



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

HENRIQUE RAMOS GALINDO

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO COMO ÁGUA DE
AMASSAMENTO**

CARUARU, 2018.

HENRIQUE RAMOS GALINDO

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO COMO ÁGUA DE
AMASSAMENTO**

Trabalho de conclusão apresentado ao
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do
Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,
em cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Áreas de concentrações: Engenharia Civil -
Saneamento e Construção Civil.

Orientador (a): Prof (a). Dr (a). Kenia Kelly
Barros.

Co-orientador: Prof. Dr. Flávio Eduardo Gomes
Diniz

CARUARU, 2018.

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4-1242

G158u Galindo, Henrique Ramos.
Utilização de efluente de lagoa de estabilização como água de armazenamento. /
Henrique Ramos Galindo. – 2018.
89f. ; il. : 30 cm.

Orientadora: Kenia Kelly Barros.
Coorientador: Flávio Eduardo Gomes Diniz
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências

1. Recursos hídricos. 2. Efluentes líquidos. 3. Lagoas de estabilização. 4. Concreto. 5.
Água – Reuso. I. Barros, Kenia Kelly (Orientadora). II. Diniz, Flávio Eduardo Gomes
(Coorientador). III. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2018-162)

HENRIQUE RAMOS GALINDO

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO COMO ÁGUA DE
AMASSAMENTO**

Trabalho de conclusão apresentado
ao Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil do Centro Acadêmico do Agreste -
CAA, da Universidade Federal de
Pernambuco - UFPE, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Áreas de concentrações: Engenharia Civil -
Saneamento e Construção Civil.

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato
HENRIQUE RAMOS GALINDO aprovado com nota: _____

Caruaru, 23 de Agosto de 2018.

Prof.^a DSc. Kenia Kelly Barros: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof.^aDSc. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador I)

Prof.^aDSc. Érika Pinto Marinho: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador II)

Prof. DSc. Elder Alpes de Vasconcelos: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina).

*“O Senhor é meu pastor, nada me faltará. Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas.
Refrigera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome.
Ainda que eu caminhe pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum,
porque tu estarás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por todas as bênçãos que me permitiram chegar até aqui e concluir este trabalho.

Aos meus pais que me incentivaram todos esses anos e por todo esforço realizado para me manter em Caruaru.

A minha orientadora Kênia pela extrema paciência, dedicação, orientação e por nunca ter desistido de mim e de nosso trabalho.

Aos técnicos do laboratório de construção civil, Fabíola e Everton, a Caroline e a Priscyla pela ajuda na realização deste projeto.

Aos amigos que ganhei ao longo da graduação: Álison, Anderson, Anny, Arianne, Caio, Carlos, Danylo, Gabriel, Jhonata, Marcelo, Mariana, Maylon, Nayane, Rafaela e Vitor Hugo, pelos momentos de dificuldade compartilhados quase sempre de forma descontraída e pelos momentos fora da universidade que fizeram essa árdua jornada da graduação ficar mais leve. Agradecimento em especial a Álison, Arianne, Caio e Maylon, com os quais sei que poderei contar sempre.

RESUMO

O objetivo deste projeto foi avaliar a viabilidade, sob o ponto de vista técnico, da utilização do efluente de uma lagoa de maturação como água de amassamento de concreto em comparação com o uso da água potável. Para isso, primeiramente, foi feita uma caracterização físico-química do efluente coletado com determinação de pH, sólidos totais, nitratos, cloretos e sulfatos solúveis e observou-se que estavam dentro dos limites exigidos pela NBR 15900-1 – Água para amassamento do concreto, mostrando-se apropriado à utilização para a produção de concreto. Nos resultados obtidos nos ensaios de tempo de pega realizados com pasta de cimento produzida com o efluente analisado e os obtidos com a água potável, observou-se que o limite máximo de diferença exigido por norma de 25% foi obedecido. Após caracterização do efluente e determinação dos tempos de pega da pasta de cimento, foram moldados 3 kits de corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões de (10x20) cm, com água potável e efluente diluído ou não em água; em seguida, foi avaliada a resistência à compressão do concreto no estado endurecido. Considerando os resultados obtidos, através da ANOVA (Análise de variância), não foi verificada diferença significativa entre os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão aos 07 e 28 dias realizada com corpos-de-prova moldados com diferentes concentrações do efluente analisado e os obtidos com os corpos-de-prova moldados só com a água potável. Embora o efluente utilizado apresentasse uma coloração esverdeada e um odor não muito agradável, a pasta de cimento, o concreto produzido e os corpos-de-prova moldados não sofreram alterações em relação a sua cor e seu odor. Diante dos resultados obtidos pode-se dizer que é viável a utilização de efluente tratado na produção de concreto, contribuindo assim na minimização do uso da água potável no setor da construção civil e do lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

Palavras-chave: Efluente tratado, lagoas de estabilização, concreto, recursos hídricos, reúso, meio ambiente.

ABSTRACT

The purpose of this project was to assess the feasibility, from the technical point of view, of the use the effluent from a maturation pond as concrete kneading water comparing with the potable water use. For this, firstly, a physical-chemical characterization of the collected effluent was made by the determination of pH, total solids, nitrates, soluble chlorides and soluble sulfates, and it was observed that were within the limits required by NBR 15900-1 – Agua para amassamento do concreto (concrete kneading water), proving it appropriate to the concrete production. In the results obtained from the concrete setting time tests made with cement paste produced with the effluent analyzed and those obtained with potable water, it was observed that the maximum limit of difference required by a standard of 25% was obeyed. After characterization of the effluent and determination of cement paste setting time, it were molded 3 cylindrical specimen kits, with dimensions of (10 x 20) cm, with potable water and diluted effluent or not in water; then, the compressive strength of the concrete in the hardened state was evaluated. Considering the obtained results, through analysis of variance, there was no significant difference between the results obtained in the tests of compressive strength at 07 and 28 days performed with the specimens molded with different concentrations of the analyzed effluent and those obtained with the specimens molded only with potable water. Although the effluent used had presented a greenish coloration and a not very pleasant odor, the cement paste, the produced concrete and the molded specimens have not changed in relation to their color and odor. With the obtained results, it can be said that it is feasible to use treated effluent in the concrete production, helping to minimize the use of potable water in the civil construction sector and the discharge of effluents into the hydrous bodies.

Key words: treated effluent, stabilization lagoons, concrete, water resources, reused, environment.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição do esgoto doméstico.....	21
Quadro 2 – Especificações dos ensaios.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais tipos de cimento e suas composições.	35
Tabela 2: Desvio-padrão em função da condição de preparo do concreto.	39
Tabela 3: Conjunto de peneiras das séries Normal e Intermediária (abertura nominal).	40
Tabela 4: Consumo de água aproximado em $L.m^{-3}$	42
Tabela 5: Volume compactado seco de agregado graúdo por m^3 de concreto.	43
Tabela 6: Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto.	46
Tabela 7: Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento.	57
Tabela 8: Parâmetros físico-químicos das águas de amassamento e requisitos da NBR 15900-1.	61
Tabela 9: Composição granulométrica do agregado miúdo.	66
Tabela 10: Composição granulométrica do agregado graúdo.	67
Tabela 11: Valores de massas unitárias e massas específicas dos agregados utilizados.	67
Tabela 12: Resultados do ensaio de resistência à compressão (Água).	74
Tabela 13: Resultados do ensaio de resistência à compressão (A+E).	75
Tabela 14: Resultados do ensaio de resistência à compressão (Efluente).	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa	27
Figura 2: Representação esquemática do funcionamento de um reator UASB	29
Figura 3: Relação água/cimento x Resistência à compressão	37
Figura 4: Gráfico para determinação da relação a/c em função das resistências do concreto e cimento aos 28 dias.....	37
Figura 5: Fluxograma do sistema de tratamento biológico que compõe a ETE Rendeiras.	50
Figura 6: Vista lateral do aparelho de Vicat com a sonda de Tetmajer	53
Figura 7: Determinação da pasta de consistência normal	53
Figura 8: Determinação do tempo de início de pega	54
Figura 9: Agulhas de VICAT	55
Figura 10: Determinação do tempo de fim de pega.....	55
Figura 11: Medida do abatimento.....	57
Figura 12: Identificação dos corpos-de-prova.	60
Figura 13: Cura dos corpos-de-prova.....	61
Figura 14: Rompimento dos corpos-de-prova.	61
Figura 15: Tempo de início de pega.....	65
Figura 16: Tempo de fim de pega	65
Figura 17: Determinação do fator a/c.	70
Figura 18: Ensaio de abatimento do tronco de cone.	72
Figura 19: Consistência e fluidez do concreto. Linhas vermelhas representam os limites mínimo (80 mm) e máximo (100 mm).	73
Figura 20: Valores de resistência à compressão axial.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

°C – Graus Celsius

C10 - Classe do concreto – Concreto de resistência à compressão igual a 10 MPa

C15 - Classe do concreto – Concreto de resistência à compressão igual a 15 MPa

C30 - Classe do concreto – Concreto de resistência à compressão igual a 30 MPa

C35 - Classe do concreto – Concreto de resistência à compressão igual a 35 MPa

C40 - Classe do concreto – Concreto de resistência à compressão igual a 40 MPa

C80 - Classe do concreto – Concreto de resistência à compressão igual a 80 MPa

CH₄ - Gás metano

CO₂—Gás carbônico

fck – Resistência característica à compressão do concreto

H₂O –Água

kg - Quilograma

kg.m⁻³- Quilograma por metro cúbico

KN - Quilonewton

L - Litro

L.m⁻³- Litro por metro cúbico

m - Metro

m³ - Metro cúbico

mg.L⁻¹ - Miligramas por litro

mgCl⁻.L⁻¹ - Miligramas de cloretos por litro

mgNO₃⁻.L⁻¹ - Miligramas de nitratos por litro

mgPO₄.L⁻¹ - Miligramas de fosfatos por litro

mgSO₄²⁻.L⁻¹ - Miligramas de sulfatos por litro

mgST.L⁻¹ - Miligramas de sólidos totais por litro

mm - Milímetro

MPa –MegaPascal

N - Newton

pH - Potencial hidrogeniônico

sd – Desvio padrão de uma amostra

γ—Massa específica

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI – American Concrete Institute
ANA – Agência Nacional das Águas
ASTM - American Society for Testing and Materials
CAA – Campus Acadêmico do Agreste
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento
CP – Cimento Portland
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMC – Dimensão Máxima Característica
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEA – Laboratório de Engenharia Ambiental
LSCNT – Laboratório de Sistemas Construtivos
MF – Módulo de Finura
NBR – Norma Brasileira
NM – Norma Mercosul
PCI – Precast/Prestressed Concrete Institute
PE – Pernambuco
PNSB – Nacional de Saneamento Básico
RJ – Rio de Janeiro
UASB – UpflowAnaerobicSludgeBlanket
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	MOTIVAÇÃO	18
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	<i>19</i>
1.3.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>19</i>
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS	20
2.1.1	<i>Definição de esgoto.....</i>	<i>20</i>
2.1.2	<i>Composição dos esgotos sanitários</i>	<i>20</i>
2.2	EFLUENTES DOMÉSTICOS E A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	22
2.3	TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	23
2.3.1	Lagoas de estabilização	24
2.3.2	Lagoa aerada	25
2.3.3	Lagoa facultativa	26
2.3.4	Lagoa de maturação.....	27
2.4	<i>Reator UASB.....</i>	<i>28</i>
2.5	<i>Reúso de água</i>	<i>30</i>
2.5.1	<i>Reúso na construção civil.....</i>	<i>31</i>
2.6	CONCRETO	32
2.6.1	<i>Elementos constituintes do concreto</i>	<i>34</i>
2.6.1.1	Cimento	34
2.6.1.2	Agregados	35
2.6.1.3	Água.....	36
2.6.2	<i>Dosagem experimental do concreto</i>	<i>38</i>
2.6.2.1	Resistência de dosagem	38
2.6.2.2	Composição granulométrica dos agregados.....	40
2.6.2.3	Massas unitárias e específicas reais dos agregados	41
2.6.2.4	Relação água cimento (a/c) e consumo de água (Ca)	41
2.6.2.5	Consumo de cimento (Cc)	42
2.6.2.6	Consumo inicial de agregados miúdo e graúdo	42
2.6.2.7	Traço do concreto.....	44
2.6.3	<i>Tempo de pega</i>	<i>44</i>
2.6.4	<i>Cura do concreto.....</i>	<i>45</i>
2.7	VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO	45
2.8	INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO CONCRETO	47

3	METODOLOGIA	49
3.1	LOCAL DE ESTUDO	49
3.2	COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO	49
3.3	ENSAIO DE TEMPO DE PEGA	50
3.3.1	<i>Pasta de consistência normal</i>	50
3.3.1.1	Determinação da água da pasta de consistência normal (NBR NM 43).....	51
3.3.2	<i>Determinação dos tempos de pega (NBR NM 65)</i>	53
3.4	ENSAIO DE CONSISTÊNCIA	56
3.5	MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA	57
3.6	CURA DOS CORPOS-DE-PROVA	58
3.7	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1	CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS DE AMASSAMENTO	61
4.2	ANÁLISE DOS TEMPOS DE INÍCIO E FIM DE PEGA DA PASTA DE CIMENTO.....	63
4.3	DOSAGEM.....	66
4.4	ANÁLISE DO ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE	72
4.5	ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	74
5	CONCLUSÕES	78
6	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

A crise hídrica do século XXI é resultado de um conjunto de problemas ambientais agravados com outros problemas relacionados à economia e ao desenvolvimento social (GLEICK, 2000). Porém, segundo Rogers *et al.* (2006), esse cenário está mais relacionado a um mau gerenciamento do que a uma crise real de escassez.

O Brasil tem uma posição privilegiada diante da maioria dos países quanto ao seu volume de recursos hídricos, 12% das reservas de água doce disponíveis no mundo. Entretanto, cerca de 80% da água superficial do país encontra-se na Região Hidrográfica Amazônica, a qual é habitada por menos de 10% da população brasileira. Logo, apenas 20% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 90% da população (ANA, 2017). Desta maneira, o panorama nacional se resume a algumas regiões com um enorme potencial hídrico, enquanto outras, como a região Nordeste, possuem uma menor disponibilidade hídrica e tem sofrido com a escassez hídrica nos últimos anos.

A ideia de abundância hídrica, no Brasil, acabou servindo, durante bastante tempo, como suporte à cultura do desperdício de água disponível, a não realização de investimentos necessários para seu uso, reúso e proteção mais eficientes e a sua pequena valorização econômica, cenário este que vem se modificando atualmente (LIMA, 2001).

Atualmente, algumas medidas, a respeito dos recursos hídricos estão sendo tomadas a nível governamental, entre elas está inserida a Política Nacional dos Recursos Hídricos, a qual foi instituída através da lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a chamada “Lei das Águas”. Além da Política Nacional de Recursos Hídricos, foi criado também o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos mediante a mesma lei e, através de seus fundamentos e diretrizes, a gestão de recursos hídricos tem avançado de forma mais eficiente no Brasil.

Os problemas de escassez hídrica no Brasil decorrem, principalmente, da combinação da poluição das águas e do crescimento exagerado das demandas localizadas. Quadro este verificado a partir da década de 1950, consequência do

aumento desordenado dos processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola (LIMA, 2001). Nesse contexto, é importante ressaltar a necessidade de intensificar a gestão sobre a demanda, incentivando o uso mais racional da água e o controle das perdas físicas nos sistemas de água (ANA, 2017).

A degradação dos recursos naturais não é um fenômeno recente. Pode-se constatar, em análise mais ampla, que esse fenômeno fez parte do processo mundial de expansão da produção fabril, intensificado a partir do século XVIII na Revolução Industrial (CÂNDIDO e LIRA, 2013).

Atualmente, o reúso de água se apresenta como uma alternativa sustentável a ser utilizada por diversos setores da sociedade, tendo em vista que algumas regiões do mundo e do Brasil têm sofrido com a escassez hídrica devido ao crescimento populacional e consequente aumento da demanda por recursos hídricos, à poluição dos corpos hídricos e ao uso inadequado desses recursos naturais.

O reúso da água corresponde ao uso de efluentes, tratados ou não, para fins industriais, agrícolas ou urbanos não-potáveis. A expressão “uso de efluentes” pode ser descrita como o uso de uma água de menor qualidade em comparação com a água potável, está necessária ao consumo humano, constituindo, assim, uma melhor alternativa para atender as demais demandas de água menos restritivas (WEBER *et al.*, 2010).

Segundo o CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, a água de reúso é a “água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas” (RESOLUÇÃO Nº.54, 2005, p.1).

Na fabricação do concreto, a água é utilizada como insumo facilitador à mistura aglomerante-agregado e como iniciadora dos processos químicos, os quais resultarão no endurecimento do concreto, sendo conhecida como água de amassamento (ZAHNER FILHO, 2014).

A ABNT NBR 15.900-1 – Água Para Amassamento do Concreto Parte 1: Requisitos – especifica os requisitos para a água de preparo de concreto e traz as seguintes considerações sobre a água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto:

“Água de reúso é a água tratada por diversos processos, como filtração e flotação, em estações de tratamento de esgotos, a partir do afluente já tratado para uso não potáveis. Até o momento de publicação desta Norma não havia antecedentes suficientes para garantir viabilidade de uso generalizado deste tipo de água. O uso deste tipo de água está condicionado a aplicações específicas em comum acordo entre o fornecedor de água e o responsável pela preparação do concreto, devendo ser atendidos todos os requisitos desta Norma” (ABNT NBR 15900-1, 2009, p. 3).

Desta maneira, a utilização da água de reúso como água de amassamento de concreto não é proibida pela NBR-15900-1:2009, sendo então possível seu uso. Contudo, é necessária a realização de estudos, análises e ensaios a fim de verificar se a água de reúso está em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela referida norma.

Na literatura científica, há alguns trabalhos viabilizando o uso de efluentes tratados na produção de concreto, em substituição à água potável, como uma alternativa de reúso para fins industriais. Almeida *et al.* (2016) mostraram que os blocos de concreto fabricados com efluente apresentaram melhores resultados, em relação à resistência, do que os fabricados com água potável, resultado similar ao obtido por Guardado (2015). Zahner Filho (2014) afirma que é possível a utilização de efluente tratado como água de amassamento, desde que se façam estudos, testes, ensaios, e análises preconizados por norma. Neste trabalho, os autores fizeram um estudo avaliativo e comparativo, onde demonstraram que, para as concreteiras avaliadas, seria mais econômico o uso de efluente tratado ao invés de água potável.

O uso de efluentes na produção de concreto, também tem representado uma novidade no setor da construção civil, ao fazer o uso de uma técnica mais moderna e de componentes mais sustentáveis, abrangendo os aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Sendo assim, perante a crise hídrica em que o mundo e o Brasil estão inseridos, faz-se necessário, além de assegurar os consumos mais nobres da água (como o consumo humano e a dessedentação animal), manter a indústria da construção civil com um consumo reduzido de água potável, pois é uma grande consumidora de

água, e uma das soluções seria o reúso de esgotos tratados na produção de concreto.

1.1 Justificativa

Em um estudo realizado na cidade do Caju-RJ, em 2014, comparando-se o valor para o m³ da água de reúso da ETE Penha com os valores pagos pelas concreteiras do Caju a seus fornecedores de água, verificou-se reduções significativas nos valores pagos nos consumos mensais de água das concreteiras. Financeiramente, a média de economia seria de R\$ 6.096,96 por mês e, percentualmente, 21,51% (ZAHNER FILHO, 2014).

A fim de buscar melhorias para a problemática da escassez dos recursos hídricos e uma economia de ordem financeira por parte dos construtores, a utilização de efluente tratado na produção de concreto em substituição da água potável e o aperfeiçoamento desta prática apresentam-se como uma alternativa relevante à redução do uso de água potável em atividades industriais. Em consequência disso ainda teríamos um aumento da oferta dos recursos hídricos para consumos mais nobres e uma redução do lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

1.2 Motivação

A água é um dos elementos fundamentais à sobrevivência humana e atualmente este recurso está se tornando cada vez mais escasso, fazendo-se necessário o gerenciamento e planejamento do seu uso.

A prática do reúso é bastante interessante, pois permite a conservação da água, diminuição do consumo de água, da poluição e do impacto dos efluentes despejados em corpos hídricos, além de introduzir na sociedade uma mentalidade de uso racional da água e, consequentemente, também influenciar na preservação do meio ambiente.

Estima-se que o consumo médio diário para a produção de 60 m³ de concreto é de 9000 litros de água, o que significa 150 L.m⁻³; ou seja, um consumo considerável de água (ALMEIDA *et al.*, 2016). Sob a ótica deste cenário, atrelado ao

da escassez de recursos hídricos, espera-se que o processo de reúso de efluentes tratados na produção de concreto possa ser eficiente, constituindo assim uma inovação no ramo da construção civil, além de representar uma redução de consumo de água potável.

Além de uma redução do consumo de água potável e da economia financeira, outro resultado benéfico produzido pela utilização de práticas construtivas sustentáveis é a obtenção de uma imagem empresarial positiva, uma “eco-imagem”, ao diferenciar e, assim, valorizar seu produto no mercado, trazendo um bom retorno financeiro.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Realizar um estudo avaliativo e comparativo das resistências do concreto produzido com água potável e do concreto produzido com o efluente de uma lagoa de maturação.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar as propriedades físico-químicas do efluente tratado e observar se estas características estão em concordância com os limites descritos na NBR 15900-1-Água Para Amassamento do Concreto Parte 1: Requisitos.
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com água de amassamento com teores de 0%, 50% e 100% de efluente em substituição à água potável, através dos ensaios de consistência (Slump test), resistência à compressão e tempo de pega da pasta de cimento;
- Fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos com os corpos-de-prova fabricados com água potável e com efluente tratado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Classificação e características dos esgotos sanitários

2.1.1 Definição de esgoto

Conforme a NBR 9648 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário (ABNT, 1986), esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária, no qual:

- Esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas;
- Água de infiltração é toda aquela proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- Esgoto industrial é o despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos;
- Contribuição pluvial parasitária é a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário.

Estas definições estabelecem a origem do esgoto sanitário, porém a finalidade desta pesquisa é tratar exclusivamente de esgotos de origem doméstica.

2.1.2 Composição dos esgotos sanitários

O esgoto sanitário é constituído, basicamente, de 99,9% de água e 0,1% de impurezas, que podem ser de natureza química, física e biológica. Portanto é devido a esses 0,1% que há a necessidade de se tratar os esgotos (CETESB, 1988). As características dos esgotos são função dos usos aos quais a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação social e econômica e hábitos da população (VON SPERLING, 1996). No Quadro 01 é possível visualizar a composição típica de esgotos domésticos.

Quadro 1– Composição do esgoto doméstico

Tipos de substâncias	Origem	Observações
Sabões	Lavagem de louças e roupas	
Detergentes	Lavagem de louças e roupas	A maioria dos detergentes contém fósforo na forma de polifosfato.
Cloreto de Sódio	Cozinhas e urina humana	Cada ser humano elimina pela urina de 7 a 15 g.d ⁻¹ .
Fosfatos	Detergentes e urina humana	Cada ser humano elimina, em média, pela urina, de 1,5 g.d ⁻¹ .
Sulfatos	Urina humana	—
Carbonatos	Urina humana	—
Ureia, amoníaco e ácido úrico	Urina humana	Cada ser humano elimina de 14 a 42 g.d ⁻¹ de ureia.
Gorduras	Cozinhas e fezes humana	—
Substâncias córneas, ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas	Fezes humanas	Vão se constituir na porção de matéria orgânica em decomposição, encontrada nos esgotos.
Porções de amido (glicogênio, glicose) e de protéicos (aminoácidos, proteínas, albumina)	Fezes humanas	Idem
Urobilina, pigmentos hepáticos, etc.	Urina humana	Idem
Mucos, células de descamação epitelial	Fezes humanas	Idem
Vermes, bactérias, vírus, leveduras, etc.	Fezes humanas	Idem
Outros materiais e substâncias: areia, plásticos, cabelos, sementes, fetos, madeira, absorventes femininos, etc.	Areia: infiltração nas redes de coleta, banhos em cidades litorâneas, parcela de águas pluviais, etc. Demais substâncias são indevidamente lançadas nos vasos sanitários.	
Água	—	99,90%

Fonte: Nuvolari (2003)

Conforme Von Sperling (1996), o caráter ou o potencial poluidor das águas residuárias pode ser dividido em parâmetros físicos, químicos e biológicos. Dentre os

principais parâmetros químicos temos: sólidos totais, nitrogênio total, matéria orgânica, fósforo, pH, óleos e graxas, alcalinidade e cloretos. Já entre os principais parâmetros biológicos: bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos. Por fim, temos os parâmetros físicos: temperatura, cor, odor e turbidez.

2.2 Efluentes domésticos e a problemática ambiental

Conforme definido no Art 3º, inciso III, da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938/81), poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- Prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- Afetemdesfavoravelmente a biota;
- Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

De acordo com os dados mais recentes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), divulgados em fevereiro de 2018 e referentes ao ano de 2016, apenas 52,5% dos brasileiros têm acesso à coleta de esgoto, o que significa que cerca de metade da população do país utiliza medidas alternativas para lidar com os dejetos.

Para as pessoas sem acesso ao serviço de rede coletora de esgoto, as principais alternativas são as fossas sépticas, fossas rudimentares (“fossas negras”), fossas secas, valas a céu aberto e lançamento em corpos d’água. As chamadas “fossas negras” podem promover infiltração do esgoto no solo, com risco constante de contaminação da área e do lençol freático, trazendo riscos à saúde do homem, flora e fauna (IBGE, 2010). Tão grave ou ainda mais, é a devolução do esgoto bruto aos córregos e rios que podem virar verdadeiros esgotos a céu aberto.

O simples despejo de efluente sanitário em rios faz com que grande parte dos corpos d’água receptores se tornem poluídos e com baixos níveis de OD (oxigênio dissolvido), onde o decréscimo da concentração de OD tem diversas implicações do ponto de vista ambiental, constituindo-se, em um dos principais problemas de

poluição das águas em nosso meio. Graças às propriedades de autodepuração dos corpos d'água – processo natural de degradação e consumo da matéria orgânica pelos organismos que pertencem a esses ecossistemas – há o gradativo tratamento dessas águas, podendo torná-las novamente saudáveis para peixes e demais organismos (OLIVEIRA, 2004). Porém, no caso dos efluentes essa matéria orgânica em grande quantidade exige um tratamento mais eficaz em uma estação de tratamento de esgoto que basicamente reproduz a ação da natureza de maneira mais rápida (VON SPERLING, 1996).

Milhares de lagos estão atualmente sujeitos à acidificação ou à eutrofização, processo pelo qual grandes aportes de nutrientes, particularmente fosfatos, levam ao crescimento excessivo de algas. É possível restaurar a qualidade da água nos lagos, mas há um custo e o processo requer tempo. Embora a poluição dos lagos e dos rios seja potencialmente reversível, o mesmo não acontece com a água subterrânea. Como a água subterrânea não recebe oxigênio atmosférico, sua capacidade de autodepuração é muito baixa, visto que o trabalho de degradação microbiana demanda oxigênio (SILVA, 2008).

2.3 Tratamento biológico de águas residuárias

O desenvolvimento de novas tecnologias adequadas ao tratamento de águas residuárias tem sido objeto de grande interesse nos últimos anos em decorrência do aumento da conscientização ambiental da população e rigidez das regras ambientais, visando garantir a qualidade da água dos mananciais e um melhor aproveitamento dos recursos hídricos (TAE, 2014).

Várias formas de tratamento de águas residuárias foram desenvolvidas, partindo-se do princípio da autodepuração, ou seja, empregando a ação de microrganismos para a remoção da matéria orgânica presente nessas águas. Esse tipo de tratamento é denominado tratamento biológico e pode-se classificar, de maneira geral, como aeróbico, anaeróbico ou misto. É importante ressaltar que, nas ETE (Estações de Tratamento de Esgotos), procura-se otimizar esses processos, a fim de reduzir custos e incrementar a eficiência de degradação, para se atingir o menor tempo de tratamento, no menor espaço possível (OLIVEIRA, 2004).

Os processos biológicos fundamentam-se na oxidação realizada por ação enzimática de microrganismos através de processos bioquímicos que transformem compostos orgânicos tóxicos em CO_2 , H_2O e ou CH_4 . Esse tipo de tratamento faz uso dos componentes presentes no efluente como substratos para crescimento e manutenção dos microrganismos que atuam no processo (COSTA, 2008).

Nesse tema, os processos biológicos anaeróbios (onde não se faz necessária a presença de oxigênio) têm sido priorizados, em relação aos aeróbios, devido às vantagens como a menor geração de lodo, menor demanda de energia e menores custos operacionais (KAPDAN e ALPARSLAN, 2005). Incorporadas a essas vantagens, o tratamento anaeróbio ainda é favorecido pelas condições climáticas do Brasil, que quanto maior a temperatura maior a velocidade do metabolismo das bactérias, ou seja, uma maior taxa de digestão anaeróbia, tornando-o assim ainda mais atrativo.

Uma ETE pode ser composta por várias unidades com diferentes processos de tratamento. O tratamento pode ser dividido em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar visa, basicamente, à remoção de sólidos grosseiros e areia. O tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. No tratamento secundário, predomina a etapa biológica, na qual ocorre a remoção da matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão. Já o tratamento terciário tem como objetivo a remoção de componentes específicos, em complemento ao tratamento secundário, componentes estes que podem ser: metais pesados, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos remanescentes em suspensão (VON SPERLING, 1996)

2.3.1 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são um método implementado no tratamento de águas residuárias domésticas ou industriais que apresentam grande concentração de matéria orgânica. Segundo Silva Filho (2007), essas lagoas são basicamente biorreatores, construídas de maneira simples baseando-se principalmente em movimento de terra de escavação e preparação de taludes para armazenamento de

resíduos, de águas lânticas e que através de processos biológicos devem resultar na estabilização da matéria orgânica.

Segundo Gonçalves (2003), as lagoas de estabilização geralmente são bastante indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento devido aos seguintes aspectos:

- Simples operação;
- Custos de operação e manutenção adequados;
- Necessidade de poucos ou nenhum equipamento.
- Suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades;
- Clima favorável (temperaturas e taxas de insolação elevadas).

As lagoas costumam ser classificadas de acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica a ser tratada, podendo ser: anaeróbicas, estritamente aeróbias, facultativas, aeradas, de polimento, de maturação e com macrófitas (JORDÃO e PESSÔA, 2005). Essas lagoas podem ser distribuídas em diferentes números e combinações a fim de se alcançar a qualidade requerida, variando de acordo com a área disponível para implantação, condições morfoclimáticas da região, custos operacionais, de manutenção, dentre outros.

2.3.2 Lagoa aerada

A lagoa aerada é um reator biológico essencialmente aeróbio, cuja demanda de oxigênio é fornecida através de um sistema de aeração que pode ser constituído de aeradores superficiais de alta rotação flutuantes ou de ar soprado e difuso distribuído ao longo do fundo das unidades. Possuem uma profundidade variando de 2,0 a 5,0 metros, dependendo do tipo de aeração adotada. A aeração é responsável pela formação dos sólidos biológicos e facilita a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, com isto consegue-se uma maior introdução de oxigênio, comparada a uma lagoa facultativa por exemplo, permitindo que a decomposição da matéria orgânica se dê mais rapidamente. Decorrente disso, o tempo de detenção hidráulica do esgoto na lagoa pode ser menor, variando de 3 a 5 dias, ou seja, o requisito de área é menor (VAN HAANDEL e CAVALCANTI, 2006; NTS 230, 2009).

Devido à introdução de equipamentos eletro-mecânicos, a complexidade operacional e de manutenção do sistema é aumentada, em comparação a uma lagoa facultativa por exemplo, além da necessidade de consumo de energia elétrica (VON SPERLING, 1996). A qualidade do esgoto provindo da lagoa aerada não é adequada para lançamento direto nos corpos hídricos, por isso são geralmente seguidas por outras lagoas.

2.3.3 Lagoa facultativa

As lagoas facultativas são classificadas em lagoas primárias e secundárias. Quando recebem o esgoto bruto, são denominadas lagoas primárias. A lagoa secundária é aquela que recebe seu afluente de uma unidade de tratamento anterior, como por exemplo da lagoa aerada (SOARES, 2010).

Possuem uma profundidade útil variando de 1,5 a 2,0 metros para as lagoas primárias e valores inferiores a 1,5 metros para as secundárias e têm como função a remoção de DBO e patógenos através de processos puramente naturais. Processos estes que podem ocorrer em três zonas da lagoa: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa (NTS 230, 2009).

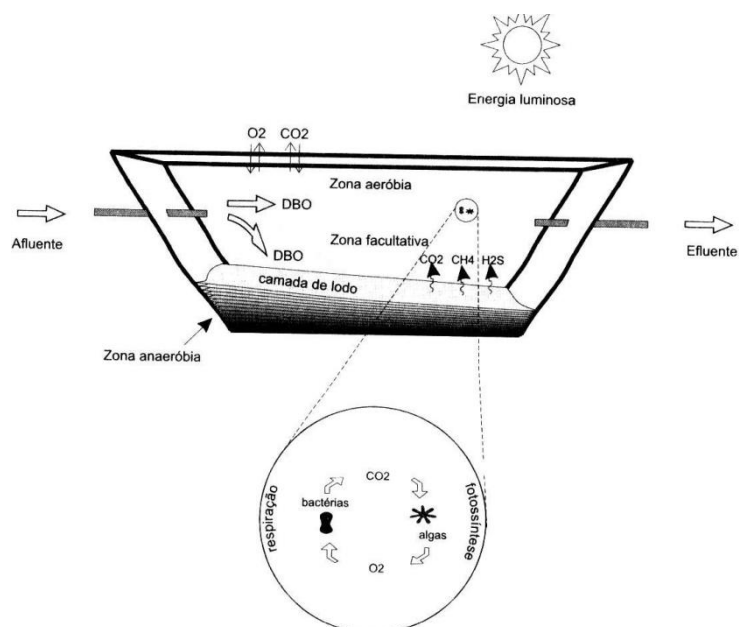
Após a entrada do efluente na lagoa, os sólidos sedimentáveis presentes nos esgotos depositam-se no fundo das lagoas constituindo o lodo de fundo. Este lodo sofre o processo de decomposição por micro-organismos anaeróbios na zona anaeróbia da lagoa. Já a matéria orgânica solúvel mantém-se dispersa na massa líquida, sofrendo decomposição aeróbia realizada através de bactérias, que aproveitam o oxigênio liberado pela fotossíntese de algas bem como decorrente da ventilação superficial. Essas bactérias utilizam-se da matéria orgânica como fonte de energia, alcançada através da respiração. Na respiração aeróbia há a necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas que usam como matéria-prima o gás carbônico resultante da decomposição da matéria orgânica, havendo assim um equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio (MATOS, 2010).

A penetração da luz diminui com a profundidade da lagoa, desta forma, a fotossíntese reduz-se até chegar ao ponto em que deixa de ocorrer. Resultando em uma camada intermediária (zona facultativa) em que as variações das taxas de

fotossíntese e respiração resultam em ausência de oxigênio em certos períodos e presença em outros. Nesta camada há certas bactérias que podem utilizar outros compostos (nitratos, sulfatos e gás carbônico) na ausência de oxigênio dissolvido na água para a decomposição da matéria orgânica. Estas bactérias denominam-se facultativas devido ao fato de terem a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio (GEHLING, 2017).

As lagoas facultativas dependem da fotossíntese para a produção de oxigênio, como já foi mencionado anteriormente. Para que isto ocorra, requerem-se suficiente radiação solar, portanto, estas lagoas devem ser implantadas em locais com baixa nebulosidade e grande radiação solar. Desta forma, a eficiência desse tipo de sistema de tratamento depende da disponibilidade de grandes áreas para que a exposição à luz solar seja adequada a fim de um melhor aproveitamento da energia solar pelas algas (VON SPERLING, 1996). Além disso, o local de implantação da lagoa deve evitar a coincidência do sentido do vento dominante com o fluxo da lagoa para não favorecer o curto-circuito (NTS 230, 2009). A figura 01 a seguir apresenta um esquema simplificado de lagoas facultativas.

Figura 1: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa



Fonte: Von Sperling, 2005.

2.3.4 Lagoa de maturação

São lagoas que possibilitam a complementação de qualquer outro sistema de tratamento de esgotos, têm como principais finalidades a remoção de patógenos e

nutrientes. Ou seja, elas objetivam, principalmente, a desinfecção do efluente das lagoas de estabilização sem a necessidade de produtos químicos ou energia, apenas com a radiação solar ultravioleta e as condições desfavoráveis que ocasionam a mortandade dos patogênicos.

Devem ser fotossintéticas e aeróbias, o que faz com que a profundidade seja menor em relação às facultativas, com uma profundidade útil variando de 0,8 a 1,2 metros, permitindo a eficaz ação dos raios ultravioleta sobre os micro-organismos presentes em toda a coluna d'água. Os fatores que influenciam o processo de remoção de bactérias, vírus e outros micro-organismos presentes em sua massa líquida são: menores profundidades, alta penetração da radiação solar, elevado pH e elevada concentração de oxigênio dissolvido (JORDÃO e PESSOA, 2005; SILVA FILHO, 2007; NTS 230, 2009).

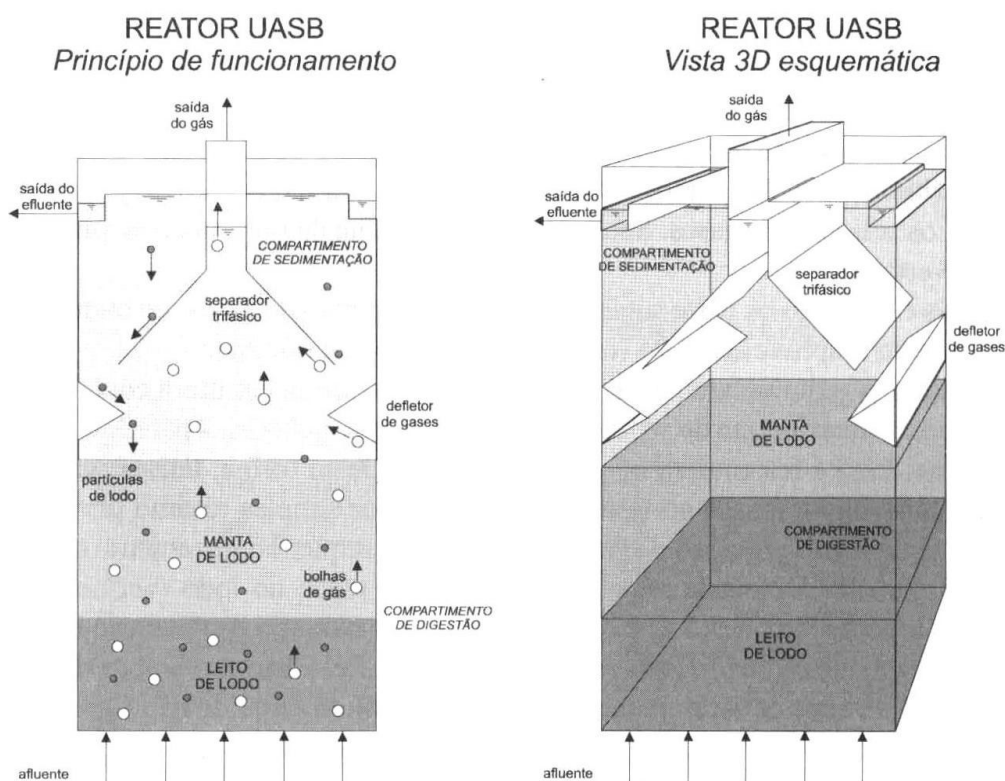
2.4 Reator UASB

Entre as principais configurações de reatores anaeróbios utilizados no tratamento de efluentes, destacam-se os reatores do tipo UASB. Nos reatores UASB usa-se um processo biológico de tratamento em biomassa dispersa, no qual os compostos orgânicos são biodegradados e digeridos por meio de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e na manutenção de um consórcio de microrganismos (RAMIRES *et al.*, 2004).

O reator UASB consiste principalmente em três seções: o leito de lodo, a manta de lodo e o separador trifásico. A zona do leito de lodo está localizada na parte mais baixa do reator e consiste em um leito microbiano no qual ocorrem os processos de conversão da matéria orgânica afluente. A água residuária, após entrar e ser distribuída pelo fundo do reator UASB, flui pela zona de digestão, onde se encontra o leito de lodo, ocorrendo a mistura do material orgânico nela presente com o lodo. Os sólidos orgânicos suspensos são quebrados, biodegradados e digeridos através de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. Depois, o biogás passa através da manta de lodos, esta manta está localizada na parte média do reator, se desenvolve depois de certo período e é retida por sua própria massa e levantada pelas bolhas de biogás (METCALF e EDDY, 2003).

O biogás produzido e o lodo flutuante são separados do efluente líquido por um separador trifásico instalado no topo do reator. Neste separador, a área disponível para o escoamento ascendente do líquido deve ser de tal forma que o líquido, ao se aproximar da superfície líquida livre, tenha sua velocidade progressivamente reduzida, de modo a ser superada pela velocidade de sedimentação das partículas, oriundas dos flocos de lodo arrastados pelas condições hidráulicas ou flotados. Isto possibilita que este material sólido que passa pelas aberturas no separador de fases, alcançando a zona superior do reator, possa se sedimentar sobre a superfície inclinada do separador de fases. Naturalmente que esta condição dependerá das condições hidráulicas do escoamento. Desse modo, o acúmulo sucessivo de sólidos implicará conseqüentemente, no aumento contínuo do peso desse material que, em um dado momento, deslizará, voltando para a zona de digestão, na parte inferior do reator (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). A Figura 02 a seguir representa um diagrama esquemático de um reator UASB.

Figura 2: Representação esquemática do funcionamento de um reator UASB



Fonte: Von Sperling, 2005.

2.5 Reúso de água

O crescimento industrial e populacional acelerado gera um maior consumo de água, que tende a diminuir a disponibilidade hídrica de corpos aquáticos que apresentam muitas vezes diminuição de sua qualidade. Associado a isso, o desperdício de água e a contaminação de aquíferos contribuem para agravar a questão de escassez desse recurso natural (SILVA, 2012).

Atualmente estão cada vez mais presentes a discussão e a adoção de medidas de conservação e reaproveitamento de água, assim como o aproveitamento de águas residuárias tratadas, inclusive essas medidas estão sendo consideradas como soluções estratégicas em diversos países áridos e semi-áridos (AL-JASSER, 2011).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA, 2004) recomendou a aplicação de águas residuárias tratadas como um método de reciclagem de matéria orgânica e nutrientes, de modo a resguardar fontes de água potável. Neste sentido, efluentes tratados podem ser aplicados em áreas de atividades agrícolas, florestas, áreas degradadas, pastagem, áreas de recreação, incluindo parques e campos de golfe, entre outros (SAUCEDO *et al.*, 2005). No Brasil não há uma regulamentação que estabeleça as práticas de reúso. Contudo, apesar de inexistente, a regulamentação do uso de efluente encontra-se em curso no País, pelo reconhecimento de práticas de uso que já são uma realidade. Observa-se na Resolução CNRH Nº 54 (BRASIL, 2005), que a prática de uso está colocada como uma atividade integrante das políticas de gestão de recursos hídricos (SILVA, 2012).

O reúso de águas residuárias tratadas é capaz de atender a diversos fins, potáveis e não potáveis, e podem ser reutilizadas de múltiplas formas, dependendo de onde se deseja usá-las e o grau de qualidade requerido pelo uso. Contudo, apesar do uso potável do efluente ser possível, esta prática requer custos elevados de tratamento e aceitação pública, de modo que os projetos de reúso de água residuária são, em sua grande maioria, para fins não potáveis, uma vez que este envolve menores riscos, custos e requerem padrões de qualidade inferiores aos da água potável (MENESES *et al.*, 2010).

Dentre as muitas possibilidades de reúso, incluem-se reúso urbano (irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, quadras de golfe, cemitérios, limpeza de vias públicas, lavagem de trens e ônibus públicos etc.), em edifícios (reserva de proteção contra incêndios e limpeza de sanitários), industrial (transporte e lavagem de materiais etc.), recargas de aquíferos (alimentação de lagos artificiais, de fontes ornamentais etc.), na hidroponia, piscicultura, irrigação etc. (HESPANHOL, 2003; BOURI *et al.*, 2007).

As diversas possibilidades de reúso de águas residuárias devem ser em função, evidentemente, de características, condições e fatores locais, de maneira que devem ser realizadas de maneira segura, confiável, sustentável e obedecendo a parâmetros estabelecidos para cada uso previsto (BDOUR *et al.*, 2009).

Mancuso e Santos (2003) descreveram quatro nomenclaturas para as diferentes possibilidades de reúso de águas residuárias: reúso indireto não-planejado, reúso indireto planejado, reúso direto e reciclagem.

- **Reúso indireto não-planejado:** se dá quando a água utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada, visto que o usuário não possui conhecimento do fato;
- **Reúso indireto planejado:** ocorre quando os efluentes, após serem tratados são descartados de forma planejada nos cursos de água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante de forma intencional e controlada no intuito de algum benefício;
- **Reúso direto:** é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, uso potável e entre outros;
- **Reciclagem:** é o reúso interno da água em um determinado processo, antes de seu despejo. Este é um caso particular do reúso direto planejado

2.5.1 Reúso na construção civil

A partir da preocupação com a escassez de água alguns setores produtivos adotaram medidas visando à racionalização no consumo de água. Na construção civil não foi diferente. As primeiras ações sobre a necessidade de construções com menor impacto sobre o meio ambiente iniciaram-se, surgindo investigações para

diminuir o consumo na fabricação de materiais e na construção de prédios e, mesmo, para melhorar a gestão dos resíduos. No Brasil, por exemplo, há iniciativas interessantes como a criação, em agosto de 2007, do Comitê Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), que tem como um dos objetivos otimizar o uso dos recursos naturais (SILVA, 2008).

O cenário demonstrado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2012) aponta que o setor urbano é responsável por 26% do consumo de toda água bruta do país e a construção civil responsável por 16% de toda a água potável. De acordo com o CBCS (2012), o uso adequado de fontes alternativas de água em substituição à água potável pode ajudar a reduzir esse valor em 30% a 40%, colaborando para a mitigação dos impactos causados pela construção civil ao meio ambiente (CARVALHO *et al.*, 2014).

Porém, as poucas ações existentes visando a otimização do uso da água estão relacionadas com o edifício em operação e pouco se fala no edifício em construção, embora o custo com o consumo de água no edifício em construção represente 0,7% do custo total da obra (PESSARELLO, 2008). Talvez não seja significativo, levando-se em conta apenas o aspecto econômico, porém o custo ambiental também deve ser levado em consideração. Sendo assim, são necessários estudos de viabilidade que comprovem a permanência da qualidade de tais processos ao se utilizar efluentes de esgotos tratados em substituição à água potável.

2.6 Concreto

O concreto é um importante material estrutural, composto pela mistura homogênea de cimento (aglomerante), agregados (miúdo e graúdo) e água, podendo-se adicionar aditivos, fibras, pigmentos, agregados especiais e adições minerais. Para atender as propriedades desejadas concreto, sejam elas físicas, mecânicas, de trabalhabilidade, durabilidade ou necessárias para o transporte, a proporção entre os componentes varia de caso a caso (NEVILLE e BROOKS, 2012).

As propriedades do concreto são desenvolvidas a partir da mistura do cimento com a água, que são, basicamente, os elementos ligantes do concreto. Os agregados, por serem considerados materiais inertes, têm por função dar volume ao concreto. As propriedades ligantes da pasta de concreto são produzidas através de

reações químicas envolvendo o cimento e a água, sendo pequena essa quantidade de água necessária para a realização das reações químicas. Porém, devido ao fato de o concreto necessitar de trabalhabilidade, a água é utilizada em uma quantidade maior na fabricação do mesmo, o que alterará as propriedades mecânicas do concreto, principalmente sua resistência; devido a isso, faz-se necessário adotar uma proporção adequada de água e cimento para garantir a resistência adequada do concreto segundo as normas regulamentadoras vigentes (JACQUES, 2013).

A trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco identificada pela maior ou menor facilidade de seu emprego para atender a determinado fim. Também pode ser definida como a propriedade de ser misturado, transportado, lançado e vibrado sem a mudança de homogeneidade, mudança essa que seria o momento em que os componentes do concreto se redistribuiriam na mistura de modo heterogêneo (segregação), acarretando em problemas como a perda de resistência e a retração do concreto. A trabalhabilidade, normalmente, é determinada através da medida de sua consistência, a qual é influenciada pelo traço, teor água/materiais secos, granulometria e forma de grãos, aditivos, tempo e temperatura (BRANCO e PIERETTI, 2012).

A resistência, no concreto, está diretamente relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, definida como a tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar, conhecida como resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) e é determinada pelo ensaio de rompimento de corpos de prova submetidos à compressão centrada. Vários são os fatores que influem na resistência mecânica do concreto, dentre eles tem-se o fator água/cimento, idade, forma e granulometria dos agregados, tipo de cimento e condições de cura. Propriedades do concreto como módulo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistência às intempéries estão diretamente relacionadas com a resistência à compressão e podem, portanto, ser deduzidas dos dados da resistência. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Na prática a resistência do concreto é, tradicionalmente, caracterizada pelo valor aos 28 dias, e outras propriedades do concreto usam como referência a resistência a essa idade. Isto se deve ao fato de grande parte da resistência final do concreto ser alcançada nesta idade, embora o crescimento de resistência seja

observado claramente até os 360 dias (BAUER, 2000). Para os efeitos deste trabalho, o termo “concreto” refere-se ao “concreto de cimento Portland”.

2.6.1 Elementos constituintes do concreto

2.6.1.1 Cimento

Tem-se por definição da NBR 5732:1991 – Cimento Portland Comum, que o cimento Portland é um “aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio”. Durante a moagem é permitido adicionar à mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, a fim de agregar ou melhorar algumas características do cimento.

É importante conhecer as proporções dos compostos constituintes do cimento devido a sua relação com as propriedades finais do cimento e também do concreto. A característica mais destacada do cimento Portland é a finura, pois a mesma será a responsável pela velocidade de hidratação do composto e tem influência comprovada em muitas qualidades do concreto. O aumento da finura melhora a resistência, aumenta a trabalhabilidade, a impermeabilidade e a coesão dos concretos e diminui a expansão em autoclave, a exsudação e outros tipos de segregação (JACQUES, 2013).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2002), existem no Brasil vários tipos de cimento portland normalizados, diferentes entre si, principalmente em função de sua composição. São designados pela sigla e pela classe de resistência, onde a sigla corresponde ao prefixo CP acrescido de algarismos romanos I a V (tipo de cimento), e os algarismos arábicos 25, 32 e 40 (resistência à compressão expressa em MPa). Os principais tipos oferecidos no mercado nacional, ou seja, os mais empregados nas diversas obras de construção civil são: cimento portland comum, cimento portland composto, cimento portland de alto-forno e o cimento portland pozolânico. Na Tabela 01 tem-se um resumo dos principais tipos de cimento e suas composições.

Tabela 1: Principais tipos de cimento e suas composições.

Cimento	Clínquer + Gesso (%)	Escória Siderúrgica (%)	Material Pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I (Cimento Portland comum)	100	-	-	-
CP I-S (Cimento Portland comum com adição)	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II-E (Cimento portland composto com escória)	56-94	6-34	-	0-10
CP II-Z (Cimento portland composto com pozolana)	76-94	-	6-14	0-10
CP II-F (Cimento portland composto com fíler)	90-94	-	-	6-10
CP III (Cimento portland de alto-forno)	25-65	35-70	-	0-10
CP IV (Cimento portlandPozolânico)	45-85	-	15-50	0-5

Fonte: ABCP, 2002

2.6.1.2 Agregados

Tem-se por definição da NBR 9935:2011– Agregados – Terminologia, que agregado é um “material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassa e concreto”. Podem ser classificados de acordo com as dimensões das partículas, origem e seu peso específico aparente. Segundo o peso específico, são classificados em leves, médios e pesados. Quanto à origem, podem ser classificados como naturais e industrializados. Conforme as dimensões das partículas, os agregados classificam-se em graúdo e miúdo.

A NBR 7211:2009 – Agregados Para Concreto define agregado graúdo como aquele em que pelo menos 95%, em massa, dos grãos ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,8 mm e passam na de 75 mm. Já os miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,8 mm e ficam retidos na de 0,075 mm.

Dentre as características dos agregados, as mais importantes no processo de fabricação concreto são: a composição granulométrica, porosidade, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias. Vale salientar que os agregados não devem possuir, em sua composição, materiais que prejudique sua aderência à

argamassa ou que venham a interferir na pega e no endurecimento do concreto, como a argila e matéria orgânica (JACQUES, 2013).

Segundo Rodrigues (1995), os agregados possuem a seguinte finalidade no concreto:

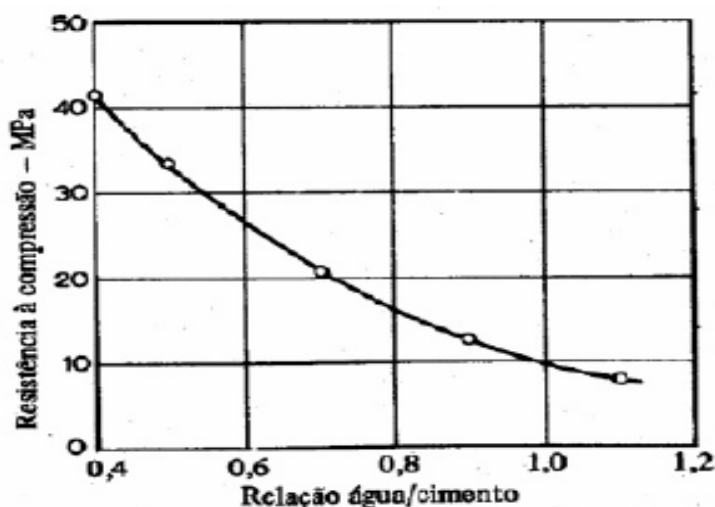
- Transmitir as tensões aplicadas ao concreto através de seus grãos. Geralmente, a resistência à compressão dos agregados é superior a do concreto;
- Reduzir o efeito das variações volumétricas ocasionadas pela retração (redução de volume);
- Reduzir o custo do concreto.

2.6.1.3 Água

Na preparação do concreto, a água desempenha várias funções, dentre elas, hidratar os compostos químicos do cimento (os silicatos e aluminatos), dando assim início à pega e ao endurecimento da pasta de cimento. Esse termo, “pega”, refere-se à mudança do estado fluido para um estado rígido, ou seja, o ponto em que a pasta se torna não trabalhável. O tempo de início de pega também tem relação com a quantidade de água adicionada a mistura, quanto mais água menor será o tempo de pega. Além das funções já citadas, a água dá à massa a trabalhabilidade necessária para uma adequada mistura dos componentes do concreto, facilitando seu transporte, lançamento e o adensamento do material (NEVILLE e BROOKS, 2012).

A relação água/cimento na produção do concreto é de grande importância para a determinação de sua resistência final. Quem primeiro reconheceu essa relação de dependência foi Abrams, em trabalho publicado em 1919, onde demonstrava que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, as quais eram função do fator água/cimento da mistura, conforme é demonstrado na Figura 03.

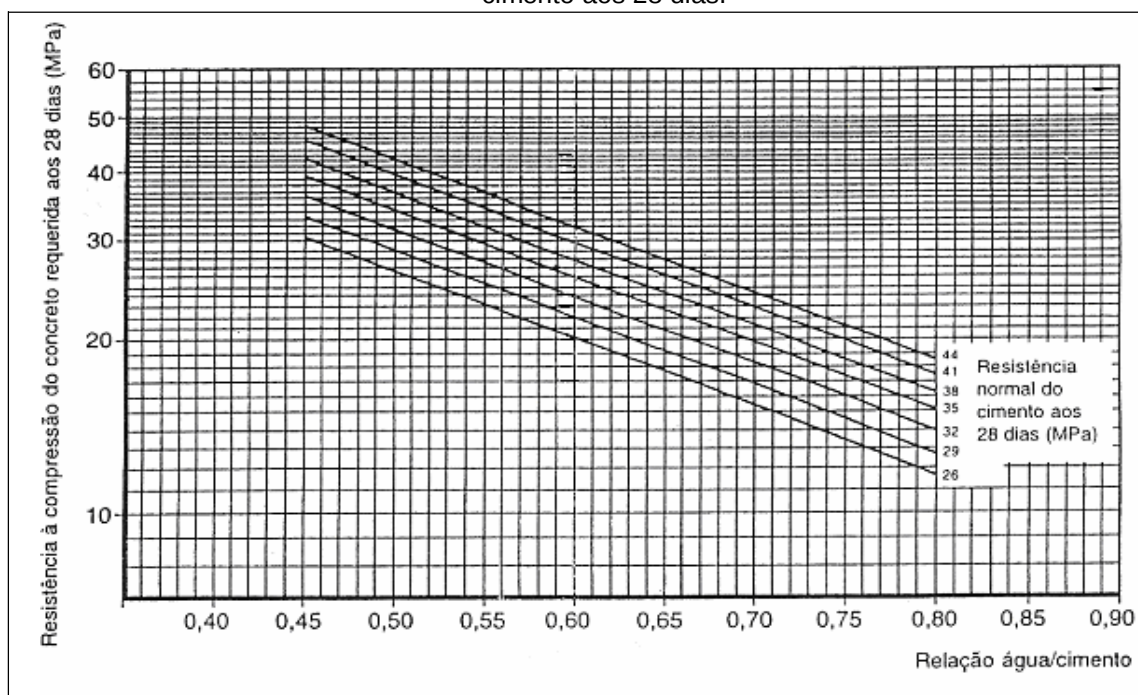
Figura 3: Relação água/cimento x Resistência à compressão



Fonte: Abrams, 1919.

Quando isso não for possível a utilização da curva de Abrams, pode-se usar o gráfico chamado de “Curvas de Walz” (Figura 04), obtido através de traços experimentais, realizados pela ABCP (Associação Brasileira De Cimento Portland), utilizando-se cimentos de diferentes marcas, tipos e classes, agregado graúdo (granito) e miúdo (areia proveniente de rio).

Figura 4: Gráfico para determinação da relação a/c em função das resistências do concreto e cimento aos 28 dias.



Fonte: Rodrigues, 1995.

A relação água/cimento também estabelece a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação. Desta maneira, nota-se que a relação água/cimento influencia, junto com o grau de adensamento, o volume de vazios do concreto (NEVILLE, 1997).

A água utilizada como água de amassamento pode conter pequenas quantidades de impurezas, isso pouco ou nada prejudica a qualidade e resistência do concreto. Elementos impuros que a água de amassamento possa conter têm menor ou nenhuma contribuição em patologias futuras. Neste caso, o fato preponderante de causas de patologias no concreto endurecido é o excesso de água empregada na mistura (ZAHNER FILHO, 2014).

2.6.2 Dosagem experimental do concreto

A dosagem do concreto pode ser definida como o processo através do qual se obtém a melhor proporção relativa entre cimento, agregados, água, aditivos e adições para produção de um concreto que atende a certas especificações. Além disso, a dosagem deve viabilizar economicamente à utilização do concreto, tornando-o de menor custo possível para que sua utilização seja competitiva com outros materiais alternativos existentes no mercado (RODRIGUES, 1995).

O traço pode ser quantificado em massa ou volume, porém algumas vezes, adota-se um traço misto: o cimento em peso e os agregados em volume. Independente da forma, toma-se sempre o cimento como unidade, e relacionam-se as demais quantidades à quantidade de cimento como referência.

A dosagem neste projeto será realizada segundo o Método da ABCP (Associação Brasileira De Cimento Portland), que é um método de dosagem experimental adaptado do Método ACI (American Concrete Institute) às condições brasileiras.

2.6.2.1 Resistência de dosagem

A resistência de dosagem representa a resistência de referência à mistura do concreto, marcando todo o processo que permeia a dosagem do concreto (SANTIAGO, 2011).

A ABNT NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento (2015) indica que a “resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalentes durante a construção”. Esta variabilidade é medida pelo desvio-padrão, “ s_d ”, sendo considerada no cálculo da resistência da dosagem, de acordo a Equação 01:

$$f_{ck} = f_{ck} + (1,65 \times s_d) \quad (\text{Equação 01})$$

Em que:

f_{cj} = resistência média do concreto, prevista para a idade de j dias, expressa em MPa;

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

s_d = desvio-padrão de dosagem, em MPa.

Segundo a NBR 12655/15, os valores do desvio-padrão s_d deverão ser adotados de acordo com as condições de preparo descritas na Tabela 02. Essa condição deve ser mantida permanentemente durante a construção.

Tabela 2: Desvio-padrão em função da condição de preparo do concreto.

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão (em MPa)
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 12.655, 2006.

Atualmente, a ABNT NBR 12655 (2015) define, em seu Item 5.6.3.1, três condições de preparo do concreto (Tabela 03), as quais serão descritas a seguir:

- **Condição A (aplicável às classes C10 até C80):** Nesta condição, o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume, com dispositivo dosador, e corrigida em função da umidade dos agregados.
- **Condição B (aplicável às classes C10 até C20):** O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume, mediante dispositivo dosador, e os agregados medidos em volume. A umidade do agregado miúdo é determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem. O volume de agregado miúdo é corrigido através da curva de

inchamento, esta estabelecida especificamente para o material utilizado.

- **Condição C (aplicável apenas aos concretos de classe C10 e C15):** Nesta condição, o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto.

2.6.2.2 Composição granulométrica dos agregados

Nos ensaios de determinação da composição granulométrica dos agregados para a dosagem, com base na norma NBR NM 248:2003 – Agregados: Determinação da composição granulométrica, foram utilizadas as peneiras das séries Normal e Intermediária, cujas aberturas nominais, em milímetros, estão expressas na Tabela 03. Esse ensaio consiste em separar os agregados conforme o tamanho e através dele é possível determinar o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados, ambos parâmetros essenciais para a dosagem do concreto.

Tabela 3: Conjunto de peneiras das séries Normal e Intermediária (abertura nominal).

Série Normal	Série Intermediária
75,0 mm	-
-	63,0 mm
-	50,0 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25,0 mm
19,0 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
4,75 mm	6,3 mm
2,35 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NBR NM 248 – Agregados para concreto – Especificação, ABNT, 2003.

Módulo de finura é, segundo a NBR NM 248 – Agregados para concreto (ABNT, 2003), a soma das percentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. O módulo de finura de um agregado é uma grandeza adimensional e é maior quanto maior forem as partículas deste.

A dimensão máxima característica do agregado é, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual o imediatamente superior a 5% em massa.

2.6.2.3 Massas unitárias e específicas real dos agregados

A massa específica real é, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009), é a razão entre a massa de uma quantidade do agregado seco e o seu volume correspondente, excluindo-se o volume de vazios entre as partículas componentes da substância.

Massa unitária solta de um agregado é a relação entre sua massa e seu volume sem compactar, considerando-se também os vazios entre os grãos. É utilizada para transformar massa em volume e vice-versa. Massa unitária compactada é a relação entre sua massa e seu volume compactado segundo um determinado processo, considerando-se também os vazios entre os grãos.

2.6.2.4 Relação água cimento (a/c) e consumo de água (Ca)

Para definir o fator água/cimento, que permitirá alcançar a resistência pretendida, utiliza-se o gráfico chamado “Curvas de Walz” (Figura 04) que é em função da resistência à compressão do concreto requerida aos 28 dias e da resistência normal do cimento.

Segundo Rodrigues (1995), a quantidade de água necessária para fornecer ao concreto fresco uma determinada consistência depende das características e proporções dos materiais utilizados, sendo que os agregados apresentam influência

preponderante, e o seu grau de intensidade dependerá da distribuição granulométrica, forma e textura das partículas.

A Tabela 04 a seguir apresenta valores recomendados como pontos de partida para o consumo de água, em função do abatimento do tronco de cone e da dimensão característica máxima do agregado graúdo.

Tabela 4: Consumo de água aproximado em L.m⁻³

Abatimento do tronco de cone (mm)	Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 -60	220	195	190	185	180
60-80	225	200	195	190	185
80-100	230	205	200	195	190

Fonte: Rodrigues, 1995.

2.6.2.5 Consumo de cimento (Cc)

Sob posse da estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto e adotada a relação água/cimento, a estimativa do consumo de cimento, em kg.m⁻³, pode ser obtida pela Equação 02:

$$C_c = \frac{C_a}{(a/c)} \quad (\text{Equação 02})$$

2.6.2.6 Consumo inicial de agregados miúdo e graúdo

O método de dosagem da ABCP permite a obtenção de misturas com uma determinada consistência aliada ao menor volume de vazios inter-grãos possíveis. Assim, determina-se um teor ótimo do agregado graúdo na mistura por meio de proporcionamento adequado de relação agregado graúdo/agregado miúdo, partindo-se do princípio de colocar na mistura o máximo volume de agregado compactado seco por metro cúbico de concreto.

O volume de agregado graúdo é obtido diretamente através da Tabela 05, em função do Diâmetro Máximo característico do agregado graúdo (DMC) e do Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 5: Volume compactado seco de agregado graúdo por m³ de concreto.

Módulo de Finura	Dimensão Máxima Característica (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,640	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1995.

A estimativa do consumo do agregado graúdo por metro cúbico de concreto pode ser calculada pela Equação 03.

$$Cag = Vp \times MUC \quad (\text{Equação 03})$$

Em que:

Cag: Consumo do agregado graúdo por metro cúbico de concreto (kg.m⁻³);

Vp: Volume compactado seco do agregado graúdo por m³ de concreto;

MUC: Massa unitária compactada do agregado graúdo por m³ de concreto (kg.m⁻³).

A estimativa do consumo do agregado miúdo (C_{am}), quando já se possui os consumos do cimento, água e agregado graúdo, é imediata. Pois pode-se admitir que o volume de concreto é formado pela soma dos volumes absolutos dos materiais que o constituem. Assim, para 1,0 m³ de concreto, o volume do agregado graúdo é dado pela Equação 04:

$$Vam = 1 - \left(\frac{Cc}{\gamma_c} + \frac{Cag}{\gamma_{ag}} + \frac{Ca}{\gamma_a} \right) \quad (\text{Equação 04})$$

Em que:

Vam = Volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (m³);

γ_c , γ_{ag} , γ_a = Massa específica do cimento, agregado graúdo e da água, respectivamente (kg.m^{-3}).

E por fim, o consumo de areia por metro cúbico de concreto foi obtido pela Equação 05.

$$C_{am} = V_{am} \times \gamma_{ag} \quad (\text{Equação 05})$$

Em que:

C_{am} : Consumo do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (kg.m^{-3});

γ_{ag} : Massa específica do agregado miúdo (kg.m^{-3}).

2.6.2.7 Traço do concreto

O traço do concreto nada mais é que a indicação de quantidade, em massa ou volume, que cada constituinte entra em sua composição, em relação à unidade de medida do cimento. A representação do traço, com relação ao unitário do cimento, em massa é apresentada da seguinte forma:

Cimento (1) : agregado miúdo : agregado graúdo : relação a/c

Logo:

$$1 : \frac{C_{am}}{C_c} : \frac{C_{ag}}{C_c} : (a/c)$$

2.6.3 Tempo de pega

Este termo é utilizado para descrever o enrijecimento da pasta de cimento, ou seja, é o momento em que a pasta de cimento adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho. Genericamente falando, pega se refere à mudança do estado fluido para o rígido (NEVILLE e BROOKS, 2012).

O tempo de pega do concreto é diretamente proporcional às reações entre cimento e água, sendo essas reações, manifestações físicas das reações progressivas de hidratação do cimento. De forma semelhante ao cimento, apegado concreto é definida como o início da solidificação em uma mistura fresca de

concreto. O tempo de início de pega define o limite de manuseio do concreto, já o tempo de fim de pega define o início da desenvoltura da resistência mecânica do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.6.4 Cura do concreto

A cura é a denominação dada a um conjunto de procedimentos utilizados para promover a hidratação do cimento e consiste em evitar a perda de umidade e controlar a temperatura por um período suficiente para atingir a resistência requerida (NEVILLE e BROOKS, 2012). É um processo muito importante e essencial para a obtenção de um concreto de boa qualidade, se for feito incorretamente, este não terá a resistência e a durabilidade desejadas.

O período de cura não pode ser facilmente prescrito e depende das condições ambientais locais (umidade, temperatura, ventos etc.), da composição do concreto e da agressividade do meio durante o uso (esgoto, contato com água do mar etc.). A duração da cura deve ser de pelo menos 07 dias, no caso de cimento Portland comum e de 14 dias, no caso de cimento Portland de alto-forno e pozolânico. No entanto, quanto maior o tempo de cura melhor será para o concreto (SILVA, 2008).

2.7 Variabilidade da resistência do concreto

Segundo Helene e Terzian (1992), diversos são os fatores que intervêm na resistência do concreto produzido: variabilidade dos materiais constituintes (do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção relativa entre eles, ou seja, o traço), qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura, eficiência das operações de ensaio e controle.

É de grande importância exercer um controle de qualidade das variáveis envolvidas, a fim de se reduzir a variabilidade das mesmas, pois quanto mais eficiente for este controle, mais homogêneo e de melhor qualidade será o concreto produzido.

Vale ressaltar que dispersões na coleta de exemplares, moldagem, cura, capeamento e ruptura dos corpos-de-prova podem introduzir variações na

resistência dos mesmos, que não correspondem a variações no concreto produzido (HELENE e TERZIAN, 1992).

A Tabela 06 a seguir apresenta a lista dos principais fatores responsáveis pela variabilidade da resistência à compressão indicando-se quantitativamente a máxima variação que cada um poderá causar na resistência do concreto.

Tabela 6: Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto.

Causas da variação		Efeito máximo
Materiais	Variabilidade da resistência do cimento	$\pm 12\%$
	Variabilidade da quantidade total de água	$\pm 15\%$
	Variabilidade dos agregados (principalmente miúdo) ^(*)	$\pm 8\%$
Mão de obra	Variabilidade do tempo e procedimento da mistura	-30%
Equipamento	Ausência de aferição de balanças	- 15%
	Mistura inicial, sobre e subcarregamento, correias etc.	- 10%
Procedimento de ensaio	Coleta imprecisa	-10 %
	Adensamento inadequado	- 50%
	Cura (efeito considerado a 28 dias ou mais)	$\pm 10\%$
	Remate inadequado dos topos dos corpos de prova	- 30% (para concavidade)
		-50% (para convexidade)
	Ruptura (velocidade de carregamento)	$\pm 5\%$

(*) Como por exemplo: uma diminuição de 0,2 do módulo de finura do agregado miúdo implica um aumento aproximado de 3% da massa de agregado graúdo, e uma diminuição equivalente da massa de agregado miúdo, para manter aproximadamente constantes as principais características do concreto.

Fonte: Helene e Terzian,1992

Com base no exposto, pode-se concluir que, desprezando a possibilidade de erros grosseiros ou de má-fé, a relação água/cimento é, seguramente, o fator que mais influi na variabilidade da resistência à compressão do concreto (HELENE e TERZIAN, 1992).

2.8 Influência da qualidade da água no concreto

A água é capaz de influenciar em várias propriedades do concreto, sendo o principal fator que governa é a trabalhabilidade. Um incremento da mesma produz uma mistura mais trabalhável, no entanto, pode reduzir a resistência, devido ao aumento da porosidade, e, ainda contribui para a exsudação e segregação, diminuindo a durabilidade da estrutura (COSTA, 2015).

Segundo Figueiredo (2016), a água para amassamentos de concretos tem a função de hidratação do cimento e deve obedecer às recomendações das normas técnicas e por isso, precisa ser isenta de teores prejudiciais de substâncias, tais como:

- **Açúcares (hidratos de carbono):** são capazes de retardar as reações de hidratação, adiando os tempos de pega da pasta do cimento. Em casos extremos podem até impedir a pega.
- **Íons de cloreto, amônia, sulfeto e nitrato:** quando essas partículas ficam dissolvidas nas águas de amassamento podem ocasionar efeitos como a corrosão das armaduras.
- **Sais de magnésio, sódio, potássio e cálcio:** podem ocasionar eflorescência, que é constituída principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Pela ação da água da chuva ou do solo, estes sais são dissolvidos e migram para superfície e a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos.
- **Íons de sulfato:** os sulfatos em contato com os elementos de concreto podem apresentar manifestações patológicas na forma de expansão e como ele possui baixa resistência a tração, ocorre o aparecimento de fissuras. Assim, quando as peças fissuram, a sua permeabilidade aumenta e a água agressiva penetra mais facilmente no seu interior, acelerando, portanto, o processo de deterioração.
- **Carbonatos:** podem acelerar o tempo de pega do concreto e em altas concentrações diminuir sua resistência.

- **Argila e silte:** em teores elevados, são prejudiciais podendo até impedir as reações de cristalização da pasta cimentícia, acarretando na perda de coesão.

3 METODOLOGIA

3.1 Local de estudo

O trabalho foi realizado na Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste (UFPE/CAA), em Caruaru-PE.

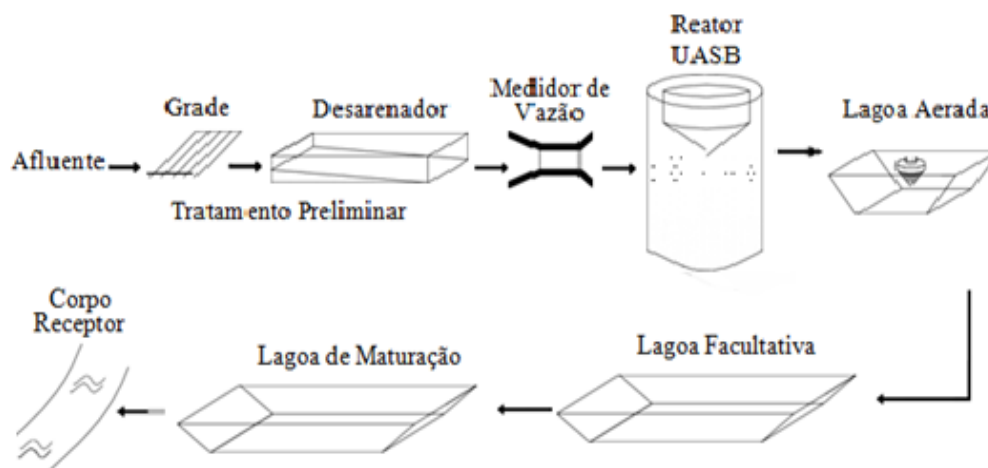
Os procedimentos laboratoriais destinados à caracterização do efluente tratado foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA). As determinações das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com o efluente foram realizadas no Laboratório de Sistemas Construtivos (LSCNT). Ambos os laboratórios pertencem ao Campus Agreste da UFPE.

3.2 Coleta e caracterização do efluente tratado

O efluente tratado utilizado na pesquisa foi oriundo de uma lagoa de polimento, está em operação na Estação de Tratamento de Esgotos Rendeiras (ETE Rendeiras), a qual pertencente à Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA, e encontra-se localizada no município de Caruaru-PE.

A ETE Rendeiras trata o esgoto bruto predominantemente doméstico que é produzido pela população de 14 bairros da cidade de Caruaru (aproximadamente 40% da população), por meio de um sistema composto por um reator UASB seguido por um sistema de lagoas em série (lagoa aerada, lagoa facultativa e lagoa de maturação). A distribuição das unidades de tratamento da ETE Rendeiras pode ser vista no fluxograma da Figura 05.

Figura 5: Fluxograma do sistema de tratamento biológico que compõe a ETE Rendeiras.



Fonte: Autor, 2018

Com base nos requisitos descritos na NBR 15900-1-Água Para Amassamento do Concreto Parte 1: Requisitos, os seguintes parâmetros físico-químicos foram utilizados para caracterizar o efluente tratado:

- pH a 25° C(valor adimensional);
- Teor de cloretos (expresso em $\text{mg Cl}^- \cdot \text{L}^{-1}$);
- Teor de sulfatos (expresso em $\text{mg SO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$);
- Teor de fosfatos (expresso em $\text{mg PO}_4^- \cdot \text{L}^{-1}$);
- Teor de nitratos (expresso em $\text{mg NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$);
- Teor de sólidos totais (expresso em $\text{mg ST}^- \cdot \text{L}^{-1}$).

As concentrações dos parâmetros resultantes de caracterização do efluente foram comparadas com as concentrações limites desses parâmetros impostas pela NBR 15900-1-Água Para Amassamento do Concreto Parte 1: Requisitos, para avaliar se o efluente tratado poderia ser utilizado na elaboração do concreto ensaiado, no lugar da água potável.

3.3 Ensaio de tempo de pega

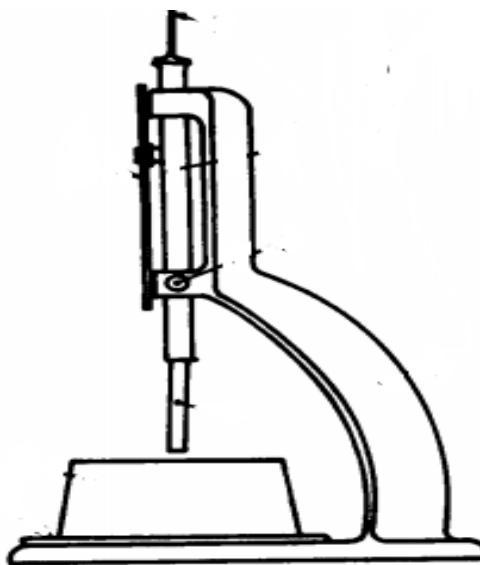
3.3.1 Pasta de consistência normal

Os ensaios de início e fim de pega do cimento são determinados por meio de uma pasta de cimento pura com consistência padrão que consiste em avaliar a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de

endurecimento com uma característica do cimento que são transferidos para o concreto, sendo necessário determinar para qualquer cimento a quantidade de água que produzirá essa pasta (PEREIRA, 2012).

A consistência é determinada pelo aparelho de Vicat (Figura 06), que mede a profundidade de penetração de uma sonda de 10 mm de diâmetro (sonda de Tetmajer) sob a ação do peso próprio. A pasta de consistência normal é estabelecida quando a profundidade de penetração atinge uma distância de (6 ± 1) mm da placa base (NEVILLE e BROOKS, 2012; NBR NM 43, 2002).

Figura 6: Vista lateral do aparelho de Vicat com a sonda de Tetmajer



Fonte: NBR NM 43, 2002.

3.3.1.1 Determinação da água da pasta de consistência normal (NBR NM 43)

a) Preparação do cimento e da água

A massa de cimento a ser ensaiada na preparação da pasta deve ser de $500,0 \pm 0,5$ g. A massa de água deve ser determinada por tentativas e medida com exatidão de 0,5 g, as massas referenciais situam-se entre 120 e 150 g de água. Este parâmetro é apenas referencial, podendo sofrer variações.

b) Mistura mecânica

Com o misturador parado, a água é adicionada primeiramente e depois o cimento é acrescentado, lentamente. Em seguida, aguarda-se 30 segundos. Transcorrido esse período, liga-se o misturador na velocidade baixa (140 ± 5 rotação por minuto), cronometrando o tempo por mais 30 segundos. Logo após, o misturador é desligado por 15 segundos, para fazer a raspagem nas laterais do equipamento; esse procedimento é necessário para que toda a pasta aderida às paredes do equipamento fique na parte inferior do mesmo. Imediatamente após a raspagem, o misturador é ligado na velocidade rápida (285 ± 10 rotação por minuto).

c) Determinação da consistência

Neste projeto foram preparadas três pastas de consistência normal. A pasta 1 foi preparada com água potável, a pasta 2 com efluente e a terceira pasta com efluente diluído em água, na proporção de 50:50 (v/v). O ensaio foi realizado em aparelho de VICAT (CSM 2006).

Após o processo de mistura, todas as pastas foram introduzidas em moldes, tomando-se o cuidado de encher os moldes rapidamente. O excesso de pasta foi rasado, com um movimento de vai e vem na superfície do molde, sem comprimir a pasta.

Depois da moldagem, o conjunto molde/vidro foi acondicionado no centro da base do aparelho de VICAT. Em seguida, a sonda TETMAJER, esta acoplada ao equipamento, foi deslocada suavemente até a superfície da pasta e solta, a fim de penetrar a pasta com a força de seu próprio peso. Decorridos 30 segundos do início da penetração, a sonda foi presa e iniciou-se a leitura da profundidade de penetração da sonda. A pasta foi considerada como de consistência normal quando a leitura na escala do equipamento ficou dentro do limite 6 ± 1 mm, como ilustra a Figura 07.

Figura 7: Determinação da pasta de consistência normal



Fonte: Autor, 2018.

3.3.2 Determinação dos tempos de pega (NBR NM 65)

Determinada a quantidade de água, cujos valores foram de 135, 129,5 e 133 mL para as pastas produzidas com efluente, água de abastecimento e efluente diluído em água de abastecimento respectivamente, uma nova pasta foi preparada e usada para a determinação dos tempos de início e fim de pega. Assim, imediatamente após o enchimento do molde do aparelho VICAT com a pasta de cimento, esse foi armazenado em um ambiente refrigerado por 30 minutos.

a) Início de pega

O ensaio referente ao tempo de início de pega foi realizado no mesmo aparelho de VICAT (CSM 2006), utilizando uma agulha VICAT, em substituição à sonda de TETMAJER. Assim, transcorridos 30 minutos após o enchimento do molde do equipamento, esse foi posicionado com a placa base no aparelho, sob a agulha VICAT. Em seguida, a agulha foi deslocada suavemente até a superfície da pasta e então solta.

Neste ensaio, as leituras na escala do equipamento são feitas quando a penetração da agulha estiver finalizada ou após 30 segundos do instante em que a agulha foi solta, ou o que ocorrer primeiro. Este procedimento é repetido no mesmo corpo-de-prova em posições convenientemente separadas, que distem no mínimo 1,0 cm da borda do molde e entre cada perfuração, a intervalos de tempo

convenientemente espaçados. Neste experimento, os intervalos foram de, aproximadamente, 15 minutos.

O tempo de início de pega é definido como sendo o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de VICAT penetra na pasta, a uma distância de (4 ± 1) mm da placa base (Figura 08).

Figura 8: Determinação do tempo de início de pega



Fonte: Autor, 2018.

b) Fim de pega

Após a determinação do início de pega, o primeiro passo é a substituição da agulha de VICAT específica para a determinação do tempo de início de pega pela agulha de VICAT própria para a determinação do tempo de fim de pega (Figura 09); neste tipo de agulha, um acessório anular facilita a observação exata de penetrações pequenas.

Figura 9: Agulhas de VICAT

Legenda: ¹ Agulha de fim de pega; ² Agulha de Início de pega

Fonte: Autor, 2018.

Após a troca da agulha, o molde do aparelho foi invertido, sobre sua placa base, de forma que os ensaios fossem realizados na face oposta do corpo-de-prova, essa originalmente em contato com a placa base. Os intervalos de tempo entre os ensaios de penetração podem ser ampliados para até 30 minutos, porém neste experimento o intervalo adotado foi de 15 minutos.

Determinou-se como tempo de fim de pega, o período transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de VICAT penetrou 0,5 mm na pasta (Figura 10), esse foi o momento em que o acessório anular não provocou nenhuma marca no corpo-de-prova.

Figura 10: Determinação do tempo de fim de pega

Fonte: Autor, 2018.

3.4 Ensaio de consistência

Inicialmente, os materiais (cimento, areia, brita e água) foram pesados de acordo com as dosagens requeridas para este experimento (13,28 kg, 16,13 kg, 26,81 kg e 5,28 L respectivamente para os materiais cimento, areia, brita e água). Feito isso, os materiais foram colocados na betoneira de 400 L (CSM 2006), na seguinte ordem: primeiro, adicionou-se metade do volume de água (2,64 L), depois colocou-se a brita e esses dois materiais foram misturados por 1 minuto; em seguida, acrescentou-se o cimento, o qual também foi misturado à água e à brita por aproximadamente 1 minuto; por fim, foram adicionados a areia e o restante da água e todos os materiais foram novamente mexidos por mais alguns minutos, atingindo um tempo total de mistura de 3 a 4 minutos.

A análise das propriedades do concreto no estado fresco foi realizada logo após a mistura dos componentes do concreto na betoneira. Para isso foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, mais conhecido como Slump Test. No Brasil, este ensaio é regulamentado pela ABNT NBR NM67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (1998).

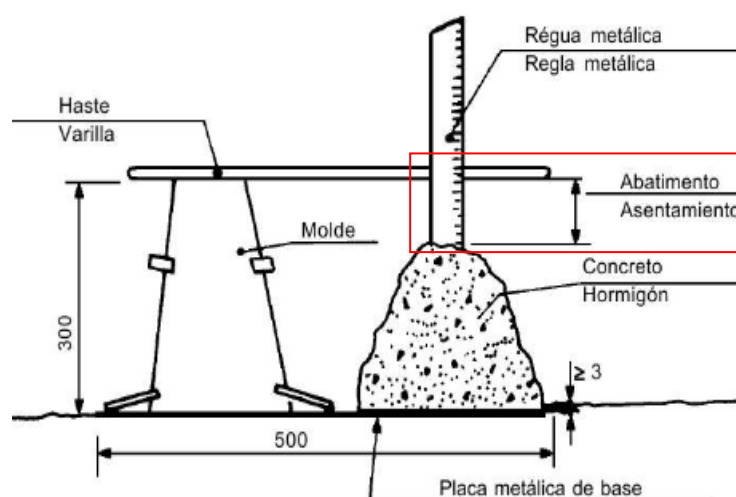
O ensaio consistiu no preenchimento de um tronco de cone, em três camadas com alturas equivalentes. Em cada camada, foram dados 25 golpes com uma haste padrão com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas. A primeira camada foi golpeada até que a face inferior do cone fosse atingida; as demais camadas foram preenchidas e golpeadas de forma que os golpes apenas penetrassem na camada anterior. Após a compactação da última camada, o excesso de concreto foi retirado e a superfície do cone foi alisada com uma régua metálica. Em seguida, retirou-se o cone, içando-o com cuidado na direção vertical.

O valor do abatimento se refere à medida do adensamento do concreto, logo após a retirada do molde cônico, como ilustrado na Figura 11. Neville (1997) indica correlações entre o ensaio de abatimento e trabalhabilidade, conforme mostra a Tabela 07.

Tabela 7: Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento.

TRABALHABILIDADE	ABATIMENTO (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito alta	160 ao desmoronamento

Fonte: Neville, 1997.

Figura 11: Medida do abatimento.

Fonte: ABNT NBR NM 67, 1998.

3.5 Moldagem dos corpos-de-prova

Após a verificação e medida da consistência do concreto, foi realizada a moldagem dos corpos-de-prova, conforme a NBR 5738:2003 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Neste experimento, foram utilizados moldes de ferro, com formas cilíndricas e dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Antes de proceder à moldagem dos corpos-de-prova, os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral para facilitar a desforma. Em seguida, adicionou-se o concreto dentro dos moldes e utilizou-se um vibrador de imersão interna (CSM 2006), acionado por um motor elétrico, para

ajudar no adensamento das camadas de concreto e na remoção de bolhas de ar que poderiam estar contidas no interior da massa. Por fim, foi realizado o rasamento da superfície com a borda do molde empregando uma colher de pedreiro.

Após a moldagem, transportou-se os corpos-de-prova para uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e protegida de intempéries.

Foram moldados 3 kits de corpos-de-prova, cada um foi moldado com as águas de amassamento definidas para este experimento, a saber: kit A – referência, corpos-de-prova moldados com concreto produzido com água de abastecimento (0% de efluente); kit B – corpos-de-prova moldados com concreto produzido com efluente tratado (100% de efluente tratado); kit C – corpos-de-prova moldados com concreto produzido com uma mistura de água de abastecimento e efluente tratado, na proporção de 50:50 (v/v). Cada kit possuía 10 corpos-de-prova, sendo 5 para rompimento aos 7 dias e 5 para rompimento aos 28 dias. Todos os 30 corpos-de-prova foram identificados após o desmolde, conforme Figura 12.

Figura 12: Identificação dos corpos-de-prova.



Fonte: Autor, 2018.

3.6 Cura dos corpos-de-prova

O concreto desenvolve sua resistência ao longo do tempo e a água de seu interior tende a evaporar, devido a isso a cura do concreto é uma etapa de extrema importância e deve ser bem executada, para que não haja redução de resistência, surgimento de fissuras e enfraquecimento da camada superficial.

O procedimento de cura dos corpos de prova foi realizado de acordo com o Item 8.2 da NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Deste modo, após 24 horas da moldagem, os corpos-de-prova foram desmoldados e submersos em uma solução saturada de água e hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), a uma temperatura ambiente de, aproximadamente, 25°C, até

completarem os períodos de rompimento (7 e 28 dias) (Figura 13).

Figura 13: Cura dos corpos-de-prova.



Fonte: Autor, 2018.

3.7 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado segundo os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2018). Para a realização do ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica servo controlada (UHI – 2000KnI 2009) (Figura 14). O processo de ruptura foi iniciado aplicando-se uma pressão contínua (sem choques) de $0,45 \pm 0,15 \text{ MPa.s}^{-1}$, até a ruptura do corpo-de-prova. Para cada idade de ensaios de resistência à compressão axial (7 e 28 dias), foram ensaiados 5 corpos-de-prova de cada kit.

Figura 14: Rompimento dos corpos-de-prova.



Fonte: Autor, 2018.

A resistência à compressão (f_c) é definida pela equação estabelecida na NBR 5739:2007, a qual é representada na Equação 06.

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Equação 06})$$

Em que:

f_c : Resistência à compressão (MPa);

F: Força máxima alcançada (N);

D: Diâmetro do corpo de prova (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterizações físico-químicas das águas de amassamento

As caracterizações físico-químicas das águas de amassamento (efluente tratado e água de abastecimento) foram realizadas para verificar se os parâmetros físico-químicos dessas águas atendiam aos requisitos exigidos pela NBR 15.900-1 – Água Para Amassamento do Concreto Parte 1: Requisitos (ABNT, 2009). Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 08.

Tabela 8: Parâmetros físico-químicos das águas de amassamento e requisitos da NBR 15900-1.

Parâmetros	Unidades	Água ¹	Efluente	Requisitos NBR 15900-1
pH	-	6,9±0,10	7,5±0,10	≥ 5,5
Cloretos	mg Cl ⁻ .L ⁻¹	9,8±0,25	33,3±0,64	≤1000 Concreto Armado ≤ 500 Concreto Protendido ≤ 4500 Concreto Simples
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ .L ⁻¹	5,17±0,14	73±0,38	≤ 2000
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ .L ⁻¹	ND ²	ND ²	≤ 500
Fosfatos	mg PO ₄ .L ⁻¹	0,5±0,06	4,6±0,10	≤ 100
ST	mg ST.L ⁻¹	100±3,54	750±11,55	≤ 5000
Coliformes Termotolerantes	Coliformes totais.L ⁻¹	12 x 10 ²	4 x 10 ⁵	Não prescrito por norma

Legenda: ¹ Água de abastecimento; ² Não detectado pelo método analítico utilizado

Fonte: Autor, 2018.

A indústria da construção civil vem crescendo no Brasil devido tanto à necessidade de se fazer melhorias em infraestruturas como na construção de novas habitações e centro industriais. Essa crescente necessidade de construção, o consumo de materiais básicos também tem se expandindo, especialmente com relação ao concreto, por ser um insumo necessário em quase todos os tipos de projetos construtivos (LIMA e ZULANAS, 2016).

O concreto é uma mistura composta, em média, de cerca de 10 a 15% de cimento, 60 a 75% de agregado e 15 a 20% de água, que produz uma pasta resistente e coesa com os agregados (gráúdo e miúdo), para formar um bloco monolítico (LIMA e ZULANAS, 2016).

A água influencia várias propriedades do concreto e por ser é um dos

ingredientes mais importantes na produção do concreto, por isso deve estar livre de substâncias químicas que venham a comprometer negativamente as propriedades do concreto, como o tempo de endurecimento, a trabalhabilidade, a resistência e a durabilidade (BABU *et al.*, 2018). Assim, as características físicas e químicas da água de amassamento devem estar em conformidade com aquelas recomendadas pelas normas técnicas vigentes, a nível nacional e internacional.

A água potável ainda é a mais apropriada e largamente utilizada com água de amassamento. Entretanto, em algumas situações em que essa água não se encontra prontamente disponível, outras fontes de água não potáveis estão sendo previamente testadas em misturas de concreto e cimento, dentre elas, podemos citar o uso de águas residuais tratadas como água de amassamento, na cura do concreto e na lavagem de agregados sem efeitos adversos (AL-JABRI *et al.*, 2011; AL-GHUSAIN e TERRO, 2003).

Os resultados obtidos na caracterização físico-química do efluente tratado mostraram que todas as concentrações dos parâmetros estudados permaneceram dentro dos requisitos de qualidade para água de amassamento exigidos pela ABNT NBR 15900-1:2009 (Tabela 8).

A respeito do pH, seu valor ($7,5 \pm 0,10$) se encontra dentro do intervalo permissível (4,5 – 8,5) pela ASTM T26-79 (2004). Além disso, a concentração de sulfato ($73,0 \pm 0,38 \text{ mg.L}^{-1}$) foi menor que o limite de 3.000 ppm (3.000 mg.L^{-1}), também requerido pela norma citada, para esse parâmetro. Logo, torna-se possível usar o efluente tratado na mistura de concretos. Os resultados obtidos por Al-Jabri *et al.* (2011), para esses parâmetros, em sua investigação sobre o efeito do uso de águas residuais sobre as propriedades do concreto, corroboram os valores encontrados neste experimento.

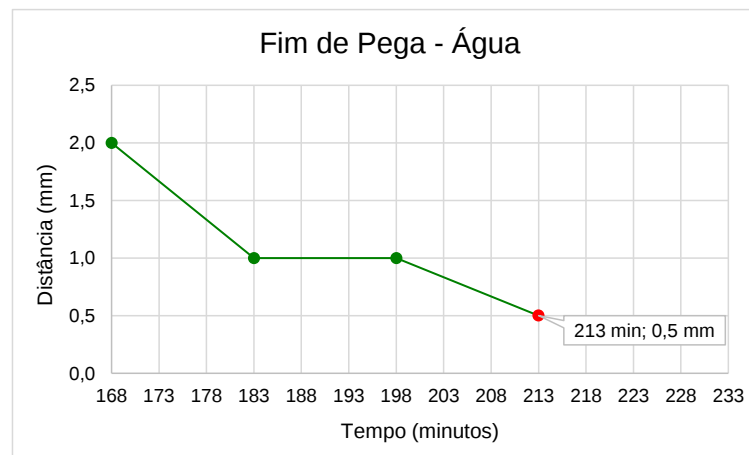
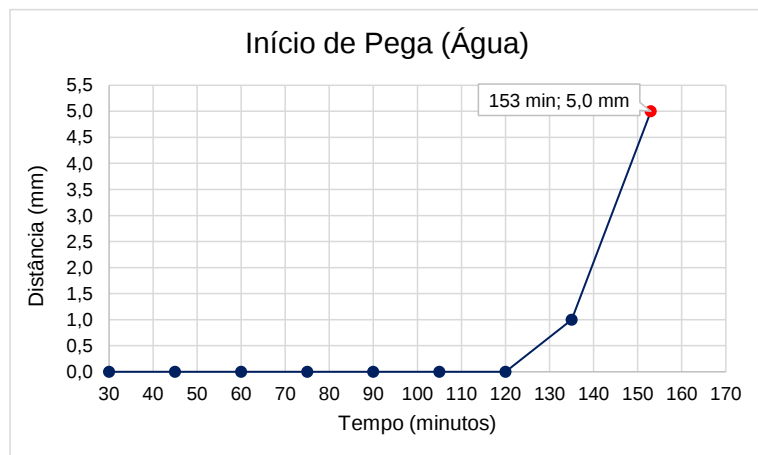
Íons de cloretos quando presentes em altas concentrações nas águas de amassamento podem provocar corrosão nas armaduras do concreto. Neste trabalho, o efluente tratado em estudo apresentou uma concentração de cloretos abaixo de 500 mg.L^{-1} ($33,3 \pm 0,64 \text{ mg.L}^{-1}$); esse valor está dentro dos limites recomendados pela ABNT NBR 15900-1:2009, para a produção de concretos (Tabela 8).

4.2 Análise dos tempos de início e fim de pega da pasta de cimento

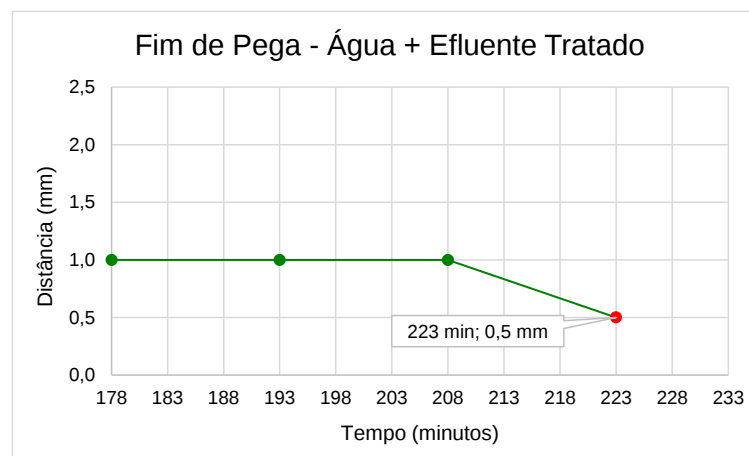
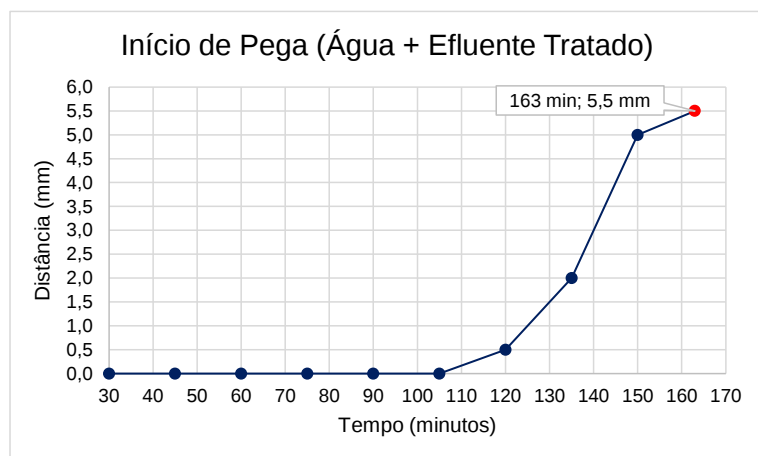
A respeito das análises do tempo de pega da pasta de cimento, as leituras foram realizadas em intervalos regulares de 15 minutos e os resultados para cada tipo de pasta produzida estão expressos nos gráficos contidos nas Figuras 15 e 16, as quais relacionam o tempo de ensaio com a distância D (mm) da placa base. No Quadro 2, podem ser observadas as especificações dos ensaios.

Com relação aos tempos de início e fim de pega das pastas de cimentos, os valores obtidos para os cimentos misturados com efluente tratado, diluído com água (início, 163 minutos; final, 223 minutos) ou não (início, 168 minutos; final, 228 minutos), foram maiores do que os tempos de início e fim de pega registrados para a pasta de cimento preparada com água de abastecimento (início, 153 minutos; final, 213 minutos). Os maiores valores obtidos para os tempos de início e fim de pega das pastas de cimento preparadas com efluente podem ser devido às características físico-químicas do efluente tratado. No entanto, os valores obtidos para as pastas produzidas com o efluente tratado (diluído ou não) não diferiram mais que 25% dos tempos de início e fim de pega obtidos com as amostras de pastas produzidas com água de abastecimento (ABNT NBR 15900-1:2009) e, por tanto, não causando nenhum impacto adverso significativo às pastas produzidas (Figuras 15 e 16).

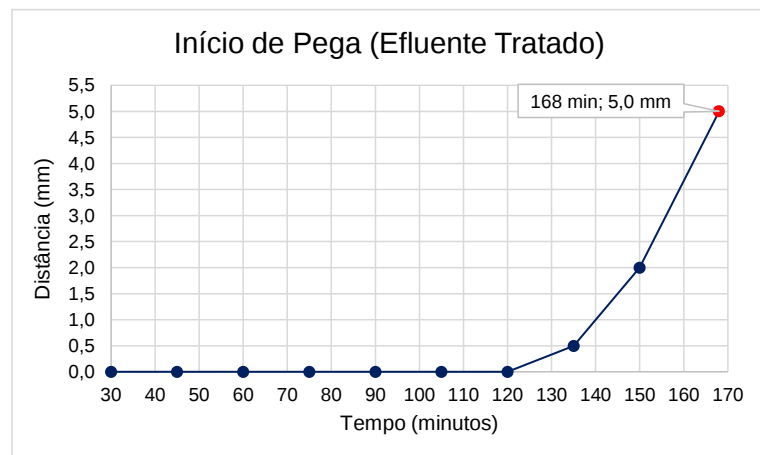
Os resultados obtidos neste experimento corroboram os resultados alcançados por Asadollahfardi *et al.* (2016), cujos autores verificaram que os tempos de pega dos concretos produzidos com água residual foram maiores, quando comparados com aqueles produzidos com água potável. No entanto, esses autores concluíram que o uso da água residual em amostras de concreto não causou impactos significativos e satisfaz os requisitos da ASTM C-94 – Padrões de Especificações para Concreto (2004).



(a) Pasta de cimento preparada com água de abastecimento



(b) Pasta de cimento preparada com efluente tratado diluído em água de abastecimento (1:1, v/v)



(c) Pasta de cimento preparada com efluente tratado

Figura 15: Tempo de início de pega

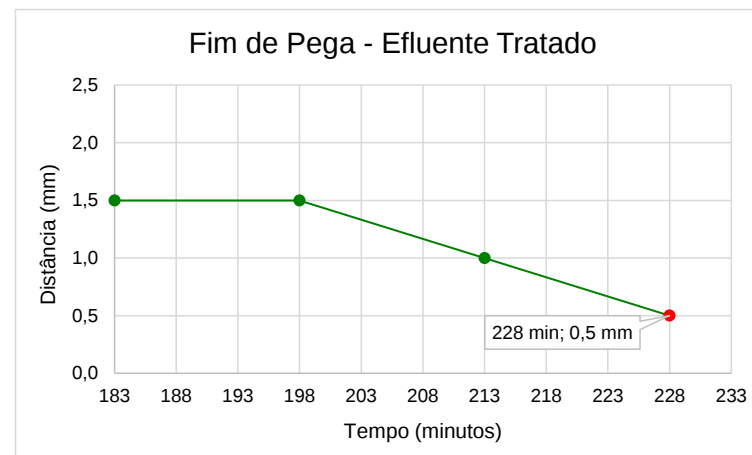


Figura 16: Tempo de fim de pega

Quadro 2– Especificações dos ensaios

Pasta de cimento preparada com efluente tratado	Pasta de cimento preparada com água de abastecimento	Pasta de cimento preparada com efluente tratado diluído em água de abastecimento (1:1 v/v)
Água de amassamento: Efluente tratado (E) Data do ensaio: 05/04/2018 Volume de ET: 135 mL Hora de contato do ET com o cimento: 14:10 Hora de colocação da pasta no molde: 14:13 Primeira leitura: 14:43	Água de amassamento: Água de abastecimento (água, A) Data do ensaio: 05/04/2018 Volume de água: 129,5 mL Hora de contato da água com o cimento: 14:17 Hora de colocação da pasta no molde: 14:20 Primeira leitura: 14:50	Água de amassamento: A + E (1:1, v/v) Data do ensaio: 06/04/2018 Volume de ET: 133 mL Hora de contato da Água + ET com o cimento: 09:34 Hora de colocação da pasta no molde: 09:38 Primeira leitura: 10:13

Fonte: Autor, 2018.

4.3 Dosagem

a) Cálculo da resistência a 28 dias (f_{c28})

Para os procedimentos de dosagem, foram definidos os dados iniciais, como o tipo de cimento, o f_{ck} desejado e a condição de preparo. Assim, neste experimento, utilizou-se o cimento Portland CP II Z-32 (Cimento Portland composto com pozolana), o valor do f_{ck} desejado foi 35 MPa e a condição de preparo adotada foi a do tipo A (condição aplicável às classes C10 e C80 e desvio padrão igual a 4,0 MPa). Com os valores definidos, o f_{ck} desejado para 28 dias foi calculado pela Equação 01.

$$f_{ck} = f_{ck} + (1,65 \times s_d) = 35 \text{ (MPa)} + [1,65 \times 4 \text{ (MPa)}] = 35 + 6,6 = 41,6 \text{ MPa}$$

Logo, o valor calculado do f_{c28} foi 41,6 MPa.

b) Composição granulométrica dos agregados

Os resultados dos ensaios de peneiramento, em atendimento às exigências da NBR NM 248 (ABNT, 2003), para determinação da composição granulométrica dos agregados miúdo e graúdo, estão descritos nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9: Composição granulométrica do agregado miúdo.

Agregado miúdo (ensaio com 1kg)			
Peneiras (mm)	Massa(g)	(%) Retida	(%) Acumulada
4,75	0,20	0,02	0,02
2,36	21,30	2,13	2,15
1,18	97,10	9,71	11,86
0,59	437,80	43,78	55,64
0,3	302,30	30,23	85,87
0,15	104,00	10,40	96,27
Fundo	36,80	3,68	99,95
Módulo de Finura (MF)		2,52	
Diâmetro Máximo		2,36 mm	

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 10: Composição granulométrica do agregado graúdo.

Agregado graúdo (ensaio com 2 kg)			
Peneiras (mm)	Massa(g)	(%) Retida	(%) Acumulada
25	0,000	0,00	0
19	97,40	4,87	4,87
9,5	1831,60	91,58	96,45
4,8	68,30	3,42	99,87
2,4	0,30	0,02	99,89
1,2	0,20	0,01	99,90
0,6	0,20	0,01	99,91
0,3	0,20	0,01	99,92
0,15	0,20	0,01	99,93
Fundo	1,60	0,08	100,00
Módulo de Finura (MF)		7,00	
Diâmetro Máximo		19 mm	

Fonte: Autor, 2018.

c) Determinação das massas unitárias e específicas dos agregados

Com base na NBR NM 45 Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT, 2006), na NBR NM 52 Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009) e na NBR NM 53 Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009) foi possível obter as massas unitárias, no estado solto e compactado, e massas específicas para os agregados miúdo e graúdo utilizados na pesquisa. Os resultados estão expressos na Tabela 11.

Tabela 11: Valores de massa unitária e massa específica dos agregados utilizados

Agregado	Massa específica (kg.m ⁻³)	Massa unitária no estado solto(kg.m ⁻³)	Massa unitária no estado compactado (kg.m ⁻³)
Miúdo	2580	1470	Não é necessário determinar
Graúdo	2630	1390	1500

Fonte: Autor, 2018.

d) Determinação da massa específica do cimento

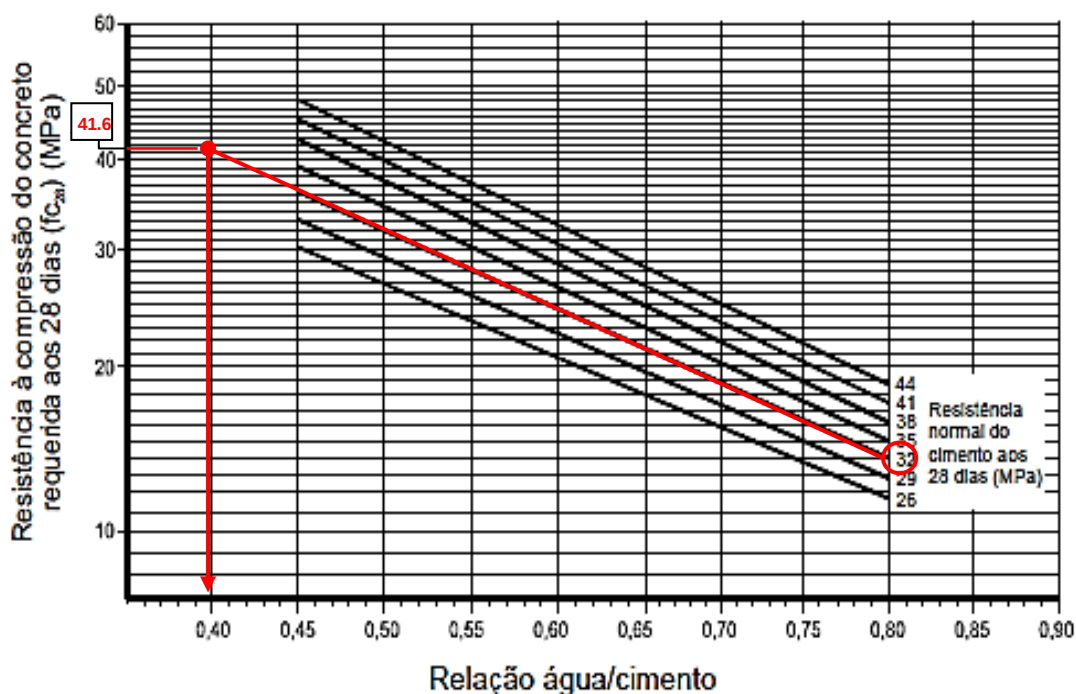
A massa específica do cimento Portland CP II Z-32 foi determinada em ensaio por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier, baseado na NBR 16605: Cimento

Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica (ABNT, 2017), e o valor calculado foi igual a 3200 kg.m^{-3} .

e) Determinação da relação água/cimento e do consumo inicial de água

O fator água/cimento (a/c) foi determinado através do gráfico “Curvas de Walz” (Figura 04), o qual é em função da resistência à compressão do concreto requerida aos 28 dias ($f_{c28} = 41,6 \text{ MPa}$, valor calculado para esse experimento) e da resistência normal do cimento (32 MPa), ambas definidas anteriormente. Observando-se a Figura 15 a seguir tem-se que o fator a/c é igual a 0,40.

Figura 17: Determinação do fator a/c .



Fonte: Autor, 2018.

Para que o concreto possa atender com constância às propriedades para as quais será dosado, em seu estado endurecido, é necessário que esse tenha uma trabalhabilidade adequada para que possa ser corretamente homogeneizado, transportado e lançado sem apresentar segregação. Desta forma, para se obter uma boa trabalhabilidade, definiu-se uma consistência entre 80 mm e 100 mm a ser atendida no ensaio de abatimento de tronco de cone. Assim, considerando um abatimento de tronco de cone igual a 80–100 mm e um diâmetro máximo característico (DMC) do agregado graúdo igual a 19,0 mm (Tabela 10), tem-se um consumo de água inicial estimado em 205 L.m^{-3} de concreto, obtido através dos valores constantes da Tabela 04.

f) Determinação do consumo de cimento (C_c)

O consumo inicial de cimento foi calculado através da Equação 02, considerando uma relação a/c igual a 0,40 e um consumo inicial de água (C_a) igual a 205L.m⁻³ de concreto.

$$C_c = \frac{C_a}{(a/c)} \quad (\text{Equação 02})$$

$$C_c = \frac{C_a}{(a/c)} = \frac{205 \text{ (L.m}^{-3}\text{)}}{0,40} = 512,5 \text{ kg.m}^{-3}$$

Logo, o valor calculado do consumo inicial de cimento (C_c) foi 512,5 kg.m⁻³ de concreto. Ou seja, significa dizer que para a produção de 1 m³ de concreto, seriam consumidos 512,5 kg de cimento.

g) Determinação do consumo inicial de agregados miúdo e graúdo (C_{am} e C_{ag})

Para determinarmos o volume compactado seco do agregado graúdo tomamos como base a Tabela 05 – Volume compactado seco de agregado graúdo por m³ de concreto (RODRIGUES, 1995), a qual relaciona esse volume aos valores referentes ao módulo de finura (MF) do agregado e ao diâmetro máximo característico (DMC) do agregado graúdo; esses valores correspondem a 2,52 (ver Tabela 09) e 19 mm (ver Tabela 10), respectivamente. Desta forma, o valor referente ao volume compactado seco de agregado graúdo foi, aproximadamente, 0,69 m³/m³ de concreto.

A estimativa do consumo do agregado graúdo por metro cúbico de concreto foi calculada pela Equação 03, considerando os seguintes valores: V_p igual a 0,69 m³.m⁻³ e massa unitária no estado compactado (MU_c) igual a 1500 kg.m⁻³.

$$C_{ag} = V_p \times MU_c \quad (\text{Equação 03})$$

$$C_{ag} = V_p \times MU_c = 0,69 \left(\text{m}^3/\text{m}^3 \right) \times 1500 \left(\text{kg}/\text{m}^3 \right) = 1035 \text{ kg.m}^{-3}$$

Logo, o valor do consumo de brita (C_{ag}) foi igual a 1033 kg.m⁻³ de concreto.

A Equação 04 foi utilizada para calcular o volume inicial de agregado miúdo (V_{am}). Esse valor é calculado em função da massa específica do cimento (γ_c) e do

seu consumo (C_c), massa específica do agregado graúdo (γ_{ag}) e do seu respectivo consumo (C_{ag}), cujos valores são 3200 kg.m^{-3} , $512,5 \text{ kg.m}^{-3}$, 2630 kg.m^{-3} e 1035 kg.m^{-3} , respectivamente. A massa específica da água (γ_a), nesse cálculo, foi adotada como sendo igual a 1000 kg.m^{-3} , com um consumo (C_a) de 205 L.m^{-3} .

$$V_{am} = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (\text{Equação 04})$$

$$V_{am} = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) = 1 - \left(\frac{512,5}{3200} + \frac{1035}{2630} + \frac{205}{1000} \right) = 0,241$$

Desta forma, o valor calculado para o volume inicial de agregado miúdo (V_{am}) foi igual a $0,241 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ de concreto.

Por fim, de posse do volume de agregado miúdo, determinou-se o consumo de agregado miúdo (C_{am}) pela Equação 05, a qual é função do valor da massa específica do agregado miúdo (γ_{ag}), 2584 kg.m^{-3} (Tabela 14), e do seu respectivo volume (V_{am}), $0,241 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$.

$$C_{am} = V_{am} \times \gamma_{ag} \quad (\text{Equação 05})$$

$$C_{am} = V_{am} \times \gamma_{ag} = 0,241 \times 2584 = 622,74 \text{ kg. m}^{-3}$$

Assim, o valor do consumo inicial estimado de agregado miúdo (C_{am}) foi $622,74 \text{ kg.m}^{-3}$.

h) Determinação do traço do concreto e ajustes em função da umidade do agregado miúdo

A representação do traço do concreto, em massa, é feita da seguinte forma: Cimento (1): Agregado miúdo: Agregado graúdo: Relação a/c. Assim:

$$1: \frac{C_{am}}{C_c} : \frac{C_{ag}}{C_c} : (a/c) \rightarrow 1: \left(\frac{622,74}{512,5} \right) : \left(\frac{1035}{512,5} \right) : (0,4) \rightarrow 1: 1,22: 2,02: 0,40$$

Com base nos valores de consumo anteriormente obtidos, o traço experimental teórico, em massa, foi de $1:1,22: 2,02: 0,40$.

O teor de umidade do agregado miúdo foi calculado para ajustar a quantidade de água do concreto e, também, para se fazer as correções da massa dos agregados colocados na mistura.

Para isso, foram calculadas as massas úmida (m_h) e seca (m_s), a temperatura entre 105°C a 110°C, e depois determinou-se a massa da amostra, em intervalos de pelo menos 2 h, até a constância de massa. Por fim a umidade foi expressa, em porcentagem, de acordo com a Equação 07:

$$Umidade (\%) = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{Equação 07})$$

$$Umidade (\%) = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s} \right) \times 100 = \left(\frac{60,64 - 60,44}{60,44} \right) \times 100 = 0,33\%$$

Neste experimento a umidade obtida foi 0,33%. Para a correção do traço foi necessário obter a massa seca do agregado miúdo (MS_{am}) no estado solto, através da multiplicação da sua massa unitária no estado solto (1470 kg.m^{-3}) pelo volume de agregado miúdo ($0,241 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$). Desta forma, a MS_{am} no estado solto foi calculada da seguinte forma:

$$MS_{am} = \text{Massa unitária} \times V_{am} = 1470 \times 0,241 = 354,27 \text{ kg}$$

Logo, obteve-se uma massa de 354,27kg. Com esse valor, as dosagens dos materiais foram corrigidas, a saber:

$$Areia = MS_{am} \times (1 + umidade) = 354,27 \times \left(1 + \frac{0,33}{100} \right) = 355,44 \text{ kg}$$

Sendo assim, temos que na areia a ser usada tem-se 1,17 kg de água ($355,44 - 354,27 = 1,17$) e esse valor deve ser retirado do consumo de água. Vale ressaltar que a densidade da água foi de $1,0 \text{ kg.L}^{-1}$, isto é, 1 kg de água corresponde a 1 L de seu conteúdo, e os 1,17 L correspondem aos 1,17 kg de água de peso a mais da areia. Logo:

$$\text{Água de amassamento} = C_a - (1,17) = 205 - (1,17) = 203,83$$

Sendo assim, o novo fator a/c foi corrigido da seguinte forma:

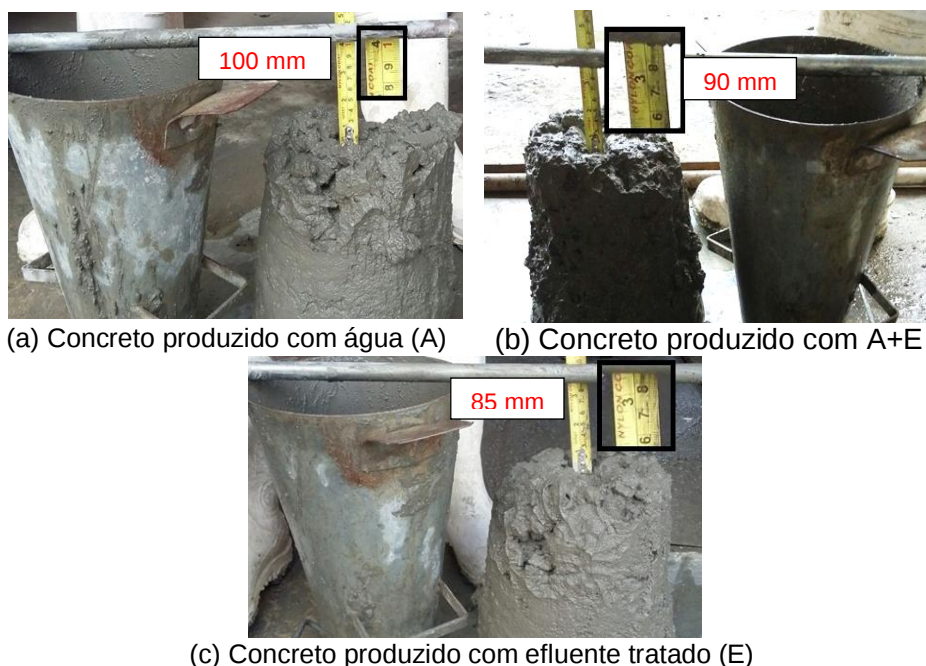
$$\text{Fator } a/c = \frac{C_a}{C_c} = \frac{203,83}{512,5} = 0,398$$

Com isso, o traço experimental corrigido, em massa, utilizado para a produção do concreto foi de 1:1,22: 2,02:0,398.

4.4 Análise do ensaio de abatimento de tronco de cone

Durante a concretagem foi realizado o teste de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone dos três tipos de concreto produzidos neste projeto, como mostra a Figura 18 (a, b e c).

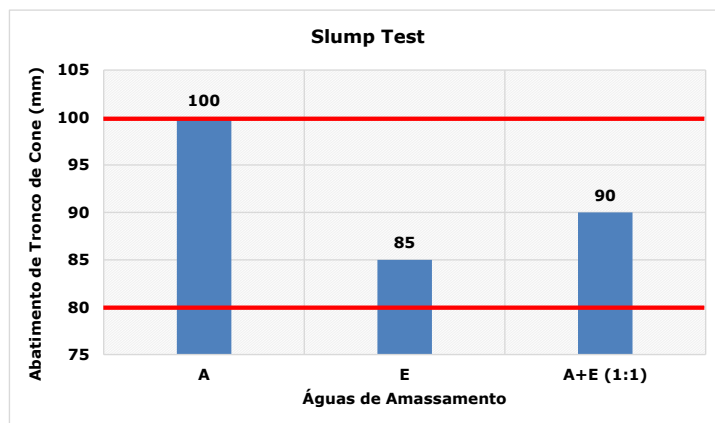
Figura 18: Ensaio de abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autor, 2018.

Os resultados obtidos para a avaliação da consistência do concreto realizada pelo Slump Test foram 100 mm (Figura 18a), 90 mm (Figura 18b) e 85 mm (Figura 18c). Ao observarmos a Figura 19, podemos concluir que os valores obtidos, para todos os concretos produzidos com as diferentes águas de amassamento, ficaram dentro da faixa de consistência requerida para a dosagem calculada para este experimento (80 – 100 mm) e que o efluente não prejudicou a consistência do concreto. É importante ressaltar que não foram registrados colapsos ou rupturas durante os deslocamentos das massas de concreto no Slump Test (Figura 18, a – c).

Figura 19: Consistência e fluidez do concreto. Linhas vermelhas representam os limites mínimo (80 mm) e máximo (100 mm).



Fonte: Autor, 2018.

A consistência do concreto está relacionada às suas características intrínsecas, sendo considerada um dos principais fatores que influenciam sua trabalhabilidade, por estar relacionada à mobilidade da massa e à coesão entre seus constituintes. Assim, para que um concreto possa atender às propriedades para as quais foi dosado, é preciso que sua trabalhabilidade seja adequada e permita que o mesmo seja homogeneizado, transportado e lançado nas fôrmas estruturais, sem apresentar segregação.

Os resultados mostram que todas as amostras de concreto apresentaram boa trabalhabilidade, com valores de abatimento dentro da faixa limite estabelecida (90 ± 10 mm); porém, o menor valor foi registrado para o concreto produzido com o efluente tratado (E, 85 mm) (Figura 18).

As características de trabalhabilidade dos concretos produzidos neste experimento corroboram os valores encontrados no experimento realizado por Noruzman *et al.* (2012). Esses autores afirmaram que as misturas de concreto produzidas com esgoto doméstico apresentaram valores mais baixos em comparação com aquelas produzidas com água potável; no entanto, os resultados permaneceram dentro do limite estabelecido para o experimento: intervalo de 25 a 50 mm. Em outro estudo, Ghrair *et al.* (2016) que o uso de águas cinzas tratadas como água de amassamento provocou reduções nos resultados do Slump Test da ordem de 3,0 a 3,5 cm, e isso pode ser devido ao fato de que os sólidos dissolvidos presentes nas águas cinzas diminuem o valor de queda do concreto.

4.5 Análise da resistência à compressão axial

As resistências dos corpos-de-prova estudados foram calculadas através da Equação 06:

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Equação 06})$$

Em que:

f_c é a resistência à compressão (MPa);

F é força máxima alcançada (N) e

D é diâmetro do corpo de prova (10 cm).

Com o objetivo de comparar as resistências alcançadas pelo concreto produzido com diferentes teores de efluente tratado como água de amassamento, calculou-se a resistência média à compressão através de uma média aritmética simples. Os resultados foram comparados e quando o desvio relativo máximo apresentava-se superior a 6%, calculava-se uma nova média desconsiderando o valor discrepante. O desvio foi obtido dividindo o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual de cada corpo-de-prova pela resistência média e multiplicando esse quociente por 100.

Os resultados para cada tipo concreto estudado neste experimento estão expressos nas Tabelas 12, 13 e 14.

Tabela 12: Resultados do ensaio de resistência à compressão (Água).

Concreto produzido com água de abastecimento							
Rompimento aos 7 dias (11/04/18)				Rompimento aos 28 dias (02/05/18)			
CP ¹	Força (KN)	Resistência (MPa)		CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	
A1	192,50	24,51	ACEITO	A1	253,50	32,28	ACEITO
A2	187,50	23,87	ACEITO	A2	249,00	31,70	ACEITO
A3	209,00	26,61	ACEITO	A3	271,00	34,51	ACEITO
A4	198,00	25,21	ACEITO	A4	266,50	33,93	ACEITO
A5	204,50	26,04	ACEITO	A5	264,00	33,61	ACEITO
Média	198,30	25,25	25,25	Média	260,80	33,21	33,21
Variância	1,23			Variância	1,38		
Desvio-padrão	1,11			Desvio-padrão	1,17		

Legenda: ¹ Corpo de prova.

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 13: Resultados do ensaio de resistência à compressão (A+E).

Concreto produzido com efluente diluído em água (1:1, v/v)							
Rompimento aos 7 dias (11/04/18)				Rompimento aos 28 dias (02/05/18)			
CP	Força (KN)	Resistência (MPa)		CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	
A+E1	209,50	26,67	ACEITO	A+E1	269,50	34,31	ACEITO
A+E2	214,50	27,31	ACEITO	A+E2	271,50	34,57	ACEITO
A+E3	204,00	25,97	ACEITO	A+E3	267,00	33,99	ACEITO
A+E4	207,00	26,36	ACEITO	A+E4	273,50	34,82	ACEITO
A+E5	221,00	28,14	ACEITO	A+E5	278,00	35,40	ACEITO
Média	211,20	26,89	26,89	Média	271,90	34,62	34,62
Variância		0,73		Variância		0,28	
Desvio-padrão		0,85		Desvio-padrão		0,53	

Legenda: ¹ Corpo de prova.

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 14: Resultados do ensaio de resistência à compressão (Efluente).

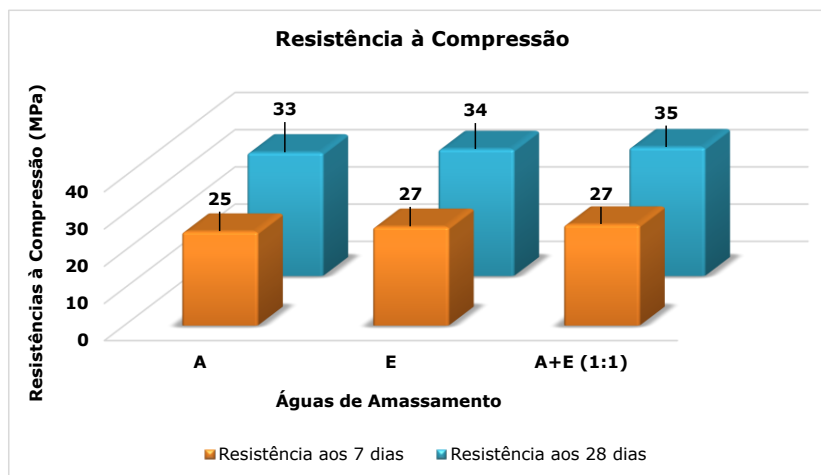
Concreto produzido com efluente							
Rompimento aos 7 dias (11/04/18)				Rompimento aos 28 dias (02/05/18)			
CP¹	Força (KN)	Resistência (MPa)		CP	Força (KN)	Resistência (MPa)	
E1	220,00	28,01	ACEITO	E1	276,50	35,21	ACEITO
E2	203,50	25,91	ACEITO	E2	264,00	33,61	ACEITO
E3	207,50	26,42	ACEITO	E3	268,50	34,19	ACEITO
E4	198,50	25,27	ACEITO	E4	258,50	32,91	ACEITO
E5	213,00	27,12	ACEITO	E5	272,50	34,70	ACEITO
Média	208,50	26,55	26,55	Média	268,00	34,12	34,12
Variância		1,13		Variância		0,81	
Desvio-padrão		1,06		Desvio-padrão		0,90	

Legenda: ¹ Corpo de prova.

Fonte: Autor, 2018.

As resistências à compressão axial atingidas neste experimento podem ser melhor comparadas na Figura 20.

Figura 20: Valores de resistência à compressão axial.



Fonte: Autor, 2018.

Os valores de resistência à compressão axial não foram estatisticamente diferentes, pela análise de variância e teste de Tukey ($p = 0,05$). Entretanto, as resistências dos concretos produzidos com efluente tratado (E – $26,55 \pm 1,06$ MPa, aos 7 dias; $34,12 \pm 0,9$ MPa, aos 28 dias) e efluente tratado diluído em água de abastecimento (A+E – $26,89 \pm 0,85$ MPa, aos 7 dias; $34,62 \pm 0,53$, aos 28 dias) foram maiores do que aquelas registradas no concreto produzido com a água de abastecimento (A – $25,25 \pm 1,11$ MPa, aos 7 dias; $33,21 \pm 1,17$ MPa, aos 28 dias).

Neste experimento, os valores de referência (água de abastecimento como água de amassamento) são de 25,25 MPa para 7 dias e 33,21 MPa para 28 dias (Figura 20). As resistências obtidas para os concretos produzidos com efluente (diluído ou não em água de abastecimento) superaram em mais 90% os valores de referência: 105,15% (aos 7 dias) e 102,7% (aos 28 dias) para o concreto produzido com efluente tratado (E) e 107,5% (aos 7 dias) e 104,3% (aos 28 dias) para o concreto produzido com efluente tratado diluído em água (A+E, 1:1). A legislação brasileira preconiza que as resistências de concretos não produzidos com água de abastecimento devem atingir, no mínimo, 90% das resistências de concretos produzidos com água de abastecimento.

Na literatura científica, alguns trabalhos relatam o uso de águas residuais como água de amassamento do concreto, a saber, Mahasneh (2014) mostrou que os valores das resistências dos concretos produzidos com águas residuais tratadas podem atingir mais de 90% da resistência especificada requerida. Em experimento realizado na Malásia, Lee *et al.* (2001) mostraram que o efluente tratado de uma

estação de tratamento de esgoto aumentou a resistência à compressão do concreto quando comparado com o uso de água doce como água de amassamento. Ghrair *et al.* (2016) concluíram que a resistência, aos 28 dias, do concreto produzido com água cinza tratada não foi negativamente impactada quando comparada com a resistência do concreto feito com água destilada. No entanto, esses autores perceberam que o concreto produzido com água cinza não tratada apresentou uma redução na sua resistência à compressão de até 13,9%, em 120 dias.

Ao fazermos uma correlação com os valores dos outros parâmetros estudados neste experimento, podemos notar que os concretos mais resistentes aos 28 dias (E – $34,12 \pm 0,9$ MPa e A+E – $34,62 \pm 0,53$ MPa) também foram os concretos com menor Slump, mas com trabalhabilidade dentro do especificado (E – 85 mm e A+E – 90 mm) (Figura 19).

5 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados dos ensaios realizados e descritos neste documento, podemos dizer que nas análises físico-químicas preliminares verificou-se que o efluente apresentou conformidade com as concentrações máximas exigidas pela NBR 15.900-1 e pode ser utilizado para a produção do concreto.

O uso de águas residuais tratadas para a produção de amostras de concreto aumentou os tempos de início e fim de pega. No entanto, os resultados obtidos estão de acordo com o limite estabelecido pela NBR 15.900-1, que preconiza que os tempos de início e fim de pega diferenciem-se em no máximo 25 % ao se comparar com os resultados obtidos com concreto produzido com água de abastecimento.

Nos concretos em estado fresco, os teores de substituição da água por efluente acarretaram em um menor abatimento de tronco de cone, reduzindo assim sua trabalhabilidade quando comparados com as amostras produzidas com água de abastecimento. Porém esta redução não foi significativa, visto que os valores ainda se encontravam dentro da faixa definida na dosagem (90 ± 10 mm).

Nos concretos endurecidos, os concretos que possuíam efluente em sua composição demonstraram melhores resultados de resistência à compressão axial. Entretanto, os testes de Tukey e análise de variância não indicaram diferença significativa entre as resistências à compressão das amostras de concreto produzidas com água de abastecimento e as produzidas com efluente (diluído ou não em água de abastecimento).

Considerando os resultados obtidos nos ensaios e os requisitos exigidos pela NBR 15900-1, sob o ponto de vista técnico, verificou-se que com o uso do efluente tratado é possível produzir um concreto com a mesma qualidade dos produzidos com água fornecida pela companhia de abastecimento. Embora o efluente utilizado apresentasse uma coloração esverdeada e um odor característico não muito agradável, a pasta de cimento, o concreto produzido e os corpos-de-prova moldados não sofreram alterações em relação a sua cor e a seu odor. Apesar dos resultados favoráveis em todas as análises e ensaios realizados, seria interessante estabelecer um período de análise maior que 28 dias para observar a evolução do concreto em idades maiores e descartar alterações no desempenho ou durabilidade do mesmo.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- ✓ Avaliação do desempenho do concreto produzido com efluente tratado em idades superiores a 28 dias;
- ✓ Avaliação do desempenho do concreto curado com esgoto tratado;
- ✓ Avaliação do desempenho do concreto produzido com esgoto tratado em relação à resistência à tração e a flexão;
- ✓ Estudo avaliativo da viabilidade econômica do fornecimento de esgoto tratado como água de amassamento na construção civil;
- ✓ Avaliação do desempenho do concreto produzido com esgoto tratado ao se utilizar de aditivos;
- ✓ Avaliação do desempenho do aço utilizado no concreto armado produzido com efluentes tratados, com relação à possível corrosão ocasionada pela presença de cloretos e sulfatos presentes no efluente.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, D. A. **Design of Concrete Mixtures**. Structural Materials research Laboratory, Lewis Institute Bulletin, Chicago, 1919.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. 169p. Brasília, 2017.

AL-GHUSAIN, I.; TERRO, M. **Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait**. Kuwait Journal of Science and Engineering, 30, 2003.

AL-JABRI, K. S.; AL-SAYDI, A. H.; TAHA, R.; AL-KEMYANI, A. J. **Effect of using wastewater on the properties of high strength concrete**. The twelfth asia-pacific conference on structural engineering and construction, Procedia Engineering, 14, p. 370–376, 2011.

AL-JASSER, A. O. **Saudi wastewater reuse standards for agricultural irrigation: Riyadh treatment plants effluent compliance**. Journal of King Saud University, Engineering Science, v. 23, p. 1-8, 2011.

ALMEIDA, E. S.; CARDOSO, L. S. P.; OLIVEIRA, D. D. N.; VIANA, J. D. **Produção de Blocos de Concreto Empregando Efluente Tratado por Lodos Ativados e por Lagoas de Estabilização**. Revista virtual química. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v8n4a03.pdf>>. Acesso em: 15 janeiro 2018.

ASADOLLAHFARDI, G.; DELNAVAZ, M.; RASHNOIEE, V.; GHONABADI, N. **Use of treated domestic wastewater before chlorination to produce and cure concrete**. Construction and Building Materials, v 105, p 253-261, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLANDO - ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7ª ed, 28 p, São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO

MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** 8 p. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.** 5 p. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** 6p. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume devazios.** 8 p. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 43: Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal.** 8 p. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 65: Cimento portland - Determinação do tempo de pega.** 4 p. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** 8 p. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados – Terminologia.** 16p. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto –Especificação.** 9p. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Águade amassamento do concreto –Parte 1:Requisitos.** 11p. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 5732:Cimento Portland comum.** 5p. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 16605:Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.**4 p. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 5738:Concreto – Procedimento para moldagem de cura de corpos-de-prova.** 9p. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 5738:Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** 9p. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento- Procedimento.**23p. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 9648:Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.**5p. Rio de Janeiro, 1986.

BABU, G. R.; REDDY, B. M.; RAMANA, N. V. **Quality of mixing water in cement concrete "a review.** Materials Today: Proceedings, Volume 5, Issue 1, 2018.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.**Vol 1 e 2, São Paulo, LTC, 2000.

BDOUR, A.N.; HAMDY, M.R.; TARAWNEH, Z. **Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region.** Desalination, vol.237, p. 162-174, 2009.

BOURI. S.; ABIDA. H.; KHANfir. H. **Impacts of wastewater irrigation in arid and semi arid regions: case of Sidi Abid region, Tunisia**. Environmental Geology Journal, New York, v. 53, p. 1421–1432, 2007.

BRANCO, C. P.; PIERETTI, R. A. **Avaliação da resistência do concretocurado entre -5°C e 0°C**. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)**. Resolução nº 54, de 28 denovembro de 2005.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016**. 220p. Brasília, 2018.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**. Brasília, 31ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 21 jan. 2018.

CÂNDIDO, G. A.; LIRA, W. S. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. 325p. Campina Grande: EDUEPB, 2013.

CARVALHO, N. L.; HENTZ, P.; SILVA, J. M.; BARCELLOS, A. L. **Reutilização de águas residuárias**. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas – UFSM. Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 3164 – 3171, 2014.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. 36p. São Paulo: CETESB, 1988.

CHEIS, D. Novas tecnologias no tratamento de água e efluentes. **Revista TAE: especializada em tratamento de água e efluentes**, São Paulo, 08 ago. 2014.

Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/8001-noticias>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

COSTA, A. F. S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama**. 100p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

COSTA, H.N. **Caracterização de areias de britagem de pedreiras da região metropolitana de Fortaleza e avaliação da sua aplicação no concreto**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil. Fortaleza, 2015.

FIGUEIREDO, A.; COSTA, V.; PEDROZA, T.; SOUZA, L.; SILVA, D. **Considerações sobre a água como agente causador das manifestações patológicas em estruturas de concreto**.I Seminário de patologia e recuperação estrutural - SEMIPAR, Recife, 2016.

GEHLING, G. **Tratamento de água e esgoto: lagoas de estabilização**.2017. Disponível em:<http://avasan.com.br/pdf/cap9_lagoas_estabiliz.pdf>. Acesso em: 01 de mar. 2018.

GHRAIR, A.M.; AL-MASHAQBEH, O. A.; SARIREH, M. K.;Nedal AL-KOUZ, N.; FARFOURA, M.; MEGDAL, S. B.; **Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes**. Ain Shams Engineering Journal, 2016.

GLEICK, P. H. **The world's water**. Report on Freshwater Resources. Island Press. 315p. 2000.

GONÇALVES, R. F. (coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB; FINEP, 2003.

GUARDADO, A. P. **Evaluación de La implementación de água tratada em La**

elaboración de concretos em el municipio de aguascalientes. 140p. Dissertação (Mestrado)-UniversidadAutonoma de Aguascalientes, Aguascalientes, 2015.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo, PINI, 1992.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos.** Bahia Análise & Dados. Salvador, vol. 13, n. Especial, p.411-437, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008.** 2010.Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 20 de fev. 2018.

JACQUES, J. R. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland.** 63p. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.**Tratamento de esgotos domésticos.**932p. 4ªEdição, ABES, Rio de Janeiro, 2005.

KAPDAN, I. K.; ALPARSLAN, S. **Application of anaerobic–aerobic sequential treatment system to real textile wastewater for colorand COD removal.** Enzyme and Microbial Technology, 36, p.273–279, 2005.

LEE, O. S.; ISMAIL, M.; SALIM, M. R. **Reusing treated effluent in concrete technology.**JurnalTeknologi, v 34, 2001.

LIMA, D.; ZULANAS, C. **Use of Contaminated Sludge in Concrete.** Procedia Engineering, Volume 145, Issue undefined, 2016.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo.**46p. 1ed. Planaltina:

Embrapa Cerrados, 2001.

MANCUSO, C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.); **Reúso de água**. São Paulo: NISAM-USP, 2003.

MAHASNEH, B. Z. **Assessment of Replacing Wastewater and Treated Water with Tap Water in Making Concrete Mix**. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, v 19, 2014.

MATOS, J. C. **Tratamento de esgotosanitário**. 149p. Manaus: [s.n.], 2010.

MENESES, M.; PASQUALINO, J.C.; CASTELLS, F. **Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications**. Chemosphere. vol.81, p.266-272, 2010.

METCALF, A.; EDDY, M. S., **Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse**. 1815p. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book, 2003.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 674p. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**, II Edição, São Paulo, Pini, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2ª Edição. Tradução Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre: Bookman, 2012.

NORMA TÉCNICA SABESP. **Projeto de lagoas de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto sanitário: NTS 230**. 35p. São Paulo, 2009.

NORUZMAN, A.H.; MUHAMMAD, B.; ISMAIL, M.; ABDUL-MAJID, Z. **Characteristics of treated effluents and their potential applications for producing concrete**. Journal of environmental management, v 110, p 27-32, 2012

NUVOLARI, Ariovaldo (coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e**

reúso agrícola.520p. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário.** 2004. 293p. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PEREIRA, M. F. **Estudo sobre os tipos de cimentos comercializados em Campo Mourão.** 60p. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

PESSARELLO, R. G. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores.** Monografia de MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Universidade de São Paulo, 2008.

RAMIRES, O. P.; QUADRO, M. S.; ANTUNES, R. M.; KOETZ, P. R. **Influência da recirculação e da alcalinidade no desempenho de um reator UASB no tratamento de efluente de suinocultura.** Revista Brasileira de Agrociência, v.10, n.1, p.103-110, 2004.

RODRIGUES, PÚBLIO PENNA FIRME. **Apostila ET-67 – Parâmetros de dosagem de concreto.** ABCP, 2^a Edição, São Paulo, 1995.

ROGERS, P. P. et al. (Ed.) **Watercrisis: mythorreality?**.London: Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis. 331p. 2006.

SANTIAGO, W. C. **Estudo da (não-)conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural.** 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SAUCEDO, D.; SAMMIS, T.W.; PICCHIONI; MEXAL, J.G. **Wastewater application and water use of LarreaTridentata.** AgriculturalWater Management, Amsterdam, p. 1-11, 2005.

SILVA, J. L. M. **Utilização de esgoto tratado em sistemas de lagoas de estabilização como água de amassamento e cura de concreto.** 2008. 142p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SILVA, L. D. C. **Avaliação da qualidade final de efluentes de lagoas de estabilização com vistas ao reuso urbano.** 2012. 61p. Dissertação (Mestrado em engenharia sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

SILVA FILHO, P. A. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização.** 2007. 142p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SOARES, M. L. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de tratamento de esgoto para um campus universitário.** 105p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGAL, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente,** Epgraf, Campina Grande, 240 p. 1994.

VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F. **Lagoas aeradas como opção de pós tratamento de efluentes de reatores UASB.** 2006. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/G3.PDF>>. Acesso em: 21 de fev. 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais. 243p. 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 452p. Vol. 1, 3ª Edição. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. **Reúso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v15, 119p. 2010.

ZAHNER FILHO, E. **Água de reúso: estudo para fornecimento como água de amassamento.** 99p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.