



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

---

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005*

**GABRIEL BUENO DE OLIVEIRA**

**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO – NORTE EM CONCRETO CONVENCIONAL**

**Palmas - TO  
2015**

GABRIEL BUENO DE OLIVEIRA

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO – NORTE EM CONCRETO CONVENCIONAL

Monografia apresentada como  
requisito da disciplina TCC II do Curso  
de Engenharia Civil, orientado pelo  
Professor Mestre Fabio Moreira Spinola  
de Castro.

**Palmas - TO**  
**2015**

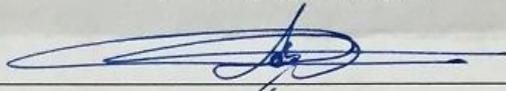
GABRIEL BUENO DE OLIVEIRA

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO – NORTE EM CONCRETO CONVENCIONAL

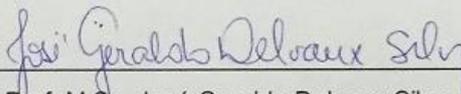
Monografia apresentada como  
requisito da disciplina TCC II do Curso  
de Engenharia Civil, orientado pelo  
Professor Mestre Fabio Moreira Spinola  
de Castro.

Aprovada em 7 de novembro de 2015.

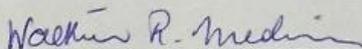
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. Fabio Moreira Spinola de Castro  
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva  
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Walkíria Medeiros  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2015

OLIVEIRA, Gabriel Bueno de. **Estudo do aproveitamento do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto - Norte em concreto convencional**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas/TO.

## RESUMO

Atualmente o elevado crescimento da construção civil no país vem aumentando a produção e o consumo de concreto, diante deste consumo tão elevado, constantemente novos materiais são testados como adição para concreto visando melhorar suas características como também dar fim a algum material reciclado ou que seja muito prejudicial ao meio ambiente. O presente trabalho apresenta um estudo de aproveitamento do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto – Norte localizada em Palmas-TO em concreto convencional como uma alternativa de descarte para o lodo. Foram elaborados quatro traços, um de referência calculado pelo método de ACI e outros três com adição de lodo, sendo estas adições no valor de 5%, 10%, e 20% do lodo em relação a massa do cimento. Para o ensaio realizado com o concreto no estado fresco a adição de lodo diminuiu a trabalhabilidade do concreto conforme o teor de lodo ia aumentando, já para os ensaios de resistência a compressão a adição de lodo não se mostrou eficaz para concretos estruturais não melhorando e nem mantendo a resistência do concreto, conseqüentemente a adição do lodo também reduziu a resistência a tração. Com isso a adição do lodo in natura pode ser considerada uma alternativa sustentável para o concreto, porém com uma viabilidade técnica restrita a aplicação deste concreto com lodo.

Palavras-chaves: construção civil, concreto, lodo, aproveitamento

OLIVEIRA, Gabriel Bueno de. **Study the use of sludge from sewage treatment station - North in conventional concrete**. 2015. Work Completion of course in Civil Engineering, University Lutheran Center Palmas / Lutheran University of Brazil - CEULP / ULBRA. Palmas / TO.

### **ABSTRACT**

Currently the high growth of construction in the country is increasing production and consumption of concrete, for this very high consumption, constantly new materials are tested as an additive to concrete to improve its characteristics as also give an end to some recycled material or that is very damaging to the environment. This paper presents a sludge utilization study of Sewage Treatment Plant - North, located in Palmas-TO, in conventional concrete as an alternative to the disposal of sludge. There were prepared four strokes, a reference calculated by the ICA method and three with the addition of sludge, with these additions in the amount of 5%, 10% and 20% of clay relative to the cement mass. For the test performed with the fresh concrete sludge addition decreased the concrete workability as the silt content was increasing, as for the compressive strength tests the addition of sludge was not efficient for structural concrete not improving and not keeping the resistance of concrete, consequently the sludge addition also reduced resistance to traction. Thus the addition of the sludge in nature can be considered a sustainable alternative to the concrete, however with a restricted technical feasibility the application of concrete with sludge.

Keywords: construction, concrete, sludge, utilization

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Resíduos resultantes de processos industriais .....	12
Tabela 2 - Traço de Referência .....	22
Tabela 3 - Dosagem de Lodo de ETE em relação à Massa do Cimento .....	22
Tabela 4 - Quantidade de CP's por tipo de Ensaio .....	24
Tabela 5 - Resultado dos Slumps .....	28
Tabela 6 - Ensaio de Resistência à compressão .....	29
Tabela 7 - Resultados de Resistência a Tração por compressão diametral ...	30
Tabela 8 - Valores de abatimento recomendados pelo ACI.....	32
Tabela 9 - Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais. ....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização ETE-NORTE .....	21
Figura 2 - Lodo de ETE.....	23
Figura 3 - Corpos de Prova após desmoldagem .....	24
Figura 4 - Corpo de provas em processo de cura.....	25
Figura 5 - Slump Test .....	25
Figura 6 - Prensa Emic .....	26
Figura 7 - Comparativo Visual dos Slumps.....	28
Figura 8 - Corpo de prova após ensaio de compressão axial.....	31
Figura 9 - Corpo de prova após ensaio de tração por compressão diametral.....	31
Figura 10 - Corpos de prova T0, T1, T2, T3 após ensaio de tração por compressão diametral.....	31

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	5
2. OBJETIVOS .....	6
3. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	7
4. REFERENCIAL TEÓRICO .....	8
4.1 Transporte e Coleta de Esgoto .....	9
4.2 Tratamento de Esgoto .....	9
4.2.1 Lodo de Esgoto .....	10
4.3 Alternativas para disposição do lodo de ETE's .....	10
4.3.1 Aplicação em solos .....	10
4.2.2 Disposição em aterros sanitários .....	11
4.4 Aplicação do lodo ETE em Concretos e Argamassas.....	11
4.4.1 Concreto .....	13
4.4.2 Traços de Concreto .....	14
4.5 Agregados .....	17
4.5.1 Definição .....	18
4.5.2 Origem .....	18
4.5.3 Dimensões .....	18
4.5.4 Obtenção dos agregados graúdo naturais .....	19
4.5.5 Propriedades dos agregados de densidade normal.....	20
5. METODOLOGIA.....	21
5.2 Localização da ETE .....	21
5.2 Métodos .....	21
5.3 Materiais Utilizados.....	26

5.3.1 Cimento.....	26
5.3.2 Areia .....	26
5.3.3. Brita .....	27
5.3.4. Lodo .....	27
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
6.1 Influência no estado fresco .....	28
6.2 Influência no estado endurecido .....	29
6.2.1 Resistência à Compressão .....	29
6.2.2 Resistência à Tração por compressão diametral .....	30
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	32
8. REFERÊNCIAS.....	34
ANEXO A – MEMORIAL DE CÁLCULO TRAÇO REFERÊNCIA (T0) .....	36
ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DO LODO .....	38

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas geram resíduos. Ainda nos períodos mais remotos da antiguidade onde a organização social da humanidade era nômade, já se gerava resíduos.

Segundo Geyer (2001), com o desenvolvimento social do homem e principalmente após a revolução industrial, a produção de resíduos passou a ser padrão de medida do desenvolvimento econômico das comunidades.

A definição de destino final para o lodo de uma estação de tratamento de esgoto é uma das tarefas mais difíceis para o administrador do serviço de esgoto, envolvendo custos das tarefas de transporte e restrições do meio ambiente. Há várias opções possíveis de disposição a serem adotadas, dependendo da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental para cada caso. Diversos estudos vêm sendo conduzidos visando à busca de novas alternativas de destinação desse tipo de resíduos, mas para isto, o lodo precisa ser tratado. Destas alternativas são possíveis citar as seguintes: disposição em aterro sanitário (PROSAB,1999); co-disposição com biossólido (RICHTER,2001); disposição controlada em certos tipos de solos (RICHTER, 2001); utilização em argamassas (RIBEIRO, 2012).

A destinação atual da maior parte dos resíduos gerados de tratamento de esgotos, especificamente o lodo, é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando desequilíbrios ambientais e tornando-se fonte potencial de morbidades e mortalidades humanas. O lodo de esgoto sanitário apresenta, desde que beneficiado por algum processo, potencialidade de ser utilizado como subproduto na Indústria da Construção Civil.

## **2. OBJETIVOS**

### **- Objetivo Geral**

Analisar a possibilidade da utilização do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto – Norte, como adição em concreto convencional.

### **- Objetivos Específicos**

- Avaliar a influência da adição do lodo no concreto no estado fresco pelo ensaio de slump, e endurecido pelos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral.
- Avaliar a utilização do lodo para concreto com e sem fins estruturais.
- Avaliar a adição do lodo em concreto convencional como alternativa para destinação do lodo de ETE.

### **3. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO**

O estudo do aproveitamento do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto – Norte em concreto convencional, é importante para indicar uma destinação final mais nobre, e viável tecnicamente para o lodo gerado na ETE- Norte em Palmas, evitando prejuízos ambientais futuros para a sociedade.

Segundo Musse (2007), a disposição final dos resíduos do tratamento dos esgotos domésticos pode ocasionar um grave problema ambiental, pois ao promover-se o saneamento básico, e com isso, a saúde pública, geram-se concomitantemente, no processo, compostos indesejáveis com alta carga poluidora e patogênica.

A disposição do lodo mais utilizada, até a década de 60, dava-se em aterros sanitários, porém, com o crescimento das cidades e conseqüente aumento da quantidade de resíduo, esta alternativa passou a ser ineficaz sob o ponto de vista ambiental.

A destinação atual da maior parte destes resíduos sólidos e líquidos urbanos (lixos, resíduos de Estações de Tratamento de Esgoto e de tratamentos industriais) é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando grandes desequilíbrios ambientais, além de se tornarem fontes potenciais de morbidades e mortalidades humanas.

#### 4. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Nuvolari et al. (2003), já nos tempos mais remotos, desde o início dos assentamentos humanos em cidades, a coleta de esgoto sanitário era uma preocupação daquelas civilizações. Em 3750 a.C., construíram-se galerias de esgotos em Nipur e na Babilônia. Além disso, em 3100 a.C. houve o emprego de manilhas cerâmicas para essa finalidade.

Na Roma Imperial eram feitas ligações diretas das casas até os canais de coleta de esgoto. Esta cidade destacou-se pela construção das obras mais importantes referentes ao saneamento: a Cloaca Máxima de Roma, que tinha como função, receber os esgotos provenientes das construções (FONTES, 2003).

Atualmente existem três rotas que têm sido utilizadas, ou pelo menos estudadas, nestes últimos anos com relação à problemática de resíduos sólidos industriais. A primeira rota utilizada tem sido o processamento e disposição dos resíduos em aterros. Porém essas operações apresentam custos cada vez maiores. Além disso, os locais para disposição de resíduos sólidos têm diminuído, seja pelo esgotamento de sua capacidade de armazenagem, seja pela dificuldade de obter permissão para implantação de novos aterros, ou pela pressão das comunidades locais. Dessa forma, uma segunda rota tem sido estudada – evitar a geração de resíduos sólidos e/ou minimizá-los no processo de origem. A terceira rota, a reciclagem externa, tem sido a melhor solução para reduzir os custos, e talvez até gerar algum retorno financeiro para a empresa quando transforma esse resíduo num sub produto ou seja, alguns resíduos sólidos industriais podem ser utilizados como matéria-prima para fabricação de matérias usados na construção civil.

É um processo físico ou químico no qual partículas menores de lodo se unem a partículas maiores formando agregados com dimensões superiores a estas partículas. O condicionamento do lodo pode ser realizado através da utilização de polímeros orgânicos, produtos químicos inorgânicos ou de tratamento térmico (ANDREOLI et al., 2001).

Os polímeros orgânicos podem ser classificados em neutros, catiônicos e aniônicos do ponto de vista das cargas de superfície. Destes, os polímeros catiônicos são os mais utilizados no condicionamento dos lodos pelo fato do lodo possuir cargas elétricas predominantemente negativas. Eles podem ser encontrados

comercialmente 19 em pó ou em líquidos. Os produtos químicos inorgânicos são utilizados principalmente quando a etapa posterior (desidratação) é realizada por filtro a vácuo ou filtro de pressão. Atualmente, outros tipos de produtos inorgânicos vem sendo utilizados para o condicionamento de lodos: resíduos de alto forno de cimento e de cal, carvão pulverizado e cinza de incineradores (ANDREOLI et al., 2001).

#### **4.1 Transporte e Coleta de Esgoto**

Os esgotos são transportados e coletados para as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) por meio da rede coletora. Esta rede é constituída por ligações prediais, coletores de esgoto e seus órgãos acessórios.

A ligação predial é o trecho do coletor predial compreendido entre o limite do terreno e o coletor de esgoto; a rede coletora recebe estes esgotos por meio de coletores secundários encaminhando-os ao coletor tronco que transporta estas contribuições para um interceptor ou um emissário. O interceptor possui diâmetro maior do que a rede coletora, pois recebe contribuição de toda a sub-bacia; já o emissário conduz os esgotos a uma ETE ou a um corpo receptor (FONTES, 2003).

#### **4.2 Tratamento de Esgoto**

As técnicas para o tratamento de esgotos domésticos têm sido desenvolvidas há mais de 50 anos. Os recursos disponibilizados atualmente permitem o alcance de elevados graus de tratamento de esgotos gerados em uma cidade. Destaca-se que, em regiões com escassez de água, já acontece o reuso da água proveniente do tratamento de esgotos sanitários (GEYER, 2001).

O esgoto tratado tem um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o uso de esgoto contribui para a conservação dos recursos hídricos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento destes.

Os processos de tratamento dos esgotos são formados por uma série de operações unitárias, empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis ou

para a transformação destas substâncias em outras aceitáveis (JORDÃO; PÉSSOA, 2005).

O tratamento de esgoto contempla duas fases: a primeira, o tratamento do efluente líquido e a segunda, o tratamento dos sólidos restantes do processo, os quais são denominados lodos. O tratamento presume a separação da parte líquida da parte sólida.

#### 4.2.1 Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto se constitui na fração sólida proveniente do tratamento do esgoto sanitário após a separação das fases líquida e sólida, e a biodigestão da fração sólida por bactérias aeróbias ou anaeróbias.

### **4.3 Alternativas para disposição do lodo de ETE's**

Existem algumas alternativas para a disposição final do lodo de ETE. Para que essas alternativas sejam viáveis, a necessidade de técnicas que conciliam economicamente e ambientalmente.

Algumas dessas alternativas usualmente utilizadas para a disposição do lodo são: aplicação no solo, aterros sanitários e incorporação do lodo em materiais para a construção civil (COSTA, 2011).

Como já mencionado anteriormente, existe uma preocupação crescente com relação à disposição do lodo de esgotos, em decorrência da ampliação dos sistemas de tratamento e das leis ambientais, que a cada dia tornam-se mais exigentes. Por apresentar em sua composição germes patogênicos, metais pesados e outros compostos tóxicos, mesmo após o processo de tratamento. Este resíduo quando disposto de maneira inadequada, pode trazer danos ao meio ambiente e a saúde humana.

Atualmente, existem várias formas de disposição do lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto. Nesta pesquisa, serão comentadas seis maneiras de disposição final do lodo de esgotos: aterro sanitário, uso agrícola, landfarming, recuperação de áreas degradadas, incineração e disposição oceânica.

#### 4.3.1 Aplicação em solos

Segundo Tsutiya e Hirata (2001), diversas empresas de saneamento nos EUA têm utilizado o lodo de ETE para aplicação no solo, quando a coagulação for com

ferro. A aplicação do lodo no solo traz melhoria em sua estrutura, ajuste de pH, condições de aeração do solo entre outros. Porém o mesmo autor cita que, estudos têm demonstrado que o lodo de ETE no solo não possibilita a absorção do nutriente fósforo presente no solo para as plantas, tornando defasada essa aplicação.

O lodo de ETE apesar de conter matéria orgânica, não é interessante sua aplicação direta ao solo, quando a coagulação for proveniente de sais de alumínio, essa técnica contribui para a absorção dos metais pelos vegetais, podendo causar uma intoxicação a nível trófico.

#### 4.2.2 Disposição em aterros sanitários

O acondicionamento do lodo em aterros é uma alternativa segura para a saúde pública e ambiental, sendo que seu comportamento em aterro é conhecido (TARTARI, 2008).

No entanto o mesmo autor citado acima ressalta que em aterros particulares ou municipais, a disposição do lodo implica em custos como transporte até o local, operação e ocasiona um decréscimo na vida útil do aterro.

O planejamento inadequado de um aterro sanitário pode causar diversos impactos ambientais, tais como a poluição das águas subterrâneas e superficiais em função da lixiviação e escorrimentos de líquidos percolados que podem conter substâncias tóxicas, a poluição do ar através da produção de gases nos aterros e do solo.

Estes impactos podem ser evitados através da escolha de locais adequados, de um projeto bem elaborado, monitoramento do aterro mesmo após o seu fechamento, e elementos de proteção ambiental (ANDREOLI et al., 2001, TSUTIYA et al., 2001).

Para a disposição do lodo em aterros sanitários existem duas formas: aterros exclusivos para o lodo, ou co-disposição com resíduos sólidos urbanos.

#### **4.4 Aplicação do lodo ETE em Concretos e Argamassas**

A indústria da construção civil tem procurado aproveitar vários resíduos que desenvolvem reações pozolânicas quando adicionados ao cimento. Dentre os vários resíduos disponíveis, os mais utilizados são a cinza volante, a escória de alto forno e a sílica ativa (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Estudos também vêm sendo realizados

com a cinza da casca de arroz e do bagaço da cana de açúcar (CORDEIRO et al., 2003) e com argilas calcinadas (GONÇALVES, 2003).

A destinação atual da maior parte dos subprodutos gerados em tratamento de esgotos, especificamente o lodo, é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando desequilíbrios ambientais e tornando-se fonte potencial de morbidades e mortalidades humanas. O lodo de esgoto sanitário apresenta, desde que beneficiado por algum processo, potencialidade de ser utilizado como subproduto na Indústria da Construção Civil (GONÇALVES, 2003).

A Tabela 1 descreve alguns setores industriais e seus principais resíduos que podem ser usados para a fabricação de argamassa ou concreto.

**Tabela 1 – Tipos de Resíduos resultantes de processos industriais**

<b>Indústria</b>	<b>Resíduo Gerado</b>
<b>Termoelétrica</b>	Cinzas Volantes e Cinzas Pesadas
<b>Alimentícia</b>	Casca de arroz
<b>Metalúrgica</b>	Areia de Fundição, Escória de Cobre e Escória de Aciaria Elétrica de Auto-forno
<b>Têxtil</b>	Lodo Têxtil

Fonte: Cruz, (2002)

#### 4.4.1 Concreto

Conforme descrito por (MEHTA & MONTEIRO, 1994), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos. No Egito já se empregava a argamassa de concreto na construção das estruturas das pirâmides e das sepulturas onde a mesma servia como material responsável pela junção das peças. O concreto é um material que ao longo do tempo apresenta variações significativas de suas propriedades. Variações das quais apresentam velocidades individualizadas ao longo da vida.

No concreto a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, contudo devido ao alto custo do cimento, faz-se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/grúdo) que minimiza a quantidade de pasta. Seu desempenho independe das propriedades das matérias-primas, e sim das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

As características do concreto dependem do seu estado físico. No seu estado fresco, um atributo importante é a trabalhabilidade, responsável por facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido, a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência são suas principais características.

## 4.4.2 Traços de Concreto

### 4.4.2.1 Definições

O traço é a proporção dos materiais que compõe o concreto ou a argamassa. O traço pode ser classificado em 3 (três) diferentes tipos:

- Traço em massa: é quando as proporções estão associadas à massa dos materiais;

- Traço em volume: é quando as proporções estão associadas ao volume dos materiais;

- Traço misto: é quando a quantidade de um material é fornecida em massa enquanto os demais materiais são fornecidos em volume.

Quando utilizar cada tipo de traço:

#### *4.4.2.1.1 Traço em massa*

Vantagem: O traço em massa proporciona uma maior precisão na determinação das quantidades de materiais.

Quando utilizar: É indicado para obras que necessitam de um controle mais rigoroso da dosagem do concreto. De acordo com a NBR 12655(1996), deve-se utilizar esse tipo de traço para concretos acima da classe C25 (25 MPa).

Desvantagem: São necessários equipamentos de pesagem materiais, o que não é comum na grande maioria das obras.

Onde é utilizado: Usinas de concretagens, obras de grande porte e laboratórios técnicos.

#### *4.4.2.1.2 Traço em volume*

Vantagem: O traço em volume proporciona uma maior facilidade na determinação das quantidades dos materiais.

Quando utilizar: Não é indicado para a dosagem de concreto com fins estruturais. A NBR 12655(1996) não permite quantificar o cimento em volume.

Desvantagem: A imprecisão nas medidas de volume pode levar a um maior gasto de cimento ou a um concreto com menor resistência que a necessária.

Onde é utilizado: Deve ser usado somente em casos de emergência ou em locais de pouca importância.

#### *4.4.2.1.3 Traço misto*

Vantagem: O traço misto proporciona uma maior precisão na determinação da quantidade de cimento, mas os agregados continuam sendo determinados por meio de volumes.

Quando utilizar: A NBR 12655(1996) permite utilizar esse tipo de traço para concreto até a classe C25, desde que sejam tomados alguns cuidados na determinação dos volumes de agregados.

Desvantagem: A imprecisão nas medidas dos volumes dos agregados pode levar a um maior gasto de cimento ou a um concreto com menor resistência que a necessária. Para algumas situações é necessário a existência de balanças com capacidade e precisão necessárias para a conversão de massa para volume de agregados.

Onde é utilizado: É o traço usual na maioria das obras.

#### *4.4.3.2 Propriedades importantes dos materiais*

##### *4.4.3.2.1 Massa específica*

Dá-se o nome de massa específica de um material granular ou pulverulento (pó) à massa deste em relação ao volume das partículas sólidas (volume dos grãos, dos cheios ou volume real), sem contar os vazios, isto é, da unidade de volume deste material compactado.

Normas:

- NBR 9776– Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman

- NBR 9937– Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo

- NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica - método de ensaio

#### 4.4.3.2.2 *Massa unitária*

A massa unitária é definida como a massa pelo volume do material granular ou pulverulento (pó), considerando-se os vazios. Designa-se por “ $\delta$ ” e deve ser menor que “ $\gamma$ ” do mesmo material, pois o volume é maior. É utilizado para transformações de medidas de materiais de volume para massa e vice-versa.

Normas:

- NBR 7251– Agregado no estado solto - Determinação da massa unitária
- Não existem normas específicas para a determinação da massa unitária da cal e do cimento.

#### 4.4.3.2.3 *Umidade*

Umidade é a relação entre a quantidade de água existente e a massa seca de material. Em termos de dosagem de concretos, os dados relativos à umidade dos agregados são indispensáveis para a correção das proporções da água de mistura e dos agregados adicionados, pois a quantidade de água transportada pelos mesmos para o concreto altera substancialmente a relação água/cimento.

Normas:

- NBR 9775 – Agregados – Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco Chapman. 1987.

#### 4.4.3.2.4 *Inchamento*

Dependendo do teor de umidade e da composição granulométrica do agregado, pode ocorrer um aumento considerável do volume aparente da areia, pois a tensão superficial da película de água presente ao redor dos grãos mantém as partículas afastadas uma das outras. Esse aumento de volume é considerado o inchamento do agregado miúdo (areia).

O inchamento está associado a uma determinada umidade, e através dos valores de cada par de teores de umidade/inchamento do agregado miúdo (h,i), traça-se uma curva de inchamento, de modo a representar graficamente o fenômeno.

Com esta representação gráfica, duas novas determinações importantes são definidas: umidade crítica, definida como teor de umidade acima do qual o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio; e coeficiente de inchamento médio, valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e o correspondente à umidade crítica.

#### **4.5 Agregados**

O agregado, um dos ingredientes mais importantes na elaboração da dosagem de concreto. Sobretudo porque aproximadamente 70 a 80% do volume do concreto é composto por agregados, o que torna o custo mais baixo por unidade de volume, devido os mesmos serem de menor custo que o cimento. A atuação dos agregados é de forma decisiva em certas propriedades, entre as quais: redução de retração na pasta do cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhoria na trabalhabilidade entre outros (NEVES, 2009).

A utilização dos agregados deve-se ao fato de que quanto maior a quantidade de agregado menos será o fator água/cimento efetivo, em outros casos, um teor maior de agregado resultaria em menor retração e menor exsudação e, portanto menor dano à aderência entre o agregado e a pasta do cimento e também seriam menores as variações térmicas devidas ao calor de hidratação do cimento. (NEVILLE,1997).

Segundo Neville (1997), a influência do agregado na resistência do concreto não é somente devida a sua resistência mecânica, mas também e significativamente, à sua absorção e às características de aderência. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. Um exemplo que podemos dar a

cerca desse conceito é que uma superfície mais áspera como a de partículas britadas, resulta em uma melhor aderência devido ao intertravamento mecânico

#### 4.5.1 Definição

A NBR 9935/87 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define o agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de concreto e argamassa (NEVES, 2009).

#### 4.5.2 Origem

Os naturais de densidade média: serão encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada de agregado: areias de barranco, mina, rios, dunas, e mar, seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solo pedregulhoso (NEVILLE, 1997).

Os naturais de densidade leve: inorgânicos celular granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras pomes, escória vulcânicas ou tufo.

Nota: os agregados pesados não são encontrados na natureza já fragmentados.

Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada, trabalhada enfim beneficiada de alguma maneira para chegar a forma das partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem a britagem de rocha estáveis (NEVES, 2009).

#### 4.5.3 Dimensões

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias quartzosas, os graúdos: seixos rolado, cascalho, britas e os agregados pétreos de grandes grãos de pedras 250 mm, entre 76mm e 250mm, conforme estabelecido especificações da ABNT- NBR- 7211 e 9935.

Os agregados inorgânicos leve, celular granulado, segundo as especificações Brasileira, encontra-se em dois grupos: o grupo I, os miúdos cujos grãos passam

pelo menos 98% na peneira de 4,8mm. No grupo II, os grãos cujos grãos passam pelo menos 90% na peneira de 12,5mm, conforme os limites estabelecidos através da ABNT- NBR- 7213.

Os agregados miúdos de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita expandida, rochas estáveis, minério de bário além de outros ou a mistura de todos, cujos grãos passam pelo menos 95% na peneira 4,8 mm conforme NBR-5734, a melhor definição é apresentada nas faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, média ou grossa, conforme as especificações da ABNT-NBR- 7211 para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR-7213 (NEVES, 2009).

#### 4.5.4 Obtenção dos agregados grão naturais

Pedregulho, seixo rolado ou cascalhado são nomes que poderão ser dados ao agregado grão de origem natural médio, que pode ser encontrado na natureza em jazidas de rio formadas no leito, no fundo ou nas margens dos rios, ou nas jazidas de solo, pedregulhos e arenosos na superfície, ou em maior profundidade do terreno. Este tipo de jazida é muito comum nas regiões de cerrados e desertos. Poderá obter cascalho de boa textura, resistente ao desgaste, mas, exige uma atenção especial com o teor de argila que o material poderá trazer na superfície das partículas.

O fato é que os materiais encontrados, tanto na jazida de rio como na jazida de solo, é retirado da natureza sem sofrer processo de beneficiamento que altere suas características, porque ele já vem fragmentado isto é, com as suas partículas definidas. O material extraído através da jazida do rio, em alguns casos não necessita passar por tratamento, processo de lavagem, apenas a classificação de tamanho. Quanto ao extraído através da jazida do solo, geralmente precisa passar por um processo mais energético de lavagem para retirar o teor de argila, pó e outras impurezas existentes que vêm envolvidas nas partículas dos grãos. Todos os agregados, sem exceção, antes da utilização deverão ser analisados em laboratório e submetidos à classificação dos limites estabelecidos conforme as especificações da NBR - 7211.

Os agregados graúdos de altas densidades (pesados) não são encontrados na natureza prontos para ser usados. Ao alcance do nosso conhecimento até o momento constatamos que todos os citados necessitaram de beneficiamento para serem utilizados em concreto. Assim sendo, não temos conhecimento de alguma publicação a respeito (NEVES, 2009).

#### 4.5.5 Propriedades dos agregados de densidade normal

Os agregados naturais de densidade média têm forma de grãos cuboide de superfície arredondada e lisa, apresentam baixos teores de absorção de água ótima trabalhabilidade, em virtude da falta de aspereza e rugosidade dos grãos, se não tomar certos cuidados na dosagem, no manuseio e lançamento, poderá apresentar problemas de aderência na pasta de cimento de água (NEVES, 2009).

## 5. METODOLOGIA

### 5.2 Localização da ETE

A Estação de Tratamento de Esgoto – Norte atende cerca 85 mil habitantes, com capacidade de expansão para uma população de mais de 200 mil habitantes, localizada nas coordenadas -10.1500809, - 48.358233 em Palmas-TO. A Figura 1 a seguir mostra a visão aérea da ETE – NORTE.

**Figura 1 - Localização ETE-NORTE**



Fonte: Google Maps, 2015.

### 5.2 Métodos

A fim de se descobrir a influência da adição do lodo de ETE em concreto convencional o presente trabalho retirou o lodo seco na ETE-NORTE, que atende cerca de 85 mil habitantes, localizada na região norte de Palmas-TO, e da mesma forma que foi recebido foi aplicado no concreto. Após o recebimento do lodo calcula-se um traço de referência denominado T0, através do método de ACI SEVEN

STEPS. O memorial de cálculo e a caracterização do lodo está presente em anexos do presente trabalho. Abaixo segue Tabela 2 com traço de referência

**Tabela 2 – Traço de Referência**

<b>T0 – 1:1,66:1,92:0,444</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Relação em Massa</b>	<b>Consumo (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cimento</b>	1	461,71
<b>Areia</b>	1,66	765,86
<b>Brita</b>	1,92	885,6
<b>Água</b>	0,444	205

Fonte: Autor, 2015.

Após determinado o T0 foi fixado os teores de adições de lodo ficando assim representado na Tabela 3 a seguir, as porcentagens e nomenclatura dos traços deste trabalho.

T0 – Traço de Referência (Sem adição de lodo). (Testemunhas)

T1 – Traço com adição de 5% de lodo em função a massa do cimento

T2 - Traço com adição de 10% de lodo em função a massa do cimento

T3 - Traço com adição de 20% de lodo em função a massa do cimento

O T0 baseia-se no método de dosagem de ACI, onde seu memorial de cálculo segue nos anexos deste trabalho.

**Tabela 3 - Dosagem de Lodo de ETE em relação à Massa do Cimento**

<b>Traços</b>	
<b>Traços</b>	<b>% Lodo em função da massa do Cimento</b>
<b>T0</b>	0
<b>T1</b>	5
<b>T2</b>	10
<b>T3</b>	20

Fonte: Autor, 2015.

O lodo foi coletado na ETE e encaminhado ao laboratório de Materiais e Estruturas do Ceulp/Ulbra em sacos plásticos pretos conforme Figura 2 a seguir.

**Figura 2 – Lodo de ETE**

Fonte: Autor, 2015

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 na resistência a compressão axial do concreto convencional. Os ensaios de compressão foram realizados de acordo com as NBR 5738/2015 e NBR 5739/2007, sendo ainda realizado o ensaio de resistência a tração por compressão diametral em dois corpos de prova com dimensões 150x300mm em cada traço. Todos os corpos de prova foram moldados com o auxílio do professor e, técnicos do Laboratório de Materiais após a pega, foram colocados em repouso sobre uma superfície plana em um ambiente aberto à temperatura ambiente.

A Tabela 4 a seguir mostra a quantidade de corpos de prova moldados em função da idade e o tipo de ensaio.

Tabela 4 - Quantidade de CP's por tipo de Ensaio

Ensaio	Idade (Dias)		
	7	14	28
Resistência a compressão	2	2	2
Resistência a tração por compressão diametral	0	0	2

Fonte: Autor, 2015.

Após 24 horas da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados conforme a Figura 3.

Figura 3 - Corpos de Prova após desmoldagem



Fonte: Autor, 2015.

Após desformados os corpos de prova foram pesados e mergulhados em água para passar pelo processo de cura, conforme a Figura 4 a seguir, que nessa pesquisa foi feito de forma submersa em tanque com água, este processo durou até à realização dos ensaios.

**Figura 4 - Corpo de provas em processo de cura**



Fonte: Autor, 2015.

Também foi realizado de acordo com a norma NBR NM 67 – 1998 o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone conforme Figura 5 a seguir, mais conhecido como slump teste. Este ensaio é de suma importância para pesquisa pois através dele podemos avaliar a influência da adição do lodo de esgoto sobre o estado fresco do concreto.

**Figura 5 - Slump Test**



Fonte: Autor, 2015.

Os ensaios de resistência à compressão e de tração diametral foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do Ceulp/Ulbra, na prensa PC 200 L Emic com capacidade de resistência de 200 toneladas, conforme a Figura 6 a seguir.

**Figura 6 - Prensa Emic**



Fonte: Autor, 2015.

### **5.3 Materiais Utilizados**

#### **5.3.1 Cimento**

O cimento utilizado foi CP II-Z-32, conhecido com cimento Portland composto com adição de pouzolana pois este era o disponível nas dependências Laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas.

#### **5.3.2 Areia**

Utilizou-se areia encontrada no Laboratório do CEULP/ULBRA. A massa unitária segundo a NM 45:2006 ficou em 1,47 kg/ dm<sup>3</sup>, e a massa específica, segundo a NM 52:2002, de 2,57 kg/dm<sup>3</sup> e modulo de finura de 2,34.

### 5.3.3. Brita

Usou-se a brita encontrada no Laboratório do CEULP/ULBRA. A massa unitária segundo a NM 45:2006 ficou em 1,37 kg/dm<sup>3</sup>, e a massa específica, segundo a NM 53:2002, de 2,67 kg/dm<sup>3</sup>e diâmetro máximo característico de 19 mm.

### 5.3.4. Lodo

Conforme o citado anteriormente utilizou-se o lodo da ETE – Norte. A caracterização do lodo, segue em anexo.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Influência no estado fresco

Ao adicionar o lodo ao concreto foi observado que a trabalhabilidade foi diminuindo gradativamente conforme ia aumentando o valor da adição. Os resultados dos slumps estão apresentados na Tabela 5 a seguir.

**Tabela 5 - Resultado dos Slumps**

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

Fonte: Autor, 2015.

Essa redução do slump ocorreu pela quantidade de materiais finos que contém 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 foi  $100 \pm 25$  mm ou seja apenas o T0 e o T1 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. A Figura 7 a seguir mostra o comparativo dos slumps de cada traço.

**Figura 7 - Comparativo Visual dos Slumps**



Fonte: Autor, 2015.

## 6.2 Influência no estado endurecido

### 6.2.1 Resistência à Compressão

Resistência à compressão é a característica mais importante do concreto no seu estado endurecido, portanto, a Resistência Característica do Concreto à Compressão ( $f_{ck}$ ) é um dos dados utilizados no cálculo estrutural. Sua unidade de medida é o MPa (Mega Pascal).

O T0 foi calculado para um  $f_{ck}$  de 25 MPa e um  $f_{cj}$  aos 28 dias de 31,6 Mpa.

A Tabela 6 a seguir apresenta os resultados da média de resistência a compressão feita pela resistência obtida pelo rompimento dos dois corpos de prova para cada idade, dos traços elaborados neste trabalho.

**Tabela 6 - Ensaio de Resistência à compressão**

TRAÇOS	Resistência à Compressão (Mpa)		
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
T0	<b>25,98</b>	<b>28,35</b>	<b>30,95</b>
T1	<b>12,64</b>	<b>12,07</b>	<b>14,03</b>
T2	<b>11,10</b>	<b>11,95</b>	<b>13,17</b>
T3	<b>8,33</b>	<b>8,6</b>	<b>14,21</b>

Fonte: Autor, 2015.

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 para concretos estruturais, pois houve grande perda de resistência com a adição do lodo.

A Figura 8 a seguir mostra um corpo de prova após o ensaio de compressão axial.

**Figura 8 - Corpo de prova após ensaio de compressão axial.**



### 6.2.2 Resistência à Tração por compressão diametral

Assim como a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral também tende a diminuir com a adição do lodo. Os resultados obtidos por este ensaio estão dispostos na tabela 7 a seguir.

**Tabela 7 – Resultados de Resistência a Tração por compressão diametral**

Traço	Dosagem de lodo em proporção a massa do Cimento	Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa)
T0	0	3,43
T1	0,05	1,55
T2	0,1	1,46
T3	0,2	1,57

Fonte: Autor, 2015.

A Figura 9 a seguir mostra um corpo de prova após o ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

**Figura 9 - Corpo de prova após ensaio de tração por compressão diametral.**



Fonte: Autor.

A Figura 10 abaixo mostra o comparativo visual dos corpos de prova dos traços T0, T1, T2, e T3 após o ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

**Figura 10 - Corpos de prova T0, T1, T2 e T3 após ensaio de tração por compressão diametral.**



Fonte: Autor.

## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação ao abatimento do tronco de cone, nenhum dos traços atingiu o abatimento do traço T0, mas mesmo que não tenham atingido, todos ficaram dentro das recomendações para peças estruturais. A tabela 8 a seguir, mostra os valores de abatimento recomendados pelo ACI.

**Tabela 8 - Valores de abatimento recomendados pelo ACI.**

Tipos de Construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

\*Pode ser aumentada em 25mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração  
Fonte: Mehta; Monteiro; *apud* ACI.

Na tabela 9 abaixo é possível observar que todos os traços estudados ficaram dentro do intervalo recomendado de abatimento do concreto para peças estruturais.

**Tabela 9 - Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais.**

Traço	Abatimento (mm)	Intervalo de Abatimento para Peças Estruturais (mm)
T0	118	25 - 100
T1	90	
T2	48	
T3	35	

Fonte: Autor.

Em relação à resistência a compressão com exceção do T0, todos os outros traços não podem ser utilizados como concreto estrutural pois segundo a NBR 6118:2014, concreto estrutural deve ter a resistência mínima de 20 MPa. Porém os outros traços podem ser utilizado em concretos sem fins estruturais, como em blocos de vedação, calçadas, bancos de praça, entre outros.

E como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante testar a adição da cinza do lodo, ao invés de testa-lo in natura como foi utilizado neste trabalho,

acredita-se que a queima eliminara boa parte da matéria orgânica que reduz a resistência do concreto.

## 8. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 35 – Agregados Leves para Concreto Estrutural – Especificações**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 45 – Agregado – Determinação da massa unitária e do volume de vazio**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52 – Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

CORDEIRO, João S. **Micro Propriedades de Lodos Gerados em Decantadores de Estação de Tratamento de Água**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE 53 ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. **Anais eletrônicos...** Disponível em < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-014.pdf>>. Acesso: 20 mar. 2015.

COSTA, Álvaro J. C. da. **Análise da Viabilidade da Utilização de Lodo de ETA Coagulando com Cloreto de Polialumínio (PAC) Composto com Areia como Agregado Miúdo em Concreto para Recomposição de Calçadas** – Estudo de Caso na ETA do Município de Mirassol –SP. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2011.

GEYER, A. L. B. **Contribuição ao Estudo da Disposição Final e Aproveitamento da Cinza de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários como Adição ao Concreto**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo IBRACON, 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 932 p.

FONTES, C. M. A. **Potencialidades da Cinza de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como Material Suplementar para a Produção de Concretos com Cimento Portland**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NEVES, Idércio França Das. **Materiais de construção: Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Pini, 1997.

## ANEXO A – Memorial de Cálculo Traço Referência (T0)

### Dosagem - Método do ACI

Procedimento:

1º Passo - Escolha do abatimento

$100 \pm 25 \text{ mm}$  (Pilares de edifícios)

75 a 125 mm

2º Passo - Escolha do  $\phi$  máximo do agregado graúdo

$\phi: 39 \text{ mm}$

3º Passo - Estimativas dos teores de água e Ar incorporado

$$\gamma_{H_2O} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$H_2O = 205 \text{ L/m}^3 \text{ ou } 0,205 \text{ m}^3$$

$$A_r = 2\% \quad 0,020 \text{ m}^3$$

4º Passo - Estimativa do fator água/cimento

$$f_{cj} = f_{ck} + 3,65 \cdot S_d$$

$$f_{cj} = 25 + 3,6504$$

$$f_{cj} = 33,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{34 - 28}{0,48 - 0,57} = \frac{34 - 33,6}{0,48 - x}$$

$$-6x + 2,88 = -0,216$$

$$x = \frac{2,664}{6}$$

$$x = 0,444$$

$$A/C = 0,444$$

5º Passo - Cálculo do teor de cimento

$$C = \frac{H_{20}}{A/C} = \frac{205}{0,444} = 463,73 \text{ Kg/m}^3$$

6º Passo - Cálculo do teor de agregado graúdo

$$\text{módulo de finura} = 2,34$$

$$\frac{2,40 - 2,20}{0,68 - 0,68} = \frac{2,40 - 2,34}{0,66 - x}$$

$$0,132 - 0,2x = -0,0012$$

$$0,2x = 0,1332$$

$$x = 0,656$$

$$0,656 \times 1350 = 885,6 \text{ Kg/m}^3$$

$$G = \frac{885,6}{2640} = 0,333 \text{ m}^3$$

7º Passo - Cálculo de agregado miúdo

$$V_{\text{areia}} = V_{\text{cimento}} + V_{\text{graúdo}} + V_{\text{ar}} + V_{\text{água}} - 1 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{areia}} = 0,346 + 0,333 + 0,020 + 0,205 - 1 \text{ m}^3 = 0,298 \text{ m}^3$$

$$V_c = \frac{463,73}{3150} = 0,146 \text{ m}^3$$

$$V_a = 0,298 \text{ m}^3$$

$$V_{H_2O} = \frac{205}{1000} = 0,205 \text{ m}^3$$

$$V_G = 0,333 \text{ m}^3$$

$$V_{ar} = 0,020 \text{ m}^3$$

Traco Final

$$1 : 1,66 : 1,92 : 0,444$$

## ANEXO B – Caracterização do lodo

### Resultado



DEPARTAMENTO DE SOLOS  
36571000 – VIÇOSA – MG – BRASIL  
TELEFONE: (0XX31 3899 1070)



#### LABORATÓRIO DE MATÉRIA ORGÂNICA E RESÍDUOS

Amostra Analisada: Lodo

Valor da Análise R\$ 180,00

Solicitante: José Maria

Registro do Cliente: 47

Endereço: Rua dos Passos, 486, ap 300

Cidade: Viçosa MG

Bairro: Centro

CEP: 36570 000

Tel: 31 8662 0798

Data de Entrada: 16/07/2015

Data da Saída: 13/08/2015

Nº Lab.	Amostra	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)
431	Lodo	80,30	2275,00	47,90	211,30	6,80	0,60	57,60	37,30

Nº Lab.	Amostra	Ca (%)	Mg (%)	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	N (%)	P (%)
431	Lodo	0,85	0,06	298,80	227,09	3,21	2,39

**OBSERVAÇÃO: RESULTADO DA AMOSTRA BASE SECA (UMIDADE 65°C)**

---

Professor Teógenes Senna de Oliveira  
Responsável pelo Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos