

Universidade Brasil
Curso de Engenharia Civil, Campus Descalvado

LEONARDO PEREIRA DA COSTA FILHO

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO ADIÇÃO AO
CONCRETO PARA RECOMPOSIÇÃO DE CALÇADAS NA CIDADE DE
DESCALVADO – SP

TECHNICAL AND ECONOMICAL VIABILITY OF WATER TREATMENT
PLANT SLUDGE AS ADDITION TO THE CONCRETE FOR PAVEMENTS
RECOMPOSITION IN THE DESCALVADO CITY - SP

Descalvado

2016

Leonardo Pereira da Costa Filho

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO ADIÇÃO AO
CONCRETO PARA RECOMPOSIÇÃO DE CALÇADAS NA CIDADE DE
DESCALVADO - SP

Orientadora: Prof^ªMsc. Vera Lúcia MonelliSossai

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade
Brasil, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Descalvado, SP

2016

Costa Filho, Leonardo Pereira da
C872v Viabilidade técnica e econômica do uso de lodo de es-
tação de tratamento de água como adição ao concreto pa-
ra recomposição de calçadas na cidade de Descalvado – SP
/ Leonardo Pereira da Costa Filho. Descalvado : [s.n.], 2016.
53p. : il. ; 29,5cm.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso
de Graduação de Engenharia Civil, da Universidade Brasil,
como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Msc. Vera Lúcia Monelli Sossai

1. Concreto. 2. Lodo de ETA. 3. Resíduo Sólido.
I Título.

CDD 628.4

LEONARDO PEREIRA DA COSTA FILHO

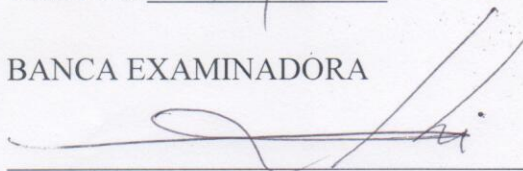
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO ADIÇÃO AO CONCRETO PARA RECOMPOSIÇÃO DE CALÇADAS NA CIDADE DE DESCALVADO - SP

Trabalho de Conclusão apresentado como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, à Universidade Camilo Castelo Branco - Unicastelo, desenvolvido sob a orientação da Prof.^a Me. Vera Lúcia Monelli Sossai.

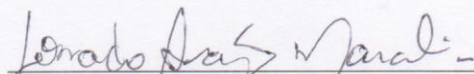
Aprovado em 17 de novembro de 2016.

Com Nota 10,0

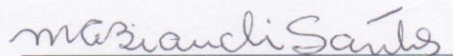
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Me. Vera Lúcia Monelli Sossai



Esp. Leonardo Araújo Marcolin



Prof.^a Esp. Maria Eliza Bianchi dos Santos

LEONARDO PEREIRA DA COSTA FILHO

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO ADIÇÃO AO CONCRETO PARA RECOMPOSIÇÃO DE CALÇADAS NA CIDADE DE DESCALVADO - SP

Trabalho de Conclusão
apresentado como exigência
para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia
Civil, à Universidade Brasil,
desenvolvido sob a orientação
da Prof^ª. Msc. Vera Lúcia
MonelliSossai.

Aprovado em ___/____ de 2016.

Com Nota _____.

BANCA EXAMINADORA

_____.

Prof. Orientadora Vera MonelliSossai

_____.

Prof. Convidado (nome)

_____.

Prof. Convidado (nome)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e me incentivaram a crescer, e a minha irmã, pois não há dúvidas que sempre estará ao meu lado independente do que aconteça em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

A Professora Orientadora Msc. Vera Lúcia Monelli Sossai, cuja contribuição foi indispensável em todas as etapas deste trabalho.

A minha família, pela confiança e motivação persuasiva.

Aos meus amigos de infância, que tenho a honra de tê-los ao meu lado até hoje.

Aos meus colegas de trabalho e de sala, que me ajudaram e estiveram presentes em todas as etapas dessa jornada.

Aos professores e colegas de curso, pois juntos trilhamos etapas importantes para a nossa formação.

A todos que contribuíram, de forma direta e indireta, para a realização e finalização deste árduo, mas enriquecedor, trabalho.

RESUMO

O lodo gerado em Estação de Tratamentos de Água (ETA) é classificado como resíduo sólido, devendo, portanto, ser devidamente tratado e disposto, sem que provoque danos ao meio ambiente. Esta preocupação ambiental tem motivado muitos trabalhos sobre possíveis usos desse resíduo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização do lodo gerado na ETA do município de Descalvado-SP em composição com o concreto a ser utilizado para confecção e recomposição de calçadas. Foram realizadas quatro visitas à estação com o objetivo de conhecer o funcionamento, tendo em vista a execução prática, obtendo-se informações sobre todo o processo de tratamento da água bruta até a composição do lodo. Para quantificação do resíduo foram consideradas as seguintes metodologias: (1) A quantidade de lodo gerada foi estimada *in loco* pela determinação dos sólidos presentes no tanque de reciclagem, considerando-se as medidas do tanque; e (2) O uso da metodologia, de acordo com Barroso (2002), em que o lodo gerado na ETA que utiliza o sulfato de alumínio como coagulante é de cerca de 22 g de sólidos por m³ de água tratada. Foram realizadas duas coletas, e, logo após esse processo, o resíduo foi exposto ao sol, sendo uma amostra retirada para secagem em estufa, para posterior uso no concreto do experimento, no delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições e cinco tratamentos, sendo: (T1) a testemunha (traço padrão: concreto referência, sem adição de lodo) e; T2; T3; T4 e T5, os demais traços utilizando-se as dosagens de 10, 20, 30 e 40 % de massa de lodo na massa de areia. Os principais fatores considerados para este procedimento foram as variações de trabalhabilidade e de resistência mecânica do material obtido, para posterior análise e obtenção da dose ótima de lodo na composição do concreto. Os tratamentos foram distribuídos em 40 corpos de prova, sendo 20 para os ensaios de Compressão Axial e 20 para os ensaios de Compressão Diametral. Após a realização de todo o processo, os dados obtidos foram analisados em planilha eletrônica e no software ASSISTAT, objetivando a comprovação e o aprimoramento dos processos. Nas quantificações realizadas em duas coletas, o valor máximo estimado foi de 16,9 toneladas (quantidade estimada *in loco*). Na realização dos testes de compressão, os valores obtidos com o traço referência e o traço com adição de lodo a 10% foram similares tanto para a Compressão Diametral quanto para a Axial, não diferindo estatisticamente pelo teste Dunnet, já os valores dos demais traços (20%, 30% e 40%) diferiram do traço padrão. Em todos os tratamentos testados, os valores referentes à compressão axial foram maiores que 10MPa. Nas condições em que este experimento foi testado, os resultados obtidos demonstraram viabilidade técnica na utilização de lodo da ETA Descalvado composto de areia como agregado miúdo em concreto, sendo aproveitado na confecção de concretos para recomposição de calçadas, com valores acima de 10 Mpa obtidos até a maior adição de 40% do resíduo sólido. Com redução de custos na adição de lodo, pode-se chegar a uma economia de aproximadamente 2%. A maior contribuição do uso de lodo em concreto está na preservação do meio ambiente, contribuindo também com a sustentabilidade na construção civil, que com esta iniciativa pode retirar do meio ambiente aproximadamente 80,11 toneladas de lodo geradas anualmente.

Palavras-chave: Concreto, Lodo de ETA, Resíduo Sólido.

ABSTRACT

Sludge generated in Water Treatment Stations (WTS) is classified as a solid residue and it should be properly treated and disposed of with no consequences to the environment. This environmental concern has motivated a lot of research work on possible uses of that sludge. This paper aims to assess the technical and economical feasibility of the use of sludge generated in the WTS in the town of Descalvado-SP for concrete mix to later be used for making and restoring sidewalks. Visits were made to the station in order to know its functioning in practical terms and to gather information about the whole raw water treatment process and the composition of sludge. To quantify the residues we applied the following methodology: 1) The quantity of sludge generated was estimated *in loco* through the determination of solids present in the recycling tank, considering the measurements of the tank; and 2) the use of the methodology according to Barroso (2002), which says that the sludge in the WTS that uses aluminum sulfate as a coagulant is of around 22 grams per m³ of treated water. Two samples were performed and the material was exposed to the sun. One sample was separated and dried in a greenhouse to be later applied in the concrete for the experiment in a random delineation with five repetitions and six treatments as follows: (C1) Control (standard mixture with no addition of sludge) and C2, C3, C4 e C5, presenting 10%, 20%, 30% and 40% of sludge in the mass of sand, respectively. The main factors considered for the procedure were the variations in workability and in mechanical resistance of the resulting material in order to determine the optimal dosage of sludge for the composition of concrete. The treatments were distributed in 40 specimens – 20 for the Axial Compression tests and 20 for the Diametral Compression tests. After the whole process was completed, the data were analyzed in an electronic worksheet and in the ASSISTAT software aiming for proof and improvement of the process. In the quantifications performed in two samples, a maximum estimate of 16.9 tons was obtained through the methodology proposed. In the compression tests, the results obtained with the standard mixture and with a 10% sludge addition were similar both for Diametral and Axial Compression, without any significant statistical difference using in the Dunnet test. On the other hand, the other mixtures (20%, 30% and 40%) presented differences in comparison with the standard mix. In all tested treatments, the results related to axial compression were higher than 10MPa. In the conditions in which the experiment was done, the results obtained showed a technical viability for the use of sludge from WTS in Descalvado as a fine aggregate, which can be used for the making of concrete to restore sidewalks. The results were higher than 10 MPa even for the biggest addition of solid residue (40%). Also, cost reduction results show that sludge addition might generate a 2% saving. However, the biggest contribution of the use of sludge in concrete is to the environment preservation, promoting sustainability in construction industry. This initiative may remove approximately 80.11 tons of sludge from the environment yearly.

Palavras-chave: Concrete, Sludgefrom WTS, SolidResidue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Descalvado.....	22
Figura 2 – Vista parcial do prédio da SEMARH.	23
Figura 3 – Represa da Rosária.....	24
Figura 4 – Esquema de funcionamento da ETA.	26
Figura 5 – Vista superior do filtro antes da realização da limpeza.	27
Figura 6 – Vista superior do filtro durante a realização da limpeza.	28
Figura 7 – Retirada manual do lodo do tanque de reciclagem.....	28
Figura 8 – Área de descarte do lodo retirado do tanque de reciclagem.	29
Figura 9 – Amostra de lodo coletada e exposta ao sol.....	31
Figura 10 – Amostra de lodo.....	31
Figura 11 – Amostra de lodo úmido coletada.....	32
Figura 12 – Amostra de lodo durante a secagem.....	32
Figura 13 – Amostra de lodo seco.	32
Figura 14 – Amostra obtida para análise granulométrica.....	33
Figura 15 – Betoneira em funcionamento.....	37
Figura 16 – Padiola carregada com um dos tratamentos.	38
Figura 17 – Concha metálica.....	38
Figura 18 – Haste de 16 mm de diâmetro.	38
Figura 19 – Máquina Retificadora de corpo de prova.....	39
Figura 20 – Corpos de prova faceados para a compressão axial.	40
Figura 21 – Máquina EmicDL60000 célula Trd 29 sendo utilizado o método de ensaio Compressão Axial CP 10 x 20 – PC200.....	40
Figura 22 – Máquina Emic DL60000 célula Trd 29 sendo utilizado o método de ensaioNBR 7222 – Determinação da resistência à tração por Compressão Diametral-DL100T.	41
Figura 23 – Representação da equação de regressão para resistência à Compressão Axial (MPa) em função das doses de lodo adicionadas ao concreto para recomposição de calçadas..	48
Figura 24 – Representação da equação de regressão para resistência à tração por Compressão Diametral (MPa) em função das doses de lodo adicionadas ao concreto para recomposição de calçadas.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhes da confecção do traço para cada tratamento, considerando-se traço de 1:2:3, com quantidades em kg.	36
Tabela 2 – Custos com o processo de limpeza do tanque de reciclagem e transporte.	42
Tabela 3 – Estimativa do custo da tonelada de lodo.	42
Tabela 4 – Custo total de cada traço descrito na Tabela 1.	42
Tabela 5 – Valores referentes à quantificação de lodo da Estação de Tratamento de Águado município de Descalvado-SP.....	45
Tabela 6 – Resultados do teste de granulometria.	46
Tabela 7 – Resumo estatístico dos valores obtidos de resistência à Compressão Axial e resistência à tração por Compressão Diametral.	47

LISTA DE ABREVIATURAS

AB Água Bruta

AT Água Tratada

ETA Estação de Tratamento de Água

ETE Estação de Tratamento de Esgoto

MPa MegaPascal

Kgf Quilograma-força

Km Quilômetro

KN Quilonewton

m³ Metro cúbico

mm Milímetro

PPM Parte pormilhão

ton Tonelada

UASB Upflow Anaerobic Sludge Blanket

WTS Water Treatment Stations

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO.....	15
2.1. Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Sistemas de abastecimento de água.....	16
3.2 O lodo como resíduo sólido	18
3.3 O lodo na construção civil.....	18
3.4 Os custos com o gerenciamento do lodo de ETA	19
3.5 Alternativas de disposição e reaproveitamento do lodo de ETA	19
3.6 Utilização do lodo de ETA como agregado em concreto.....	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Localização do município de Descalvado e da Estação de Tratamento de Água.....	22
4.2 Coleta de informações.....	23
4.3 Processo de tratamento de água e formação do lodo.....	25
4.4 Metodologia para quantificação do lodo	29
4.4.1 Metodologia de acordo com Barroso (2002).....	29
4.4.2 Metodologia proposta neste trabalho (volume do cilindro)	29
4.5 Coleta de amostra e quantificação do lodo.....	30
4.6 Determinação da Dosagem de Concreto	33
4.6.1 Cálculo do traço em peso	33
4.8 Ensaio de Resistência à Compressão Axial.....	39
4.9 Ensaio de Resistência à Compressão diametral	41
4.10 Custos com a disposição final do lodo da ETA.....	41
4.11 Análise estatística e econômica.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6. CONCLUSÃO	49
7. RECOMENDAÇÕES	50
REFERÊNCIAS	51

1.INTRODUÇÃO

A água, que é essencial à existência da vida, vem diminuindo em ritmo acelerado nas últimas décadas. O que pode ser explicado pela falta de investimentos em infraestrutura frente ao crescimento populacional desordenado. Notou-se também que, durante muito tempo, a população ia cada vez mais longe em busca de água, até que foi percebido que não adiantava buscar água tão longe, pois essa era uma questão que envolvia questões políticas, ambientais e econômicas.

Por essa razão, é necessário que os profissionais das áreas tecnológicas tenham em mente que não se deve mais fazer o uso indiscriminado dos recursos hídricos, visto que estes são finitos. Portanto, os projetos concebidos devem levar em consideração medidas que permitam a conservação e racionalização do consumo da água, bem como o tratamento e a destinação adequada dos efluentes gerados por suas atividades (COSTA et al., 2008).

Deve-se levar em conta, ainda, o fato de o Brasil ter uma grande disponibilidade de água doce em seu território, embora não seja igualmente distribuída. No Brasil está localizada 53% de toda a água do nosso continente, o que diz respeito a 12% de toda água contida no mundo. Como já dito, essa água não é igualmente distribuída, na verdade, a maior parte se concentra nas regiões menos povoadas no nosso país, mas existem técnicas possíveis para um melhor aproveitamento dessa água, e elas devem ser exploradas.

Portanto, no território brasileiro, percebe-se a carência por mananciais de boa qualidade em certas regiões, tornando-se cada vez mais importante o uso de técnicas de recuperação para o reaproveitamento da parcela dos resíduos frequentemente lançados nos cursos d'água. Dentre estes resíduos, destacam-se aqueles gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETA) que são encontrados, essencialmente, dos decantadores (ou flotores) e filtros. Dentro deste contexto, considerando que as estações de tratamento de água são indústrias transformadoras de água bruta em água potável, seus resíduos devem ser devidamente tratados, pois apresentam substâncias prejudiciais ao meio ambiente e ao homem (COSTA, 2011).

O lodo gerado em ETAs é classificado como resíduo sólido, devendo, portanto, ser devidamente tratado e disposto, sem que provoque danos ao meio ambiente. Esta preocupação ambiental tem motivado muitos trabalhos sobre possíveis usos deste lodo. A busca por alternativas econômicas e tecnicamente viáveis, além de ambientalmente vantajosas para a destinação final do lodo de ETA, é um grande desafio. Sua utilização benéfica pode ser

considerada uma oportunidade para aumentar a receita das empresas de saneamento, mas, principalmente, reduzir custos e impactos ambientais associados a este resíduo (TSUTUYA et al., 2001).

Dentro da construção civil, a reutilização dos resíduos sólidos pode ajudar a reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e/ou disposição final desses resíduos, e também na redução dos impactos ambientais decorrentes da extração de matéria-prima diretamente do ambiente. Assim, a indústria da construção civil pode ter um papel relevante como receptora de resíduos sólidos no tocante à sua disposição final. A incorporação desses resíduos em matrizes cerâmicas e cimentícias com o objetivo de produção de artefatos para a construção civil, se feita de maneira criteriosa, permite dar um destino ambientalmente correto para resíduos, que de outra forma, seriam fontes de poluição (LUCAS; BENATTI, 2008).

Em função destes fatos, foi idealizado o presente trabalho para avaliação técnica e econômica da incorporação do lodo na composição do concreto, utilizando os resíduos da Estação de Tratamento de Água, do município de Descalvado – SP.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização do lodo gerado na ETA do município de Descalvado-SP, em composição com concreto a ser utilizado, para confecção e recomposição de calçadas.

2.1. Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste trabalho, temos:

- a) Quantificar o volume de lodo gerado pela ETA de Descalvado-SP;
- b) Avaliar a adição de lodo no concreto utilizado nas calçadas, de acordo com os procedimentos e pesquisas previamente realizadas;
- c) Estudar a viabilidade da adição de lodo ao concreto e as suas vantagens econômicas e ambientais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistemas de abastecimento de água

O sistema de abastecimento de água é tão fundamental quanto a saúde, educação, segurança e outros quesitos relacionados a regiões com povoamento humano. Dentro desse sistema estão englobados, segundo a Lei Federal 11.445/2007, sistemas de abastecimento de água, os sistemas de esgotamento sanitário, sistemas de coleta e tratamento de resíduos sólidos e sistemas de drenagem de águas pluviais (COSTA, 2011).

É válido dizer também, que nenhum local sem acesso à água pode ser passível de habitação, visto que o ser humano depende da existência da água em boa quantidade e boa qualidade, pois o acesso à água contaminada também torna impossível o convívio em determinado local. Portanto, é importante a contextualização clara do que é o sistema de abastecimento de água, o que ele engloba e a sua vital importância para a humanidade.

Segundo Gomes (2004):

Entende-se por sistemas de abastecimento de água o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público (GOMES, 2004).

O sistema de abastecimento de água caracteriza-se como fator limitante do desenvolvimento de qualquer município, uma vez que não existe vida sem água e não existe qualidade de vida sem água de qualidade. Desta feita, pode-se dizer que se trata do instrumento, pelo qual a sociedade é provida de água em quantidade e qualidade suficientes para o seu desenvolvimento adequado (COSTA, 2011).

No tratamento de água procede-se à eliminação e/ou redução de impurezas e substâncias que tornam a água inadequada para o uso humano. É importante destacar que o tratamento adéqua à água bruta (AB) às características necessárias ao seu uso. Isto quer dizer que para cada finalidade existe um padrão a ser seguido para a água tratada (AT) e, especificamente no caso da água destinada ao consumo humano, este padrão é fornecido pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, também conhecido como Padrão de potabilidade da água (GOMES, 2004).

De acordo com o Ministério da Saúde (1994), os sistemas de abastecimento de água têm importância sob dois aspectos:

1) Aspecto sanitário:

- Controle e prevenção de doenças;
- Implantação de hábitos higiênicos na população, como a lavagem das mãos, banho e limpeza de utensílios;
- Facilitação da limpeza pública;
- Conforto e bem-estar para a população.

2) Aspecto econômico:

- Aumento da vida média pela diminuição da mortalidade;
- Aumento da vida produtiva do indivíduo quer pelo aumento da vida média, quer pela diminuição do tempo perdido com doenças;
- Facilitação da instalação de indústrias, inclusive a de turismo, e, conseqüentemente, o progresso das comunidades;
- Facilitação do combate a incêndios.

Ainda de acordo com o Ministério da Saúde (1994), quando falamos em soluções possíveis para o abastecimento de água, existem, basicamente, duas opções, a coletiva ou a individual. Cada uma tem suas especificidades, sendo que a coletiva é mais vastamente utilizada em meios urbanos, já que os gastos são divididos entre todos os usuários. Já o individual é utilizado, na maior parte das vezes em meios rurais, mas essa divisão não quer dizer que seja sempre assim, mas que esses são os usos mais comuns desses métodos.

Ao redor de todo o mundo, o sistema mais vastamente utilizado é o coletivo, visto que o uso desse método reduz custos, tornando possível maiores investimentos. Toda água captada nos mananciais segue um mesmo percurso ao longo do seu tratamento, e esse processo começa quando a água passa por uma ETA, para passar pelos primeiros tratamentos que tornam essa água própria para o uso do ser humano.

Para que essa água entre nos padrões aceitáveis de consumo humano, são realizados processos regulamentados. Essa regulamentação é feita pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, mais comumente conhecida como padrão de potabilidade da água. Depois de passar pelas ETAs essa água, agora tratada, segue em direção aos reservatórios, que são responsáveis por armazenar a água que será transportada para toda a população, chegando ao consumidor por meio da tubulação própria.

3.2 O lodo como resíduo sólido

Primeiramente, de acordo com Costa (2011):

O lodo nada mais é do que o resíduo resultante do processo de coagulação da água encontrado em maiores quantidades nos decantadores e/ou flotadores somado ao resíduo resultante da lavagem dos filtros. Os resíduos gerados nos decantadores podem ficar retidos durante vários dias e até meses ou podem ser removidos mecanicamente de forma contínua.

De acordo com a NBR 10.004/2004, os lodos gerados nas ETA são enquadrados como resíduos sólidos, devendo, por conta disso, ser tratados e dispostos dentro dos critérios estabelecidos por esta norma e pelas demais que compõem o seu conjunto, sendo elas: NBR 10.005/2004, NBR 10.006/2004 e NBR 10.007/2004. Os resíduos gerados nas ETAs têm características bastante distintas e frequências de descargas com diferentes intervalos, o que influencia sensivelmente o seu processo de desidratação e conseqüentemente a sua destinação final (COSTA, 2011).

Os lodos gerados nos decantadores das ETAs podem ter suas características bastante variadas, dependendo fundamentalmente das condições apresentadas pela água bruta, produtos químicos utilizados e suas dosagens, forma de limpeza dos decantadores entre outros (CORDEIRO, 1999).

Costa (2011) afirma ainda que os maiores problemas relacionados a esses resíduos sólidos dizem respeito a essas características peculiares deste tipo de lodo, como dito acima, e a falta de conhecimento específico do que se deve fazer com ele.

3.3 O lodo na construção civil

Nuvolari e Coraucci Filho (2003) estudaram a utilização do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto em massas cerâmicas para confecção de tijolos. Foi utilizado como matéria-prima um solo argiloso com dois diferentes tipos de lodo: o primeiro, oriundo de um sistema convencional de lodos ativados e condicionados com cal e cloreto férrico, desaguados em filtro-prensa de placas, e o segundo, oriundo de um reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB), desaguado em leito de secagem e sem condicionamento químico. Os lodos foram misturados ao solo nas proporções de 0, 10, 20 e 30% (em peso seco). Foram avaliados os principais parâmetros tecnológicos (massa específica aparente pós-queima, retração, absorção de água e resistência à compressão) e ambientais (solubilização, lixiviação e radioatividade), tendo-se concluído que ambos lodos podem ser utilizados em massa cerâmica na proporção de até 10%.

Hoppenet al. (2005) realizaram um estudo da incorporação do lodo de estação de tratamento de água em matriz de concreto, como forma de substituição parcial à areia, e concluíram que apesar de a incorporação do lodo em teores inferiores a 10% diminuir a qualidade do concreto, esta ainda continua dentro dos padrões aceitáveis pela Norma de construção civil. Outro ponto destacado foi a redução do consumo de matéria-prima, que além de reduzir os impactos ambientais causados pela extração, reduz a quantidade de resíduos lançados indiscriminadamente no ambiente.

3.4 Os custos com o gerenciamento do lodo de ETA

De acordo com Januário e Ferreira Filho (2007), os custos para o transporte e disposição final de lodos de ETA em regiões metropolitanas têm se situado em torno de R\$ 100,00 a R\$ 500,00 por cada tonelada. Estes números justificam os esforços para redução da geração do lodo, bem como de seus custos para disposição adequada, mesmo sabendo que cada caso é um caso. Os referidos valores dependem basicamente de fatores como a maneira com que se está dispondo os resíduos e da distância para o ponto de disposição.

Segundo Roth (2008), os custos para implantação de sistemas de tratamento de lodo em estações de tratamento de água podem variar de 30 a 40% do custo total de implantação do sistema de tratamento.

3.5 Alternativas de disposição e reaproveitamento do lodo de ETA

Há diferentes maneiras de utilização do lodo de ETA que são escolhidas de acordo com a localização, viabilidade técnica, econômica e ambiental do local da retirada do lodo e também do descarte. Essas alternativas podem ser: descarte em rios, córregos e similares, aterro, aterro sanitário, incineração, adição como componente do concreto e confecção de blocos cerâmicos (COSTA, 2011).

Várias são as possibilidades de aproveitamento dos lodos gerados em ETA, merecendo destaque a sua incorporação no processo de fabricação de cimento Portland, fabricação de tijolos, cultivo comercial de grama, compostagem, produção de solos comerciais, plantação de cítricos, melhoria na sedimentabilidade de águas com baixa turbidez, construção civil e incorporação em argamassas e concretos (MEGDA et al., 2005).

A redução da produção de lodo em ETA torna-se importante pela minimização dos custos operacionais com produtos químicos e por possibilitar que estes resíduos sejam

encaminhados, via rede coletora de esgotos sanitários, para fins de processamento em ETE. As maiores vantagens desta alternativa estão no fato de todas as unidades de processamento da fase sólida poderem ser concentradas em uma única instalação física (adensamento e desidratação), reduzindo consideravelmente os custos de operação e manutenção (FERREIRA FILHO; WAELKENS, 2009).

De acordo com Ferreira Filho e Waelkens (2009), a viabilidade do lançamento de lodos de ETA na rede coletora de esgotos sanitários para realização de seu processamento em ETEs é dependente da massa de sólidos gerada na ETA e do impacto que pode ocasionar nas operações unitárias que compõem a ETE, sendo necessária uma avaliação em função da concepção da ETE.

Jacomassi (2009) considera o fato de que quanto maior a fração de partículas menores que 2,0 μm , mais versátil o lodo referente ao reuso e aproveitamento cerâmico. O lodo de ETA cujo coagulante é o cloreto de polialumínio é o que apresenta maior potencial, totalizando uma massa acumulada de aproximadamente 20% de partículas que possuem dimensões abaixo de 2,0 μm . O autor salienta ainda que para a incorporação de lodo de ETA em produtos industrializados, é necessária a avaliação dos impactos ambientais causados na confecção e utilização desses produtos, bem como da avaliação da relação custo/benefício.

Dentre os possíveis destinos e aplicações para o material gerado pela estação de tratamento de água, destaca-se a preocupação com o destino do lodo, e, conseqüentemente, do alumínio, sendo o encapsulamento uma ótima alternativa para minimizar o risco de esses materiais chegarem aos mananciais ou em entrarem em contato com a população (COSTA, 2011).

3.6 Utilizaçãodo lodo de ETA como agregado em concreto

As possibilidades de aplicações do lodo retirado das ETAs são muitas. Entretanto, o fim dado ao lodo depende, basicamente, da viabilidade técnica, econômica e ambiental. Mas, segundo Costa (2011), existem algumas alternativas que são mais comumente utilizadas, sendo elas: o lançamento em cursos d'água, a aplicação direta no solo, o aterro sanitário, a incineração, a incorporação ao concreto como agregado e a fabricação de tijolos cerâmicos.

Aqui, nesse ponto do trabalho, trataremos mais especificamente da utilização desse lodo junto ao concreto. Mas é importante ressaltar que muito embora o lodo produzido nas ETAs possa ter uma utilização, o ideal é continuar buscando maneiras de reduzir a produção dele, pois o lodo gerado nas ETAs acaba por gerar um custo maior.

Segundo Costa (2011), o reaproveitamento do lodo “consiste na remoção de nutrientes, especialmente o fósforo de efluentes de estações de tratamento de esgotos”. Há ainda mais um fator positivo ligado ao lodo reaproveitado que é a reciclagem de produtos químicos contidos nele que, quando jogados fora, geram um desperdício de toneladas. Um exemplo de material reaproveitado é o Fósforo, que pode ser removido por meio de um tratamento físico-químico que traz inúmeras vantagens econômicas.

Como dito, na busca pelo melhor destino do lodo gerado em ETA existem vários estudos que utilizam este material como agregado miúdo na confecção de concretos estruturais e não estruturais. Um desses estudos foi elaborado por Ferreira et al. (2009), e os melhores resultados obtidos na incorporação do lodo ao concreto e fabricação de tijolos ocorreram com traço contendo 3% de lodo como agregado. Traços com concentração superior a 5% não oferecem, segundo os referidos autores, condições adequadas para a manufatura do concreto estrutural. Corroborando com o dito anteriormente, Hoppen e colaboradores (2005) concluíram que doses inferiores a 7% de lodo podem ser usadas em aplicações normais, como a fabricação de artefatos e estruturas pré-moldadas ou a construção de pavimentos em concreto, uma vez que foram obtidas resistências à compressão superiores a 20 MPa.

Segundo Megdaet al. (2005), o estudo relativo ao encapsulamento de lodo em matrizes de argamassa e concreto iniciou-se pelo estudo de argamassas com adições de lodo nas frações de 5% a 50% em relação à massa de agregado miúdo. Os resultados preliminares permitiram aferir que as adições de lodo com melhor desempenho localizavam-se na faixa entre 1% e 5% de lodo seco em relação ao agregado miúdo. Nesses estudos, foram utilizados traços de 1:3 e 1:2:3 em massa para argamassas e concretos, respectivamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do município de Descalvado e da Estação de Tratamento de Água

O presente trabalho foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Água do município de Descalvado-SP (Figura 1). O município localiza-se a uma latitude $21^{\circ} 54' 14''$ sul e uma longitude $47^{\circ} 37' 10''$ oeste, estando a uma altitude de 679 metros. Sua população estimada em 2010 era de 31.053 habitantes e possui uma área de 755,226 km.



Figura 1– Localização do município de Descalvado.

Fonte: Wikipédia. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Descalvado/>>. Acesso em: 01 set. 2016.

Descalvado pertence à região hidrográfica da bacia do Mogi Guaçu, sendo duas as represas que abastecem a cidade. A represa Rosária, com 310 mil litros de água por hora e Calmon, com 126 mil litros de água por hora, ambas ficam no Córrego da Prata. O consumo médio de Descalvado é de sete a onze milhões de litros por dia. Existem também cinco poços artesianos que abastecem bairros periféricos, com um consumo médio de 473 mil litros por dia, sendo a Estação de Tratamento de Água (ETA), localizada junto a SEMARH (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), na rua Cel. Rafael Tobias, nº 1400, Jardim Belém (Figura 2), o local que usamos para obtenção objeto de trabalho.



Figura 2 – Vista parcial do prédio da SEMARH.

Fonte: Acervo do autor.

4.2 Coleta de informações

Durante o período de planejamento dos trabalhos foram realizadas quatro visitas à ETA de Descalvado. A primeira delas, com o objetivo de conhecer o funcionamento para execução prática do presente trabalho, foi realizada no dia 14 de setembro de 2015, obtendo-se as seguintes informações:

A água fornecida à população de Descalvado provém das seguintes captações: Captação superficial: Represas Rosária (Figura 3) e Calmon, que abastecem aproximadamente 65% da população de Descalvado; Captação subterrânea: são os poços profundos, que abastecem aproximadamente 35% da população.



Figura 3 – Represa da Rosária.

Fonte: Acervo do autor.

A captação superficial recebe o tratamento na ETA, onde, através de um conjunto de motobombas, a água é bombeada das Represas Rosária e Calmon até a ETA em linhas de tubo de ferro chamadas adutoras. Ao chegar à ETA, a água bruta recebe o sulfato de alumínio que tem a função de unir as impurezas e formar pequenos flocos, esse processo denomina-se floculação. A etapa seguinte é a filtração, em que a água é dividida por seis filtros formados por camadas de pedregulho e areia cuja função é a retenção dos flocos de impurezas, além de microrganismos patogênicos. Após a filtração, a água é armazenada e recebe a cloração, fluoretação e a correção do pH.

A cloração é feita com o hipoclorito de sódio, a água deve ser desinfetada para exterminar os organismos patogênicos e consequentemente evitar as doenças de transmissão hídrica. Com isso, a cloração é importante para a promoção e preservação da saúde pública.

A fluoretação é feita com o ácido fluossilícico, que previne a perda de minerais do esmalte dos dentes atuando no controle da cárie dentária.

O pH da água é muito importante para a eficiência da desinfecção da água, pois a desinfecção está relacionada à corrosão das tubulações, diminuindo, assim, o seu tempo de vida útil. Portanto, é necessário que se corrija o pH mediante a adição de um alcalinizante, sendo usada a cal hidratada. Após todo esse processo, a água é finalmente distribuída à população.

Nos poços profundos é feita a desinfecção e a fluoretação com visitas periódicas para manutenção, coleta de amostras e controle de qualidade.

Para o controle de qualidade, a água é submetida às análises físico-químicas, onde se determina a quantidade e qualidade dos seus componentes químicos e as características físicas da água e se realizam análises microbiológicas que determinam a existência ou não de microrganismos na água.

No laboratório na ETA são realizadas análises diárias de controle e monitoramento da qualidade da água, que segue os padrões de potabilidade da Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, onde é estabelecida a quantidade mínima, a frequência em que as amostras devem ser coletadas e os limites permitidos.

4.3 Processo de tratamento de água e formação do lodo

Na segunda e terceira visitas à ETA, em 02 de outubro e 03 de dezembro de 2015, respectivamente, foram obtidas informações detalhadas do processo de tratamento de água e da formação de lodo. A Figura 4 ilustra todo processo.

A água bruta entra em uma caixa com anteparo no segundo pavimento do reservatório elevado e, em seguida, passa pela calha Parshall, enviada através de conjunto de motobombas horizontais e adutoras.

Na passagem pela calha Parshall é adicionado, como coagulante, o sulfato de alumínio granulado isento de ferro, numa concentração que varia de 03 a 07 ppm, dando-se início ao processo de floculação. A água coagulada verte para uma caixa de controle de nível provida de manômetro, que controla a altura e conseqüentemente, a pressão, almejando o não acúmulo de água floculada em sua parte baixa, podendo causar seu entupimento, e, através de seis canalizações independentes, é encaminhada aos seis filtros. A floculação que ocorre numa camada suporte, que esta é a principal responsável pela eficiência desse processo de tratamento.

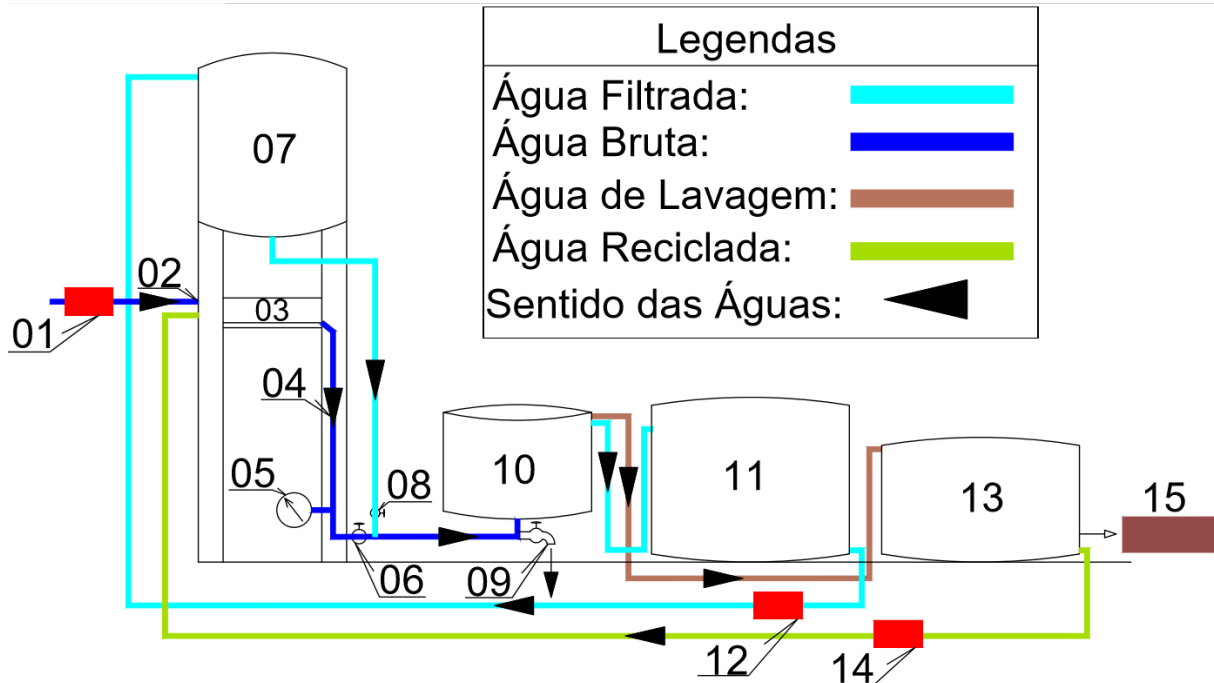


Figura 4 – Esquema de funcionamento da ETA.

Fonte: Autoria do autor.

- 01- Bomba da represa Rosário e Calmon para levar AB até a ETA;
- 02- Entrada da água bruta;
- 03- Calha Parshall e adição de sulfato de alumínio;
- 04- Floculação;
- 05- Manômetro;
- 06- Registro para entrada de água bruta nos filtros;
- 07- Reservatório elevado (abastecido com água filtrada);
- 08- Registro para lavagem dos filtros;
- 09- Registro de Descarga de fundo (descarta na galeria de água pluvial);
- 10- Filtros;
- 11- Reservatório Semienterrado;
- 12- Bomba para levar a água filtrada até o reservatório elevado;
- 13- Reservatório de reciclagem;
- 14- Bomba para levar a água reciclada de volta aos filtros;
- 15- Lodo retirado do reservatório de reciclagem.

A filtração se dá pela passagem da água bruta e logo após, é adicionado sulfato de alumínio. Depois, a água é destinada aos seis filtros, que possuem camadas de areia e de suporte de pedregulho, sendo que esta é constituída por pedregulhos de tamanhos decrescentes, que funcionam como um depósito temporário dos sólidos retidos, que com as descargas de fundo periódicas, estes resíduos são enviados diretamente à rede de água pluvial que desemboca no córrego Tamanduá. As descargas são essenciais, pois amenizam o estado de saturação dos filtros, aumentando o tempo de utilidade dos mesmos.

É feito um arranjo de canalizações para que este processo ocorra, permitindo-se efetuar as descargas de fundo durante o funcionamento do filtro, sendo introduzida água de lavagem em contracorrente, proveniente do reservatório elevado. Durante o tempo de funcionamento, com duração de 24 horas, são realizadas uma lavagem e quatro descargas de fundo. As lavagens têm duração de 5 minutos com água em contracorrente (água lavagem) e mais três de descarte com funcionamento normal (água bruta).

Em cada turno são lavados apenas dois filtros, pois atinge a capacidade de armazenamento do tanque de reciclagem. Nesse tanque, a água é decantada por no mínimo uma hora, sendo que o sobrenadante é bombeado novamente ao sistema de tratamento, diretamente na calha Parshall. O volume de água gasto em cada lavagem é estimado em 125 m³, portanto dois filtros totalizam 250 m³, que são armazenados no tanque juntamente com o sedimento resultante da decantação anterior. No bombeamento são reaproveitados ao sistema 233 m³, ou seja, 92,8 % da água de lavagem que antes da construção do reservatório de reciclagem era descartada.

Nas figuras 5 e 6 observa-se a parte superior dos filtros antes e durante a limpeza, respectivamente. Durante o processo de limpeza, as impurezas sobem para a parte superior, movimentando-se para o tanque de reciclagem, e lá, a partir desse processo, se formará o lodo.



Figura 5 – Vista superior do filtro antes da realização da limpeza.

Fonte: Acervo do autor.

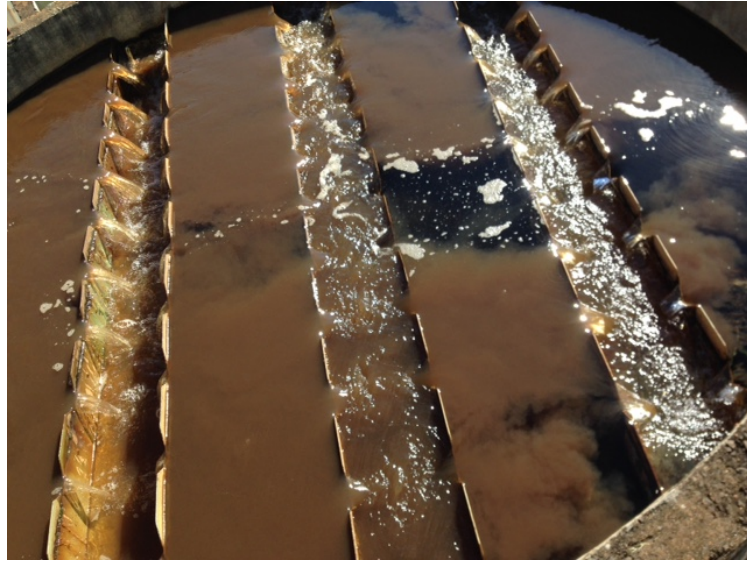


Figura 6 – Vista superior do filtro durante a realização da limpeza.

Fonte: Acervo do autor.

O lodo acumulado no fundo do tanque de reciclagem se forma a partir das lavagens dos filtros, sendo que, após o período de um a dois meses, este material é retirado manualmente (Figura 7) por quatro funcionários, com duração da execução de quatro horas, em que dois funcionários entram no tanque de reciclagem e, com o auxílio de pás, retiram o lodo para uma área externa, ao lado do tanque (Figura 8) para secagem e posterior envio para uma área adjacente à Represa Rosária, juntamente com material de aterro, retirado das várias manutenções de vazamentos das redes de água do município.



Figura 7 – Retirada manual do lodo do tanque de reciclagem.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 8– Área de descarte do lodo retirado do tanque de reciclagem.

Fonte: Acervo do autor.

4.4 Metodologia para quantificação do lodo

O tratamento de água na ETA Descalvado acontece de forma convencional, com a utilização do sulfato de alumínio isento de ferro como coagulante.

Para quantificação do lodo presente no dia da coleta, aplicaram-se duas metodologias, a saber:

4.4.1 Metodologia de acordo com Barroso (2002)

Segundo Barroso (2002), a ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante gera 22 g de sólidos por m³ de água tratada.

$$P = 22v \quad (\text{Eq. 4.4.1})$$

Sendo:

P: Produção em gramas de lodo gerado pela ETA (g).

v: vazão de água tratada no período (m³).

4.4.2 Metodologia proposta neste trabalho (volume do cilindro)

A quantidade de lodo gerada foi estimada *in loco*, pela determinação dos sólidos presentes no tanque de reciclagem. Como este tanque é no formato de um cilindro, para quantificação do lodo foram tomadas várias medidas da altura do lodo, obtendo-se um valor

médio e, considerando-se a medida do diâmetro do tanque, o volume foi calculado pela equação de volume de um cilindro, como demonstrado a seguir:

$$V = h\pi r^2 \quad (\text{Eq. 4.4.2})$$

Sendo:

V: Volume em m³ do lodo do tanque de reciclagem;

h: altura média do lodo presente no tanque de reciclagem;

r: raio do tanque de reciclagem.

4.5 Coleta de amostra e quantificação do lodo

Em 10 de dezembro de 2015 deu-se início ao esvaziamento do tanque de reciclagem para a coleta de amostra e quantificação do lodo acumulado dos últimos dois meses. Acompanhou-se todo o processo de retirada.

Para a quantificação foram tomadas várias medidas da altura do lodo presente no tanque de reciclagem, obtendo-se a estimativa de altura para posterior obtenção da quantidade de lodo gerada pela ETA, de acordo com a equação Eq.4.4.1.

Outra estimativa foi obtida com o uso da metodologia de acordo com Barroso (2002), com a equação Eq.4.4.2.

Em 1^o de abril de 2016 foram realizadas novas quantificações aplicando-se as equações citadas acima, coletou-se também uma amostra para exposição ao sol (Figura 9). A secagem da amostra foi realizada ao sol na própria ETA, contudo, por motivo de chuvas, não foi possível secar adequadamente o lodo. Havia outras possibilidades de secagem, como leitos de secagem, centrífugas e outras formas que não estavam disponíveis na ETA.



Figura 9 – Amostra de lodo coletada e exposta ao sol.

Fonte: Acervo do autor.

Em 1^o de abril de 2016, foi realizada uma nova visita a ETA, sendo também realizadas novas quantificações, sendo também coletada uma amostra com 50 litros de lodo (Figura 10) para secagem em estufa e posterior uso na composição de concreto dos ensaios. O lodo presente nessa amostra foi colocado em estufa a 49 °C sem variações, sendo que cada bandeja continha em média 3,3 kg de lodo bruto (Figura 11) e, após 48 horas em estufa (figuras 12 e 13) o peso médio foi de 2,8 kg, que foram acondicionados em sacos plásticos hermeticamente fechados para posterior utilização nos corpos de prova.



Figura 10 – Amostra de lodo.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 11 – Amostra de lodo úmido coletada.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 12 – Amostra de lodo durante a secagem.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 13 – Amostra de lodo seco.

Fonte: Acervo do autor.

Uma amostra homogênea do material seco foi separada para análise de granulometria (Figura 14).



Figura 14 – Amostra obtida para análise granulométrica.

Fonte: Acervo do autor.

4.6 Determinação da Dosagem de Concreto

Para cada valor de resistência, existem vários traços para obtenção do concreto, que em sua maioria, é constituído por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, aditivos e água.

Chama-se de pasta a mistura de água e cimento, fazendo o papel de liga da mistura, e os agregados são considerados materiais inertes. O componente mais caro do concreto é o cimento Portland. Por isso, os agregados constituem de 60% a 80% do concreto, em que suas granulometrias devem ser determinadas por meio de ensaios de peneiramento.

A principal finalidade da dosagem do concreto consiste em determinar as proporções ideais dos materiais que o constituem, almejando atender as duas condições básicas para o concreto, que são: resistência quando duro e plasticidade enquanto fresco.

4.6.1 Cálculo do traço em peso

O cálculo do traço é, em geral, referido a um saco de cimento (50 kg) e sua composição em peso pode ser expressa por:

L = Cimento

X = Água

A = Agregado miúdo

B = Agregado graúdo

A resistência do concreto está diretamente associada à relação L/X, também conhecida como Fator Água/Cimento, que deve ser escolhido em função da resistência média aos 28 dias. A trabalhabilidade do concreto fresco depende da relação entre o peso da água e o peso dos materiais sólidos (cimento+agregados).

De acordo com Andolfato (2002), citado por Costa (2011), a massa dos agregados pode ser determinada pelas seguintes expressões:

$$B = 0,5 \cdot \frac{X}{Y} \quad (\text{Eq. 4.6.1})$$

$$A = \left(0,5 \cdot \frac{X}{Y}\right) - 1 \quad (\text{Eq. 4.6.2})$$

O consumo de cimento pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$1000 - 1,5\% = C \cdot \left(\frac{1}{mc} + \frac{x}{mx} + \frac{A}{ma} + \frac{B}{mb}\right) \quad (\text{Eq. 4.6.3})$$

Em que cada relação na parte direita representa o volume de cada material, e a parte esquerda corresponde a 1000 L menos 1,5% de ar em volume, normalmente incorporado à mistura, considerando-se que:

mc: Massa específica do cimento = 3,125 kg/L;

mx: Massa específica da água = 1,0 kg/L;

ma: Massa específica da areia = 2,6 kg/L;

mb: Massa específica da brita = 2,75 kg/L;

Desta forma, a expressão que fornece o peso do cimento é:

$$C = \frac{985}{0,32 + X + 0,385 \cdot A + 0,364 \cdot B} \quad (\text{Eq. 4.6.4})$$

Conhecendo-se a umidade (H) da areia, poderá ser obtida a quantidade de água na areia de um traço com peso C de cimento através da expressão:

$$X_{\text{areia}} = C \cdot A \cdot H \quad (\text{Eq. 4.6.5})$$

A quantidade de água a acrescentar no traço, portanto, será de $X - X_{\text{areia}}$.

Especificamente para o trabalho em questão, podem ser calculados os valores importantes através dos seguintes passos:

1) $f_{ck28} = 15 \text{ MPa}$;

2) $\varnothing_{\text{máx}} = 25 \text{ mm}$ e concreto sem aditivo;

- 3) Para um rigoroso controle de qualidade, o valor da resistência média aos 28 dias pode ser determinado por:

$$f_{cm28} = f_{ck} + 6,5MPa = 21,5MPa (Eq. 4.6.6)$$

- 4) Com o valor da resistência média, pode-se determinar o valor de X e, como não há valor de 21,5 MPa, deve ser feita a interpolação para que seja utilizada a quantidade realmente necessária de cimento. O procedimento é usar uma regra de três com os valores imediatamente acima e abaixo do calculado:

$$\frac{22 - 20}{0,6 - 0,65} = \frac{22 - 20}{0,6 - X}, \quad \text{portanto: } X = 0,613 (Eq. 4.6.7)$$

- 5) A partir dos dados fornecidos no item 2, tem-se $Y = 8,5\% = 0,085$.

- 6) Com os valores de X e Y, chega-se aos valores de A e B:

$$A = 0,5 \frac{0,613}{0,085} - 1 = 2,606 (Eq. 4.6.8)$$

$$B = 0,5 \frac{0,613}{0,085} = 3,606 (Eq. 4.6.9)$$

- 7) Assim, está determinado o traço em peso: 1: 2,606: 3,606 (cimento: areia: brita).

- 8) O consumo de cimento por m^3 de concreto será de:

$$C = \frac{985}{0,32 + 0,613 + 0,384 \cdot 2,606 + 0,364 \cdot 3,606} = 303,42 \text{ kg}/m^3 (Eq. 4.6.10)$$

- 9) Para o cálculo do traço em volume, adotar-se-á a massa específica para a areia com uma umidade de 3% de 1,4 kg/L e para a brita de 1,3 kg/L. A partir disso, pode-se calcular os volumes dos agregados para 1 saco de cimento:

$$\text{Areia} = \frac{2,606 \cdot 50}{1,4} = 93,07L (Eq. 4.6.11)$$

$$\text{Brita} = \frac{3,606 \cdot 50}{1,3} = 138,69L (Eq. 4.6.12)$$

Com o objetivo de facilitar a confecção dos tratamentos, e tendo em vista que o lodo utilizado foi seco, seguimos o traço 1:2:3, e não o traço 1:2,606:3,606. Considerando-se que o destino do concreto não é estrutural, a relação água/cimento é constante para todos os traços de concreto (Tabela 1), pois as diferenças são irrelevantes.

Tabela 1 – Detalhes da confecção do traço para cada tratamento, considerando-se traço de 1:2:3, com quantidades em kg.

Traço	Cimento	Areia grossa	Lodo	Brita	Água	Água (0,65 a/c)	Quantidade Total
Testemunha	6,5	13,0	0,0	19,5	4,225	0,65	43,225
10 % de lodo	6,5	11,7	1,3	19,5	4,225	0,65	43,225
20 % de lodo	6,5	10,4	2,6	19,5	4,225	0,65	43,225
30 % de lodo	6,5	9,1	3,9	19,5	4,225	0,65	43,225
40 % de lodo	6,5	7,8	5,2	19,5	4,225	0,65	43,225

Fonte: Autoria própria.

4.7 Confecção dos traços e corpos de prova (CP) para realização dos ensaios

Nos dias 02 e 03 de junho de 2016 foram realizados no Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) do campus da UFSCar, São Carlos–SP, os ensaios de compressão axial e diametral, respectivamente.

Antes da execução dos ensaios de resistência à compressão, atentou-se para o que descreve a NBR 5738/2008. Essa norma discorre sobre as condições para moldagem, desforma, preparação de topos, transporte e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto. Para o caso específico dos ensaios no presente trabalho, foram utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Para tanto, foram necessários os seguintes equipamentos:

- 40 Corpos de Prova (10x20cm);
- Vasilhas;
- Espátulas;
- Balança de precisão de bancada;

- Betoneira;
- Baldes;
- Carro de mão;
- Colher de pedreiro;
- Haste de metal de 16 mm de diâmetro.

Com o lodo seco, as quantidades necessárias para cada tratamento foram separadas. Utilizou-se uma balança de precisão para a obtenção das quantidades inerentes a cada tratamento, com o objetivo de compor oito amostras para cada traço. Em seguida, fez-se a preparação de cada traço (tratamento) separadamente e, com o auxílio de uma betoneira, ocorreu a mistura dos componentes de cada traço, colocando-se os respectivos tratamentos nos corpos de prova.

Para a confecção do concreto, primeiramente, a betoneira foi ligada, colocou-se brita e adicionou-se 50% da água, girando por 1 minuto (Figura 15). Logo após, acrescentou-se o cimento, o agregado miúdo, restante da água e o lodo (quando presente), girando por mais 3 minutos. Em seguida, retirou-se o concreto da betoneira, colocando-o em uma padiola (Figura 16) e, com a ajuda de uma concha metálica (Figura 17), preencheu-se os corpos de prova. Estes foram preenchidos em três etapas, adicionando-se 1/3 de concreto no CP e golpeando doze vezes com uma haste de metal de 16 mm (Figura 18), repetindo-se o processo até preencher todos os corpos de prova. Após 24 h de confeccionados, retirou-se das formas e durante 28 dias permaneceram em câmara úmida para cura do concreto. Após esse período, realizaram-se os ensaios de compressão axial e diametral.



Figura 15 – Betoneira em funcionamento.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 16 – Padiola carregada com um dos tratamentos.
Fonte: Acervo do autor.



Figura 17 – Concha metálica.
Fonte: Acervo do autor.



Figura 18 – Haste de 16 mm de diâmetro.
Fonte: Acervo do autor.

4.8 Ensaio de resistência à Compressão Axial

As calçadas das residências são confeccionadas em concreto com resistência média à compressão de 10 Mpa, então, optou-se por encontrar uma dosagem de concreto que atingisse pelo menos 15 MPa ao longo dos 28 dias.

Após a retificação dos corpos de prova de concreto com um disco diamantado, faceando-se para o ensaio de compressão axial (Figura 19), estes foram separados por tratamentos (Figura 20), realizando-se os testes na máquina Emic DL60000 célula Trd 29 (Figura 21), com saída dos resultados no programa Tesc versão 3.04, obtendo-se os valores de Força Máxima (kgf), Resistência a Compressão (MPa), Média, Mediana, Desvio padrão e coeficiente de variação.



Figura 19 – Máquina Retificadora de corpo de prova.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 20 – Corpos de prova faceados para a compressão axial.

Fonte: Acervo do autor.



Figura 21 – Máquina Emic DL60000 célula Trd 29 sendo utilizado o método de ensaio Compressão Axial CP 10 x 20 – PC200.

Fonte: Acervo do autor.

4.9 Ensaio da resistência à tração por Compressão Diametral

Foram separados os corpos de prova de concreto para o ensaio de tração por compressão diametral, separados por tratamentos com os ensaios realizados na máquina Emic DL60000 célula Trd 29 (Figura 22), com saída dos resultados no programa Tesc versão 3.04, obteve-se os valores de Tensão (MPa), Força Máxima (kN) e Resistência (Mpa), Média, Mediana, Desvio padrão e coeficiente de variação.



Figura 22 – Máquina Emic DL60000 célula Trd 29 sendo utilizado o método de ensaio NBR 7222 – Determinação da resistência à tração por Compressão Diametral-DL100T.

Fonte: Acervo do autor.

4.10 Custos com a disposição final do lodo da ETA

O procedimento de limpeza do tanque e da retirada do lodo na ETA de Descalvado é realizado manualmente por funcionários da própria estação, maquinário e transporte. Foram calculados os custos inerentes a todo esse processo de limpeza (Tabela 2), desde a retirada até o destino final do resíduo, sendo aferido também o custo por tonelada de lodo (Tabela 3).

Tabela 2 – Custos com o processo de limpeza do tanque de reciclagem e transporte.

Serviço	Horas	Valor da hora (R\$)	Total (R\$)
Mão de obra	4	15,00	240,00
Maquinário	1	100,00	100,00
Transporte	1	100,00	100,00
Materiais diversos (enxadas, EPI etc.)			60,00
Total			500,00

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Estimativa do custo da tonelada de lodo.

Estimativa de lodo em cada coleta (toneladas)	Custo total (R\$) (Tabela 2)	Custo da tonelada (R\$)
13	500,00	38,46

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 4, encontram-se os valores de custo de cada traço, consideram-se, também, as quantidades descritas na tabela 1 e os seguintes valores para cada 1 kg do componente:

Cimento: R\$ 0,50

Brita: R\$ 0,09

Areia grossa: R\$ 0,06

Lodo: R\$ 0,04

Água: R\$ 0,03

Tabela 4 – Custo total de cada traço descrito na Tabela 1.

Traço	Custo Total (R\$)
Testemunha	5,91
10 % de lodo	5,88
20 % de lodo	5,86
30 % de lodo	5,83
40 % de lodo	5,80

Fonte: Autoria própria.

4.11 Análise estatística e econômica

Após a realização de todo o processo, os dados obtidos foram analisados em planilha eletrônica (Excel) para avaliação técnica e econômica, objetivando a comprovação e o aprimoramento dos processos, visando à sua utilização na construção civil, viabilizando a confecção e a recomposição de calçadas.

Na análise dos dados das variáveis submetidas às diferentes doses de lodo na composição do concreto, foi realizada análise de regressão, sendo as médias dos tratamentos com presença de lodo, comparadas com a testemunha (traço padrão) pelo teste Dunnett a 5% de probabilidade, com o auxílio do software ASSISTAT, versão 7.7 (SILVA, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5, é possível observar os resultados das quantidades, em toneladas, de lodo gerado no tratamento de água da ETA do município de Descalvado por meio do cálculo das duas fórmulas citadas neste trabalho, bem como os valores de vazão de água bruta tratada e estimativa da altura do lodo presente dentro do tanque de reciclagem.

Na primeira coleta (10 de dezembro de 2015), estimou-se a altura do lodo presente no tanque de reciclagem em 0,125 m que, considerando o raio do tanque 5 m, resultou na estimativa de 13,8 toneladas de lodo. E, como a vazão de água tratada no período foi de 549500 m³, obteve-se o valor estimado de 12,1 toneladas. Na segunda coleta (01 de abril de 2016), a altura estimada foi de 0,153 m, resultando em 16,9 toneladas e, de acordo com a vazão de água tratada de 662602 m³, obteve-se a estimativa de 14,6 toneladas. Na comparação das duas metodologias aplicadas, a quantidade de lodo obtida pela estimativa da altura foi superior em apenas 14% e 16% na primeira e segunda coletas, respectivamente.

Com a estimativa máxima de 16,9 toneladas, obtida pelo método proposto no presente trabalho, sendo o lodo acumulado de 77 dias, pode-se estimar uma produção anual de aproximadamente 80,11 toneladas.

Costa (2011), estudando o lodo presente na ETA de Mirassol, verificou uma vazão de água tratada de 440.000 m³/mês, e estimou em 9,68 toneladas de sólidos, segundo a aplicação da metodologia proposta por Barroso (2002).

Sousa et al. (2004), estudando a carga de sólidos produzida diariamente nas ETAs de São Carlos e Fonte Luminosa, localizadas nos municípios de São Carlos e Araraquara, respectivamente, obteve os seguintes resultados: Na ETA de São Carlos obteve aproximadamente 970 kg, sendo 765 kg/dia nos decantadores e 211 kg/dia nos filtros. Já na ETA Fonte Luminosa, a produção diária estimada e a produção diária medida foi de 540 kg aproximadamente, sendo 390 kg/dia nos decantadores e 200 kg/dia nos filtros.

Ribeiro (2007) realizou uma análise quantitativa da geração de lodo acumulado no período de julho de 2005 a junho de 2006, na Estação de Tratamento de Água da cidade de Itabirito-MG, e obteve na medição *in loco* (considerando as medidas do decantador) 25,3 toneladas. Porém, quando utilizadas formas empíricas os valores variaram entre 83,3 e 64 toneladas.

Tabela 5 – Valores referentes à quantificação de lodo da Estação de Tratamento de Água do município de Descalvado-SP.

Metodologia	Parâmetros	Data da coleta	
		10 de Dezembro de 2015	01 de Abril de 2016
	$v \text{ (m}^3\text{)}$	549500	662602
	$h \text{ (m)}$	0,125	0,153
	$r \text{ (m)}$	5	5
	Período de acúmulo do lodo (em dias)	70	77
	Equação	toneladas	
Barroso (2002)	$P = 22v$	12,1	14,6
Volume do cilindro	$V = h\pi r^2$	13,8	16,9

v: vazão de água tratada no período.

h: altura média do lodo presente no tanque de reciclagem.

r: raio do tanque de reciclagem.

P: produção de lodo gerado a cada m^3 de água tratada (g)

Sousa et al. (2009), quantificando o lodo gerado na ETA do município de Buíque, situado no Estado de Pernambuco, obteve uma quantidade estimada de lodo de 6,97 ton/mês, sugerindo como alternativa para redução do lodo a diminuição da quantidade de sulfato de alumínio, empregando um coagulante auxiliar (polímero), argumentando que a quantidade de sulfato adicionado na água bruta é diretamente proporcional a quantidade de lodo gerado. Os autores comentam que este procedimento foi implementado e a redução do resíduo foi de 200 para 150 kg/dia de sulfato (12,5%).

Na tabela 6, os resultados da análise de granulometria da amostra obtidos nas coletas do lodo trazem um valor expressivo na areia total presente (95%), este valor pode ser justificado pelo fato de que a ETA Descalvado possui um sistema de filtragem com adição de sulfato de alumínio, que por floculação passa pelos filtros, e estes possuem vários elementos,

como a areia, que em grande quantidade se mistura com o lodo gerado por filtragem. Como na ETA não há uma caixa de decantação dessa areia na saída dos filtros, a areia entra em maior quantidade no tanque de reciclagem, motivo pelo qual a amostra obtida apresentou uma grande quantidade de areia junto com o lodo.

Tabela 6– Resultados do teste de granulometria.

Material encontrado (%)			Fração da areia (%)	
Argila	Silte	Areia total	Areia grossa	Areia Fina
4	1	95	75	20

Fonte: Autoria própria.

Em relação aos valores obtidos com o traço referência e o traço com adição de lodo a 10%, os valores foram similares para os ensaios de resistência à compressão axial e tração por compressão diametral, não diferindo estatisticamente pelo teste Dunnett. Os valores dos demais traços (20%, 30% e 40%) diferiram do traço padrão (Tabela 7). Porém, em todos os tratamentos testados, os valores de resistência referentes a compressão axial foram maiores que 10MPa, possibilitando a utilização desses traços para recomposição de calçadas, como também em diversas aplicações não estruturais da construção civil.

Ainda na Tabela 7, pode-se observar o custo total de cada tratamento, que apesar de representar valores similares, torna-se uma alternativa de redução de custos para a prefeitura que gerencia gastos com recomposição de calçadas, podendo chegar a uma redução de aproximadamente 2%, resultante da adição de 40% de lodo. Essa iniciativa, além de contribuir com a preservação do meio ambiente, contribui também com a sustentabilidade na construção civil.

O efeito linear significativo para compressão axial e diametral é demonstrado na Tabela 7 e nas Figuras 23 e 24, podendo-se afirmar que os valores crescentes de adição de lodo em substituição a areia no concreto, correspondem a decréscimos nos valores de resistência; porém, ao observar os valores de compressão axial, estes estão dentro do exigido para o uso na recomposição de calçadas, que é de 10 MPa. Essa tendência corrobora com a encontrada por alguns autores, como Costa (2011) e Hoppenet al. (2006).

Costa (2011), trabalhando com lodo gerado na ETA de Mirassol, testou a adição de 5%, 10% e 20% em concreto para recomposição de calçadas. Apesar dos valores encontrados neste trabalho apresentarem menor resistência, o autor comenta que a inclusão do lodo composto com areia como agregado miúdo interfere sensivelmente nas resistências. Por outro lado, foi possível perceber que apesar de exercer influência nos resultados, a inclusão do lodo

em momento algum reduziu as resistências para valores abaixo daqueles considerados para a compressão axial.

Tabela 7 – Resumo estatístico dos valores obtidos de resistência à Compressão Axial e resistência à tração por Compressão Diametral.

Lodo	Resistência à Compressão Axial	Resistência à tração por Compressão Diametral	Custo Total (R\$)
%	----- MPa -----		
0	16,83	6,71	5,91(-)
10	15,68	6,50	5,88(-0,5%)
20	14,06 ⁺	6,38 ⁺	5,86(-0,9%)
30	13,84 ⁺	6,26 ⁺	5,83(-1,4%)
40	13,53 ⁺	6,25 ⁺	5,80(-1,9%)
D.M.S	2,00	0,32	
Regressão Linear	26,4 ^{**}	19,79 ^{**}	
Regressão Quadrática	2,50 ^{ns}	1,64 ^{ns}	
Coefficiente de Variação (%)	7,02	5,58	

⁺ Difere significativamente a 5% de probabilidade, da testemunha (traço padrão), pelo teste Dunnett.

D.M.S.: diferença mínima significativa, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett.

^{ns} não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$).

^{**} significativo a 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$).

Hoppenet al. (2006) realizaram um trabalho semelhante, em que foi avaliada a incorporação do lodo da ETA Passaúna, localizada na região metropolitana de Curitiba, em concreto. Além da compressão axial, foram avaliadas também, as variações de trabalhabilidade em termos da quantidade de lodo adicionado. Os traços utilizados pelos referidos autores também diferiram um pouco dos utilizados neste trabalho, em que a porcentagem de lodo em peso foi incorporada em substituição ao peso do agregado miúdo, considerando-se de 3%, 5%, 7% e 10%, testando à idade de ruptura dos corpos de prova de 7, 14, 28 e 91 dias. Apesar de levarem em consideração os mesmos traços (1:2:3), os resultados para as resistências à compressão axial apresentaram resultados similares entre o traço padrão e o com 5% de lodo.

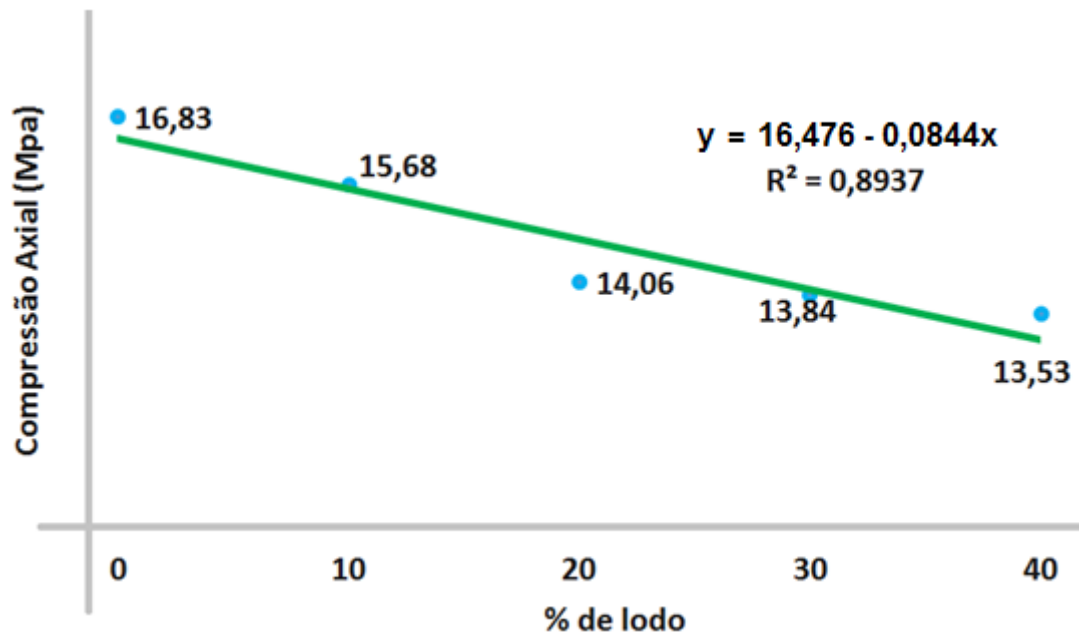


Figura 23 – Representação da equação de regressão para resistência à Compressão Axial (MPa) em função das doses de lodo adicionadas ao concreto para recomposição de calçadas.

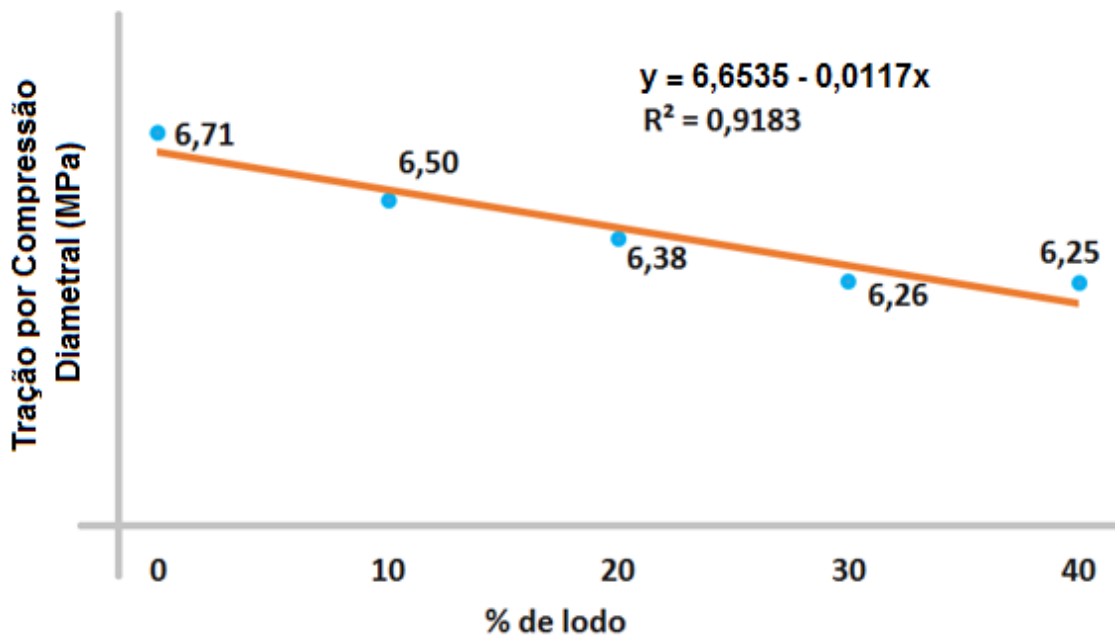


Figura 24 – Representação da equação de regressão para resistência à tração por Compressão Diametral (MPa) em função das doses de lodo adicionadas ao concreto para recomposição de calçadas.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade técnica da utilização de lodo da ETA Descalvado, composto de areia como agregado miúdo, sendo aproveitado na confecção de concretos para recomposição de calçadas, com valores acima de 10 MPa, e obtidos até a maior adição de 40% do resíduo sólido em relação ao agregado miúdo.

Com valores similares de redução de custos, devido a adição de lodo, pode-se chegar a uma economia de aproximadamente 2%; entretanto, a maior contribuição do uso de lodo para a confecção de concreto está na preservação do meio ambiente, contribuindo também com a sustentabilidade da construção civil, que com esta iniciativa pode retirar do meio ambiente aproximadamente 80,11 toneladas de lodo geradas anualmente, que ao longo de dez anos representaria cerca de 801 toneladas, além da redução de custo para a disposição do material.

7. RECOMENDAÇÕES

Para melhoria dos processos e conseqüente elevação da qualidade da água destinada a população, sugere-se a construção de uma caixa de decantação na saída dos filtros.

Como o lodo é retirado do tanque de reciclagem manualmente, do ponto de vista da segurança do trabalho, a atuação do operador da ETA pode acarretar malefícios à sua saúde. Por essa razão, destaca-se aqui a importância de uso de equipamentos mais específicos para tal limpeza, como, por exemplo, uma draga de pequeno porte, impedindo o contato direto do operador com o lodo.

Com objetivo de melhorar a forma de secagem e manuseio do lodo no processo de limpeza e retirada da ETA, há a necessidade da construção de uma quadra de concreto com aproximadamente 30 m² ao lado do tanque de reciclagem, objetivando a desidratação deste resíduo.

Recomenda-se, também, uma alternativa para a redução do lodo, diminuindo a quantidade de sulfato de alumínio e empregando um coagulante auxiliar, pois a quantidade de sulfato adicionado à água bruta pode ser diretamente proporcional à quantidade de lodo gerado.

REFERÊNCIAS

BARROSO, M.M. (2002). **Problemática dos metais e sólidos no tratamento de água (Estação Convencional de Ciclo Completo) e nos resíduos gerados**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento. São Carlos-SP.

CORDEIRO, J. S. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 1999.

COSTA, A. J. C.; COSTA, A. J. M.; BARBOZA, M. G. **Contribuição para o uso racional de água em condomínios horizontais abastecidos por poços artesianos na cidade de Maceió – Estudo de caso no condomínio San Nicolás**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, 31., 2008, Santiago. Santiago: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2008.

COSTA, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçada: estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FERREIRA FILHO, S. S.; WAELKENS, B. E. **Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 3, p. 317-326, jul./set. 2009.

FERREIRA, B. S., REGO, V.B., CALIARI, P. C. **Caracterização de lodo de ETA para incorporação em concreto e fabricação de tijolos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA QUÍMICA, 2., Salvador, 2009. **Anais...**

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. 2. ed. João Pessoa: Editora da UFPB, 2004. 242 p.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C. V.; PAULON, V. A. **Codisposição de lodo centrifugado de estação de tratamento de água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental**. Cerâmica, v. 51, n. 318, p. 85-95, 2005.

HOPPEN, C., PORTELLA, K. F., ANDREOLI, C. V., SALES, A.; JOUKOSKI, A. Estudo de dosagem para incorporação de lodo de ETA em matriz de concreto como forma de disposição final. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, 2005. **Anais...**

JACOMASSI, F. E. **Estudo das micropropriedades de resíduos sólidos gerados nos decantadores de Estações de Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 117-126, abr./jun. 2007.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil**. Rama: Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n. 3, p. 405-418, set./dez. 2008.

MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHON, C. L. Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, 2005. **Anais...**

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 2. ed. Brasília: Fundação Nacional da Saúde; Coordenação de Saneamento, 1994. 256 p.

NUVOLARI, A.; CORAUCCI FILHO, B. Utilização de lodos de esgoto sanitário em tijolos cerâmicos maciços: aspectos tecnológicos e ambientais. In: FÓRUM DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS PAULISTAS – CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS, 1., 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ICTR, 18-20 maio 2003. p. 729-743.

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e Caracterização Química dos Resíduos da ETA de Itabirito-MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Morro do Cruzeiro, 2007.

ROTH, D. K. et al. **Implementing residuals management: costs implication for coagulation and softening plants**. Journal American Water Works Association, v. 100, n. 3, p. 81-93, mar. 2008.

SOUSA, F. G. C.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Estudo comparativo da geração de sólidos em estação de tratamento de água convencional de ciclo completo e ETA ciclo

completo com decantador de alta taxa. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29., 2004, San Juan. **Anais...** San Juan: Forjando el Ambiente que Compartimos, AIDIS, 22-27 ago. 2004, p.1-7.

SOUSA, M. R.; GARCIA, H. L.; ALVES, J. P. H.; GARCIA, C. A. B. Lodo de ETA: caracterização, quantificação e identificação de oportunidades de minimização. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 32., Fortaleza, 2009. **Resumos...**

SILVA, F. A. S. Software assistat: Assistência estatística. Versão 7.7 beta Campina Grande: UAEC-CTRN-UFCG, 2016.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa, 2001. **Anais...** João Pessoa: ABES [CD- ROM], 2001.