Universidade Católica de Brasília

Pró-Reitoria Acadêmica
Escola de Exatas, Arquitetura e Meio Ambiente
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária
Trabalho de Conclusão de Curso

REÚSO DA AREIA DO DESARENADOR DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO

Autoras: Bárbara Nascimento da Silva Moura
Vanesa Ferreira de Oliveira
Orientadora: Profª MSc. Beatriz Rodrigues de Barcelos
Co-Orientador: Maykon Vieira Silva

Brasília - DF
2018

BÁRBARA NASCIMENTO DA SILVA MOURA
VANESA FERREIRA DE OLIVEIRA

REÚSO DA AREIA DO DESARENADOR DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO

Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Católica de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador(a): . MSc. Beatriz Rodrigues de Barcelos

Co-Orientador: Maykon Vieira Silva

Brasília – DF
2018

Universidade Católica de Brasília

Artigo de autoria de Bárbara Nascimento da Silva Moura e Vanesa Ferreira de Oliveira, intitulado "REUSO DA AREIA DO DESARENADOR DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO", apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Católica de Brasília, em 04 de dezembro de 2018, defendido e aprovado pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof.ª MSc. Beatriz Rodrigues de Barcelos
Orientadora
Engenharia Ambiental e Sanitária – UCB

Maykon Vieira Silva
Co-Orientador
Engenharia Civil – UCB

Prof.ª MSc. Luciana Nascimento Lins
Examinadora
Engenharia Civil – UCB

Brasília-DF
2018

Dedicamos este trabalho a Deus, às nossas famílias, a base mais sólida de nossas vidas e a todas as pessoas que de alguma forma nos ajudaram e nos incentivaram durante essa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Temos muitos motivos para agradecer. Portanto, dedicamos essas poucas linhas a Deus, em primeiro lugar, pelas conquistas até o momento, por toda força, ânimo e coragem que Ele nos proporcionou durante esta longa caminhada na graduação.

Aos nossos pais, por todo apoio e incentivo que nos deram durante toda a vida. Aos nossos familiares, dividimos com vocês essa vitória.

Eu, Bárbara, agradeço ao meu namorado por toda PACIÊNCIA, motivação, AMOR, carinho e atenção.

À nossa querida Orientadora MSc. Beatriz Rodrigues de Barcelos, agradecemos pela paciência, disponibilidade e confiança. SEM VOCÊ ESTE TRABALHO NÃO SERIA POSSÍVEL.

Ao nosso Co-Orientador, Engenheiro Civil, Maykon Vieira Silva que não mediu esforços para nos ajudar. Agradecemos a compreensão, a PACIÊNCIA e por compartilhar conosco seus conhecimentos.

Aos amigos de toda a vida pelo apoio, incentivo e momentos de descontrações.

Aos queridos amigos da graduação, por dividirem angustias, medos, inseguranças, conhecimentos e também os êxitos alcançados, em especial a BÁRBARA SOUSA, JÉSSICA EMILY, Ana Clara Neme,Adenilson Alves, Mayara Figueiredo, Annyella Lays e Maria Luísa Brandão.

Por fim, àqueles que nos ajudaram direta ou indiretamente chegar até aqui.

REÚSO DA AREIA DO DESARENADOR DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO.

BÁRBARA NASCIMENTO DA SILVA MOURA

VANESA FERREIRA DE OLIVEIRA

Resumo

Efluentes representam despejos provenientes das diversas modalidades do uso das águas e geram poluição quando dispostos sem tratamento no meio ambiente. Assim, é preciso realizar tratamento que atenda as normas e padrões de lançamento, bem como as etapas necessárias para o processo. O tratamento de esgoto é classificado em preliminar, primário, secundário e terciário. Sendo que no tratamento preliminar é realizado a retenção dos sólidos grosseiros presentes no efluente, como a areia e a matéria orgânica e deve estar presente em todas as Estações de Tratamento de Esgotos. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a reutilização da areia proveniente de desarenador de ETE na fabricação de concreto. Os objetivos específicos foram: caracterizar os aspectos físico-químicos e bacteriológicos da areia; caracterizar a areia em seus aspectos geotécnicos; realizar testes de controle tecnológico do concreto produzido com a areia. A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme a NBR 5738:2003. O processo de desinfecção da areia foi realizado com cloro em solução. A análise microbiológica (teste de Colilert) indicou ausência de coliformes termotolerantes e presença de coliformes totais. Os resultados encontrados nas análises físico-químicas da amostra bruta indicaram alto teor de umidade, DQO de 1351 mg/kg devido à alta concentração de matéria orgânica, porém o processo de calcinação foi utilizado para remoção dos sólidos totais voláteis, a análise de pH indicou condição de acidez. O uso de 50% de areia de ETE na confecção de concreto apresentou-se satisfatório quando comparado ao concreto convencional. Os ensaios de resistência à compressão realizados após 7, 14, 21 e 28 dias indicaram resistência (MPa) de 22,9, 23,8, 27,1 e 27,8, respectivamente.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Esgoto. Desarenador. Resíduo. Concreto. Lodo de ETE.

Abstract

Effluents represent evictions from the different modalities of water use and generate pollution when disposed of no treatment in the environment. Thus, it is necessary to perform treatment that meets the standards of release, as well as the steps necessary for the process. Sewage treatment is classified as preliminary, primary, secondary and tertiary. Being the preliminary treatment the retention of the coarse solids present in the effluent, such as sand and organic matter and must be present in all Sewer Treatment Station (STP) (ETE). Therefore, the present paper has as general objective to evaluate the reuse of the sand coming from the Sewage Treatment Station desander in the manufacture of concrete. The specific objectives were: characterize the physical-chemical and bacteriological aspects of sand; characterize the sand in its geotechnical aspects; perform tests of technological control of the concrete produce

with the sand. The molding of the specimens was performed according to NBR 5738:2003. The sand disinfection process was performed with solution chlorine. Microbiological analysis (Colilert test) indicated absence of thermotolerant coliforms and presence of total coliforms. The results found in the physical-chemical analyzes of the crude sample indicated high moisture content Chemical Oxygen Demand (QOD) of 1351 mg/kg due to the high concentration of organic matter, however calcination process was used to remove the total volatile solids, the pH analysis indicated acidity condition. The use of 50% of sand of Sewer Treatment Station (STP) (ETE), in the confection of concrete was satisfactory when compared to conventional concrete. The compressive strength tests performed after 7, 14, 21 and 28 days indicated resistance (MPa) of 22.9, 23.8, 27.1 and 27.8, respectively.

Keywords: Sewer Treatment Station, shredder. Residue. Concrete. Sludge of sewer treatment station.

1 INTRODUÇÃO

Efluentes representam os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidades públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários. O tratamento e disposição final desses conforme as normas vigentes é essencial para remover as impurezas e minimizar danos ambientais e à saúde pública (JORDÃO; PESSOA, 2011; DISTRITO FEDERAL, 2018).

Nesse sentido, o lançamento indiscriminado dos esgotos nos corpos d'água, pode causar vários inconvenientes que se apresentam com maior ou menor importância, de acordo com os efeitos adversos que podem causar aos usos benéficos das águas (JORDÃO; PESSOA, 2011). Assim, os corpos hídricos que são usados para abastecimento populacional, por exemplo, podem ser usados para lançamento de esgoto gerado pelo homem através dos múltiplos usos, causando alterações da qualidade das águas.

No Brasil, o lançamento de esgotos domésticos não tratados é ainda a principal fonte de poluição dos corpos d'água. Logo, segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento - SNIS (2016), o atendimento total com rede de esgoto, no Brasil, é igual a 51,9%, porém só 44,9% dos esgotos gerados são devidamente tratados.

Isto posto, há basicamente duas variantes dos sistemas de esgotamento sanitário: o sistema individual (solução local, individual ou para poucas residências) e o sistema coletivo (solução com afastamento dos esgotos da área servida) (VON SPERLING, 2014). Em relação ao tratamento de esgoto por um sistema coletivo, que ocorre geralmente em uma Estação de Tratamento de Esgoto - ETE é usada para tratar os esgotos oriundos de atividades domésticos, onde deve promover a remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão e os organismos patogênicos presentes no esgoto (LEME, 2014).

No Brasil, existem normas, padrões e legislações vigentes que regularizam e estabelecem diretrizes para o saneamento, bem como os procedimentos para tratamento e lançamento de efluentes. Assim, existem três categorias/parâmetros para definir a qualidade do esgoto: físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 2014) sendo importante o tratamento destes para eliminação das impurezas que geram contaminação do solo e das águas.

Ademais, o tratamento de esgoto também é classificado da seguinte forma: preliminar, primário, secundário e terciário. Com relação ao Brasil, de acordo com a Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental - ReCESA (2008) a maioria

das estações são a nível secundário. Em alguns casos, as ETEs promovem a remoção de nitrogênio e fósforo com um tratamento mais avançado, ou seja, a nível terciário (LEME, 2014).

Sobre o tratamento preliminar, este deve estar presente em todas as estações de tratamento de esgotos e está relacionado a retenção de sólidos grosseiros, como a areia e a matéria orgânica putrescível, como: vegetais (grãos de café, grãos de feijão, frutas e verduras), gordura, casca de ovos, pedaços de ossos e penas de aves (JORDÃO; PESSOA, 2011) que são genericamente denominados "areia".

Nas estações de tratamento de esgoto existem sistemas para separação e remoção de partículas sólidas, esses sistemas são comumente chamados de caixa de areia ou desarenadores. Em uma estação de tratamento de esgoto as caixas de areia (que fazem parte do tratamento primário) tem como objetivo a separação e retenção dos materiais sólidos encontrados que podem interferir e prejudicar o bom funcionamento de todo o sistema (LEME, 2014). A falta de adequabilidade dos projetos e a obediência das recomendações técnicas dessas funções constituem as principais causas das perturbações operacionais ou mau desempenho dessas unidades (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP (2005), as finalidades básicas da remoção da areia em uma ETE são:

- Evitar abrasão nos equipamentos e tubulações;
- Eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques e orifícios, sifões, etc;
- Facilitar o transporte líquido em suas diversas fases.

Há diferentes formatos de desarenadores, podendo ser retangulares (bastante comuns), quadrados (com fundo semi cônico) e outros. As caixas de areia podem ser em aeração (mais comuns) ou aeradas (menos comuns) (VON SPERLING, 2014).

O mecanismo de remoção da areia é simplesmente o de sedimentação: os grão de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, sendo de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para as unidades de jusante. Existe uma diversidade de processos para retirada e transporte da areia sedimentada, desde os manuais até os completamente mecanizados (VON SPERLING, 2014).

O material removido dos desarenadores possui geralmente, entre 35% e 80% de sólidos na fase seca e de 1% a 55% de sólidos voláteis (WATER, 1998 apud BORGES). A classificação desses resíduos removidos nos desarenadores são de classe II A (não perigosos e não inertes), segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).

Haja vista que, de modo geral, há uma grande preocupação em relação aos resíduos, por se tratar de problema ambiental e também por acarretar gastos cada vez mais elevados para transporte e disposição apropriada desse material (BORGES et al. 2016).

Embora a areia removida das caixas de areia (desarenadores) de ETEs não tenha recebido a devida importância, uma vez que a prática é enterrá-la sem nenhum tratamento, atualmente a mesma passou a ser considerada um problema no gerenciamento de estações no que se refere ao manuseio, tratamento e destinação final, devido a necessidade de atender requisitos legais por parte das empresas de saneamento (YAMANE, 2007).

Considerando o aspecto econômico e ambiental, o presente projeto apresenta alternativa de reutilização do resíduo proveniente de ETEs para produção em atividades da construção civil. Segundo GASPARIM (2013), a alternativa da reciclagem tem o grande benefício de transformar um resíduo problemático e de difícil disposição em um insumo, que possa incrementar a cadeia produtiva.

Sendo assim, vem-se buscando alternativas para seu reúso, com a premissa de que seja realizada sua desinfecção, com objetivo de eliminar ou reduzir significativamente a densidade de microorganismos patogênicos causadores de doenças e a remoção da matéria orgânica.

Como exposto, o presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a reutilização da areia proveniente de desarenador de ETE na fabricação de concreto. Ademais, os objetivos específicos foram: caracterizar os aspectos físico-químicos e bacteriológicos da areia; caracterizar a areia em seus aspectos geotécnicos; realizar testes de controle tecnológico do concreto produzido com a areia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Como o objetivo principal deste trabalho é a reutilização da areia removida de desarenadores de ETE na construção civil, caracterizou-se a área de estudo, com a finalidade de analisar suas propriedades de operação e a potencialidade do resíduo removido no tratamento preliminar. Consoante ao resíduo removido dos desarenadores, optou-se pela caracterização do mesmo quanto a viabilidade e utilização da areia como matéria-prima na indústria da construção civil. Para tal, apresenta-se análises físico-química, microbiológica e geotécnica através de Estudo Piloto, para avaliação dos métodos e etapas selecionadas.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal tem aproximadamente 2.570.160 habitantes (IBGE, 2018), com 93,7% de índice de atendimento à população. Do total de esgoto coletado, 100% é tratado, sendo o sistema de esgotos do DF composto por 15 estações de tratamento em operação (CAESB, 2018).

A pesquisa foi realizada com base no resíduo gerado no tratamento preliminar da ETE Brasília Sul (Figura 1) que opera desde janeiro de 1993, sob responsabilidade técnica da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB com a finalidade de atender 460.000 habitantes. A ETE está localizada no Setor de Clubes Esportivos Sul (Lago Sul), em Brasília - DF.

O sistema de tratamento atende a uma vazão média anual de 1.319 L/s, sendo a vazão de projeto de 1.500 L/s. O tratamento dos efluentes é constituído pela remoção biológica de nutrientes, mais polimento final (lodo ativado a nível terciário) (CAESB, 2018). Após todas as etapas do tratamento, o efluente é lançado no corpo receptor - Lago Paranoá, localizado na parte central de Brasília. Este lago está inserido na Bacia do Rio Paranoá (SEMA, 2016).

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo

Fonte: Elaborado por autoras.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA

Nesta fase foi realizada as caracterizações físico-química, microbiológicas e geotécnicas do resíduo de caixa de areia da ETE em estudo. As amostras coletadas foram submetidas a análises laboratoriais e caracterização, onde utilizou-se os métodos preconizados por APHA, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros para caracterização físico-química, microbiológica e geotécnica.

Amostra	Análises	Métodos
Areia	Umidade	Gravimétrico
	pH	Potenciométrico
	Sólidos Totais	Gravimétrico
	Sólidos Totais Voláteis	
	Sólidos Totais Fixos	
	Demanda Química de Oxigênio	Espectrofométrico
	Coliformes	Colilert
	Granulometria	Peneiramento
	Massa específica e Massa unitária	Matemático
	Material Pulverulento	

Fonte: Adaptado de APHA.

2.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA

Para as análises foram coletados aproximadamente 20 kg do resíduo da caixa de areia da ETE Brasília Sul. A caracterização preliminar (antes da secagem e calcinação) do resíduo buscou conhecer suas propriedades físico-químicas, tais como umidade, pH e Demanda Química de Oxigênio (DQO), conforme os métodos dispostos na Tabela 1. Posteriormente, o resíduo foi levado à secagem por meio da estufa à 100º C de temperatura, por cerca de 24 (vinte e quatro) horas e, em seguida, à mufla à 550 º C, para calcinação, por aproximadamente 3 (três) horas para eliminação dos sólidos voláteis e microorganismos presentes nas amostras.

Podem-se associar as características microbiológicas da areia do desarenador às características do esgoto, essas características já são bastantes exploradas (YAMANE, 2007). Acerca das características microbiológicas, no esgoto são encontrados vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários e helmintos), e, embora a grande maioria desses organismos seja inofensiva, alguns grupos de patógenos são considerados perigosos pelo risco que representam para a saúde humana e animal (ANDREOLI apud YAMANE, 2007).

Os mais prováveis indicadores da qualidade da areia de contato primário são: *E.coli*, coliformes totais, leveduras do gênero *Cândida* e helmintos (DEMONER apud YAMANE, 2007). As bactérias do grupo coliforme, por estarem presentes, em grande número, no trato intestinal humano e de animais de sangue quente, sendo eliminadas em grande número pelas fezes, constituem o indicador de contaminação fecal mais utilizado em todo o mundo. (NUVOLARI, apud YAMANE, 2007)

As análises de coliformes foram feitas em duas condições distintas, uma após a calcinação e outra após a desinfecção da areia.

2.4 PROCEDIMENTO DE DESINFECÇÃO

A desinfecção da areia residual foi realizada utilizando cloro em solução com concentração de aproximadamente 50 g/L e tempo de contato igual a uma hora, conforme estabelecido pela NBR 12216:1992.

2.5 ANÁLISES GEOTÉCNICAS

2.5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a análise granulométrica, pesou-se aproximadamente 500 g de areia residual. Por meio do método de peneiramento, essa areia foi disposta em uma sequência de peneiras (Figura 2), de acordo com sua abertura em ordem decrescente (Tabela 2), e agitadas no agitador de peneiras (Figura 3) por 7 minutos na frequência de 40 vezes/segundo para então determinar sua granulometria (Figura 4).

Figura 2,3 e 4 - Processo de peneiramento para definição da granulometria.

Figura 2 Figura 3 Figura 4

Fonte: Elaborado por autoras.

Tabela 2 – Abertura das Peneiras.

Polegadas	Abertura (mm)
8	2.400
16	1.180
30	0.600
50	0.300
100	0.149
200	0.075

Fonte: Elaborado por autoras.

2.5.2 MATERIAL PULVERULENTO

Para análise do material pulverulento, conforme NBR NM 46:2001, usou-se uma quantidade de 200 g de areia residual, onde a mesma foi lavada em água corrente em uma peneira com abertura de 0,075 mm até atingir maior transparência possível, para retirada de todo o material pulverulento da amostra, e foi levada a estufa a 100° C por 24 horas. Após esse processo o material foi pesado novamente para então, através de cálculos simples, obter o quantitativo de material pulverulento.

2.5.3 MASSA ESPECÍFICA

Para determinação da massa específica, utilizou-se o método de frasco de Le Chatelier, conforme NBR NM 23:2001, onde inicialmente pesou-se 60 g de areia residual. Posteriormente, o frasco foi cheio com água destilada até uma marca de 0.1 cm³. Então secou-se o colo do frasco volumétrico na parte acima do nível do líquido com papel absorvente e colocou – se, em pequenas proporções a areia residual, para que não ocorresse aderência da referida nas paredes internas do frasco, acima do nível do líquido, até chegar a marca entre 18cm³ e 24 cm³ encontrar o volume deslocado. Calculou-se a massa específica por meio da equação 1 abaixo:

$$(1)\ \ \rho = \frac{m}{v2-v1}\ (g/cm^3)$$

2.5.4 MASSA UNITÁRIA

A massa unitária do material foi determinada conforme a NBR NM 45:2006, onde realizou o procedimento em triplicata para obter a média. Pesou - se o recipiente com e sem a areia residual, para obter somente a massa da areia. Encontrou-se o volume do recipiente circular de acordo com as dimensões do mesmo e obteve-se a massa unitária por meio do cálculo utilizando a equação 2.

$$(2)\ \rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}\ (g/cm^3)$$

2.6 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA

As análises do concreto produzido através da areia de reúso visam conhecer a eficiência do material para uso alternativo na construção civil, bem como as características de resistência e durabilidade do concreto.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme NBR 5738:2003. Foram utilizados moldes de corpos de prova cilíndricos com 100mm de diâmetro e 200mm de altura. O adensamento escolhido foi o manual, em duas camadas, com 12 golpes cada, aplicados por haste de aço cilíndrica de 16mm de diâmetro.

Foram produzidos um total de 8 (oito) corpos de prova, sendo 4 (quatro) deles com a areia do desarenador de ETE e 4 (quatro) convencionais, sem utilização de resíduo, conforme traço já pré-determinado e exposto nas Tabelas 3 e 4. Sendo 3 o traço para 1m³ e 4 o traço unitário.

Para os corpos de prova confeccionados com a areia de ETE, utilizou-se 50% do resíduo, em substituição à areia convencional (com quantidades dispostas na tabela 6), e para produção do concreto convencional utilizou-se as quantidades dispostas na Tabela 5, ambos considerando traço disposto na Tabela 4.

Assim, a produção de todos os corpos de prova se deu através da mistura dos materiais na betoneira, seguindo as ordens apresentadas nas Tabelas 5 e 6.

As Figuras 5 e 6 ilustram esse processo de mistura e homogeneização e moldagem dos corpos de prova.

Figura 5 - Processo de mistura e homogeneização dos materiais.

Figura 6 - Processo de moldagem dos corpos de prova.

Fonte: Elaborado por autoras.

Tabela 3 - Traço para 1 m³

Concreto	Unidade	Cimento	Areia	Resíduo	Brita	Aditivo polifuncional	Aditivo superplastificante	Água
Convencional	kg	400	740	0	1000	4	4	260
Substituição da areia por 50% de resíduo	kg	400	370	370	1000	4	4	260

Fonte: Elaborado por autoras.

Tabela 4 - Traço unitário em massa.

Cimento	Areia	Brita	A/C
1	1,85	2,5	0,65

Fonte: Elaborado por autoras.

Tabela 5 - Materiais utilizados na produção dos corpos de prova convencionais.

Ordem	Material	Unidade	Quantidade
1º	Cimento	kg	2,800
2°	Brita 0	kg	7,00
3º	Areia	kg	5,18
5°	Água	kg	1,820
6º	Aditivo polifuncional	g	14
7º	Aditivo superplastificante	g	14

Fonte: Elaborado por autoras.

Tabela 6 - Materiais utilizados na produção dos corpos de prova com areia de ETE

Ordem	Material	Unidade	Quantidade
1º	Cimento	kg	2,800
2°	Brita 0	kg	7,00
3º	Areia	kg	2,590
4º	Areia de ETE	kg	2,590
5°	Água	kg	1,820
6º	Aditivo polifuncional	g	14
7º	Aditivo superplastificante	g	14

Fonte: Elaborado por autoras.

O processo de cura dos corpos de prova se deu por meio do armazenamento dos mesmos em um tanque de cura, com água em condições ambiente de temperatura (23 ºC) conforme a NBR 5738:2003 até a véspera de seu rompimento.

Os ensaios de resistência à compressão do concreto foram realizados conforme NBR 5739:2007. As idades de ruptura escolhidas foram 7 (sete), 14 (quatorze), 21 (vinte e um) e 28 (vinte e oito) dias. Durante os ensaios, os corpos de prova foram colocados na prensa de compressão conforme ilustrado na figura 4, e posteriormente foram submetidos a uma carga que é aumentada progressivamente e de forma contínua, com velocidade constante e sem choques, até sua ruptura.

Figura 7 - Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Elaborado por autoras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

Tabela 7 - Parâmetros para utilizados na caracterização físico-química, microbiológica da areia

Análises	Unidade	Valores
Umidade	%	18,81
Sólidos Totais	%	81,38
Sólidos Totais Fixos	%	71,10
Sólidos Totais Voláteis	%	28,89
pH	-	6,4
Demanda Química de Oxigênio	mg/Kg	1351
Coliformes Termotolerantes (após calcinação)	MPN	Ausente
Coliformes Totais (após calcinação)	MPN	195,6
Coliformes Termotolerantes (areia desinfetada)	MPN	Ausente
Coliformes Totais (areia desinfetada)	MPN	>2419,2

Fonte: Elaborado por autoras.

As características físicas, químicas e biológicas dos esgotos sanitários são bastante variadas, entretanto, sua composição, em termos percentuais, apresenta as seguintes parcelas: 99,8% a 99,9% de água e 0,01 a 0,02% de sólidos, sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos e 30% inorgânicos (Melo e Marques apud Batista, 2015). Dentre a parcela de inorgânicos encontra-se a areia. Na ETE Brasília Sul, Segundo Batista (2015), foram produzidos 3.264 m³ de areia no ano de 2013. Considerando essa areia retirada no tratamento

preliminar do tratamento de esgoto, por meio de desarenadores, foram definidas 6 (seis) análises físico-químicas da areia, conforme a Tabela 7.

A secagem térmica promove a redução da umidade através da evaporação da água e promove a destruição de microorganismos patogênicos. Em relação aos sólidos, no processo de secagem térmica, apenas a água é removida da amostra, os sólidos totais são mantidos praticamente inalterados (DAVID, 2002).

Acerca dos resultados obtidos, a amostra bruta apresentou baixo teor de umidade (18,81%). A areia utilizada em concretos, em geral, pode-se apresentar com teores significativos de umidade, porém, durante o processo de fabricação de concreto, essa relação deve ser conhecida, para que se faça a correção no momento da produção e não ocorra adição de água superior ao definido no traço.

Escolheu-se eliminar a umidade da amostra bruta do resíduo de ETE e verificar o quantitativo de sólidos totais, para isso, a amostra do resíduo foi colocada na estufa por 24 (vinte e quatro) horas. Após esse processo a amostra foi submetida a calcinação na mufla para obtenção dos sólidos totais fixos. Logo, esse processo de calcinação compreende a remoção do material orgânico contido na amostra, denominados sólidos totais voláteis.

Na construção civil, a presença de matéria orgânica na areia é indesejada pois impede as reações de hidratação e aglutinação dos materiais cimentícios e se estiver acima do limite (10%), restringe sua utilização como, por exemplo, na fabricação de concreto (YAMANE, 2007).

Em uma escala que indica acidez ou alcalinidade, pH entre 0 e 7 indica acidez e entre 7 e 14 indica alcalinidade (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Quando comparado à composição do lodo bruto gerado durante o processo de tratamento de esgoto que indica pH entre 6,0 e 8,0 (METCALF E EDDY, apud BATISTA, 2015), o resíduo de ETE apresentou condição de acidez, em torno de 6,4.

Define-se DQO, como a quantidade de oxigênio necessária para oxidação de matéria orgânica por meio de um agente químico. O observado na análise para o parâmetro em questão foi de 1351 g/kg. Essa alta concentração de DQO observada pode ser considerada em função da característica do material, pois contém alta concentração de matéria orgânica. Todavia houve um processo de remoção desse material orgânico através da calcinação.

Quanto ao parâmetro microbiológico, verificou-se a presença de coliformes totais e termotolerantes nas amostras após secagem e calcinação e após a desinfecção. Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 7.

A presença de coliformes demonstra a necessidade de tratamento com objetivo de eliminar ou reduzir significativamente a densidade de microorganismos patogênicos nos resíduos oriundos de ETE, a fim de torná-lo seguro do ponto de vista microbiológico (BORGES, 2014).

O teste indicou ausência de coliformes termotolerantes em 100 mL das amostras, após secagem e calcinação e após a desinfecção. A remoção desses coliformes ocorreu devido a exposição aos altos níveis de temperatura, que foram suficientes para inativação dos microorganismos não resistentes a temperaturas elevadas. Em função do tratamento térmico do resíduo de desarenador de ETE, na Figura 8, estão apresentados os principais organismos e as temperaturas e tempo de exposição para eliminação desses microorganismos patogênicos (BARÉS, 2010).

Os testes contendo 10g da areia de ETE em 100 mL de água indicaram ausência de coliformes termotolerantes nas amostras após secagem e calcinação e após a desinfecção. A remoção desses coliformes ocorreu devido a exposição aos altos níveis de temperatura, que foram suficientes para inativação dos microorganismos não resistentes a temperaturas elevadas. Em função do tratamento térmico do resíduo de desarenador de ETE, na Figura 8, estão

apresentados os principais organismos e as temperaturas e tempo de exposição para eliminação desses microorganismos patogênicos (BARÉS, 2010).

Figura 8 - Relação microorganismos com tempo e temperatura de inativação

Organismo		Tempo (min)	Temperatura (°C)
Bactérias	*Salmonella typhosa*	30 20 Instantâneo	55 a 60 60 46
	Salmonella sp.	15 a 20 60	60 55
	Shigella sp.	60	55
	Escherichia coli	15 a 20 60	60 55
	Brucella abortus ou *Br. suis*	50	45
	Streptococcus pyogenes	10	54
	Mycobacterium pyogenes van. Aureus	10	50
	Mycobacterium tuberculosis van. Homini	15 – 20	66
	Corynebacterium diphtheria	45	55
Nematóides	*Ascaris lumbricoides*	60	Maiores 50
	Necator americanus	50	45
	Trichinella spiralis (larvas)	Instantâneo Eliminação rápida	60 55
Cestóides	*Taenia saginata*	Poucos min	55
Protozoários	*Entamoeba histolytica*	Poucos min Poucos seg	45 55

Fonte: Metcalf e Eddy (2003, apud BARÉS, 2010)

Segundo YAMANE (2007, apud PESSOA, 2009), a cloração é uma forma de higienização, onde o cloro, ou o agente desinfetante, penetra nas células dos microorganismos e reage com suas enzimas, destruindo-as. Mesmo o cloro sendo um agente desinfetante comumente utilizado e eficiente em muitos processos de remoção de microorganismos patogênicos, o teste de coliformes totais deu positivo em ambas as análises.

Ademais, pode-se inferir que a desinfecção com cloro não foi suficiente para remover todos os microorganismos patogênicos contidos na amostra, ou seja, aqueles observados como coliformes totais. A concentração do agente desinfetante e o tempo de contato com a areia de ETE, bem como o número de microorganismos presentes e suas características são fatores determinantes para avaliação da eficiência de ação do agente químico utilizado.

Segundo Yamane (2007) outro aspecto relevante que interfere no processo de desinfecção é a presença de sólidos, uma vez que estes podem proteger os microorganismos da ação do desinfetante.

Segundo a Resolução 468/2010, a classificação das areia para recreação de contato primário se dá a partir das densidades de Coliformes Totais e Escherichia coli, conforme a Tabela 8. Considerando tal resolução, o processo realizado para remoção de patógenos apresenta-se como satisfatório para que ocorra contato primário com a areia de ETE após os processos de calcinação e desinfecção.

Tabela 8 - Classificação da areia de praia para contato primário.

Areias de Praia - Classificação		**Coliformes Totais (NMP/100g)**	**Escherichia Coli.(NMP/100g)**
Ótima	****	até 10.000	até 40
Boa	***	>10.000 a 20.00	> 40 a 400
Regular	**	> 20.000 a 30.000	> 400 a 3.800
Não Recomendada	*	acima de 30.000	acima de 3.800

OBS: Não serão recomendados contatos com areias que possuem classificação igual a *

Fonte: Resolução SMAC nº 468/10.

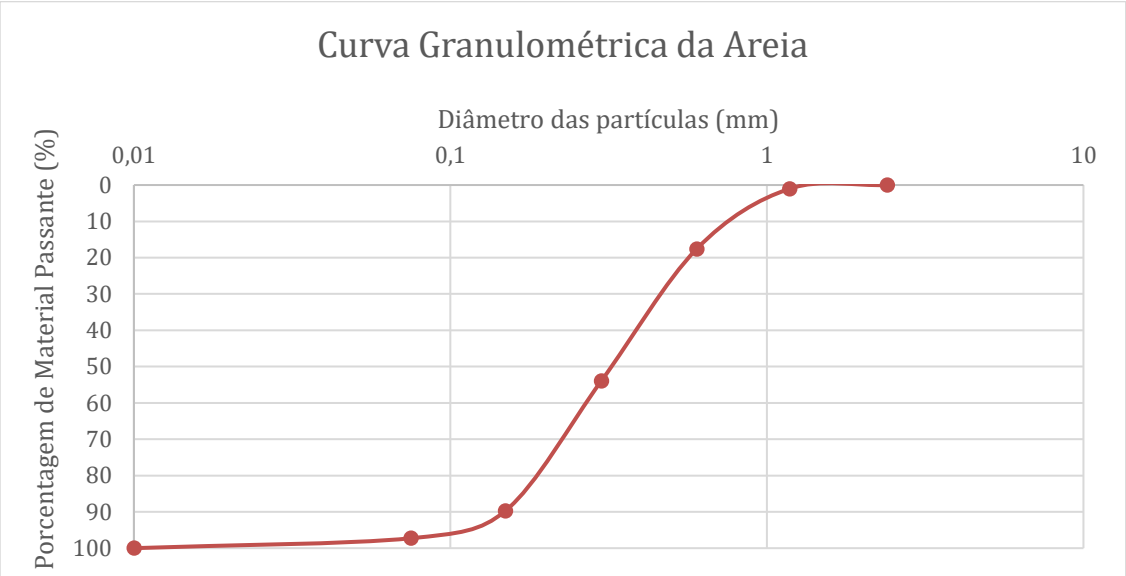
3.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

3.2.1 GRANULOMETRIA

De acordo com Varela (2018), granulometria é a distribuição, em porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos, ou seja, é a determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas porcentagens de ocorrência.

Os agregados conjuntamente com os aglomerantes, especificamente o cimento, formam o principal material de construção: o concreto. Eles desempenham um importante papel nas argamassas e concretos, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes, como: retração, aumento da resistência ao desgaste, etc., sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade têm resistência superior à da pasta do aglomerante (PETRUCCI, 1982). O Gráfico 1 abaixo ilustra a curva granulométrica da areia residual.

Gráfico 1 - Curva Granulométrica da areia residual.



Fonte: Elaborado por autoras.

De acordo com a ABNT 7211:2005, a areia da produção de concreto deverá ser composta por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento. Verifica-se que o material utilizado para substituir a areia possui a

granulometria entre 1,18 e 0,075 mm e o diâmetro máximo igual a 1,18 mm. Logo, a areia de ETE pode ser classificada como areia média.

3.2.2 MATERIAL PULVERULENTO

Conforme a NBR NM 46:2001 os materiais pulverulentos são partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados. No geral a presença desses materiais é indesejável na constituição do concreto; um agregado com alto teor de materiais pulverulentos diminui aderência do agregado a pasta ou argamassa, prejudicando de forma direta a resistência e instabilidade dimensional do concreto produzido com alto índice de material pulverulento. O quantitativo de material pulverulento encontrado foi de 12,73 %. A norma estabelece para o agregado miúdo um teor máximo de 3,0% para concreto sujeito ao desgaste superficial, e 5,0% para outros concretos. Logo, conclui-se que está fora dos limites estabelecidos pela norma. Porém, ao lavar na peneira de 0,075 mm o material pulverulento é carreado junto à água, podendo então utilizar o mesmo não comprometendo a resistência.

3.2.3 MASSA ESPECÍFICA

Conforme a NM 23:2001, massa específica é a massa de uma unidade de volume do material, logo massa específica calculada da areia residual é igual a 2.64 g/cm³. A Massa específica da areia convencional é aproximadamente 2,66 g/cm³. Logo, ao analisar esses valores, nota- se que são muito próximos e possuem características semelhantes, então nesse caso, não apresentando impedimentos para a areia residual ser utilizada.

3.2.4 MASSA UNITÁRIA

De acordo com a NM 45:2006, massa unitária é a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. A areia em análise possui massa unitária de 0.85 g/cm³, conforme resultado observado na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 - Resultado da massa unitária.

Determinação	**1**	**2**	**3**
Volume (cm³)	987,62	987,62	987,62
Massa recipiente (g)	4.634	4.634	4.634
Massa recipiente + areia residual (g)	5.479	5.473	5.473
Massa areria residual (g)	845	839	839
Massa Unitária (g/cm³)	0,86	0,85	0,85
Média - Massa Unitária (g/cm³)		0,85	

Fonte: Elaborado por autoras.

Porém, a massa unitária da areia natural é aproximadamente 1,35 g/cm³. Logo, isso caracteriza que a areia de ETE é menos densa que a areia convencional.

3.3 CORPOS DE PROVA

De acordo com Lima et al. (2014), o concreto, por ser composto da mistura de diversos outros materiais bastante diferentes entre si, é um material bastante homogêneo. E uma de suas características mais importante é a resistência à compressão. Assim, o concreto possui diversos

fatores influentes no processo de crescimento de sua resistência e na sua resistência final. O ensaio de controle da resistência à compressão é, em geral, realizado aos 28 dias após a moldagem, porém, conforme supracitado em sua metodologia, para esse estudo foram realizados ensaios com 7,14,21 e 28 dias, tanto para os corpos de prova convencionais quanto para os corpos de prova com 50% de areia residual. Os resultados dos mesmos podem ser observados nas Tabelas 10,11 e 12 e nos gráficos 2 e 3 abaixo.

Tabela 10 – Resistência à compressão dos corpos de prova com o 50% de areia residual.

Dias	Carga (kN)	Resistência à Compressão (MPa)	Tipo de Ruptura
7	179.50	22.9	Topo
14	187.25	23.8	Cisalhada
21	212.45	27.1	Cisalhada
28	218.25	27.8	Cônica e Cisalhada

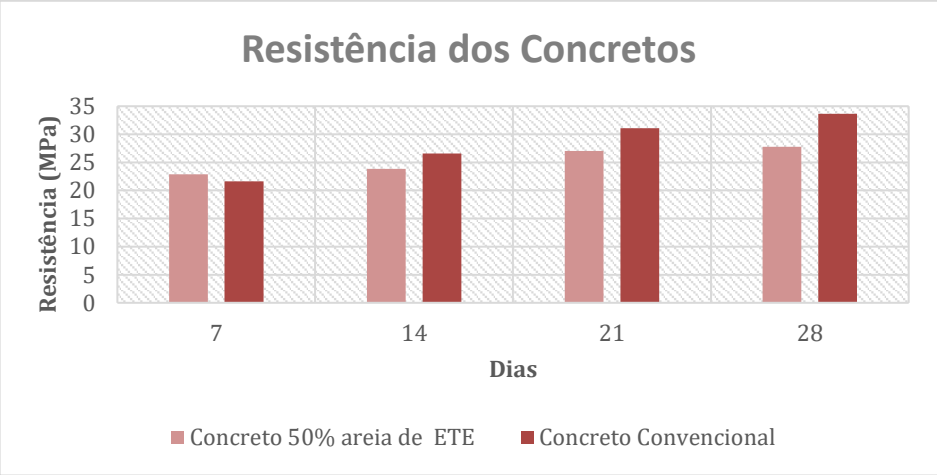
Fonte: Elaborado por autoras.

Tabela 11 - Resistência à compressão dos corpos de prova convencionais sem areia residual.

Dias	Carga (kN)	Resistência à compressão (MPa)	Tipo de Ruptura
7	169.95	21.7	Cisalhada
14	208.70	26.6	Cisalhada
21	243.90	31.1	Cisalhada
28	264,25	33.7	Topo

Fonte: Elaborado por autoras.

Gráfico 2 - Comparação das resistências à compressão dos concretos confeccionados.



Fonte: Elaborado por autoras.

Tabela 12 – Percentual de ganho ou perdas de resistência à compressão do concreto confeccionado com a areia de ETE em comparação ao concreto convencional.

Dias	Percentual comparativo
7	5,2%
14	-11,8%
21	-14,8%
28	-21,2%

Fonte: Elaborado por autoras.

Observa-se que o primeiro tempo de cura o concreto com 50% da areia residual apresentou resistência à compressão igual a 22.9 MPa e o concreto convencional apresentou resistência de 21.7 MPa. Logo, o concreto confeccionado com a areia residual apresentou maior resistência à compressão em relação ao concreto convencional no tempo de cura de 7 dias. Porém, observando as resistências à compressão com rompimento nos dias 14,21 e 28 dias respectivamente, nota-se que houve uma redução das mesmas em relação ao concreto convencional.

As Figuras 9, 10, 11 e 12 abaixo ilustram os corpos de prova com 50% da areia residual e seus tipos de ruptura.

Figura 9 - Corpo de Prova com 50% de areia de ETE. Ruptura de topo. (7 dias).

Figura 10 - Corpo de Prova com 50% de areia de ETE Ruptura cisalhada. (14 dias).

Figura 11 - Corpo de Prova com 50% de areia de ETE. Ruptura cisalhada. (21 dias).

Figura 12 - Corpo de Prova com 50% de areia de ETE Ruptura cônica e cisalhada. (28 dias).

Fonte: Elaborado por autoras.

As Figuras 13,14,15,16 abaixo ilustram os corpos de prova sem areia residual (convencional) e seus tipos de ruptura.

Figura 13 - Corpo de Prova convencional. Ruptura cisalhada. (7 dias).

Figura 14 - Corpo de Prova convencional. Ruptura cisalhada. (14 dias).

Figura 15 - Corpo de Prova convencional
Ruptura de cisalhada. (21 dias).

Figura 16 - Corpo de Prova convencional.
Ruptura cisalhada. (28 dias).

Fonte: Elaborado por autoras.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em consonância com os objetivos deste trabalho, conclui-se que o método de desinfecção utilizado foi satisfatório para remoção de Coliformes Termotolerantes, porém não foi suficiente para remover os Coliformes Totais.

Quando analisadas as características físico-químicas da areia de ETE, em comparação ao efluente, o pH manteve-se dentro dos padrões, a DQO analisada mostrou concentração superior à do esgoto, possivelmente pela elevada concentração de matéria orgânica, porém com o processo de calcinação essa matéria orgânica foi removida. Das análises realizadas, notou-se grande presença de matéria orgânica no material, caracterizando a presença significativamente de sólidos totais voláteis.

Com vistas aos testes de resistência, o uso de 50% de areia de ETE na confecção de concreto apresentou-se como satisfatório quando comparado ao concreto convencional, apresentando ganho de 5,2% de resistência a compressão com 7 dias de rompimento. Porém após rompimento com 14,21 e 28 dias obtiveram perdas de 11,8%,14,8% e 21,2%, respectivamente, em comparação ao concreto convencional, sendo necessário seguir as recomendações a seguir.

- Estudos mais detalhados das características físicas e químicas do resíduo de desarenador de ETE bruto e após processos de desinfecção. Outros agentes desinfetantes, como a caleagem, por exemplo, podem ser testados para remoção de Coliformes. Ainda acerca do parâmetro microbiológico, análises parasitológicas podem ser realizadas para melhor caracterizar os microorganismos presentes no resíduo.
- Avaliar a resistência do concreto para traços diferentes do utilizado neste trabalho, adotando diferentes percentagens (10%, 25%, 75% e 100% de areia de ETE).
- Efetuar testes de resistência a compressão após maior tempo de cura para verificar a resistência em longo prazo.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738:2003**. Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12216:1992**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211:2005**. Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, ABNT,2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 23:2001**. Cimento Portland e outros materiais em pó- Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, ABNT,2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 46:2001**. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, ABNT,2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739:2007**. Concreto Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT,2007.

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

BARÉS, Monica Eboly. **Digestão e higienização de lodo de estação de tratamento de esgotos através de processo bifásico com pré-tratamento térmico.** 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná.

BATISTA, Lucilene Ferreira. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no distrito federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. 2015. 214 f. Dissertação (Mestrado e Tecnologias Ambientais e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Guia do profissional em Treinamento ReCESA**. 2013. Disponível em: < http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/departamentos/97-secretaria- nacional-de-saneamento/programas-e-acoes/1439-recesa> Acesso em 03 abr 2018.

RIO DE JANEIRO (Município). Resolução nº 468, de 29 de janeiro de 2010. **Resolução Smac**. Rio de Janeiro, RJ, 01 nov. 2010. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1458891/DLFE-226002.pdf/Resolucao468de28012010.pdf>. Acesso em: 26 out. 2018.

BORGES,N.B et al. **Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à comercial comum**. Disponível em: < revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_203_n_1646.pdf> Acesso em 04 abr 2018.

DISTRITO FEDERAL. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Sistemas de esgotamento**. Disponível em: < https://www.caesb.df.gov.br/esgoto/sistemade-esgotamento.html > Acesso em 30 mar 2018.

SÃO PAULO. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Tratamento De Esgotos**. Disponível Em: < http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49 > Acesso em: 30 mar. 2018.

DAVID, Airton Checoni. **Secagem térmica de lodo de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio**. 2002. f 163. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo.

GASPARIM, José Carlos. **Viabilidade de aproveitamento de resíduos de tratamento de esgotos na construção civil.** 2013. 227 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica. **Panorama Cidades –População.** Disponível em: < https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasilia/panorama>. Acesso em: 11 maio 2018.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Abes, 2011. 1050 p.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias.** 2. ed. São Carlos: Adufscar, 2014. 599 p.

LIMA, Caio Ivson Vasconcelos et al. Concreto e suas inovações. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, v. 1, n. 1, p.31-40, maio 2014. Disponível em: <periodicos.set.edu.br>. Acesso em: 8 nov. 2018.

NORMA MERCOSUL. NM 23:2000 – **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa esoecífica**.NM,2000

PETRUCCI, E. **Concreto de cimento Portland**. Porto Alegre: Ed. Globo, 1982. 307p.

DISTRITO FEDERAL. Governo do DF. Secretaria do Estado de Meio Ambiente do Distrito Federal**. Mapa Hidrográfico do Distrito Federal – 2016**. Disponível em: < http://www.sema.df.gov.br/wp- conteudo/uploads/2017/09/Verso-do-Mapa-Hidrográfico.pdf>. Acesso em: 11 mai 2018.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2016**.Disponível em: < http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016> Acesso em 03 abr 2018.

VARELA, Marcio. **Granulometria.** 2018. 34 Slides. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-de-construcao/granulometria-1/granulometria>. Acesso em: 31 out. 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. p. 240 (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

YAMANE, Luciana Harue. **Avaliação da higienização do resíduo da caixa de areia de estação de tratamento de esgoto.** 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espirito Santo. 2007.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008. 631 p.