



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

ENGENHARIA CIVIL

EDIGLEITE ALVES TAVARES JUNIOR

REAPROVEITAMENTO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
COMO SUBSTITUTO PARCIAL AGREGADO MÍUDO EM CONCRETO  
CONVENCIONAL

PALMAS – TO

2018



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

ENGENHARIA CIVIL

EDIGLEITE ALVES TAVARES JUNIOR

REAPROVEITAMENTO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
COMO SUBSTITUTO PARCIAL AGREGADO MÍUDO EM CONCRETO  
CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso Superior de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Luterano de Palmas,  
como pré-requisito para obtenção de título de  
Bacharel em Engenharia Civil, com orientação  
da Prof.<sup>a</sup> Dra. Michele Ribeiro Ramos

PALMAS – TO

2018

EDIGLEITE ALVES TAVARES JUNIOR

REAPROVEITAMENTO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
COMO SUBSTITUTO PARCIAL AGREGADO MÍUDO EM CONCRETO  
CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso Superior de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Luterano de Palmas,  
como pré-requisito para obtenção de título de  
Bacharel em Engenharia Civil, com orientação  
da Prof.<sup>a</sup> Dra. Michele Ribeiro Ramos

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Michele Ribeiro Ramos  
Orientadora  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof.<sup>a</sup> Nome do Avaliador Interno  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Abreviação da função profissional. Abreviação da maior titulação concluída. Nome do  
Avaliador Externo  
Nome da Instituição onde trabalha

PALMAS – TO

2018

JUNIOR, Edigleite Alves Tavares. **Reaproveitamento De Lodo De Estação De Tratamento De Esgoto Como Substituto Parcial Agregado Miúdo Em Concreto Convencional**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas/TO.

## RESUMO

O lodo de esgoto é um subproduto do tratamento de águas residuais, com o aumento do volume de esgoto bem como a quantidade de lodo produzido por estas estações de tratamento um dos grandes desafios dos gestores é dar a destinação ambientalmente adequada para este resíduo, neste sentido o objetivo foi avaliar a substituição do agregado miúdo parcialmente pelo lodo de esgoto in natura nas características do concreto convencional no estado fresco e endurecido. O experimento foi realizado com material proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto – Norte, localizada em Palmas, Tocantins. Foi dosado um traço de referência através do método de ACI (2005), e a partir do traço de referência foram elaborados os demais traços com a substituição do agregado miúdo (areia) pelo lodo nas proporções de 5, 10 e 20 %. Os resultados de resistência à compressão foram todos inferiores ao mínimo estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2014), indicando que esta alternativa não se mostra viável para aplicação em concretos com fins estruturais, por outro lado, pode ser destinado a aplicação em concretos sem fins estruturais.

**Palavras-chave:** Adição de lodo, ETE, concreto.

JUNIOR, Edigleite Alves Tavares. **Reuse of Sewage Treatment Station Sludge as Partial Addition of Partial Addition in Conventional Concrete.** 2018. Work of Completion of Course in Civil Engineering, Lutheran University Center of Palmas / Lutheran University of Brazil - CEULP / ULBRA. Palmas / TO.

### **ABSTRACT**

Sewage sludge is a by-product of wastewater treatment, with the increase of sewage volume as well as the amount of sludge produced by these treatment plants. One of the great challenges for managers is to give the environmentally adequate destination for this waste in this sense the objective was to evaluate the replacement of the small aggregate partially by the sewage sludge in natura in the characteristics of the conventional concrete in the fresh and hardened state. The experiment was carried out with material from the Sewage Treatment Station - North, located in Palmas, Tocantins. A reference trait was measured using the ACI method (2005), and from the reference trait the other traces were elaborated with the substitution of the kid's aggregate (areai) for the sludge in the proportions of 5, 10 and 20%. The results of compressive strength were all lower than the minimum established by NBR 6118 (ABNT, 2014), indicating that this alternative does not prove feasible for application in concretes with structural ends, on the other hand, it can be destined the application in concrete without ends structures.

**Keywords:** Addition of sludge, ETE, concrete.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de Tratamento de Esgoto. ....	13
Figura 2: Lodo de Esgoto após o processo de Tratamento. ....	19
Figura 3: Esquema de Fabricação de Cimento Portland.....	20
Figura 4: Localização ETE – NORTE. Fonte: Google Maps, (2017). ....	24
Figura 5 - Lodo após secagem. ....	26
Figura 6 : Resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral. ....	32

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ETE** – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

**CONASA** – COMPANHIA NACIONAL DE SANEAMENTO

**CONAMA** – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

**IBRACON** – INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

**PROSAB** – PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO

**SANEPAR** – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Traço de referência.....	24
Tabela 2 - Nomenclatura dos traços .....	24
Tabela 3 - Granulometria do Lodo.....	27
Tabela 4 - Caracterização física e química do cimento.....	27
Tabela 5 - Caracterização física da areia.....	28
Tabela 6 - Granulometria da areia.....	28
Tabela 7 - Caracterização física da brita.....	28
Tabela 8 - Granulometria da brita.....	28
Tabela 9 - Resultados slump teste .....	29
Tabela 10 - Análise dos dados dos rompimentos aos 7 dias .....	30
Tabela 11 - Análise dos dados de rompimento aos 14 dias.....	30
Tabela 12 - Análise dos dados de rompimento aos 28 dias.....	31
Tabela 13 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral .....	32

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.1. OBJETIVOS .....	10
1.1.1. Objetivo Geral.....	10
1.1.2. Objetivos Específicos .....	10
1.2. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	11
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1 Estação De Tratamento De Esgoto</b> .....	12
<b>2.2 Estabilização Do Lodo De Esgoto</b> .....	13
2.2.1 <i>Processo De Estabilização Do Lodo - Processo Biológico</i> .....	14
2.2.2 <i>Digestão Anaeróbia</i> .....	14
<b>2.3 Principais Compostos Contaminantes Do Lodo</b> .....	17
2.3.1 <i>Metais Pesados</i> .....	17
2.3.2 <i>Poluentes Orgânicos</i> .....	17
2.3.3 <i>Microrganismos Patogênicos</i> .....	18
<b>2.4 Características Físicas Do Lodo</b> .....	18
<b>2.5 Concreto</b> .....	19
<b>2.6 CIMENTO PORTLAND</b> .....	20
<b>2.7 Concreto Simples Estrutural</b> .....	20
<b>2.8 Uso Do Lodo De Esgoto Como Agregado No Concreto</b> .....	21
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	23
3.1 <b>Desenho Do Estudo</b> .....	23
3.2 <b>Local E Período Da Realização Da Pesquisa</b> .....	23
3.3 <b>Programa Experimental</b> .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	26
<b>4.1 Caracterização dos Materiais</b> .....	26
4.1.1 <i>Lodo</i> .....	26
4.1.2 <i>Cimento</i> .....	27
4.1.3 <i>Agregado miúdo</i> .....	27
4.1.4 <i>Agregado graúdo</i> .....	28
<b>4.2 Concreto no Estado Fresco</b> .....	29
<b>4.3 Concreto no Estado Endurecido</b> .....	29
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	33
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	33

## 1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo a construção civil é o principal setor econômico responsável por gerar resíduos sólidos urbanos, visto a sua capacidade de modificar o meio ambiente por completo. Nesse departamento ocorre constantes evoluções no quesito desenvolvimento tecnológico, que tem por objetivo principal a diminuição dos custos de produção e maior produtividade. Alguns softwares para engenharia proporcionam um grau superior de controle e gerenciamento nas obras, facilitando a visualização de setores que necessitam de melhorias, seja na projeção ou em sua execução, o que ocorre principalmente por substituição ou adição de materiais tradicionais por outros alternativos, que possuam características de funcionamento semelhantes.

A identificação de novas técnicas de construção traz consigo a busca pelo desenvolvimento sustentável, com objetivo no aproveitamento de materiais que seriam descartados na natureza, e encontrar uma nova forma para ser aplicado, retornando assim ao mercado. Na maioria das edificações feitas no Brasil, utiliza-se o concreto como um dos seus principais componentes estruturais, gerando um consumo bastante elevado deste tipo de material, que apesar da grande abundância de seus elementos na natureza, representa ampla participação no custo final da obra.

O Cimento Portland é um produto industrial que constitui a massa de concreto, que é obtido a partir do beneficiamento de minerais, através de um processo físico e químico, com utilização em todo o ciclo de obras. Em alguns projetos o concreto não possui papel estrutural na edificação e com isso não necessita ter a capacidade de resistir à cargas elevadas, podendo ser de qualidade inferior e ainda, ser fabricado com materiais alternativos visando o menor custo de produção.

Com base no crescimento populacional e conseqüentemente no desenvolvimento das cidades, a produção de resíduos sólidos cresceu de forma exacerbada, contaminando rios e solos. Hoppen (2006) observou a má qualidade da água no Brasil e a necessidade de uma maior aplicação de produtos químicos nas estações de tratamento, um cenário extremamente preocupante visto o risco à saúde pública e aos demais problemas que geram ao meio ambiente. Segundo ele,

mesmo havendo leis que proibam esse tipo de ação, o alto custo de implantação de um sistema adequado para o tratamento desses resíduos, dificulta ainda mais o manejo e disposição.

Segundo Francis (2010), o lodo de estação de tratamento de esgoto é um resíduo constituído por materiais sólidos e líquidos, podendo ter composições químicas variáveis, que representam de 1% a 2% do volume total de material tratado. Um quantitativo bastante discreto quando se compara ao custo, que varia entre 40% a 60%, necessário para criar uma estrutura de tratamento conforme está descrita na lei ABNT NBR 10.004/2004.

Costa (2011) desenvolveu em sua pesquisa uma nova opção para a destinação deste material, na qual efetuou a caracterização do lodo e avaliou a incorporação deste composto na massa de concreto para recomposição de calçadas. O estudo baseia-se no método de estabilização do lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto, com objetivo de diminuir parte do cimento usado na fabricação de concreto. Na aplicação do lodo como compósito na fabricação do concreto para calçadas, é necessário que este material se torne inerte para determinadas situações, e a sua composição química necessita de cuidados específicos para alcançar um resultado satisfatório e que possa garantir um desempenho que esteja de acordo com as normas de especificação do concreto (ABNT NBR 6118/2014) aplicadas a esse tipo de situação.

A importância para o atendimento à essas normas se dão pelo interesse que o produto final vai exigir das empresas, profissionais e dos clientes finais, pois o sucesso da pesquisa está diretamente relacionada com sua comercialização, bem como, o interesse socioambiental, visto que de forma específica estará tratando de um produto obtido através de reciclagem de um material antes altamente poluente ao meio ambiente.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Utilizar lodo de esgoto tratado como substituto parcial do agregado miúdo na fabricação de concreto convencional.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar todos os materiais da pesquisa;
- Avaliar as características do concreto no estado fresco e endurecido do concreto com a substituição do agregado miúdo por lodo;
- Verificar a viabilidade técnica do lodo como substituto do agregado miúdo em concreto convencional.

## 1.2. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A construção civil possui um papel social de extrema importância, que vai além das suas especificidades técnicas, afinal é a área que se dedica à modificação natural do ambiente, utilizando-se de métodos científicos que tem por objetivo realizar o desenvolvimento urbano com o menor impacto de degradação ao meio ambiente possível, e principalmente no auxílio à recuperação/prevenção de contaminação desses espaços.

O estudo a partir da reutilização de um material altamente poluidor como o lodo de esgoto, e que gera bastante discussão quanto a sua destinação final, é uma inovação que pode gerar investimentos de diferentes áreas. Sua aplicação na agricultura se consolidou rapidamente nos grandes centros, graças as elevadas quantidades de materiais orgânicos presente em sua composição, e que, pelos meios de estabilização conseguiu adaptar-se a um novo meio, permitindo um melhor desenvolvimento.

Objetivando minimizar os impactos ambientais causados pelo lodo, uma nova alternativa é a utilização desse material no concreto, para torná-los aplicáveis na construção civil, tornando assim, possível a sua utilização. Os produtos deste estudo poderão ser disponibilizados de forma imediata, dependendo apenas de incentivos comerciais para a sua aplicação, proporcionando uma forma alternativa para a construção civil superar a crise que atinge o setor há alguns anos, com aumento na produtividade e principalmente na diminuição do custo de produção do concreto de baixa resistência, reafirmando desta forma o conceito de desenvolvimento sustentável.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Estação De Tratamento De Esgoto

O tratamento de esgoto inicia-se desde a coleta das substâncias, finaliza com a devolução do material tratado ao meio ambiente. Esse procedimento é realizado em várias etapas, controladas rigorosamente afim de alcançar um resultado satisfatório que permita a devolução do material em condições aceitáveis ao meio ambiente.

O tratamento de esgoto é realizado na sequência das seguintes etapas: tratamento preliminar, gradeamento, desarenação, decantador primário, peneira rotativa, tanque de aeração, decantador secundário.

- Tratamento Preliminar: Nessa fase inicial de abordagem predomina-se o uso de mecanismos físicos de remoção, que tem por objetivo a retirada de materiais sólidos grandes e de partículas de areia, visto, que estes compostos podem ocasionar problemas nas tubulações.
- Gradeamento: Após a retirada de materiais maiores grossos, o esgoto passa pelo gradeamento, que trabalha como um tipo de filtro de materiais que facilita a condução do material na sequência do processo.
- Desarenação: A separação das substâncias menores das maiores ocorre nessa fase, através da sedimentação da areia para o fundo do tanque e permanecendo na superfície apenas o material orgânico.
- Decantador primário: Nos tanques de decantação o material orgânico sólido se mistura com o objetivo de sedimentar-se no fundo e assim formar o lodo.
- Peneira rotativa: O material sólido passa novamente por um outro tipo de filtro em formato de peneira que trabalha especificamente para separar mais material sólido para que seja armazenado e transportado.
- Tanque de aeração: É o local onde são inseridos microrganismos que irão se alimentar do material realizando a degradação de material orgânico complexo em material orgânico estabilizado e liberando gás carbônico.

- Decantador secundário: São tanques que separam materiais sólidos em suspensão, através de sedimentação que reduz significativamente matéria sólida em lodo.

Na Figura 1 a seguir, é apresentado um fluxograma de uma ETE.

Fonte: Conselho Nacional de Saneamento - CONASA, 2012.

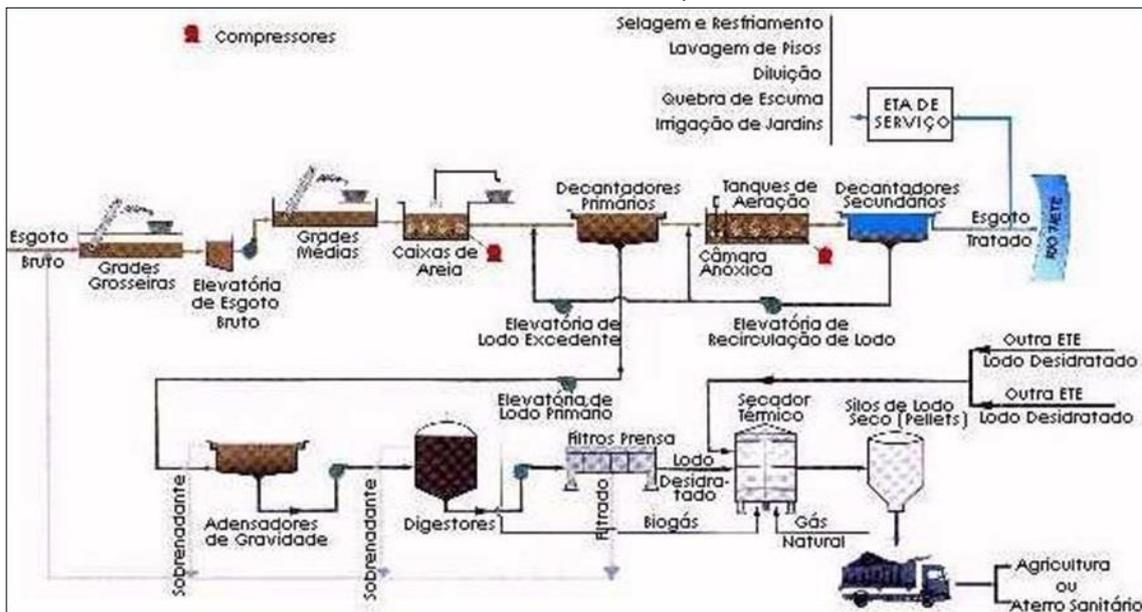


Figura 1: Fluxograma de Tratamento de Esgoto.

Os materiais sólidos retirados nos processos de tratamento geram um tipo de lodo com uma composição rica em material orgânico e altamente poluente. O volume desse material representa de 1% a 2% do volume total de esgoto tratado (CONASA-SANESALTO, 2016), e mesmo que sejam valores superficialmente razoáveis, esse material gera um custo alto para as ETE's, devido a necessidade de realização de um procedimento específico para disposição para esse resíduo.

## 2.2 Estabilização Do Lodo De Esgoto

O percentual de matéria orgânica no lodo, representa cerca de 70% a 80% de seu volume total, em que, grande parte é composta principalmente por bactérias vivas, contendo elevado conteúdo odorífico e microrganismos patogênicos. A

estabilização do lodo é necessária para amenizar essas características indesejáveis que tornam o material inicialmente poluidor e inutilizável.

Em 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305, de 02 de Agosto de 2010), trata das diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, na qual os produtores desses resíduos são os responsáveis por realizar os procedimentos cabíveis para o tratamento e disposição do material. Nesta lei também está presente, no Artigo 3º Item XII, o entendimento legal de Logística Reversa, na qual permite a prática de ações de cunho social e econômico, procedimentos para a realização da reciclagem dos resíduos sólidos e devolução ao setor empresarial, gerando um ciclo de produção e nova destinação final do material ambientalmente adequada.

O procedimento a ser definido para realização da estabilização do lodo, deve levar em consideração às características químicas e físicas, com objetivo de prever inicialmente qual a abordagem necessária para a estabilização do material devido ao meio de tratamento, enfatizando também a destinação final do produto, já que, nos procedimentos de estabilização são usadas diferentes técnicas que resultam em composições e comportamentos distintos.

### *2.2.1 Processo De Estabilização Do Lodo - Processo Biológico*

No processo de estabilização biológica, são utilizados meios naturais de biodegradação que transformam o material orgânico e putrificável do lodo. Os métodos aplicados são regidos pela ABNT NBR 12.209/1992 que trata da exemplificação de como de ser feito o processo de tratamento, e ainda de como deve ser feita a estrutura das estações para que se consiga realizar o processo de forma adequada. Os processos mais usuais são os de digestão anaeróbia, digestão aeróbia, digestão aeróbia auto térmica e compostagem.

### *2.2.2 Digestão Anaeróbia*

A digestão anaeróbia do lodo é a técnica mais utilizado, principalmente nas estações que empregam o sistema de lodos ativados. O processo compreende na

solubilização e redução de substâncias orgânicas complexas pela ação de microrganismos, na ausência de oxigênio. O lodo é inserido em digestores, normalmente tanques de concreto, e a biodegradação anaeróbia leva à produção de metano, dióxido de carbono, alguns outros gases e lodo estabilizado.

#### 2.2.2.1 Digestão Aeróbia

A digestão aeróbia é também uma técnica usada em sistema de lodo ativado, na qual o método de estabilização é a biodegradação de componentes orgânicos pelos microrganismos aeróbios, caracterizada pela respiração endógena, que acontece quando as substâncias disponíveis para a biodegradação é totalmente consumida e os microrganismos passam a consumir o próprio protoplasma microbiano a fim de obter energia para suas reações celulares.

#### 2.2.2.2 Digestão Aeróbia Autorérmica

Este procedimento é uma variação do sistema aeróbio, que atua como um acelerador do ritmo de biodegradação da matéria orgânica, e ainda possibilita a destruição dos microrganismos patogênicos do lodo. Os microrganismos podem produzir a digestão aeróbia auto térmica, na qual degradam substâncias complexas em produtos estabilizados, com menor tempo de detenção do lodo.

#### 2.2.2.3 Compostagem

A compostagem se realiza em meio sólido, em que os componentes orgânicos biodegradáveis passam por sucessivas etapas de transformação sob a ação de diversos grupos de microrganismos, caracterizado principalmente pela produção de gás carbônico, água e liberação de substâncias minerais, resultando em um processo bioquímico altamente complexo. Fatores mais importantes que influenciam na degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes, a umidade e temperatura, que geram efeito também na agilidade do processo.

#### 2.2.2.4 Processo De Estabilização Do Lodo – Processo Químico

Para aplicação do lodo no uso na construção Civil, a estabilização é feita a partir de um procedimento químico. De acordo com estudos do PROSAB (Programa de Pesquisas em saneamento Básico) da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) a estabilização química é realizada para inibir a atividade biológica e oxidar a matéria orgânica. Os tipos de tratamento químico são feitos por estabilização alcalina, oxidação úmida, pasteurização e secagem térmica. Dentre essas a mais utilizada é a de via alcalina, em que uma base alcalina, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando seu pH e destruindo a maior parte dos microrganismos patogênicos.

Ainda segundo o estudo, a cal é utilizada para elevar o pH do lodo, na qual é adicionado até atingir a valor de pH ser superior a 12, cujo objetivo é a eliminação de microrganismos patógenos, diminuição no odor e fixação de metais pesados. Esse é um procedimento de estabilização química alcalina, podendo utilizar-se de outros produtos alcalinos, contudo, a cal é mais usada por conta da facilidade de manejo e pelo baixo custo de aquisição, que facilita e proporciona maior investimento e aplicabilidade deste tipo de procedimento.

#### 2.2.2.5 Secagem Térmica

É o processo de estabilização via elevação da temperatura, seja de forma direta ou indireta, com objetivo de eliminar os patógenos a partir da evaporação da água presente no lodo. Esse procedimento não causa transformação da matéria, apenas gera um composto inerte desidratado.

#### 2.2.2.6 Higienização

Esta etapa acontece a todo momento durante o processo de estabilização e tratamento do lodo, isso porque a eliminação de agentes patógenos é realizada

constantemente utilizando de vários métodos. A higienização ocorre para complementar algumas ações já ocorridas no processo, que não foram capazes de destruir esses organismos, utilizando métodos de digestão não convencional

## **2.3 Principais Compostos Contaminantes Do Lodo**

O lodo é composto por diversos minerais e componentes orgânicos, que se concentram em proporções variáveis ao longo do tratamento, de forma que, alguns destes atribuem características favoráveis de comportamento ambiental. Esses materiais podem ser divididos em três grupos: metais pesados, poluentes orgânicos e microrganismos patogênicos, que podem ser controlados por meio dos processos de estabilização visto acima.

### *2.3.1 Metais Pesados*

Por definição, metais pesados são compostos que quando expostos em maior concentração por um certo período, oferecem risco a saúde humana e ao meio ambiente. A presença desses materiais no lodo se dá principalmente por meio dos lançamentos de rejeitos das indústrias nas redes coletoras, provocando a necessidade de um estudo prévio a fim de determinar a composição esgoto e sua disposição final, para que a abordagem no tratamento seja escolhida de forma correta.

### *2.3.2 Poluentes Orgânicos*

A principal origem desse tipo de resíduo é a partir de indústrias químicas, na qual, compreende compostos capazes de resistir aos processos de degradação. Esses materiais são propensos a bioacumulação em seres vivos, que em determinadas concentrações são altamente tóxicos, ainda mais quando combinados com outras substâncias presente no lodo.

### 2.3.3 *Microrganismos Patogênicos*

Os seres presentes neste grupo são capazes de infectar e prejudicar qualquer ser vivo, seja por parasitismo, como o próprio nome já diz, é uma infecção causada por parasitas (helmintos ou protozoários), por fungos, vírus ou bactérias. A quantidade desses compostos no lodo exige um tratamento para a desnaturalização, que tem por finalidade tornar esses organismos inativos quanto à sua infectividade.

## 2.4 Características Físicas Do Lodo

Segundo Teixeira (2005) o lodo é composto por água e sólidos (grânulos e flocos), e possui teor de umidade que gira em torno de 98% e 99,5%, na qual, ambos são removidos ou têm seu volume reduzido nos processos de tratamento. Os componentes sólidos são divididos em materiais orgânicos e inorgânicos, na qual, são removidos principalmente nos processos de digestão.

Já a água se encontra em diversos estados físicos presente em todo o processo:

- Água Livre: durante o processo de sedimentação parte da água se separa dos materiais sólidos, na qual, é removida por gravidade.
- Água Interflocos: representa as partículas de água presas entre os sólidos, podendo ser removida através da aplicação de pressão nos flocos.
- Água Capilar: é a presença da água na superfície dos flocos por meio das tensões superficiais dos materiais, sendo removidos apenas através da aplicação de pressão ou vácuo.
- Água Celular: são partículas de água que foram absorvidas pelos flocos por meio de sucção, e são removidas a partir de processo mecânico.

Após o procedimento de remoção a umidade o lodo se apresenta no estado sólido conforme figura 2 (Votorantim Cimentos, 2014) abaixo.

Fonte: Votorantim Cimentos, 2014.



Figura 2: Lodo de Esgoto após o processo de Tratamento.

## 2.5 Concreto

O estudo do concreto é bastante complexo, ainda mais quando se tem a necessidade de apresentar características de resistências elevadas, utilizadas principalmente em projetos com estruturas especiais diferenciadas. A NBR 12655 (ABNT, 2006) trata do procedimento de preparo até o recebimento do material na obra e aplicação, que também define o concreto de cimento Portland, como uma mistura homogênea de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, com a possibilidade de introduzir também alguns aditivos químicos.

A dosagem de cada quantitativo que compõe o composto o material é estabelecida de acordo com o nível de resistência exigido pela obra, somando-se a isso também, a disponibilidade de material nos locais próximos à obra. O controle nessa fase é de extrema importância, devido à grande utilização nos mais diferentes tipos de situações. O seu funcionamento está estritamente ligado em sua capacidade de resistência a elevadas cargas de compressão. Por conta de seu comportamento plástico, o concreto possui baixa resistência a tração sendo necessário que se faça a inserção de estrutura de aço dentro da massa, a fim de

conseguir melhor resultado na resistividade de esforços que geram sobre o corpo comportamento elástico.

A grande vantagem e o alto índice de uso de concreto armado nas obras se justificam pela facilidade em sua aplicação e principalmente pela capacidade de tomar diferentes formas, o que permite adaptação a qualquer tipo de situação dentro da construção.

## 2.6 CIMENTO PORTLAND

A fabricação do cimento Portland é feita através da mistura de materiais calcários e argilosos, que são moídos e aquecidos gerando o clínquer, que ao ser moído novamente com uma determinada quantidade de gesso, forma este composto aglomerante. Nesta mistura pode ser acrescida de materiais pozolânicos, que tem por finalidade gerar um composto com maiores propriedades cimentícias, que quando acrescidas de água formam uma pasta capaz de resistir a grandes cargas de compressão. O processo de fabricação pode representado no seguinte esquema da figura 3 (Votorantim Cimentos, 2014).

Fonte: Votorantim Cimentos, 2014.

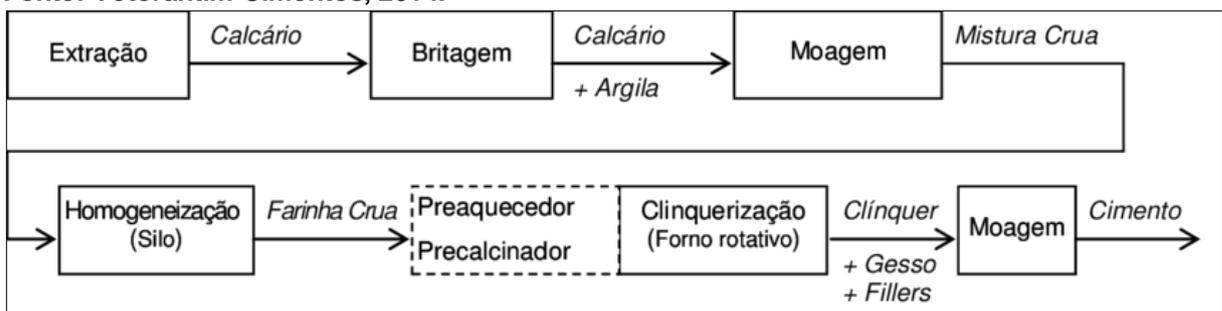


Figura 3: Esquema de Fabricação de Cimento Portland

## 2.7 Concreto Simples Estrutural

Para situações que demandam menor carga de resistência, na qual carregamentos mais robustos não serão aplicados constantemente sobre o maciço, pode-se aplicar materiais com menor qualidade para a fabricação do concreto, já

que o intuito é alcançar um teor de resistência inferior, diminuindo também os custos de produção.

Situações como esta podem ser encontradas facilmente, como por exemplo, na aplicação de concreto em passeios públicos, que tem a finalidade apenas o trânsito de pedestres e ciclistas. Em casos como este o valor de resistência do concreto pode ser de no mínimo 10Mpa. Um projeto para calçada, precisa prever uma completa acessibilidade e mobilidade dos usuários, bem como, oferecer segurança e conforto, obedecendo todos os detalhes de declividades, rampas, patamares e sinalização. (ABNT NBR 9050:2004)

## **2.8 Uso Do Lodo De Esgoto Como Agregado No Concreto**

A grande produção nacional de lodo de esgoto, afeta gravemente o meio ambiente, esgotando os recursos naturais necessários para a sua produção, e uma forma de solucionar esse tipo de problema é o desenvolvimento de novas tecnologias que possa substituir alguns materiais na composição do concreto. De acordo com a resolução nº 375 (2006) do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) a aplicação do lodo estabilizado ou de qualquer produto derivado, sobre o solo, ou sobre qualquer outra atividade que venha estar inserido, precisa obedecer a critérios para utilização, na qual são analisados também, qualquer outro tipo de processo que permita o uso do lodo.

Em pesquisa realizada pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), conseguiram obter, a partir do lodo estabilizado, um material que após o processo de secagem térmica, se enquadra como agregado leve para a construção civil, com aplicações principalmente na fabricação de concreto.

Hoppen (2006) avaliou a incorporação do lodo inalterado, ou seja, nas mesmas condições no final do processo de estabilização do composto, na composição da massa de concreto. Inicialmente realizou um processo de caracterização do lodo e estudos de dosagem, definindo assim, os teores do material em relação ao peso seco do agregado, e por fim escolha dos traços mais representativos a serem usados nos corpos de prova para a realização dos ensaios. Os resultados mostraram que o uso de 10% de lodo é o limite para a sua aplicabilidade prática, já que, apontou baixa resistência a compressão, sendo inferior

a 15Mpa. Nos ensaios feitos com teor de lodo variando de 4% a 8%, em relação ao peso seco do agregado miúdo, apontou resistência superior a 25 Mpa aos 28 dias, na qual possibilita o uso em concreto não estrutural, aplicados em contra pisos e calçadas.

Em pesquisa realizada por Patrícia Maciel (2015) esse material oriundo do tratamento de esgoto, foi utilizado juntamente com resíduos de construção civil, para fazer parte na composição do concreto como agregado. Como resultado de sua pesquisa, em traço 1:3 e 1:2:3, com aplicação de 3% a 8% do lodo, definiu um concreto com resistência superior a 15Mpa, que é altamente viável para a produção de argamassas e concretos aplicados em contra piso, argamassa de assentamento não estrutural e blocos de concreto não estrutural.

Segundo Álvaro Costa (2011), em seu estudo na composição do lodo como agregado em concreto para recomposição de calçadas, obteve um resultado de aplicação de 5% a 20% do lodo, para que se tenha um melhor desempenho em resistência a compressão, utilizando de traço 1:3 para argamassa e 1:2:3 para concreto. Nessas condições os corpos de prova obtiveram resultados de resistência em torno de 20 MPa, viabilizando tecnicamente o uso desse material.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Desenho Do Estudo

O presente trabalho buscou de forma exemplificada determinar a possibilidade da utilização de rejeito de estações de tratamento na composição ao concreto, na qual testes de resistência foram realizados para comprovar sua capacidade resistiva.

#### 3.2 Local E Período Da Realização Da Pesquisa

A coleta do lodo foi feita na ETE - Norte. Foi feita uma revisão bibliográfica para análise da composição do lodo de ETE's. O lodo foi encaminhado ao Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP) onde foi caracterizado e em seguida procedeu-se a fabricação do concreto. O experimento foi realizado em etapas, na qual consiste em testes laboratoriais utilizando corpos de prova.

A Estação de Tratamento de Esgoto – Norte atende 85 mil habitantes por ano, com capacidade de expansão para uma população de mais de 215 mil habitantes em Palmas. A ETE foi inaugurada em 2015, com um investimento de R\$ 25 milhões para a implantação do equipamento considerado o maior da Região Norte e um dos mais modernos do país (AESBE, 2015). A Figura 1 apresenta a vista aérea da ETE – Norte.



Figura 4: Localização ETE – NORTE. Fonte: Google Maps, (2017).

### 3.3 Programa Experimental

Após a coleta do lodo e caracterização física e química de todos os materiais que foram utilizados no concreto, dosou-se um traço de referência denominado T0, através do método de ACI (2005). A Tabela 1 especifica o traço de referência.

Tabela 1 - Traço de referência

<b>Materiais</b>	<b>Relação em Massa</b>	<b>Consumo (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cimento	1	462
Areia	1,66	766
Brita	1,92	886
Água	0,45	208

Após determinado o T0 foi fixado os teores de substituição de lodo ficando assim representado na Tabela 2 as porcentagens e nomenclatura dos traços.

Tabela 2 - Nomenclatura dos traços

<b>Especificação</b>	<b>Percentual de adição de lodo em função da massa de cimento</b>	<b>Nomenclatura</b>
Traço de referência	0 %	T0
Traço 1	5 %	T1
Traço 2	10%	T2
Traço 3	20%	T3

Os traços foram rodados em betoneira de eixo inclinado, com capacidade de produção de 150 litros. Os materiais foram misturados na seguinte ordem, e mantidas constantes para todas as misturas: 100% do agregado graúdo, em seguida adicionou-se 50% de água, 100% de cimento, 30% de água, 100% areia, os teores de lodo e 20% de água. O tempo médio de mistura foi de 4 minutos, sendo realizado depois de cada betonada o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone de acordo com a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998). Foram moldados seis corpos de prova em cada traço para rompimento nas idades de 7, 14 e 28 dias para que seja analisada a influência da adição do lodo de ETE nas propriedades do concreto. Todos os corpos de prova foram moldados e colocados em repouso sobre uma superfície plana em um ambiente aberto à temperatura ambiente e após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e transferidas para um tanque de água saturada com cal, localizado em uma câmara semi-úmida

onde a umidade relativa era de 90%. As amostras foram armazenadas até a data de ruptura, sendo retiradas uma hora antes dos ensaios. Os ensaios de resistências foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do Ceulp/Ulbra, na prensa PC 200 L Emic com capacidade de resistência de 200 toneladas. Os ensaios de compressão foram realizados de acordo com as NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 5739 (ABNT,2007), sendo ainda realizado o ensaio de resistência à tração por compressão diametral conforme NBR 7222 (ABNT, 2011), em dois corpos de prova com dimensões 150x300mm em cada traço, conforme Figuras 3 e 4.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização dos Materiais

#### 4.1.1 Lodo

O lodo coletado na ETE – Norte foi exposto ao sol objetivando-se uma secagem natural do mesmo. Posteriormente foi encaminhado ao laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, onde foi levado à estufa à temperatura de 100 C°, para constância de massa. A Figura 5 apresenta o material após secagem.



Figura 5 - Lodo após secagem.

Para o processo de caracterização do material coletado, o lodo seco foi homogeneizado para eliminação dos torrões. Após esse processo foi realizada a granumoletria do lodo conforme tabela 3.

Tabela 3 - Granulometria do Lodo

# (Malha)	Abertura (mm)	Peso (g)	Retida (%)	Retida acumulada (%)
4	4,76	0,00	0,00	0,00
10	2,00	0,00	0,00	0,00
16	1,19	0,00	0,00	0,00
30	0,59	0,00	0,00	0,00
40	0,42	0,04	0,07	0,07
50	0,297	0,08	0,14	0,21
60	0,25	0,06	0,10	0,31
100	0,149	0,30	0,52	0,83
200	0,074	0,68	1,17	2,00
270	0,053	0,38	0,66	2,66
Prato	< 0,053	56,46	97,34	100,00

#### 4.1.2 Cimento

Para a produção dos concretos, além dos diferentes teores de adição do lodo, foi utilizado como material ligante o cimento Portland CP II F-32, cujas características encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização física e química do cimento

Propriedades	Métodos de ensaio	Caracterização da amostra	Parâmetros Normativos da NBR 11578: 1991
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23: 2001	1,05	-
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23: 2001	2,97	-
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76: 1998	4380	≥ 2600
Resíduo na peneira # 200, 75mm (%)	NBR 11579: 1991	0,8	≤ 12
Resíduo na peneira # 325, 45 mm (%)	NBR 12826: 1993	5,8	-
Tempo de início de pega (h, min)	NBR NM 65: 2003	2 h, 20 min	≥ 1 h
Tempo de fim de pega (h, min)	NBR NM 65: 2003	3 h, 00 min	≤ 10 h (facultativo)
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	NBR 7215: 1996	23,0	≥ 10
7 dias (MPa)		31,5	≥ 20
28 dias (MPa)		40,0	≥ 32
Teor de MgO (%)	NBR NM 14: 2012	1,04	≤ 6,5
Teor de SO <sub>3</sub> (%)	NBR NM 14: 2012	2,65	≤ 4,0

#### 4.1.3. Agregado miúdo

Foi utilizada areia disponível no Laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP - ULBRA. Sua caracterização está exibida na Tabela 5 e sua análise granulométrica na Tabela 6.

Tabela 5 - Caracterização física da areia

Propriedades	Métodos de ensaio	Caracterização da amostra
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 45: 2006	1470
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 52: 2002	2570
Modulo de Finura	NBR NM 248: 2003	2,67

Tabela 6 - Granulometria da areia

Abertura (mm)	Peso (g)	Retida (%)	Retida acumulada (%)
6,3	--	--	--
4,8	13,2	2,64	2,64
2,4	48,25	9,65	12,29
1,2	67,55	13,51	25,8
0,6	103	20,6	46,4
0,3	181,65	36,33	82,73
0,15	74,15	14,83	97,56
Fundo	12,2	2,44	100

#### 4.1.4. Agregado graúdo

Foi utilizada brita disponível no Laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP - ULBRA. Sua caracterização se encontra na Tabela 7 e sua análise granulométrica na Tabela 8.

Tabela 7 - Caracterização física da brita

Propriedades	Métodos de ensaio	Caracterização da amostra
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 45: 2006	1370
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 52: 2002	2670
D <sub>máx</sub> (mm)	NBR NM 248: 2003	19

Tabela 8 - Granulometria da brita

Abertura (mm)	Peso (g)	Retida (%)	Retida acumulada (%)
19	--	--	--
12,5	291,6	5,85	5,85
9,5	3762,7	75,48	81,33
6,3	808,1	16,21	97,54
4,8	111,5	2,24	99,78
2,4	0,00	0,00	99,78
1,2	0,00	0,00	99,78
0,6	0,00	0,00	99,78
0,3	0,00	0,00	99,78
0,15	0,00	0,00	99,78
Fundo	11,08	0,22	100,00
Total	4984,98	100,00	

## 4.2 Concreto no Estado Fresco

Pode-se observar que a trabalhabilidade do concreto é inversamente proporcional ao teor de substituição de lodo, pois esta diminui gradativamente conforme o aumento da quantidade de lodo no traço. Os resultados do Slump Test estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados slump teste

Traço	Slump (mm)
T0	118
T1	90
T2	48
T3	35

Acredita-se que essa redução do slump ocorreu pela quantidade de materiais finos presentes no lodo. Ocorreu absorção da água de amassamento por parte do lodo reduzindo assim a trabalhabilidade do concreto. É importante ressaltar que o slump calculado para o traço de referência pelo método de ACI (2005), foi  $100 \pm 25$  mm, ou seja, apenas o traço de referência e o traço com 5% de adição ficaram dentro da faixa do slump calculado.

O problema de trabalhabilidade do concreto com adição de lodo poderia ser resolvido facilmente pela adição de um aditivo plastificante, melhorando assim a trabalhabilidade do concreto sem a perda de resistência. Mendes et al. (2016) também chegou a resultados semelhantes aplicando lodo de estação de tratamento de água in natura no concreto convencional. Esta situação também ocorreria mesmo que o lodo fosse incinerado e utilizado na forma de cinza (LYNN et al., 2015).

## 4.3 Concreto no Estado Endurecido

Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias. As Tabelas 10, 11 e 12 apresentam os resultados obtidos no ensaio, bem como a dispersão dos dados para cada idade.

Tabela 10 - Análise dos dados dos rompimentos aos 7 dias

<b>Traço</b>	<b>Resistência Média à Compressão (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>	<b>Mínimo (MPa)</b>	<b>Máximo (MPa)</b>	<b>Test de Tukey</b>
T0	25,98	0,10	0,40	25,91	26,06	A
T1	11,10	0,84	7,58	10,50	11,70	B
T2	12,64	0,07	0,60	12,59	12,70	B
T3	8,33	2,05	24,70	6,87	9,78	C

A partir da tabela 10 podem-se avaliar estatisticamente os dados encontrados em função da dispersão dos mesmos. O desvio padrão, que é a variação em relação à média, foi consideravelmente baixo, tendo uma variação maior somente no traço com adição de 20% de lodo. Após aplicada a Análise Estatística da Variância - ANOVA, na qual a hipótese de igualdade entre as médias dos tratamentos foi rejeitada, ou seja, o teor de substituição é estatisticamente significativo, foi aplicado o Teste de Tukey a fim de se verificar qual ou quais tratamentos se diferenciam estatisticamente. Conforme apresentado na última coluna da tabela, os traços com 5 e 10% de lodo não se diferenciam estatisticamente, ou seja, estão contidos no mesmo intervalo. Os demais se diferenciam e por isso são representados por letras diferentes.

Tabela 11 - Análise dos dados de rompimento aos 14 dias

<b>Traço</b>	<b>Resistência Média à Compressão (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>	<b>Mínimo (MPa)</b>	<b>Máximo (MPa)</b>	<b>Test de Tukey</b>
T0	28,31	1,61	5,71	27,17	29,46	A
T1	12,07	0,61	5,07	11,64	12,51	B
T2	11,95	0,46	3,92	11,61	12,28	B
T3	8,6	0,05	0,58	8,55	8,65	C

De acordo com a tabela 11, o desvio padrão se apresentou maior para o traço de referência, mantendo-se mais estável para os demais.

Novamente a análise de dados indicou que o teor de substituição é estatisticamente significativa nos tratamentos, e o teste de Tukey demonstra que os traços com 5 e 10% de adição não se diferem estatisticamente. Já o traço de referência e o traço com 20% de adição de lodo diferem ao nível de 5% de significância.

Tabela 12 - Análise dos dados de rompimento aos 28 dias

Traço	Resistência Média à Compressão (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)	Test de Tukey
T0	30,95	0,27	0,89	30,75	31,15	A
T1	14,03	1,21	8,66	13,17	14,89	B
T2	13,17	0,21	1,59	13,02	13,32	B
T3	14,21	0,01	0,10	14,19	14,22	B

Para os resultados de rompimento aos 28 dias, o desvio padrão se mostrou maior apenas para o traço com 5% de substituição, bem como o coeficiente de variação. Conforme a análise estatística da variância existe pelo menos um tratamento que difere dos demais, e neste caso o teste Tukey indicou que somente o traço de referência T0 difere estatisticamente dos outros tratamentos, ou seja, aos 28 dias, o teor de substituição de lodo não é estatisticamente relevante para influenciar a resistência do concreto. Os resultados de resistência à compressão deixam evidente que a possibilidade de utilização do lodo proveniente da ETE em concreto convencional não é uma alternativa tecnicamente viável, pois houve grande perda de resistência com a substituição do lodo. Observa-se que a resistência do concreto é minorada a partir da substituição de lodo no traço, este fenômeno acontece devido ao lodo de ETE ter em sua composição sulfatos e ácidos agressivos como sulfúrico (CORSINI, 2013). Os sulfatos podem reagir com o C3A ou  $\text{Ca(OH)}_2$ , o primeiro quando reage gera etringita que é um composto comum do cimento hidratado, porém seu excesso gera expansão e fissuras da massa decrescendo assim sua resistência, já o segundo a reação desencadeia a gipsita, que por sua vez gera perda progressiva de resistência e massa do concreto, de modo a transformar um de seus componentes que da resistência em gesso, que é um material de baixa resistência mecânica. Um comparativo também é exemplificado na Figura 6. Uma solução para diminuir o ataque por sulfatos seria a utilização de cimento com teor de C3A menores que 8% e adição de pozolanas para diminuir a porosidade e aumentar a resistência a ataques químicos, podendo também diminuir o fator água/cimento.

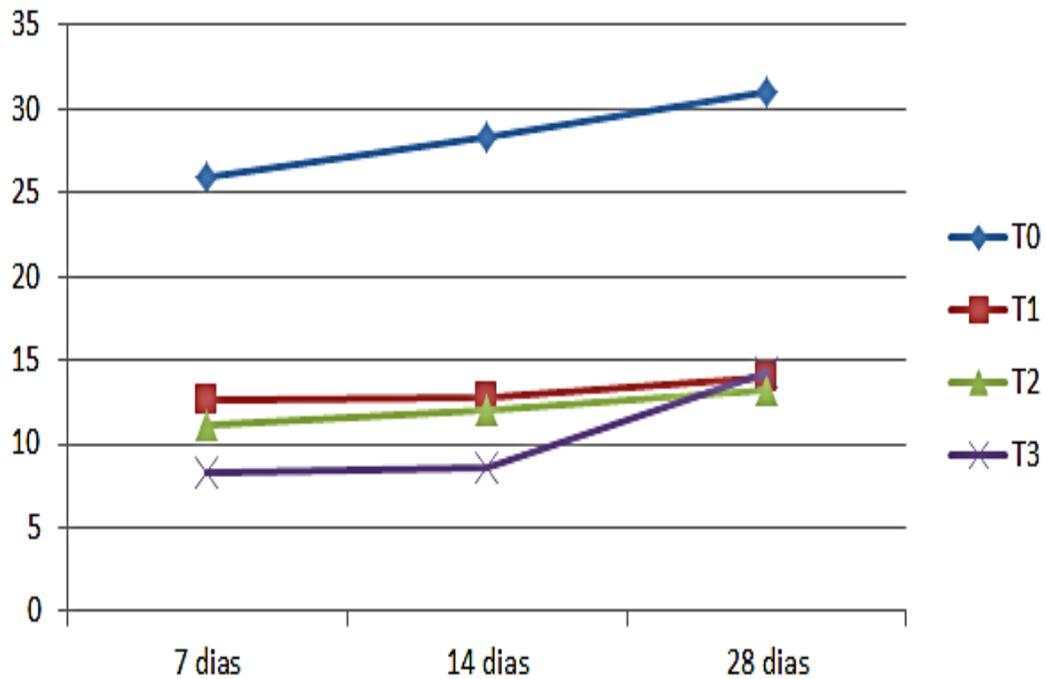


Figura 6 : Resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral.

No que tange a resistência a tração, os resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral também apresentaram decréscimo de resistência com o aumento da substituição de lodo, assim como fora visto no ensaio de resistência a compressão axial, sabe-se que o motivo para o decréscimo de resistência a tração são os mesmos que os analisados a compressão axial. Os valores podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral

Traço	Dosagem de lodo em proporção à massa de cimento (%)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)
T0	0	3,44
T1	5	1,56
T2	10	1,46
T3	20	1,57

## 5. CONCLUSÃO

Em relação ao abatimento do tronco de cone, nenhum dos traços atingiu o abatimento do concreto de referência, porém todos os valores ficaram entre 25 e 100mm que é o recomendado pelo ACI (2005) para peças estruturais.

Em relação à resistência à compressão, com exceção do traço de referência, todos os outros traços não podem ser utilizados como concreto estrutural, pois segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), concreto estrutural deve ter a resistência mínima de 20 MPa e os resultados para concretos com substituição de lodo foram todos inferiores ao mínimo estabelecido pela referida norma. Consideremos que para destinação do lodo de ETA in natura sem nenhum tratamento não se mostra viável para aplicação em concretos com fins estruturais. Por outro lado, o lodo in natura pode ser destinado à aplicação em concretos sem fins estruturais, como calçadas ou blocos destinados a tráfego de pedestres.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDREOLI, CLEVERSON VITÓRIO. **Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgoto sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos.** 1º Edição. Curitiba. PROSAB/SANEPAR, 2001.

ANDREOLI, CLEVERSON VITÓRIO. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final.** 1º Edição. Curitiba. PROSAB/SANEPAR, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986) – ABNT. **NBR 9649 – Projeto de Rede Coletoras de Esgoto Sanitário.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987) – ABNT. **NBR 7217 – Agregados: Determinação de Composição Granulométrica.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991) – ABNT. **NBR 5732 – Cimento Portland Comum.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992) – ABNT. **NBR 12209 – Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992) – ABNT. **NBR 12208 – Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992) – ABNT. **NBR 13969 – Tanques Sépticos – Unidades de Tratamento Complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) – ABNT. **NBR 5739 – Concreto: Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003) – ABNT. **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Projeto.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003) – ABNT. **NBR 5738 – Concreto: Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005) – ABNT. **NBR 7211 – Agregados para Concreto: Especificação.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006) – ABNT. **NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento.**

COSTA, ALVARO. **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 em calçadas – estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP.** São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.

CORSINI, R. Ambientes agressivos. Projetos de estruturas de concreto expostas a ambientes quimicamente agressivos exigem atenção especial para assegurar desempenho e vida útil à edificação. **Revista Técnica** [on line]. Ed. 196, Julho /2015. ISSN 0104-1053. Disponível em: < <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/196/artigo294033-1.aspx> >. Acesso em 06 out. 2016.

LYNN, Ciarán J. et al. Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 98, p.767-779, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.122>.

MACIEL, PATRICIA ROCHA. **Alternativas para a utilização de lodo das estações de tratamento de água como agregado na construção civil**. 7<sup>o</sup> Edição. São Paulo. Revista Acadêmica Oswaldo Cruz, 2015.

MENDES, André Soares et al. **Estudo da Influência da Adição do Lodo Proveniente da Estação de Tratamento de Água de Palmas na Resistência à Compressão Axial do Concreto Convencional**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 58. 2016, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Ibracon, 2016. p. 1 - 10. CD-ROM.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2006) – **RESOLUÇÃO Nº 375 – Critérios e Procedimentos para o uso de lodo de esgoto**.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2006) – **RESOLUÇÃO Nº 380 – Critérios e Procedimentos para o uso de produtos derivados do lodo de esgoto**.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5<sup>o</sup> edição. Porto Alegre. BOOKMAN Editora Ltda, 2016.

NEVILLE, A. M. / BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2<sup>o</sup> edição. Porto Alegre. BOOKMAN Editora Ltda, 2013.

SOUZA, FRANCIS. **Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, 2010.