

## **II-372 - PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO EFLUENTE TRATADO POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO CARIRI (CEARÁ-BRASIL)**

**Allan Bruno Dantas Gonçalves<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará- Campus Juazeiro do Norte (IFCE). Especialista em Educação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Faculdade de Juazeiro do Norte (FJN). Mestrando em Desenvolvimento Regional Sustentável pela Universidade Federal do Cariri (UFCA).

**Antonio Alex Matias Lêu<sup>(2)</sup>**

Tecnólogo em Construção de Edifícios pelo Instituto Federal do Ceará – Campus Juazeiro do Norte. Especialista em Gerenciamento da Const. Civil pela Universidade Regional do Cariri (URCA). Especialista em Educação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Faculdade de Juazeiro do Norte (FJN). Mestrando em Desenvolvimento Regional Sustentável pela Universidade Federal do Cariri (UFCA).

**Ana Patrícia Nunes Bandeira<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestra e Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora da Universidade Federal do Cariri (UFCA).

**Maria Gorethe de Sousa Lima Brito<sup>(4)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestra em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora da Universidade Federal do Cariri (UFCA).

**Suellen Batista<sup>(5)</sup>**

Tecnóloga em Construção de Edifícios pelo Instituto Federal do Ceará – Campus Juazeiro do Norte.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Tenente Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária – Juazeiro do Norte – CE- 63048-080 – Brasil - (88) 996348374 – e-mail: [allanbrunoeng@gmail.com](mailto:allanbrunoeng@gmail.com)

### **RESUMO**

Sabe-se que a indústria de concreto é uma das que mais consome água potável no mundo atualmente. Aliando esse fato à necessidade de dar um destino adequado ao efluente tratado e reduzir a extração do recurso natural, decidiu-se analisar a possibilidade de produzir concreto com esse efluente. Esta pesquisa objetiva comparar as propriedades do concreto, como a trabalhabilidade e a resistência à compressão em estado endurecido, entre um concreto feito com água potável e outro com efluente tratado. O material foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto Malvas (ETE Malvas) da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), em Juazeiro do Norte. Constatou-se que o concreto produzido com efluente alcançou mesma trabalhabilidade à do feito com água potável. Além disso, o concreto em que o efluente foi utilizado como água de amassamento atingiu cerca de 93% da resistência à compressão aos 28 dias do fabricado com água potável, comprovando sua eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto, Efluente Tratado, Crise Hídrica.

### **INTRODUÇÃO**

A constante preocupação com o meio ambiente e com os problemas que a ele são causados pelas grandes indústrias é um tema que vem ganhando bastante relevância nos últimos anos. Um dos setores industriais que mais prejudica a natureza com as diversas extrações de materiais e um alto consumo de energia é, sem dúvidas, a construção civil. Porém, como esse setor é importantíssimo para a economia brasileira, se mostra necessário buscar alternativas sustentáveis que reduzam os impactos que a mesma causa para o meio em que vivemos.

Sabe-se que a indústria civil é uma das que mais consome água potável no mundo atualmente. Para produzir um metro cúbico de concreto são necessários em média 160 a 200 litros de água. E, olhando de uma maneira mais geral, o consumo de água para construção civil, “em áreas urbanizadas chega a ser de cerca de 50% da água potável fornecida à região [...]” (GRAMACHO et al., 2013, p.2).

De acordo com Petrucci (1998) é costumeiro ouvir que água que serve para beber é a água ideal para produção de concreto. Porém o autor rebate essa afirmativa, que não é correta, pois muitas águas que não são potáveis podem ser utilizadas para produzir concreto, sem prejudicá-lo. Segundo ele, basta que a água não tenha impurezas que atrapalhem as reações entre os compostos do cimento. Ainda assim, é necessário se certificar de que a água utilizada não causará fortes impactos sobre as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

Segundo Postel (1998 apud SANTOS; MANCUSO, 2003), “o reúso, até há alguns anos tido como uma opção exótica, é hoje uma alternativa que não pode ser ignorada [...]”. Reforçando essa ideia, temos que “a adesão ao uso de fontes alternativas de água em substituição à água potável pode ajudar a reduzir esse valor [de consumo de água potável na construção] em 30% a 40% [...]” (GRAMACHO et al., 2013, p.2). Associando os fatos acima pode-se pensar em dar soluções viáveis para reduzir o consumo de água potável na indústria civil. Para isso, analisou-se um material que possivelmente causaria danos ao meio ambiente e verificou-se a viabilidade de usá-lo como água de amassamento para o concreto, sem prejudicar as características do mesmo.

Para tal fim, resolveu-se utilizar o material proveniente da ETE Malvas – onde o tratamento de parte dos despejos sanitários do município de Juazeiro do Norte é dado através de lagoas de estabilização.

O município está localizado no extremo sul do Estado do Ceará, região conhecida como Vale do Cariri. Apesar de sua área territorial ser de apenas 249 km<sup>2</sup> e possuir 249.939 habitantes (IBGE, 2010) é a maior e mais importante cidade do interior cearense. Os despejos sanitários, oriundos de carros limpa-fossas e da rede local de parte da cidade são tratados numa Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Malvas), localizada na própria cidade e operada pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE).

Como explica Santos (2003), o esgoto doméstico - que é gerado pelo uso da água em cozinhas, banheiros, etc. – contém aproximadamente 99,9% de água. Ainda segundo ele, a fração que resta é constituída por sólidos e microrganismos. Sabendo disso, é possível pensar que, se retirados os sólidos e impurezas – processo realizado em estações de tratamento – esse material, chamado de efluente tratado, poderia ser utilizado para fins como a produção de concreto.

Dentro desse contexto, o objetivo da pesquisa é estudar a viabilidade do uso do efluente proveniente de tratamento de esgoto para produção de concreto. Para isso, foi produzido um concreto com efluente tratado, coletado na ETE Malvas, que adota o método de tratamento biológico. Analisou-se as condições de trabalhabilidade do mesmo no estado fresco e sua resistência à compressão no estado endurecido, tendo em vista que:

Normalmente se admite como sendo possível utilizar águas com as quais os concretos com elas executados atinjam nos ensaios uma resistência igual ou superior a 90% da resistência obtida com uma água de reconhecida boa qualidade e sem impurezas, na idade de 28 dias. (PETRUCCI, 1998, p.75).

Assim, os dados obtidos foram comparados com os de um concreto feito sob as mesmas condições, mas com água potável. Com essa comparação o objetivo foi estudar e mostrar a eficiência do uso do efluente tratado para a produção de concreto simples e de uso não estrutural.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO**

Aproximadamente 77,11% das águas residuárias domésticas são lançadas diretamente no rio Batateira e em seus afluentes (Instituto Trata Brasil, 2017). Os 22,89 % restantes são coletados e transportados até as quatro Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) gerenciadas pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

A área de referência para o presente estudo foi a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Malvas), localizada no município de Juazeiro do Norte com coordenadas geográficas 7°11'32,98" S e 3°18'37,79" O (Figura 1). O sistema conta com três etapas de tratamento, começando por duas lagoas de estabilização anaeróbias em paralelo, com um ponto de mistura, seguindo para duas facultativas de mesmo arranjo, e depois uma lagoa de

maturação. Após passar pelo tratamento, o efluente tem como receptor final o Rio Salgado, que corta o município em questão.

As lagoas anaeróbias recebem grandes cargas orgânicas, as quais são degradadas através da ação de microrganismos anaeróbios. Nas facultativas as algas fornecem o oxigênio necessário para as bactérias aeróbias, que por sua vez, estabilizam a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Já a lagoa de maturação tem como objetivo a remoção de agentes patogênicos.



**Figura 1 – Vista aérea da ETE Malvas, destacando pontos de coleta e de descarga do efluente tratado (GOOGLE (2016))**

## **ESTRUTURA METODOLÓGICA**

Inicialmente fez-se um estudo bibliográfico através de artigos científicos, monografias, arquivos disponíveis na internet, normas e livros sobre os assuntos em questão – lagoas de estabilização, reúso de água, água de amassamento, produção e propriedades do concreto.

O trabalho foi realizado através do método de abordagem indutivo, e procedimentos comparativos, a fim de investigar a possibilidade do uso de efluente tratado em concreto, comparando sua eficiência com um concreto produzido sob as mesmas condições, mas a partir de água potável.

Para a avaliação e comparação das propriedades do estado fresco e endurecido dos concretos, a metodologia utilizada foi: coleta do efluente tratado em uma ETE biológica por lagoas de estabilização da CAGECE (Juazeiro do Norte – CE); análise das características físico-químicas do efluente a ser usado na confecção do concreto (cloreto, sulfato, pH, sólidos, DQO); produção de concreto, utilizando em um deles a água potável e em outro o efluente tratado; identificação das propriedades (trabalhabilidade e resistência à compressão) de cada um dos concretos; comparação dos resultados obtidos com o concreto produzido a partir de água potável e outro de efluente tratado.

## **DESENVOLVIMENTO**

Primeiramente realizou-se a coleta do efluente tratado na ETE Malvas. A coleta do líquido se sucedeu no ponto em que acontece a descarga do material (Figura 2), que é direcionado para o Rio Salgado, receptor final do efluente tratado.



**Figura 2 - Coleta do efluente tratado no ponto de descarga do material, que segue para o Rio Salgado.**

Uma amostra do líquido foi analisada em parceria com o Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal do Ceará (LEAS) para obtenção de suas características físico-químicas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1, juntamente com os parâmetros da Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde, a qual estabelece os parâmetros de água para o consumo humano.

**Tabela 1 – Características físico-químicas do efluente tratado na ETE Malvas e parâmetros estabelecidos pela Portaria 1469 para água potável.**

Análises <sup>1</sup>	Efluente Tratado	NBR 15900	Portaria 518/2004
<b>Cloreto</b>	121,57 mg/L	Concreto Simples 4500mg/L	250 mg/L
<b>Sulfato</b>	55,08 mg/ L	2000mg/L	250 mg/L
<b>Potencial Hidrogeniônico (pH)</b>	8,02	-	-
<b>Sólidos Totais</b>	613 mg/L	-	1000 mg/L
<b>Demanda Química de Oxigênio (DQO) – Matéria Orgânica</b>	661,1 mg/L	-	-

**NOTA**

Análises<sup>1</sup> - Métodos de análise utilizados (APHA et al. 2012, 22<sup>a</sup> ed.): Cloreto – Titulometria/Argentimétrico; Sulfato – Turbidímetro; pH – Potenciométrico; Sólidos – Gravimétrico; DQO – Titulométrico por refluxação fechada.

Devido à não satisfação do líquido às especificações da NBR 15900/2009 desde as classificações dos tipos de água, não foram consideradas as exigências da referida norma. No entanto, observou-se que se tratando dos parâmetros avaliados no presente estudo o efluente obedece tanto aos limites máximos permitidos para água potável, quando para água de amassamento.



O valor de pH encontrado possibilita a aplicação do material como água de amassamento, pois está relativamente próximo à neutralidade. A análise de DQO resultou em um alto valor, o que pode estar relacionado à questão da alta concentração de algas no material, o que se pode constatar através da cor verde do líquido. Porém não se pode afirmar que essa seja uma característica de todo o material que sai da ETE, devendo ser feito um estudo detalhado, pois sabe-se que a degradação da matéria orgânica é um dos principais critérios de monitoramento.

Em seguida foi realizado o estudo de dosagem, utilizando o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Este método pode ser adotado apenas quando se tem agregado miúdo retirado de rios e agregado graúdo proveniente de processos industriais de britagem.

Tendo em vista que para a utilização do referido método faz-se necessária a prévia designação de algumas características que se expecta, adotou-se um slump de  $80 \pm 10$  mm e  $f_{ck}$  de 25 MPa. O critério utilizado para a propensão dos mesmos foram suas empregabilidades nas obras locais.

Visando a aplicabilidade do presente estudo na região, optou-se pelo Cimento Portland Composto com adição de pozolana, o CPII-Z-32, o qual foi escolhido também por sua utilização em larga escala na região. Assim, obteve-se um traço em massa de 1: 1,88: 2,46 (0,58), que foi tomado para os dois concretos.

Na sequência foram produzidos os concretos, um com água potável e outro com o efluente tratado, levando em consideração os devidos cuidados sanitários para o manuseio do efluente.

Ainda durante o processo de confecção dos concretos foram colhidas amostras e com essas realizados os ensaios de trabalhabilidade através do “slump test”, com procedimentos descritos na NBR NM 67/ 1998.

Depois de proporcionada uma mistura íntima entre os materiais constituintes e verificada a consistência dos concretos foram realizadas moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos conforme o estabelecido pela NBR 5738/ 1994 (Figura 3).



**Figura 3 – Moldagem (A) e cura (B) de corpos de prova cilíndricos.**

Para a comparação da resistência à compressão simples entre os concretos, realizaram-se ensaios nas idades de 24 horas, 3, 7 e 28 dias, todos em conformidade com a NBR 5739/ 2007, como mostra a Figura 4.



**Figura 4 – Ensaio da resistência à compressão simples de concreto feito com água potável (A) e outro feito com efluente tratado (B).**

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Trabalhabilidade é a principal propriedade do concreto no estado fresco, a qual caracteriza a facilidade de lançamento de acordo com sua aplicação. A consistência da mistura - a capacidade de manter-se homogênea - é o que determina a trabalhabilidade, sendo a relação entre a quantidade de água e materiais secos. Com o intuito de observar tal propriedade, realizou-se o teste de abatimento de tronco de cone durante a produção do concreto, obtendo resultados ilustrados nas Figuras 5 e 6.



**Figura 5 - Teste de abatimento de tronco de cone em concreto produzido com água potável.**



**Figura 6 - Teste de abatimento de tronco de cone em concreto produzido com efluente tratado.**

Observa-se que o abatimento atingiu a marca de 75mm para os dois concretos, ficando dentro dos padrões estabelecidos nos cálculos de dosagem. Com esse resultado pode-se concluir que o concreto com efluente proporciona igual trabalhabilidade e mesma consistência que o concreto feito com água potável.

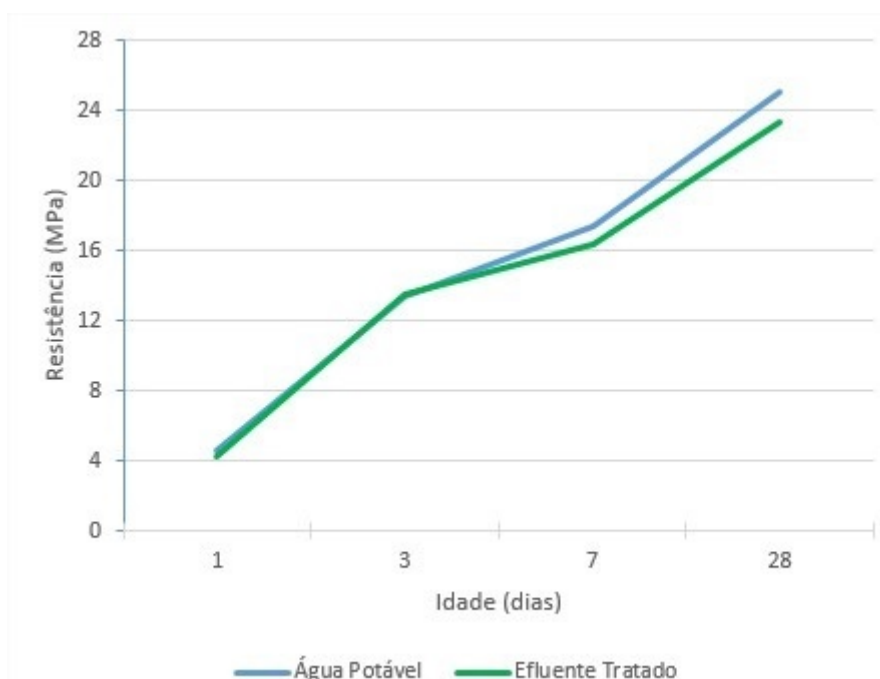
Comparamos também a resistência a compressão simples entre o concreto produzido com água de reconhecida boa qualidade e o feito com efluente tratado. Conforme descrito NBR 5739/ 2007, a resistência à compressão simples é expressa pela relação entre a carga de ruptura do corpo de prova e sua área de seção transversal e o seu valor em MPa (Mega Pascal). Essa propriedade é um dos principais pontos a ser considerado em um projeto, sendo geralmente adotada para dimensionamento estrutural. Sendo assim, faz-se necessário o devido controle de tal.

As médias dos resultados obtidos nos devidos rompimentos estão apresentados na Tabela 2 e na Figura 7:

**Tabela 2 – Comparação dos resultados do ensaio de resistência à compressão.**

<b>Resistência à compressão</b>	<b>Média<sup>1</sup> fck (MPa)</b>	<b>Média<sup>2</sup> fck (MPa)</b>	<b>Média<sup>3</sup> fck (MPa)</b>	<b>Média<sup>4</sup> fck (MPa)</b>
<b>Concreto com água potável</b>	4,58	13,35	17,43	25,01
<b>Concreto com efluente tratado</b>	4,30	13,48	16,35	23,34

NOTA  
 Média1 – Média da resistência à compressão das amostras, ao 1º dia.  
 Média2 – Média da resistência à compressão das amostras, aos 3 dias.  
 Média3 – Média da resistência à compressão das amostras, aos 7 dias.  
 Média4 – Média da resistência à compressão das amostras, aos 28 dias.



**Figura 7 – Representação da evolução da resistência dos concretos pesquisados.**

Observando a tabela é possível perceber que o concreto em que se utilizou o efluente atingiu cerca de 93% da resistência do produzido com água potável. E levando em consideração o critério de Petrucci (1998), o uso do material como água de amassamento se mostra possível, pois a resistência à compressão aos 28 dias atingiu um valor superior a 90% em comparação ao produzido com água de reconhecida boa qualidade.

Para comprovar estatisticamente os resultados obtidos pela comparação utilizou-se a ANOVA. Os dados obtidos estão expostos na Tabela 3.

**Tabela 3 – Análise de variância para água de amassamento.**

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Variável do Teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 – Água de amassamento	1	2.92410	17,43	18,513	0.0923	ns
Erro	2	0.31285	-	-	-	-
Total	3	-	-	-	-	-

Coeficiente de variação = 2,35%  
 ns = não significativo ( $p \geq 0.05$ ).

Os resultados da ANOVA demonstram que o fator água de amassamento não foi significativo, validando que a mudança de água potável para efluente não ocasiona alterações significativas na resistência à compressão simples.

## CONCLUSÕES

Levando em consideração que os concretos foram produzidos seguindo os mesmos procedimentos de fabricação, possuindo mesmo traço de dosagem e o mesmo processo de cura, pode-se aferir que o concreto com efluente tratado atingiu as expectativas e se mostrou eficiente para utilização como água de amassamento. Esse apresentou uma pequena diferença de resistência, fato que pode estar relacionado ao alto teor de matéria orgânica, fazendo-se necessário um estudo mais aprofundado para sua constatação.



É importante ressaltar que os testes realizados mostram que o líquido é eficiente do ponto de vista da trabalhabilidade e da resistência à compressão simples, não certificando o uso e eficácia quanto a outros quesitos, como absorção, retração e módulo de elasticidade, por exemplo.

Assim, é possível concluir que o objetivo proposto foi atendido com êxito, mostrando a viabilidade de utilização do efluente tratado como alternativa sustentável ao uso de água potável, tomando os devidos cuidados sanitários para manipulação do material. Dessa forma, diminui-se os prejuízos ao meio ambiente e promove-se um desenvolvimento sustentável na construção civil.

Por fim, levando em consideração os resultados positivos aqui obtidos, propõe-se que sejam feitas novas pesquisas, com o intuito de estudar outros aspectos do concreto produzido com efluente tratado, como a durabilidade, por exemplo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA et. al. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental, 22<sup>th</sup> ed. Washington, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos: NBR 15900-1**. Rio de Janeiro, 2009. 11p.
3. \_\_\_\_\_. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR NM 67**. Rio de Janeiro, 1998. 8p.
4. \_\_\_\_\_. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5739**. Rio de Janeiro, 2007. 9p.
5. \_\_\_\_\_. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova: NBR 5738**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
6. GOOGLE. **Google Earth**. Versão 7.1.5.1577. 2016. Nota (ETE Malvas, Juazeiro do Norte, CE). Disponível em: <<http://earth.google.com/download-earth.html>>. Acesso em: 18 dez. 2018.
7. GRAMACHO, B. B. et al. Construção Sustentável: Soluções para construir agredindo menos o meio ambiente. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v.1, n.16, p.97-110, mar. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/539/269>>. Acesso em: 02 fev. 2019.
8. HELENE, P. R. L. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, SP: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992.
9. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=23&dados=1>>. Acesso em: 08 nov. 2018.
10. INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento Brasileiro: Qualidade de Vida, produtividade, Educação e valorização Ambiental**. Relatório de pesquisa produzido para o Instituto Trata Brasil e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo (SP): Instituto Trata Brasil, 2017. 24p. Disponível em: <[http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/expansao/BOOK-Beneficios% 20- logos.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/expansao/BOOK-Beneficios%20-logos.pdf)>. Acesso em: novembro de 2018.
11. LINS, G. A. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs)**. 2010. 286 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
12. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003.
13. PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13.ed. São Paulo: Globo, 1998.
14. SANTOS, A.D. **Estudo das Possibilidades de Reciclagem dos Resíduos de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. 2003. 282 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.