geoffroy Roger Pointer Malpass⁴

¹Aluna(o) do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

²Técnico em Edificações, Central de Laboratórios do ICTE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

³Aluno do Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. (*Autor correspondente: pedrohenriquenasc@hotmail.com)

⁴Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 28/06/2022 – Revisado em: 14/09/2022 – Aceito em: 13/10/2022

RESUMO

A correta disposição de resíduos sólidos é inerente à política de saneamento básico e deve ser estendida a toda a sociedade. O tratamento de água para consumo humano utiliza de reagentes químicos que auxiliam na geração do lodo de estação de tratamento de água (ETA) sendo a remoção e tratamento desse material realizado por raspadores de fundo e casas de desidratação e o material seco levado aos aterros sem utilização aparente além também de ser descartado de forma inadequada. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar uma alternativa de aproveitamento do lodo gerado na ETA incorporando o mesmo em uma matriz de concreto para que possa ser utilizado na construção civil. Ensaios foram realizados seguindo metodologias descritas por normas técnicas brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) utilizando concreto e lodo nas proporções de 1,22, 1,54 e 1,78%, além de caracterizações físico-químicas e testes microbiológicos. Ao final dos ensaios verificou-se que este material se mostrou bastante promissor para ser incorporado no concreto reduzindo assim um passivo ambiental além de ser economicamente viável.

Palavras-Chaves: Lodo, Tratamento de água, Construção verde.

Use of residual mud from water treatment station in concrete matrix for green construction

ABSTRACT

The correct disposal of solid waste is inherent to the basic sanitation policy and must be extended to the entire society. The treatment of water for human consumption uses chemical reagents that assist the generation of sludge from a water treatment station (WTS), with the removal and treatment of this material being carried out by bottom scrapers and dewatering houses and the dry material taken to landfills without apparent use in addition to also being discarded inappropriately. Therefore, the objective of this work was to evaluate an alternative to use the sludge generated at the WTS, incorporating it into a concrete matrix so that it can be used in civil construction. Tests were carried out following methodologies described by Brazilian technical standards (BTS) of the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) using concrete and sludge in the proportions of 1.22, 1.54 and 1.78%, in addition to physical-chemical characterizations and microbiological tests. At the end of this work, it was found that this material was very promising to be incorporated into concrete, thus reducing an environmental liability in addition to being economically viable.

Keywords: Sludge, Water treatment, Green construction.

Sousa, G. L. de, Ferreira, A. E. de L., Pereira, P. H. do N., Filho, J. W. de S., Okura, M. H., Malpass, G. R. P. (2023). Uso do lodo residual da estação de tratamento de água em matriz de concreto para construção verde. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.11, n.1, p.51-61.



1. Introdução

As Estações de Tratamento de água (ETA) em sua maioria utilizam o tratamento com ciclo completo, onde a água, antes de ser encaminhada para o cidadão, passa pelo processo de coagulação, floculação, decantação e filtração. Essas operações são necessárias para que se adeque aos parâmetros de potabilidade exigidos pela legislação de cada país, que no caso do Brasil, segue a Portaria de Consolidação N° 5 do Ministério da Saúde de 2017 (Portaria de Consolidação N° 5, DE 28 de setembro de 2017, 2017; Hasan et al., 2020).

Como o aumento do consumo de água é proporcional ao crescimento populacional e sendo o tratamento de água um processo industrial em grande escala, o chamado lodo de ETA, que é um resíduo sólido não inerte de acordo com a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), tem seu volume crescido vertiginosamente. Neste sentido, a lei 6938/1981, cita que o descarte do lodo in natura nos cursos d'água é considerado crime ambiental, devendo haver uma adequação antes do descarte final desse resíduo (Política Nacional do Meio Ambiente, 1981; Benlalla et al., 2015; Fernandez et al., 2018; Godoy et al., 2019).

O gerenciamento desse resíduo é de operação complexa uma vez que ele é recuperado como uma torta úmida o que acarreta dificuldade em manuseio e transporte (Gomes et al., 2019). Com o intuito de reduzir o volume gerado de lodo alguns métodos podem ser aplicados sendo eles naturais – leitos de secagem de areia e lagoas, ou de forma mecanizada – centrifugas, prensas ou filtração a vácuo (Mymrin et al., 2017), e mesmo com a redução do volume, esses resíduos ainda se apresentam como um desafio ambiental e econômico (Liu et al., 2020). De acordo com dados do IBGE, a maior destinação do lodo no Brasil são os rios, seguindo por terrenos baldios, aterros sanitários além de outras opções (IBGE, 2010).

Sabe-se que a construção civil é uma das indústrias que mais utilizam recursos naturais para fabricação de seus materiais, causando um impacto negativo ao meio ambiente, um exemplo disso é a exploração mineral (argila, areia, pedra). Dessa maneira, o desenvolvimento de materiais com incorporação do lodo de ETA é uma alternativa para reduzir o consumo de matérias primas e dar um destino adequado para os resíduos, diminuindo o impacto ambiental associado com esses dois setores importantes (Godoy et al., 2019; Gomes et al., 2019).

Dessa forma, tendo necessidade de reduzir a demanda por recursos naturais e reaproveitar materiais residuais, o objetivo desse trabalho é avaliar o uso do lodo residual de ETA em matriz de concreto como possível substituto do agregado miúdo.

2. Material e Métodos

A coleta do lodo se deu na descarga de fundo dos tanques de decantação da ETA em consonância com a programação de manutenção da unidade industrial. O armazenamento foi realizado em oito recipientes com capacidade de 20 litros cada.

As coletas se deram em diferentes meses para abranger o ciclo sazonal do tratamento de água. Com isso, se tem uma maior abrangência quanto à consistência do lodo e contemplando qualquer modificação nas características no tratamento de água que pode vir a interferir na composição físico-química do lodo residual.

2.1 Agente aglomerante e agregados utilizados

O agente aglomerante utilizado foi cimento do tipo Portland (CP – II – F – 32), da marca CSN (Companhia Siderúrgica Nacional). As propriedades físico-químicas do cimento, descritas pelo fornecedor são: Um pó de cor cinza com massa específica aparente de 1,2 g/cm³, densidade de 2,99 g/cm³, solubilidade em ácido clorídrico de 99%, solubilidade em água de 1,5 g/l e pH 13.

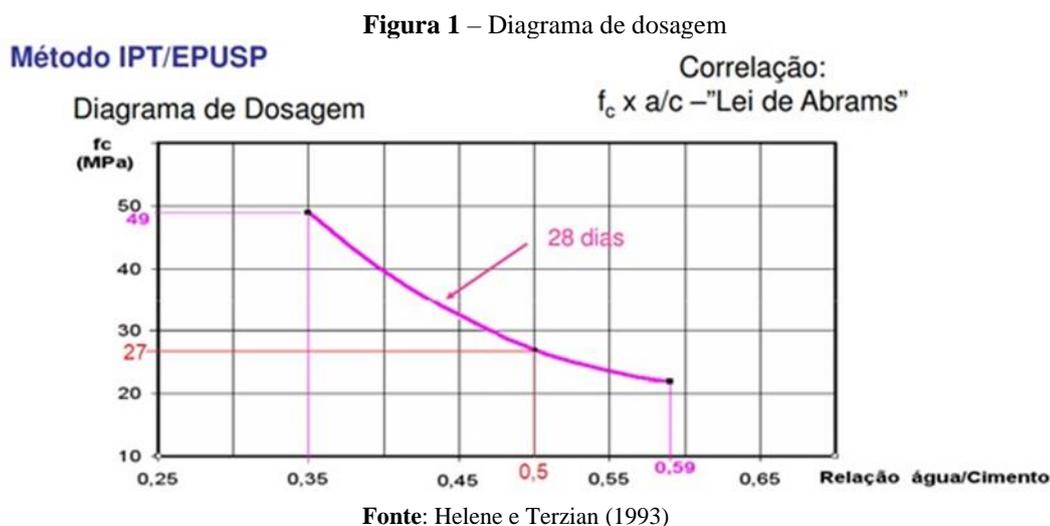
Foi ainda utilizado na confecção do concreto, areia lavada, com diâmetro máximo de 1,2 mm, modulo de finura de 1,47 mm, massa específica 2,386 g/cm³, massa específica agregada saturada 2,376 g/cm³, massa

específica aparente do agregado seco $2,368 \text{ g/cm}^3$ e teor de umidade de 1,602%, como agregado miúdo e pedra britada número 1 como agregado graúdo, os agregados utilizados são da região do Triângulo Mineiro no entorno da cidade de Uberaba – MG.

2.2 Estudo de incorporação do lodo da ETA

Em um primeiro momento, realizaram-se as determinações da umidade dos agregados (miúdos e graúdos), por intermédio da pesagem desse material, relativo ao período de secagem, sendo determinada a massa inicial e a massa final. Isso foi feito para que houvesse a quantificação adequada da massa de água presente na amostra. Todo esse procedimento é prévio à dosagem ideal do lodo.

A confecção de uma amostra de concreto de referência, sem adição do lodo, foi realizada tendo como parâmetro a tabela de traços intermediários seguindo a metodologia descrita por Helene e Terzian (1993). A dosagem adotada refere-se a um traço base de proporção de cimento e agregados 1:5. No método adotado, considera-se o traço base aquele no qual o consumo de cimento é intermediário. Adotou-se o traço de 1:1,94:3,06, e fator água/cimento (a/c) de 0,5, ambos em massa (kg). Para esta dosagem, segundo correlação expressa na curva apresentada pela Lei de Abrams, expecta-se uma resistência a compressão de 27 MPa aos 28 dias, conforme demonstrado na Figura 1. Para o traço foram utilizados 20 kg de cimento, 38,8 kg de areia, 61,2 kg de brita.



O teste de consistência e trabalhabilidade do concreto foram realizados utilizando o teste do slump, descrito pela ABNT NBR 16889:2020 (ABNT, 2020) sendo que quanto maior forem os resultados, maior será a fluidez do concreto.

Cimento, areia e brita foram pesados em uma balança digital, com precisão de 10 g da marca MARTE, misturados em uma betoneira marca SUPER, modelo MB com capacidade de 400 litros. Antes de adicionar os insumos foi realizada a imprimação da betoneira procedimento este realizado para evitar a perda de água de amassamento e argamassa para as paredes internas do equipamento. A betoneira então foi ativada por um minuto. Logo após a primeira etapa foi adicionado o agregado miúdo (areia) e a betoneira foi acionada por mais um minuto. Então, adicionou-se o aglomerante e restante da água deixando a betoneira acionada por mais três minutos. Por fim a mistura feita previamente de água com o lodo foi adicionada a essa mistura final agitada. Ao término do tempo o concreto foi retirado da betoneira e submetido a ensaio de slump.

Para os concretos com lodo de ETA, o mesmo traço do concreto de referência foi adotado, possibilitando assim uma comparação entre os resultados encontrados. A porcentagem de material acrescentado de lodo foi retirada do peso seco da areia. Foram fabricados três concretos incorporados com o lodo da ETA, com teores de 1,22% (Faixa 1), 1,54% (Faixa 2) e 1,78% (Faixa 3) de matéria sólida em relação à água, substituindo parte do peso com agregado miúdo (areia). Para cada idade de concreto fabricado, 3, 7, 21 e 28 dias, foram confeccionados trinta corpos de prova, considerando uma margem para perda, sendo necessários vinte e quatro e seis excedentes. Os corpos de prova foram construídos com dimensões cilíndricas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. A cura dos corpos de prova foi feita seguindo a NBR 5738:2015 (ABNT, 2015a).

Foram feitos ainda testes para determinação da resistência mecânica a tração diametral e compressão axial simples. Executou-se a metodologia para estes ensaios de acordo com a NBR 5739:2018 (ABNT, 2018) em prensa servo-hidráulica automatizada com capacidade de 20 toneladas da marca CONTENCO modelo HD-200T. Para cada ensaio foram rompidos três corpos de prova para cada idade e traço.

2.3 Análises físico-químicas

Para avaliar a dosagem de lodo e a trabalhabilidade do concreto, foram realizadas análises de pH, turbidez, umidade, massa específica, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais. As análises de pH, turbidez, sólidos totais, e DQO foram realizadas conforme metodologias do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (Baird et al., 2017). O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado utilizando um peagâmetro da Chematest 25. A determinação da turbidez foi realizada pelo turbidímetro de bancada HACH 2100Q sendo feitas diluições do lodo com água destilada, nas proporções de 1:10 para possibilitar a leitura no turbidímetro. A DQO foi determinada utilizando o termo digestor HACH DRB 200 com subsequente leitura no espectrofotômetro Hach DR 6000. A massa específica foi determinada utilizando de balança analítica modelo Aty 224 - Shimadzu e de picnômetro para determinação do volume. Para os ensaios de umidade, utilizou-se à metodologia descrita por Hoppen et al. (2005).

2.4 Análises microbiológicas

Vinte e cinco gramas da amostra de lodo foram diluídas em 250 ml de água peptonada a 0,1%, considerando esta como a diluição 10-1. Em seguida, pipetou-se desta diluição, 1 mL de amostra que foi adicionada em um tubo contendo 9 mL de água peptonada a 0,1% considerando esta como diluição 10-2 e por fim, pipetou-se 1 mL desta última diluição para outro tubo contendo 9 mL de água peptonada a 0,1% considerando esta como a diluição 10-3.

Para a determinação de coliformes totais e coliformes termotolerantes, pipetou-se 1 mL de cada diluição (10-1, 10-2 e 10-3) em tubo contendo 9 mL de lauril sulfato triptose (LST), cada diluição em triplicata e incubou-se os tubos a 37° C por 24 a 48 horas. Quando confirmado a presença de gás, foi transferido uma alçada pra os tubos contendo 9 mL de verde bile brilhante (VB) e 5 ml de Caldo EC médium (EC). O VB foi incubado a 37° C por 24/48 horas e o EC foi incubado a 45° C por 24 a 48 horas. Os tubos com produção de gás foram considerados positivos.

Na contagem padrão em placas (cpp) de anaeróbios facultativos, pipetou-se 1 mL de cada diluição (10-1, 10-2 e 10-3) em placas de Petri em seguida acrescentou-se o Plate Count Agar (PCA) sobre a amostra. As placas foram incubadas a 37° C por 48 horas.

3. Resultados e Discussão

As análises microbiológicas do lodo para coliformes totais e coliformes termotolerantes indicaram que não houve presença desses microrganismos nas amostras analisadas.

Os resultados da caracterização físico-química do lodo estão apresentados na Tabela 1. Conforme se pode observar, o pH obtido está próximo da neutralidade estando dentro da faixa indicado por Richter (2001), que expõe que lodos com adição de coagulante de alumínio tem pH variando de 6-8. Valores semelhantes dentro deste intervalo também foram encontrados por Tafarel et al. (2016), Ramirez et al. (2017) e Fernandez et al. (2018). Dessa forma o lodo em estudo, se encontra dentro do valor definido pela NM 137:1997 que estabelece que o pH possa variar entre 5,5-9,0 (ABNT, 1998).

Tabela 1 – Resultados da caracterização físico-química

Parâmetro	Valor	Sem diluição	Unidade
Turbidez	26,10	261,00	NTU
DQO	68,00	136,00	mg.L ⁻¹
Sólidos totais	500,00	6500,00	mg.L ⁻¹
Sólidos fixos	240,00	3120,00	mg.L ⁻¹
Temperatura	24,00	-	°C
pH	7,83	-	-

A turbidez média encontrada foi de 261 NTU sendo que Tafarel et al. (2016), encontraram valor médio para o lodo in natura de 715 NTU. Com isso, constata-se que a solução de lodo em estudo possui menor quantidade de material particulado, que está relacionado às características da água do manancial de captação. A DQO teve um valor médio de 136 mg.L⁻¹, estando dentro dos valores demonstrado por Richter (2001), para lodos com adição de alumínio, que pode variar de 30-300 mg.L⁻¹.

Ainda de acordo com Richter (2001), o teor de sólidos totais pode variar entre 1000 e 40000 mg.L⁻¹ (0,1 a 4 %), desses valores, 75-90% representam sólidos suspensos e 20-35% sólidos voláteis. Diante disso, o valor médio de 6500 mg.L⁻¹ (0,65%) encontrado nas análises encontra-se dentro do esperado, no entanto, acima dos requisitos químicos para água de amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland recomendando pela NM 137:1997 (1998), que limita os sólidos totais em 5000 mg.L⁻¹. A média da temperatura encontrada foi de 24°C, estando dentro dos valores estipulados de 21 a 25°C, para a fabricação de concreto conforme descrito na NBR 7215:2019 (ABNT, 2019).

A média de umidade encontrada no lodo (in natura) foi de 95%, valor considerado dentro do esperado uma vez que a coleta foi feita diretamente no tanque de decantação sem o lodo passar por processo de centrifugação ou secagem. Fernandez et al. (2018), em sua pesquisa cujo objetivo era analisar a viabilidade técnica da utilização de lodo in natura no processo de fabricação de peças de concreto para pavimentação, o material utilizado também era úmido sendo o teor médio reportado de 87,4%. No trabalho desenvolvido por Tafarel et al. (2016) os autores encontraram valor de umidade bem próximo ao encontrado, de 86,39%, porém não sendo in natura e sim na forma adensada.

A consistência do concreto fresco, medida pelo abatimento do tronco de cone, apresentou uma variação, de 50% entre o concreto de referência e o concreto com lodo faixa 1, conforme valores apresentados na Tabela 2, partindo de 60 mm no concreto referência para 30 mm no concreto com a mistura do lodo. Essa variação na trabalhabilidade se deu pelo fato de que o lodo é constituído por material mais fino, dessa forma tem maior superfície específica que a areia substituída, aumentando o consumo de água. Os traços com a presença do lodo apresentaram consistência mais seca, o que foi evidenciado por Fernandez et al. (2018), que segundo a pesquisa que desenvolveram, a consistência do concreto produzido com o lodo úmido se justifica pelo fato da viscosidade irregular do lodo impedir a suspensão de maneira uniforme e homogênea das partículas sólidas durante o processo de hidratação do cimento.

Tabela 2 – Resultados do teste de slump

Concreto	Slump (mm)
Referência (0,00%)	60
Faixa 1 (1,22%)	30
Faixa 2 (1,54%)	40
Faixa 3 (1,78%)	40

Em comparação com o concreto faixa 1, o concreto faixa 2 e 3 não tiveram variações expressivas na consistência, tendo como média 37 mm de abatimento, apresentando a mesma característica mais seca em relação ao concreto de referência. No trabalho de Hoppen et al. (2005) misturas com 7% a 10% do lodo mostraram uma grande dificuldade no adensamento, com abatimento variando de 6 mm a 0 mm, sendo necessário a utilização de mesa vibratória o que acarreta aumento de custos na produção do concreto. Para eles, misturas com até 5% podem ser utilizadas em aplicações em blocos, peças e artefatos de concreto.

Devido à característica úmida apresentada pelo lodo, a porcentagem de agregado miúdo substituída foi menor do que o esperado, utilizou-se então de acordo com o traço definido 38,8 kg de areia para o concreto referência, em sequência, substituindo a porcentagem encontrada de material sólido apresentado no lodo, utilizou-se 38,33 kg para o concreto denominado faixa 1, 38,2 kg para o concreto faixa 2 e 38,11 kg para o concreto faixa 3, o que resultou em uma redução de aproximadamente 1% de areia em relação ao concreto de referência.

O fato de o lodo apresentar alta porcentagem de água, o material seria apropriado para substituição para a água potável que seria utilizada para o amassamento do concreto, desde que se enquadre nos parâmetros da NBR 15900:2009 – Água para amassamento do concreto (ABNT, 2009).

Tabela 3 – Resultados do teste de slump

Concreto	Valor	Unidade
Acidez	150,400	mg.L ⁻¹
Alcalinidade carbonatos	0,000	mg.L ⁻¹
Alcalinidade bicarbonatos	99,400	mg.L ⁻¹
Alcalinidade hidróxidos	0,000	mg.L ⁻¹
Cloreto	107,180	mg.L ⁻¹
Cor aparente	378,000	µH
Fosfato	9,880	mg.L ⁻¹
Nitrato	0,399	mg.L ⁻¹
Sulfato	36,540	mg.L ⁻¹
Surfactante	0,198	mg.L ⁻¹
Zinco	0,300	mg.L ⁻¹

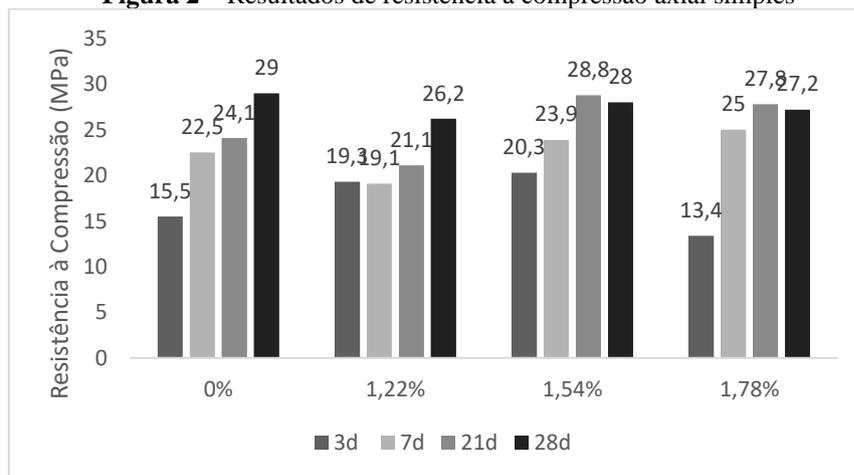
De acordo com os resultados das análises da água de amassamento proveniente do lodo descritos na Tabela 3 e a norma NBR 15900:2009 (ABNT, 2009), o teor de cloreto não deve exceder aos limites de 4500 mg.L⁻¹ para concreto simples (sem armadura) que é a finalidade do trabalho, sendo que no ensaio feito com a mistura o valor encontrado foi de 107,18 mg.L⁻¹ muito abaixo do limite estabelecido pela norma. Já para o teor de sulfato na água o limite não deve exceder a 2000 mg.L⁻¹, o valor encontrado na análise foi de 36,54 mg.L⁻¹. Em relação aos álcalis, a norma estabelece que o equivalente alcalino de óxido de sódio não deve exceder 1500 mg.L⁻¹, o valor encontrado foi de 99,4 mg.L⁻¹ de alcalinidade bicarbonato, não encontrado alcalinidade de carbonatos e hidróxidos. A contaminação por substâncias como açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo e zinco podem alterar o tempo de pega e a resistência do concreto, conforme demonstrado na Tabela 3, foram encontrados valores de fosfato, nitrato, zinco respectivamente de 9,88; 0,399; 0,3 mg.L⁻¹, estando abaixo do teor máximo permitido pela norma que estabelece que o valores máximos de 100 mg.L⁻¹ para fosfato, 500 mg.L⁻¹ para nitratos e 100 mg.L⁻¹ para zinco.

Outro quesito considerado pela norma para avaliar se a água é usual para amassamento de concreto, é a resistência média à compressão nos dias 7 e 28, tendo que alcançar pelo menos 90% da resistência a compressão média dos corpos de prova de um concreto referência. Aos 7 dias o concreto referência apresentou uma resistência média a compressão de 22,5 MPa, sendo o concreto faixa 1 de 19,1 MPa, com esse valor correspondente a aproximadamente 1% em relação ao concreto de referência. Aos 28 dias, esse mesmo concreto referência atingiu uma resistência média a compressão de 29 MPa e o concreto faixa 1, um resultado médio de 26,2 MPa, dessa forma, observa-se que foi possível alcançar 90% de resistência em relação ao concreto referência.

O mesmo pode ser observado no concreto faixa 2 que atingiu aos 7 dias uma resistência média a compressão de 23,9 MPa. Aos 28 dias, atingiu um resultado médio de compressão de 28 MPa, também alcançando os 90% de resistência requeridos pela norma. Por fim o concreto faixa 3 apresentou aos 7 dias uma resistência média a compressão de 25 MPa. Aos 28 dias, o resultado médio atingido foi de 27,2 MPa, alcançando também os 90% de resistência requeridos na norma.

Resultados de resistência à compressão axial simples obtidas aos 3, 7, 21 e 28 dias são demonstrados na Figura 2 onde apesar de se ter utilizado a mistura do lodo como água de amassamento os resultados obtidos com os ensaios mecânicos ficaram dentro dos limites aceito pela NBR 8953:2015 (ABNT, 2015b, p. 2015).

Figura 2 – Resultados de resistência à compressão axial simples

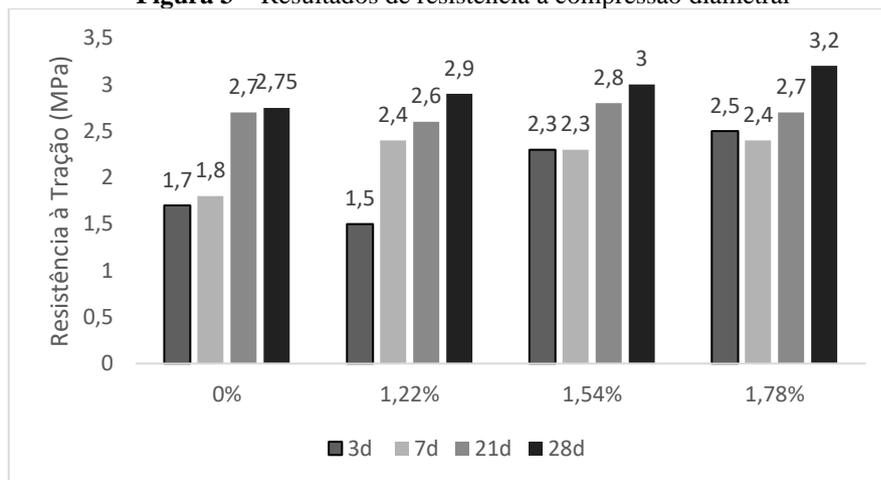


Os dados se referem ao valor médio das resistências obtidas de três rupturas para cada idade, sendo que a maior variação entre as resistências se deu entre o concreto referência e o concreto faixa 1,

respectivamente, resultando aos 28 dias um valor médio de 29 MPa e 23,3 Mpa. Essa maior variação pode ser explicada pelo fato de o concreto faixa 1 apresentar quantidade de água pouco superior aos concretos faixa 2 e concreto faixa 3. Comparando-se as tensões de ruptura dos traços que contêm o lodo com a do concreto referência observou-se que aos 7 dias, a resistência a compressão atingiu valores acima de 20 MPa. Caso fossem considerados apenas os valores de resistência mecânica obtidos pode-se afirmar que a utilização dos concretos incorporados com o lodo seria apropriada, no entanto, testes de outra natureza como, por exemplo, durabilidade e modulo de deformação estática se mostram imperativos.

Na Figura 3, estão demonstrados os resultados médios obtidos para o ensaio de tração por compressão diametral. Neles pode-se observar que a resistência média foi aumentando conforme foi adicionado o material com o lodo, e que o mesmo pode ser observado no trabalho reportado por Tafarel et al. (2016), que observaram um aumento de 11% com a adição de 5% de lodo a matriz de concreto e diminuição de 13% com a adição de 10% de lodo.

Figura 3 – Resultados de resistência à compressão diametral



Em comparação com o concreto de referência, o concreto produzido com o lodo de ETA, apresenta vantagens como economia de água potável, o que antes era um passivo ambiental se torna matéria prima na cadeia industrial da construção civil, o que reduz o uso das matérias primas naturais e sua exploração. O resíduo deixa de ser enviado para estações de tratamento de esgoto, fazendo com que haja uma redução na demanda de por essas unidades. O material utilizado foi retirado em sua forma natural do fundo da bacia de decantação e aplicado em seguida no concreto, eliminando processos de tratamento entre a coleta e a aplicação, no entanto, não se conhece ainda sua realidade aplicada ao concreto no longo prazo, principalmente quando voltado para estruturas de concreto armado. Outro ponto a ser considerado é a consistência/trabalhabilidade do concreto com adição do lodo, se apresentando mais seco, o que dificulta a aplicabilidade, fato que poderia ser corrigido com ajuda de plastificantes, porém não se conhece até o momento os efeitos que o lodo produziria adicionado com esse agente.

Outros estudos disponíveis na literatura ratificam o grande potencial e versatilidade desse material, como por exemplo, o uso como solo-base na pavimentação de estradas, adsorção de poluentes, e na composição de matéria-prima para fabricação de cerâmicas o que também ilustra o impacto benéfico para o meio ambiente tanto diretamente (adsorção de poluentes) quanto indiretamente (economia de recursos) (Coelho et al., 2015; Pinheiro et al., 2014; Urban et al., 2019).

4. Conclusão

Apesar dos corpos de prova não terem alcançado todos os parâmetros exigidos pela NBR 15900:2009 (2009, p. 2009) a resistência dos concretos faixa 1, faixa 2 e faixa 3 ficaram acima dos 90% estipulados como critério de utilização da mistura como água de amassamento. A incorporação de lodo foi menor do que 2% em relação ao peso seco da areia no concreto resultando em valores de resistência à superiores a 20 MPa, estipulado como valor mínimo para concretos estruturais na NBR 8953:2015 (2015b), no entanto, apesar de mostrarem valores promissores para o emprego do material em concreto estrutural não se tem conhecimento do seu comportamento em relação do tempo nem em relação ao aço utilizado sendo a análise dessa imperativa a análise dessas e outras variáveis.

Uma das hipóteses para explicar a menor queda na tração por compressão diametral e que com o acréscimo de lodo ao concreto é possível de se ter obtido uma reação de alumino silicatos presentes no lodo com o hidróxido de cálcio presente no cimento Portland, agindo de forma mais efetivas nos poros, fazendo uma intercomunicação mais efetiva semelhante á uma fibra.

Houve redução no consumo de areia, tais reduções não foram significativas dentro do ensaio, mas para aplicações fora dos padrões de laboratório podem diminuir o impacto ambiental pela diminuição da exploração de recursos minerais. A utilização do lodo de ETA pela construção civil pode contribuir de maneira a solucionar o problema de destinação final do resíduo, o uso pode ser considerado uma alternativa interessante do ponto de vista ambiental, principalmente na economia de água potável.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEMIG, CAPES e CNPq.

6. Referências

ABNT. (1998). **NM 137:1997: Argamassa e concreto—Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland.** (Norma Técnica NM 137:1997). Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. (2004). **ABNT NBR 10004:2004: Resíduos sólidos—Classificação.** (Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004). Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. (2009). **ABNT NBR 15900-1:2009: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos.** (Norma Técnica ABNT NBR 15900-1:2009). Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. (2015a). **ABNT NBR 5738:2015 Versão Corrigida:2016: Concreto—Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** (Norma Técnica ABNT NBR 5738:2015 Versão Corrigida:2016). ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. (2015b). **ABNT NBR 8953:2015: Concreto para fins estruturais—Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** (Norma Técnica ABNT NBR 8953:2015). Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. (2018). **NBR 5739/2018: Concreto—Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** (Norma Técnica NBR 5739/2018). Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. (2019). **ABNT NBR 7215:2019: Cimento Portland—Determinação da resistência à compressão**

de corpos de prova cilíndricos. (Norma Técnica ABNT NBR 7215:2019). Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. (2020). **ABNT NBR 16889:2020: Concreto—Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** (Norma Técnica ABNT NBR 16889:2020). ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (Orgs.). (2017). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** (23^o ed). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Benlalla, A., Elmoussaouiti, M., Dahhou, M., & Assafi, M. (2015). Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science**, 118, 171–177.

BRASIL. **Portaria de Consolidação Nº 5, DE 28 de setembro de 2017, nº 5 de 28 de setembro de 2017, 926 (2017).** Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acessado em: 02/10/2021.

//

BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente, nº Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (1981).** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm. Acessado em: 02/10/2021.

Coelho, R. V., Tahira, F. S., Fernandes, F., Fontenele, H. B., & Teixeira, R. S. (2015). Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 10(2), Article 2.

Fernandez, L. P., Mikowski, P. C. B., Macioski, G., Nagalli, A., & Freire, F. B. (2018). Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, 23.

Godoy, L. G. G. de, Rohden, A. B., Garcez, M. R., Costa, E. B. da, Da Dalt, S., & Andrade, J. J. de O. (2019). Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. **Construction and Building Materials**, 223, 939–950.

Gomes, S. D. C., Zhou, J. L., Li, W., & Long, G. (2019). Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, 145, 148–159.

Hasan, H. A., Muhammad, M. H., & Ismail, N. 'Izzati. (2020). A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. **Journal of Water Process Engineering**, 33, 101035.

Helene, P. R. L., & Terzian, P. (1993). **Manual de dosagem e controle do concreto.** Pini.

Hoppen, C., Portella, K. F., Joukoski, A., Baron, O., Franck, R., Sales, A., Andreoli, C. V., & Paulon, V. A. (2005). Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: Método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica**, 51, 85–95.

IBGE. (2010). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico* Governamental. **SIDRA - IBGE (Instituto**

Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1755#notas-tabela>. Acessado em: 02/10/2021.

Liu, Y., Zhuge, Y., Chow, C. W. K., Keegan, A., Li, D., Pham, P. N., Huang, J., & Siddique, R. (2020). Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: Microstructural analysis, durability and leaching properties. **Journal of Environmental Management**, 262, 110352.

Mymrin, V., Alekseev, K., Fortini, O. M., Catai, R. E., Nagalli, A., Rissardi, J. L., Molinetti, A., Pedroso, D. E., & Izzo, R. L. S. (2017). Water cleaning sludge as principal component of composites to enhance mechanical properties of ecologically clean red ceramics. **Journal of Cleaner Production**, 145, 367–373.

Pinheiro, B. C. A., Estevão, G. M., & Souza, D. P. (2014). Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: Caracterização do lodo. **Matéria** (Rio de Janeiro), 19, 204–211.

Ramirez, K. G., Possan, E., Dezen, B. G. dos S., & Colombo, M. (2017). Potential uses of waste sludge in concrete production. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 28(6), 821–838.

Richter, C. A. (2001). **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de água**. (1ª edição). Blucher.

Tafarel, N. F., Macioski, G., Carvalho, K. Q. de, Nagalli, A., Freitas, D. C. de, & Passig, F. H. (2016). Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Matéria** (Rio de Janeiro), 21, 974–986.

Urban, R. C., Isaac, R. de L., & Morita, D. M. (2019). Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: Estado da arte. **Revista DAE**, 67(219), 128–158.