



FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JAMILE CAMPOS

THAMIRES DOS SANTOS AQUINO NEVES

WANDERSON DE OLIVEIRA MENDONÇA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE PERDA DE FATURAMENTO NO SISTEMA DA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM ARACRUZ – ES, VISANDO O REUSO DA
ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS**

ARACRUZ

2019

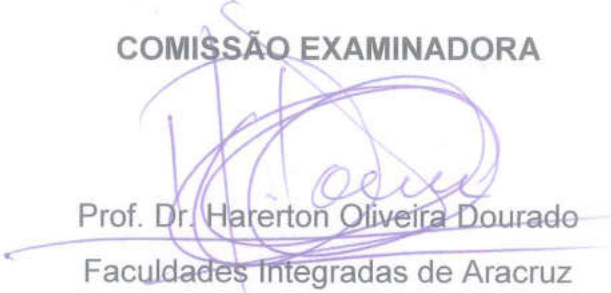
JAMILE CAMPOS
THAMIRES DOS SANTOS AQUINO NEVES
WANDERSON DE OLIVEIRA MENDONÇA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE PERDA DE FATURAMENTO NO SISTEMA DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA EM ARACRUZ – ES, VISANDO O REUSO DA ÁGUA
DE LAVAGEM DE FILTROS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
coordenadoria do curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz, como requi-
sito parcial para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Aprovado em 17 de dezembro de 2019

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Harerton Oliveira Dourado
Faculdades Integradas de Aracruz

Orientador



Prof. Esp. Evandro José Pinto de Abreu
Faculdades Integradas de Aracruz

Examinador interno

Prof.
Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaríamos de agradecer a Deus, pois sem ele concluir este trabalho não seria possível.

Agradecemos também a nossos pais e familiares por nos incentivar durante essa jornada que acabamos de concluir. O nosso muito obrigado! Aos nossos amigos e companheiros por tudo.

Ao Professor Elias Antônio, pelo incentivo e comprometimento com nosso grupo, sempre nos apoiando em nossas dúvidas e nos auxiliando na elaboração do projeto.

Ao SAAE e sua equipe de funcionários, pelo fornecimento dos dados e informações essenciais para a conclusão e resultado do estudo, em especial ao diretor Elias Marochio pelo apoio e disponibilização dos dados.

E por fim agradecemos a cada componente do grupo, pois seus esforços individuais e conjunto e comprometimento fizeram possível a conclusão deste trabalho.

A água de boa qualidade é como a
saúde ou a liberdade: só tem valor
quando acaba.
- Guimarães Rosa

RESUMO

É de conhecimento geral, que a falta de acesso à água potável tende a ser cada vez mais frequente devido ao uso irracional. A tendência, é que com o passar dos anos fique mais difícil captar e tratar esse recurso.

Tendo como parâmetro essa situação, é válido relatar que a menor ação feita para tentar reverter esse quadro de desperdício inconsequente é válida e de grande interesse social e ambiental. Pode-se citar como exemplo de medidas anti desperdício, a economia de água utilizada no cotidiano da população, a até casos mais complexos, como o desenvolvimento de métodos mais sustentáveis para captação e utilização da água numa estação de tratamento.

Logo pensando em meios de ajudar minimizar os impactos ambientais que ocorrem num processo de tratamento de água, este trabalho tem como proposta o desenvolvimento de um projeto de melhoria e reutilização de água, com ênfase nas perdas de cargas do sistema de lavagem de filtros, num sistema de tratamento de uma ETA (Estação de Tratamento de Água).

O estudo é focado na Estação Sede de Aracruz e tem como proposta a recirculação de água de lavagem de filtro. A ETA de Aracruz possui seis filtros e diariamente eles são lavados intercaladamente, cada filtro comporta 7,49 m³ de água, e durante a lavagem essa água é lançada à rede pluvial da cidade. A média de volume de água de lavagem de filtros desperdiçada diariamente durante o ano de 2018 foi de aproximadamente 358,13 m³. A proposta deste estudo é que esta água seja reservada e que posteriormente retorne ao início do tratamento de forma efetiva.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma esquematizado do tratamento convencional	18
Figura 2 - Foto aérea SAAE Aracruz - ES	18
Figura 3 - Calha Parshall.....	19
Figura 4 – Floculadores.....	20
Figura 5 - Decantadores.....	21
Figura 6 - Esquema Filtro Rápido.....	22
Figura 7 - Filtro	23
Figura 8 - Gráfico de Volume médio de lavagem de filtro x toneladas de celulose	32
Figura 9 - Gráfico de Volume médio de lavagem de filtro x Dias funcionamento da Imetame	33
Figura 10 - Gráfico de Volume médio de lavagem de filtro x Número de pessoas abastecidas	34
Figura 11 - Fluxograma geral do tratamento de água – ETA 3 Capim Fino.	38
Figura 12 - Esquema de funcionamento do sistema de reaproveitamento de água e desaguamento do lodo.	42
Figura 13 - Fluxograma Funcionamento da ETA após implantação da recirculação.	44
Figura 14 - Pressão Hidrostática no tanque do reservatório, vista lateral.	105
Figura 15 - Pressão Hidrostática no tanque do reservatório, vista superior. ...	105
Figura 16 - Cargas atuantes no fundo do reservatório	106
Figura 17 - Ligação entre as placas	107
Figura 18 - Identificação das placas.....	108
Figura 19 - Paredes 1 e 3.....	108
Figura 20 - Representação das cargas da pressão hidrostática.	109
Figura 21 - Áreas de influência.....	110
Figura 22 - Diagrama do momento $M'x$ e Mx	112
Figura 23 - representação dos diagramas de momentos fletores encontrados na parede 1 e 3.	112
Figura 24 - Paredes 2 e 4.....	113
Figura 25 - Áreas de influência.....	113
Figura 26 - Diagrama dos momentos fletores	115
Figura 27 - Placa de fundo	116
Figura 28 - Diagrama dos momentos fletores	118
Figura 29 - Momentos fletores entre as paredes não compatibilizado	119
Figura 30 - Momentos fletores entre as paredes compatibilizados	120
Figura 31 - Momentos fletores do fundo e paredes 1 e 3 não compatibilizados	120
Figura 32 - Momentos fletores do fundo e paredes 1 e 3 ccompatibilizados..	121
Figura 33 - Momentos fletores não compatibilizados	122
Figura 34 - Esforços de tração placas 1, 3 e fundo.	122
Figura 35 - Esforços de tração placas 2, 4 e fundo	123
Figura 36 - Representação das forças normais de tração.....	124

Figura 37 - Curva característica	149
Figura 38 - Vazão X Altura Manométrica	150
Figura 39 - Gráfico de NPSH x Potência (hp).....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Total de domicílios urbanos, por abastecimento de água	25
Tabela 2 - Municípios em 2016, estado de abastecimento de água.	26
Tabela 3 - Dimensionamento volume de lavagem de filtros	30
Tabela 4 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros no ano de 2018.	31
Tabela 5 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros em 2018 x Quantidade de celulose	32
Tabela 6 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros x Dias de funcionamento da Terminal Industrial Imetame.....	33
Tabela 7 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros x Número de pessoas abastecidas por dia.	34
Tabela 8 - Parâmetros analisados das amostras de água	39
Tabela 9 - Retorno avaliado em quantidade de produção e faturamento.....	46
Tabela 10 - Classe de Agressividade.....	103
Tabela 11 - Classe de Agressividade X Cobrimento Nominal.	103
Tabela 12 - Valores de momentos fletores não compatibilizados.	118
Tabela 13 - Tabela Área de aço dos elementos do reservatório	133
Tabela 14 - Área da seção transversal de barras longitudinais por metro de laje (cm ² /m).....	135
Tabela 15 - Resumo das Armaduras em Y (horizontal)	135
Tabela 16 - Resumo das Armaduras em X (Vertical).	135
Tabela 17 - Número de barras parede 1 e 3.	136
Tabela 18 - Número de barras paredes 2 e 4.....	136
Tabela 19 - Número de barras paredes fundo.....	136
Tabela 20 - Relação de Massa Linear e diâmetro de barra de aço CA-50.....	136
Tabela 21 - Peso das barras em My.	137
Tabela 22 - Peso das barras em Mx.....	137
Tabela 23 - Diâmetro de tubo em ferro fundido.....	138
Tabela 24 - Valor de K (perda de carga), trecho A.....	139
Tabela 25 - Dados trecho A.....	140
Tabela 26 - Vazão esperada para o tanque	140
Tabela 27 - Vazão mês de Janeiro.....	143
Tabela 28 - Cálculo da média mensal de vazão da ETA-Aracruz sede, em 2018	144
Tabela 29 - Dados para os trechos B e C.	146
Tabela 30 - Dados trecho B.....	147
Tabela 31 - Valor de K, trecho B	147
Tabela 32 - Dados trecho C	147
Tabela 33 - Valores de K, trecho C	147

Tabela 34 - Levantamento de dados referente ao mês de Janeiro**Erro!**
Indicador não definido.

Tabela 35 - Levantamento de dados referente ao mês de Fevereiro**Erro!**
Indicador não definido.

Tabela 36 - Levantamento de dados referente ao mês de março**Erro!**
Indicador não definido.

Tabela 37 - Levantamento de dados referente ao mês de abril**Erro! Indicador**
não definido.

Tabela 38 - Levantamento de dados referente ao mês de maio**Erro! Indicador**
não definido.

Tabela 39 - Levantamento de dados referente ao mês de junho**Erro! Indicador**
não definido.

Tabela 40 - Levantamento de dados referente ao mês de julho**Erro! Indicador**
não definido.

Tabela 41 - Levantamento de dados referente ao mês de agosto**Erro!**
Indicador não definido.

Tabela 42 - Levantamento de dados referente ao mês de setembro**Erro!**
Indicador não definido.

Tabela 43 - Levantamento de dados referente ao mês de outubro**Erro!**
Indicador não definido.

Tabela 44 - Levantamento de dados referente ao mês de novembro**Erro!**
Indicador não definido.

Tabela 45 - Levantamento de dados referente ao mês de dezembro**Erro!**
Indicador não definido.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
3.1 GERAL.....	12
3.2 ESPECIFICO	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 SANEAMENTO.....	16
3.3 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	17
3.3.1 MISTURADORES HIDRAULICOS.....	18
3.3.2 FLOCULAÇÃO	20
3.3.3 DECANTAÇÃO	21
3.3.4 FILTROS.....	22
3.3.5 DESINFECÇÃO	23
3.3.6 FLUORETAÇÃO	24
3.3.7 CORREÇÃO DE pH.....	24
4. O MUNÍCIPIO DE ARACRUZ.....	25
4.1 ETA SEDE DE ARACRUZ – SAAE	25
4.2 CRISE HÍDRICA NA CIDADE DE ARACRUZ	26
5. PERDAS DE ÁGUA.....	28
6. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	30
7. RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS	36
8. ESTUDOS DE CASO	38
9. ETAPAS DO ESTUDO	44
9.1 PROJETO DE PRÉ-TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA PROPOSTO	44
9.2 ORÇAMENTO E RETORNO FINANCEIRO	45
10. CONCLUSÃO.....	47
11. REFERENCIAS.....	49
APENDICE A – CALCULO DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO, ARMADURA E ORÇAMENTO	
APENDICE B – TABELA DE COMPOSIÇÃO E CUSTO, COM VALOR TOTAL.	
APENDICE C – PLANTA DE SOBREPOSIÇÃO	
APENDICE D - FLUXOGRAMA	
ANEXO 1 – TABELAS DE LEVANTAMENTOS DE DADOS	
ANEXO 2 – TABELA DE TARIFAS SAAE 2019	

ANEXO 3 – TABELA DE KS E KC

ANEXO 4 – GRÁFICOS BOMBA MEGACPK

ANEXO 5 – CARTA DE AUTORIZAÇÃO – SAAE

1. INTRODUÇÃO

A prática e o manuseio do transporte e distribuição da água se estendem desde os tempos antigos. Aproximadamente por volta de 5000 a 4000 a.C, os povos já viam o saneamento¹ como uma prática primordial para sua sobrevivência (Portal Saneamento Básico, 2017). A água era utilizada basicamente para subsistência, seja ela voltada para as áreas de agricultura, usos na pecuária e ou consumo próprio.

Com a evolução de técnicas e materiais, meios mais eficientes de transporte e tratamento de água foram aprimorados. A criação de adutoras, reservatórios e redes de distribuição facilitaram o avanço do atual cenário que conhecemos hoje como “saneamento básico”.(Portal Saneamento Básico, 2017)

Apesar dos grandes avanços presenciados ao longo dos anos no ramo da Engenharia Sanitária, é possível notar grande preocupação em relação à porcentagem de perdas de água ao longo do processo de tratamento e distribuição de água na Estação de Tratamento de água, porém, é fato que a omissão e a falta de recursos suficientes foram os principais responsáveis pela pouca aplicação de meios que fossem capazes de melhorar os índices de perda e redução dos mesmos.

No Brasil, segundo o instituto Trata Brasil (2013), especificamente na região sudeste, 34,73% da água tratada é perdida ao longo do processo de tratamento e distribuição. Este elevado índice demonstra o quanto é importante analisar e propor soluções que auxiliem na redução dessas perdas e até mesmo o reuso da água que é considerada perdida. Mas o que seriam essas perdas de processo?

Segundo a International Water Association (IWA), citada por Heller e De Pádua (2006), as perdas podem ser conceituadas e definidas como, “toda perda real ou aparente de água ou todo o consumo não autorizado que determina aumento do custo de faturamento ou que impeça a realização plena da receita operacional”, e são indicadas e contabilizadas por um balanço hídrico de entrada e saída.

Este projeto de pesquisa baseia-se na questão das perdas de água no processo de tratamento, especificamente na etapa de lavagem de filtros, onde ocorre o maior

¹ De acordo com a Lei nº 11.445/07, Art. 3º, Inciso I, saneamento é um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

índice de perdas hídricas. Em que pese esta água ser considerada de perda, pode ainda ser de consumo operacional da estação de tratamento.

A problemática deste tema tem como fundamento o acentuado crescimento populacional que acarreta a disponibilidade de recursos naturais necessários à sobrevivência humana, tornando realidade a escassez dos mesmos, exigindo a reformulação dos métodos de aproveitamento destes recursos.

Como a quantidade de água consumida na lavagem de filtros é consideravelmente grande e ela é diretamente lançada a rede pluvial da cidade, pode-se destacar que o reaproveitamento, seja ele na recirculação ou em outros consumos desta água subutilizada, é um esforço em amenizar os impactos futuros do desperdício de água.

O propósito deste trabalho é avaliar quantitativamente a perda de faturamento em uma estação de tratamento de água, especificamente a do SAAE de Aracruz/ES, onde será analisada especificamente a perda que ocorre no processo de lavagem de filtros.

A água capitada do manancial ao entrar na ETA passa por um medidor de vazão que mostra a quantidade de água bruta que está entrando na estação de tratamento, esta medida, chamada de macro medido, é dada em litros por segundo (L/s) e será disponibilizado pelo laboratório do SAAE.

O controle de perdas de faturamento numa ETA, independentemente do tamanho da mesma, é indispensável para a gestão ambiental dos centros urbanos.

Ter o desafio de utilizar os meios naturais com ética e responsabilidade, sempre pensando em uma possível escassez é um trabalho complexo e que requer muito preparo e esforço dos profissionais envolvidos, visto que, um processo de tratamento de água eficaz, e com mínima perda de água em suas fases de tratamento, reduz custos sociais, econômicos e ambientais além de diminuir a demanda de matéria prima para sua operação. Por isso, esse trabalho foi realizado com a finalidade de reunir informações para gerar dados que mostrem a quantidade de água perdida ao longo do processo de lavagem de filtros, bem como propor soluções que reduzam o quadro apresentado em questão.

2. OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar a perda de água que ocorre na etapa de lavagem de filtros em uma estação de tratamento de água, as ETA's, avaliando especificamente a ETA de Aracruz-ES, propondo o aproveitamento da água utilizada para este fim.

3.2 ESPECIFICO

- Diagnosticar no município de Aracruz-ES o volume de perda de água no intervalo de um ano a fim de compreender os problemas e as potencialidades para o desenvolvimento futuro do trabalho;
- Comparar os resultados obtidos com parâmetros existentes na literatura.
- Desenvolver diretrizes para propostas de soluções que busquem formas de reuso da água de consumo operacional da ETA.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Desde os primórdios da humanidade a relação entre a água e o homem é de subsistência, primordial para sobrevivência, e segundo Cavinatto (1992), foram desenvolvidas pelas primeiras civilizações, técnicas de captação, condução, armazenamento e utilização do recurso hídrico.

Sabe-se que através da oferta de água e da prática do saneamento básico objetiva-se a conservação da vida com qualidade e do desenvolvimento de soluções para o esgotamento sanitário com sua coleta e tratamento, trazendo benefícios para a manutenção da saúde. O saneamento básico é um direito universal, conforme rege a Constituição brasileira de 1988. (OLIVEIRA, 2005).

No que rege os marcos legais brasileiros acerca do saneamento básico, a Lei 11.445/07 (Brasil,2007), no Art. 2º, diz que:

Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

I - universalização do acesso;

II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;

III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;

IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;

V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;

VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;

VII - eficiência e sustentabilidade econômica;

VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;

IX - transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;

X - controle social;

XI - segurança, qualidade e regularidade;

XII - integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

No decorrer das últimas décadas, o acentuado processo de urbanização no Brasil trouxe desafios acerca da estruturação sanitária, bem como distribuição, preservação, manutenção e tratamento de água e esgoto. Com isso, houve a necessidade de implantação de Serviços prestados por empresas de tratamento e distribuição de água, constituídos a priori por trabalhadores individuais que, em geral prestavam basicamente serviços de entrega de água. Atualmente os serviços de saneamento são prestados por grandes empresas (OLIVEIRA, 2005).

O Artigo 3º da Lei Federal de Saneamento Básico aborda o termo como:

Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - saneamento básico: conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de:

a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

Apesar dos avanços da tecnologia de tratamento sanitário, ainda existe uma quantidade considerável de perdas no processo de tratamento e distribuição de água no Brasil. As perdas de água física que acontecem dentro das ETA's, apesar de em termos percentuais serem consideradas pequenas, quando se fala em quantidade de vazão são um valor expressivo. Entretanto, de acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o ano de 2015 o índice de perdas no processo de tratamento e de distribuição para os prestadores de serviços de abrangência regional, ou seja, as companhias estaduais de saneamento foi de 36,7% (TRATA BRASIL, 2017).

Conforme Internacional Water Association (2008), perda de água é “toda perda real ou aparente ou todo o consumo não autorizado que determina aumento do custo de

funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional”. Divide-se em perdas reais (físicas) e perdas aparentes (Comerciais) de água, as perdas físicas correspondem ao volume que não chega ao consumidor. Ela é proveniente de vazamentos e rompimentos (superficiais ou subterrâneos) em redes e ramais ou, ainda, de vazamentos (IWA, 2008).

As perdas podem ocorrer em diferentes cenários, ou seja, em quaisquer das etapas de um sistema de abastecimento de água, sendo elas a adução de água bruta, estação de tratamento de água (ETA), reservatórios, adutoras de água tratada e redes de distribuição. (COELHO, 1983).

Segundo Tardelli Filho (2004), as perdas físicas resultam de vazamentos no sistema como um todo que provocam consumos superiores ao estritamente necessário. Contudo,

“A complexidade de um abastecimento d’água é alta em termos de possibilidade de perda de rendimento e faturamento, reduzir as perdas a zero seria supostamente impossível e demasiadamente dispendioso” (STEPHENS,2002)

As perdas de água não se baseiam apenas em questões econômicas e problemas técnicos, mas se ampliam em quesitos de múltiplas esferas, assim como traduz a European Commission (2015)

Políticos: envolvem questões relativas às entidades responsáveis pelos serviços, agências de governo, linhas de financiamento para o setor e a mídia;

Econômicos: envolvem os custos dos volumes perdidos e não faturados, os custos operacionais (energia elétrica, produtos químicos no processo de potabilização da água etc.) e os investimentos para as ações de redução ou manutenção das perdas, importantes para a sustentabilidade das empresas;

Sociais: envolvem o uso racional da água, o pagamento ou não pelos serviços, as questões de saúde pública e a imagem das operadoras perante a população;

Tecnológicos: envolvem as interações entre o conhecimento técnico e as tecnologias, ferramentas e metodologias disponíveis para as atividades típicas do combate às perdas (a "arte do possível");

Legais: envolvem a legislação para o setor, licenças e a respectiva regulação;

Ambientais: envolvem a utilização e gestão de recursos hídricos e energéticos e impactos das obras de saneamento (Apud, ABES, 2015, p. 7).

Segundo European Commission (2015), verifica-se que, com o passar dos anos, tem sido sugerido o indicador "volume anual perdido" em um sistema de definição de metas nos programas de redução de perdas.

O processo de tratamento de água constantemente gera algum tipo de resíduo, entre eles, estão a água de lavagem dos filtros e do lodo dos decantadores. Consequentemente perde-se muita água durante este processo. Para que haja redução dos impactos ambientais, muitas estações de tratamento de água buscam meios de reutilizar a água de lavagem de filtros de alguma forma, por isso, algumas estações retornam com essa água para o início do procedimento, à entrada da ETA. Cornwell e Lee (1993) e Kawamura (2000) recomendam que a vazão de recirculação de água se mantenha-se abaixo de 10% da vazão da ETA. Entretanto, USEPA (2002), aconselha que a porcentagem, de água proveniente da lavagem de filtros a ser recirculada, seja pré-determinada para todas as ETA, a fim de minimizar ao máximo impactos na qualidade da água.

3.1 SANEAMENTO

O saneamento pode ser definido como o processo de captação, tratamento e distribuição de água potável para uma população, além da coleta de esgoto e destinação adequada para o lixo, abrange importância para a saúde humana e meio ambiente, evitando doenças que podem ser prejudiciais à saúde e colaborando para preservação do meio ambiente. Os sistemas de saneamento começaram a ser desenvolvidos com o avanço das civilizações e aprimorados com progresso da tecnologia e informação.

No Brasil, apesar de diversos avanços diante da realidade de localidades com baixo índice de infraestrutura de qualidade. O saneamento sofre com a omissão do estado em promover melhorias, resultando na falta de saneamento adequado e essencial para manutenção da vida humana, como a água tratada e própria para consumo. De acordo com o SNIS (2017), 93% dos brasileiros são atendidos com o abastecimento de água, resultando em cerca de 14 milhões de habitantes que não recebem este recurso.

O tratamento da água para consumo é essencial para a que se mantenha a mínima salubridade, visto que naturalmente a água possui impurezas de ordem física, química ou biológica. Portanto, a água a ser distribuída às moradias deve seguir um padrão mínimo de qualidade para o consumo humano. Segundo Viana (2009), "entende-se por água potável aquela que pode ser bebida sem causar danos à saúde ou objeções de caráter organoléptico. Por extensão, aquela que pode ser empregada no preparo

de alimentos”. Esse tratamento deve ser realizado pelas concessionárias de abastecimento nas Estações de Tratamento de Água - ETA, e para isso elas devem seguir um padrão de potabilidade da água. Segundo a FUNASA (2007), a água é considerada potável para consumo humano quando os níveis microbiológicos, físicos e químicos atendem o padrão de potabilidade a seguir:

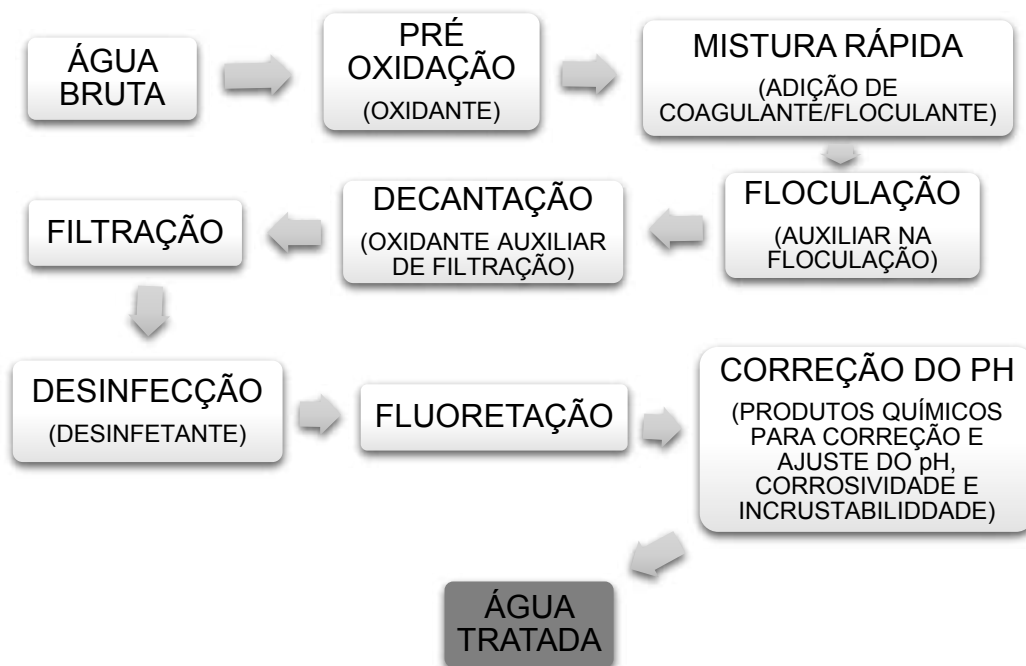
- De aceitação para consumo humano: não possuir gosto e odor objetáveis; não conter cor e turbidez acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade conforme portaria nº1.469/2000;
- Química: não conter substâncias nocivas ou tóxicas acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade;
- Biológica: não conter microrganismos patogênicos;
- Radioativa: não ultrapassar o valor de referência previsto na portaria nº1.469, do Ministério da Saúde, de 29 de dezembro de 2000;
- Segundo recomendações da Portaria nº1.469/2000 do MS, o pH deverá ficar situado no intervalo de 6,0 a 9,5 e a concentração mínima de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição, deverá ser 0,2 mg/l.

O tratamento da água nada mais é que a melhoria das características de uma água retirada na forma bruta da natureza. É realizado na ETA de cada município, onde o processo acontece de acordo com a qualidade da água que vem da captação. Em Aracruz – ES, de acordo com o Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), o processo é feito de forma convencional, ou seja, composto por uma calha parshall, floculador, decantador e filtros.

3.3 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O modelo de ETA mais comum é o que é encontrado no Município de Aracruz (SAAE). Classificado como o modelo convencional, sua estrutura consiste de misturadores rápidos, floculadores, decantadores, filtros e tanque de contato (onde a desinfecção é assegurada). A figura 1 e a figura 2 mostram como funciona este modelo de ETA e uma vista aérea da ETA de Aracruz, respectivamente.

Figura 1 - Fluxograma esquematizado do tratamento convencional



Fonte: VIANA (2009), modificado pelos autores (2019).

Figura 2 - Foto aérea SAAE Aracruz - ES



Fonte: SAAE (2016).

3.3.1 MISTURADORES HIDRAULICOS

Esta etapa do processo, segundo a NBR 12.216/1992 (ABNT, 1992), no item 5.8.1, diz respeito a operação destinada a dispersar produtos químicos na água a ser tratada, em particular no processo de coagulação:

Constituem dispositivos de mistura:

- a) qualquer trecho ou seção de canal ou de canalização que produza perda de carga compatível com as condições desejadas, em termos de gradiente de velocidade e tempo de mistura;
- b) difusores que produzam jatos da solução de coagulante, aplicados no interior da água a ser tratada;
- c) agitadores mecanizados;
- d) entrada de bombas centrífugas. (NBR 12.216/1992, p.05)

Os misturadores hidráulicos são encontrados em diversos tipos, podendo variar de acordo com as necessidades que a ETA precisa. De acordo com a NBR 12.216/1992 (ABNT, 1992), item 5.8.4:

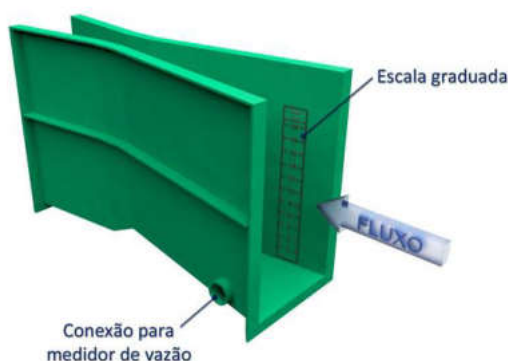
Podem ser utilizados como dispositivo hidráulico de mistura:

- a) qualquer singularidade onde ocorra turbulência intensa;
- b) canal ou canalização com anteparos ou chicanas;
- c) ressalto hidráulico;

No Brasil, segundo a FUNASA (2006) os tipos mais frequentes de misturadores hidráulicos são: o medidor Parshall, ou popularmente conhecido como calha Parshall, e a queda d'água originária de vertedouros.

Em pesquisa de campo realizada na ETA de Aracruz-ES, constatou-se que é feita utilização da calha Parshall como misturador rápido do coagulante de sulfato de alumínio.

Figura 3 - Calha Parshall



Fonte: Alfamec (2018).

Segundo Marcos Rocha Vianna (2009), as calhas Parshall podem ser definidas hidráulicamente como

Um medidor de vazão de regime crítico (...). (Ao se fazer com que o regime de escoamento passe do regime subcrítico para o crítico, é possível estabelecer uma relação matemática entre a altura da lâmina d'água a montante da seção em que o regime é crítico e a vazão que está escoando).

Ou seja, possui a função de medidor de vazão e de mistura rápida de coagulantes, quando convenientemente utilizado.

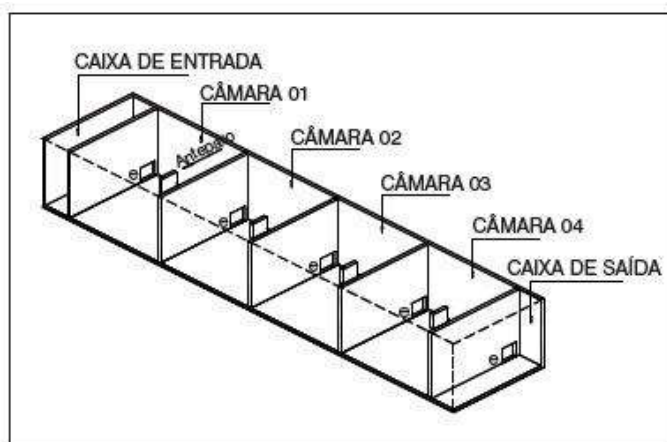
3.3.2 FLOCULAÇÃO

Uma vez desestabilizadas as partículas coloidais na fase de tratamento denominada coagulação, pode-se, em seguida, tratar de reuni-las umas às outras, formando os denominados *flocos*.

Segundo a NBR 12.216/1992 (ABNT, 1992), floculadores são unidades utilizadas para promover a agregação de partículas formadas na mistura rápida, ou seja, têm a função de aglutinar as partículas suspensas na água, logo após serem coaguladas, trabalhando em conjunto com o misturador rápido.

Deve-se manter a água em agitação durante certo tempo, de forma que as partículas desestabilizem e se choquem entre si. A ETA de Aracruz utiliza a turbulência gerada pela garganta da calha Parshall e pequenos tubos de ar que auxiliam no choque entre as partículas sólidas. Geralmente são tanques a céu aberto, de forma geométrica quadrada ou retangular, o que geralmente auxilia para que ocorra perdas por evaporação ou por coagulação indevida de material, mas nota-se a importância de manter a superfície livre e exposta para que facilite o exame do processo, de acordo com a NBR 12.216/1992. Sua principal função é auxiliar no processo de floculação das impurezas.

Figura 4 – Floculadores



Fonte: Cestari et al (2012).

3.3.3 DECANTAÇÃO

Após a o processo de floculação, espera-se que toda a matéria em suspensão existente na água bruta esteja aglutinada em formato de flocos de peso e tamanho suficiente para decantarem.

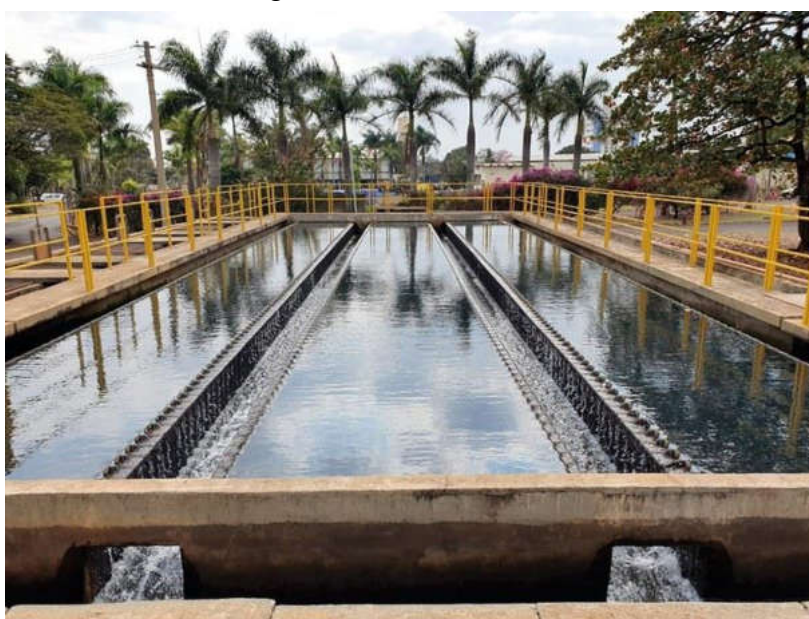
Conforme a NBR 12.216/1992 (ABNT,1992), pode-se definir água decantada como aquela que se purificou através de separação, por gravidade, das partículas sólidas trazidas consigo. Essas partículas se sedimentam por ação da gravidade na parte inferior do decantador.

Os decantadores mais utilizados no Brasil são os decantadores clássicos e os tubulares. Os decantadores utilizados na ETA de Aracruz são do tipo clássico de seção retangular.

De modo geral, imediatamente após ser admitida a sedimentação das impurezas na parte inferior do decantador, a água floculada é distribuída em toda sua seção transversal através de uma cortina distribuidora. Em seguida, ela percorre a extensão do decantador com velocidade muito baixa, até atingir a zona de saída. Nesse local a água decantada é recolhida, através de calhas, mais comum no Brasil, ou tubos perfurados.

É importante ressaltar que nesta etapa do processo de tratamento da água também apresenta perda de vazão.

Figura 5 - Decantadores



Fonte: Prefeitura Municipal de Araraquara (2019).

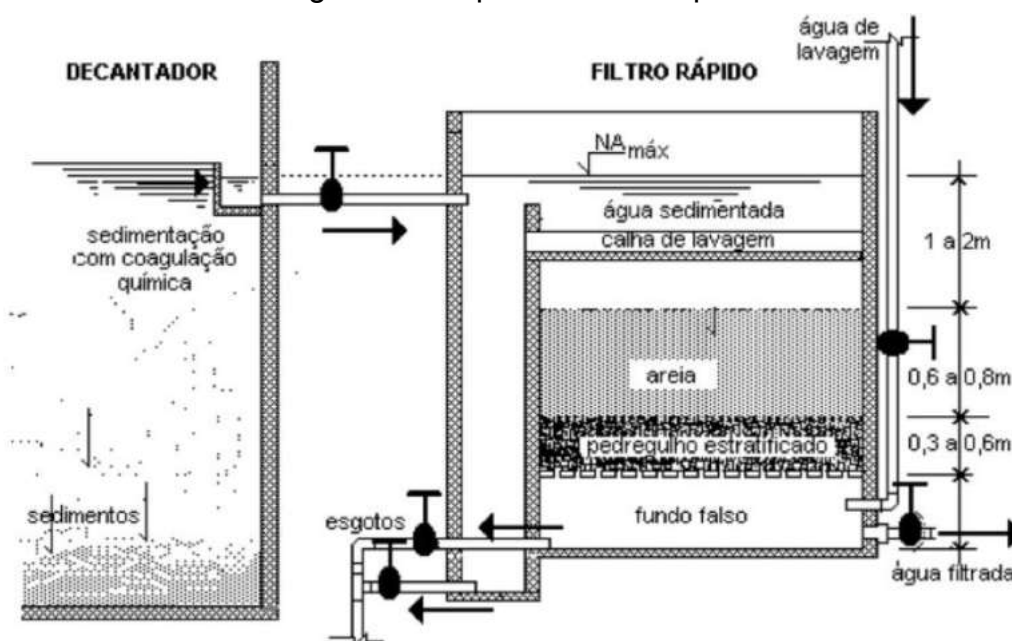
3.3.4 FILTROS

Depois de decantada, a água em tratamento é encaminhada aos filtros. A filtração, numa estação de tratamento clássica, remove as partículas em suspensão que não foram retidas na decantação. Juntamente com essas partículas, a filtração remove também os microrganismos que estiverem presentes.

Os filtros são classificados em dois tipos: os filtros lentos e os filtros rápidos. Os filtros lentos são considerados predominantemente para fins de retenção biológica, já os filtros rápidos são de caracteres predominantemente físicos, químicos e físico-químicos.

No caso da ETA de Aracruz, existem seis filtros em funcionamento: dois deles autolaváveis e quatro comuns. Geralmente, as lavagens de filtro são realizadas de maneira ordinária, todos os dias, podendo intercalá-los.

Figura 6 - Esquema Filtro Rápido



Fonte: BioProject (2018).

Figura 7 - Filtro



Fonte: DAE Jundiaí (2011).

3.3.5 DESINFECÇÃO

Após o processo de filtragem da água, ocorre a etapa de desinfecção, ou seja, de acordo com a revista DAE (1971), reduzir o nível de microrganismos a um nível aceitável, dentro de parâmetros regulamentada por órgãos governamentais ou institucionais é essencial para a adequada desinfecção da água, de maneira que o consumo da água tratada seja seguro para a saúde, evitando qualquer tipo de doença ou danos.

O processo de desinfecção da água tem diversos métodos. Os químicos baseiam-se em cloração, dióxido de cloro e ozônio. Já os físicos, na radiação ultravioleta e a filtração por membranas. Apesar dos diversos meios disponíveis, os mais utilizados são ozonização, dosagem de hipoclorito, cloração e lâmpada de ultravioleta, sendo a cloração uma das mais antigas técnicas de desinfecção o que trouxe resultados significativos na redução de doenças e mortalidade, sendo a mais simples técnica, pois são adicionados à água cloro em gás, sódio ou hipoclorito de cálcio e a utilizada na ETA de Aracruz. A quantidade adicionada à água varia de acordo com a necessidade do nível de desinfecção, mantendo as substâncias em reação por determinado tempo, mantendo em constante observância o índice de PH.

3.3.6 FLUORETAÇÃO

O processo de fluoretação tornou-se importante após 22ª Assembleia da Organização Mundial da Saúde, 1969 em Boston, cujo evento foi propulsor da Lei Federal nº 6.050, de 24 de maio de 1974, que Dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento quando existir estação de tratamento, tornando-se uma exigência do Ministério da Saúde.

Aliado ao importante processo de desinfecção, a etapa de fluoretação baseia-se na adição de componentes químicos a base Flúor na água com a finalidade de reduzir a incidência de cáries dentárias e consequentemente auxiliar na economia pública, conforme a Lei nº 6.050/1974, que diz:

Parágrafo único: A regulamentação, de que trata este artigo, disciplinará a aplicação de fluoretação, tendo em vista, entre outras condições específicas, o teor natural de flúor já existente e a necessária viabilidade econômico-financeira da medida.

Os compostos mais utilizados são fluossilicato de sódio (sal sólido) e o ácido fluossilícico (solução líquida).

3.3.7 CORREÇÃO DE pH

Por fim, a etapa de correção de pH finaliza todo o processo de tratamento da água, verificando e corrigindo caso necessário, até mesmo para preservar a rede de encanamentos de distribuição.

É imprescindível que o nível de pH da água esteja por volta de 6 a 9,5, conforme o Art. 39 da Portaria 2.914/11. Caso a água não constar dentro dos parâmetros de normalidade recomendada, é preciso acrescentar em sua composição Cal hidratada ou hidróxido de cálcio (CESAN, 2013).

4. O MUNICÍPIO DE ARACRUZ

O município de Aracruz – ES está localizado no norte do estado do Espírito Santo, com cerca de 101.220 habitantes (IBGE, 2019). É constituído por cinco distritos: Sede, Santa Cruz, Guaraná, Jacupemba e Riacho.

No âmbito econômico, destaca-se nos setores industrial, portuário, naval, metalmecânico e agricultura.

4.1 ETA SEDE DE ARACRUZ – SAAE

O SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Aracruz foi criado pela Lei Municipal n.º 10, de 20 de abril de 1967, como uma autarquia Municipal, dispondo de autonomia econômico-financeira e administrativa dentro dos limites traçados na presente Lei. Além disso, dispõe sobre as principais atividades do órgão.

Segundo o Plano de Saneamento de Aracruz (2016), os recursos hídricos do Município são originários dos Rios Piraqueaçu (o maior deles, ocupando cerca de 1% do território do Estado), Piraquê-Mirim, Araraquara, Gimuhuna, Riacho e Comboios.

Esse sistema de captação consiste de uma barragem de elevação de nível em concreto, com vertedor, a partir da qual, é feita a tomada d'água. Em seguida passa por uma caixa de concreto para retenção de areia e segue para o poço de sucção das bombas. Toda água captada é bombeada até a ETA através de três (03) conjuntos motobomba, sendo dois (02) de 250 CV, com capacidade de 504 m³/h cada e um (01) conjunto motobomba de 300 CV, com capacidade de 540 m³/h. A vazão atualmente captada é de cerca de 720 m³/h. A adutora de água bruta se estende da captação à ETA, cobrindo uma extensão de 1.600 metros, com um desnível geométrico igual a 65 m, sendo constituída de uma adutora de 300 mm, e outras duas de 200 mm (SAAE, 2011?).

Tabela 1 - Total de domicílios urbanos, por abastecimento de água

Total	Forma de abastecimento de água		
	Rede geral de distribuição	Poço ou nascente na propriedade	Outra
30.873	28.109	2.183	581

Fonte: IBGE (2010) e SAAE (2018). Elaborado por FSJB (2017).

Após a captação a água é enviada para a Estação de Tratamento de Água da Sede

de Aracruz, que está localizada no Bairro De Carli, onde prossegue com o processo de tratamento supracitado nos capítulos anteriores e são responsáveis por abastecer cerca de 98,63% do território municipal. Já os outros 1,37% dos domicílios que não são atendidos pela rede de abastecimento de água da autarquia, utilizam majoritariamente poços artesianos (PLHIS, 2019).

4.2 CRISE HÍDRICA NA CIDADE DE ARACRUZ

O município de Aracruz enfrentou graves problemas de abastecimento de água advindos de uma crise hídrica que afetou o estado do Espírito Santo e segundo a AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos, em 2016 o Aracruz estava entre os 14 municípios do estado em situação extremamente crítica em relação ao abastecimento de água, como demonstra a tabela 2.

Tabela 2 - Municípios em 2016, estado de abastecimento de água.

MUNICÍPIO	SITUAÇÃO
Ecoporanga	Extremamente Crítico
Barra de São Francisco	Extremamente Crítico
Marilândia	Extremamente Crítico
Alto Rio Novo	Extremamente Crítico
São Mateus	Extremamente Crítico
Rio Bananal	Extremamente Crítico
Sooretama	Extremamente Crítico
Aracruz	Extremamente Crítico
Ibiraçu	Extremamente Crítico
São Roque do Canaã	Extremamente Crítico
Santa Teresa	Extremamente Crítico
Itarana	Extremamente Crítico
Serra	Extremamente Crítico
Guaçuí	Extremamente Crítico

Fonte: AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos (2016).

Em 2016 a Prefeitura Municipal de Aracruz, em decorrência da situação da crise hídrica, emitiu decretos que visavam reduzir os efeitos da escassez com o intuito de estimular o consumo moderado dos recursos que estavam disponíveis no momento, bem como para informar quais localidades sofriam risco de ficar sobre racionamento de água. Em primeiro momento, foi promulgado o Decreto nº31.193 DE 31/05/2016 (Aracruz, 2016), que implanta sistema de racionamento de água e define localidades sob risco de racionamento, nos locais atingidos pelo agravamento da crise hídrica que assola o município de Aracruz. Em seguida, foi instituído o Decreto nº 31.342 DE 01/07/2016 (ARACRUZ, 2016), que:

Aprova, em caráter emergencial, a implantação de tarifa de contenção para fins de motivar a redução do consumo de água em face da situação de grave escassez de recursos hídricos para as localidades em racionamento no município de Aracruz.

Neste período, várias localidades do Município sofreram com dois racionamentos de água, com duração máxima de até 03 (três) dias, praticado do mês de maio/2016 a julho/2016 e do fim de agosto/2016 a outubro/2016.

Durante esse período, houve maior incentivo por parte da gestão no quesito de economia e reutilização de água. Com a grave situação consistente, a população buscou maneiras de estocar e poupar o recurso. Por este motivo, a Prefeitura, juntamente com a comunidade, através de Programas e estímulos, passou a recuperar nascentes e realizar a construção de algumas barragens de contenção, prevendo ações que buscassem dirimir ou reduzir o índice de gravidade das futuras possíveis crises hídricas.

5. PERDAS DE ÁGUA

Ao longo do processo de abastecimento de água, é possível notar a ocorrência de grandes perdas do quantitativo do recurso hídrico, ocasionadas por diversas causas, como: vazamentos de adutoras, lavagem de filtros na ETA, ligações clandestinas de água na rede de distribuição, dentre outros fatores, os quais, interferem diretamente no meio ambiente, no custo de tratamento e para a receita da autarquia.

Essas perdas são divididas, de acordo com a IWA, entre perdas reais e perdas aparentes, levando em conta a origem de cada uma. Conforme o quadro 1:

QUADRO 1 - Balanço Hídrico Segundo A IWA

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados (inclui água exportada)
			Consumos não medidos faturados (estimados)
		Consumos Autorizados Não Faturados	Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)
			Consumos não medidos não faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)
	PERDAS	Perdas Aparentes (Comerciais)	Consumos não autorizados (fraudes)
			Falhas do sistema comercial
			Submedição dos hidrômetros
		Perdas Reais (Físicas)	Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição
			Vazamentos nos ramais prediais
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos

Fonte: IWA (2017).

As perdas reais são as que ocorrem durante o processo de produção até a rede de distribuição, estas impactam no custo de produção e de volume de água captado no manancial.

Já as perdas aparentes são as ocasionadas na rede de distribuição, influenciando negativamente na receita da empresa, visto que a quantidade de água produzida não é a mesma quantidade faturada devido a esse tipo de perda.

Vale salientar, que é inviável extinguir totalmente a perda de recursos hídricos durante o sistema é inviável economicamente e tecnicamente, sendo adotados limites pré-estabelecidos (IWA, 2017):

- Limite econômico: quando o valor para controlar a perda exceder o valor poupado no controle de perdas.
- Limite técnico: volume mínimo estipulado pelas tecnologias das ferramentas, da logística, das matérias etc.

6. METODOLOGIA DE PESQUISA

O propósito deste trabalho é avaliar quantitativamente a perda de faturamento em uma estação de tratamento de água, especificamente a do SAAE de Aracruz/ES, onde será analisada especificamente a perda que ocorre no processo de lavagem de filtros.

A água capitada do manancial ao entrar na ETA passa por um medidor de vazão que mostra a quantidade de água bruta que está entrando na estação de tratamento, esta medida é dada em litros por segundo (L/s). Este parâmetro é o volume macro medido e será disponibilizado pelo laboratório do SAAE, tem grande importância para a análise, com ele será possível quantificar a água que entrou na ETA no período estudado.

O SAAE de Aracruz forneceu os dados de lavagem de filtros e decantadores, informações referentes a vazão bruta em litros por segundo (L/s), o tempo de lavagem de filtros em minutos, a velocidade em que a água entra no filtro no momento de lavagem, bem como suas respectivas plantas, superior, vistas e cortes.

A concessionária (ETA) possui seis filtros, os quais são lavados intercaladamente todos os dias.

Para cálculo do volume de lavagem de filtro, obteve-se a vazão utilizando à fórmula $Q = A \cdot v$, onde A é a área da seção transversal do filtro em m^2 e v é a velocidade da água em m/min.

Para obter a quantidade de água em m^3 multiplica-se a vazão pelo tempo de lavagem como mostra o exemplo da tabela 3.

Tabela 3 - Dimensionamento volume de lavagem de filtros

	T = TEMPO DE LAVAGEM DE FILTRO (MIN)	A = ÁREA SEÇÃO TRANSVERSAL (m^2)	V = VELOCIDADE DE ESCOAMENTO (m/min)	T x A x V = VOLUME DE LAVAGEM DE FILTRO (m^3)
01/jan	94	9,604	0,6	541,6656

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor (2019).

Nos dados disponibilizados pelo laboratório do SAAE, constam informações coletados durante o ano de 2018, que podem ser verificadas no ANEXO 1.

Como a vazão bruta, que é a de entrada da ETA, é dada em L/s, para que a vazão média bruta tenha unidade igual a m^3 /dia é necessário fazer a seguinte transformação:

$$\frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{\text{m}^3}{1000\text{L}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} =$$

Logo,

$$\frac{\text{L}}{\text{s}} * 3,6 * 24 = \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

A água que é lançada a rede pluvial proveniente da lavagem de filtros é chamada de consumo operacional. A tabela 4 mostra que durante o ano de 2018 foram usados 128823,55 m³ de água para lavagem dos filtros:

Tabela 4 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros no ano de 2018.

Mês/2018	C. OP (m³)
Janeiro	11323,12
Fevereiro	10337,75
Março	8620,55
Abril	10948,56
Maio	11081,10
Junho	10383,84
Julho	10383,84
Agosto	9721,17
Setembro	11161,77
Outubro	11599,71
Novembro	12094,61
Dezembro	11167,53
Total:	128823,55

Fonte: SAAE Aracruz – Modificada pelo autor

Considerando a proporção expressiva de água consumida na etapa da lavagem de filtros, alguns parâmetros pertinentes podem ser levados em consideração.

Ao analisar a relevância que esta quantidade de água pode fazer em tempos de crise hídrica, é possível relacionar a aplicação desta água de lavagem em atividades consideradas pertinentes economicamente, assim como o abastecimento de uma pequena comunidade, ou até mesmo a redução da captação de água bruta do manancial.

Considerando uma das atividades de grande importância para o município de Aracruz, a produção de celulose branqueada. Para estimar a quantidade de água gasta na geração do produto, considera-se o volume utilizado nos viveiros e o consumo dentro das fábricas. Segundo Lopes (1998), a quantidade média de água necessária para produzir uma tonelada de celulose seca ao ar varia de 15 m³ a 30 m³ dependendo da

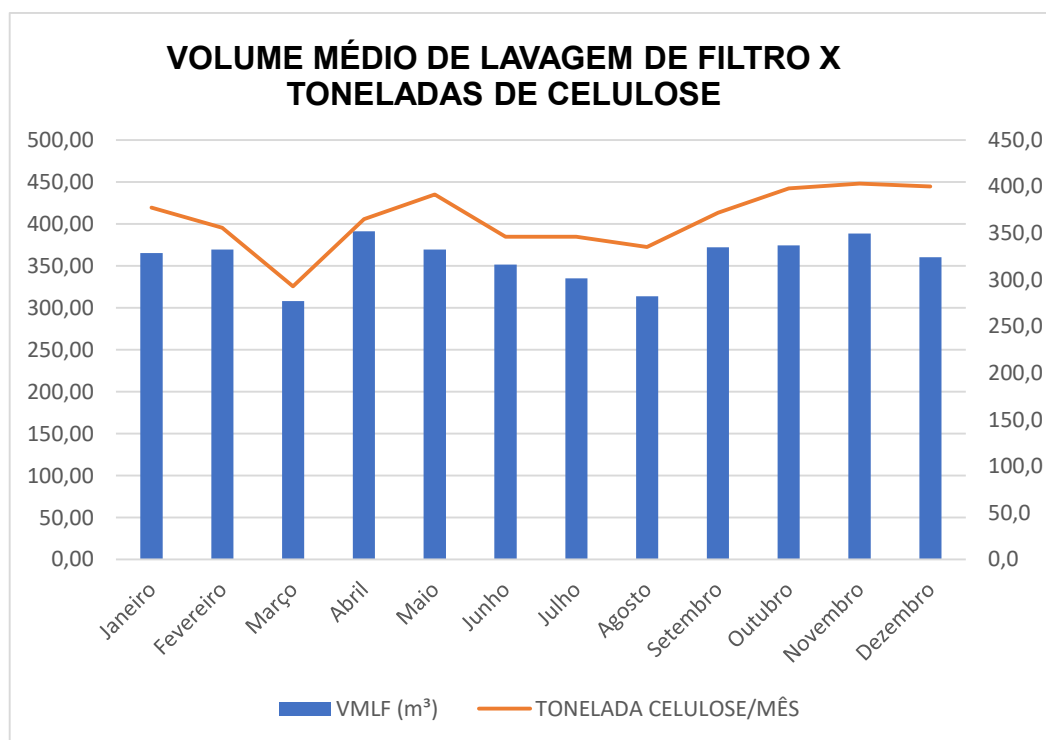
fábrica. Para análise foi considerado o volume de 30 m³, desta forma pode-se aferir a quantidade que poderia ser manufaturada com o volume de água de lavagem dos filtros.

Tabela 5 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros em 2018 x Quantidade de celulose

Mês/2018	C. OP (m ³)	Tonelada Celulose/Mês
Janeiro	11323,12	377,4
Fevereiro	10337,75	355,9
Março	8620,55	293,0
Abril	10948,56	365,0
Maio	11081,10	391,5
Junho	10383,84	346,1
Julho	10383,84	346,1
Agosto	9721,17	335,2
Setembro	11161,77	372,1
Outubro	11599,71	397,9
Novembro	12094,61	403,2
Dezembro	11167,53	400,1

Fonte: Laboratório SAAE, modificado pelos autores (2018).

Figura 8 - Gráfico de Volume médio de lavagem de filtro x toneladas de celulose



Fonte: Autores (2019)

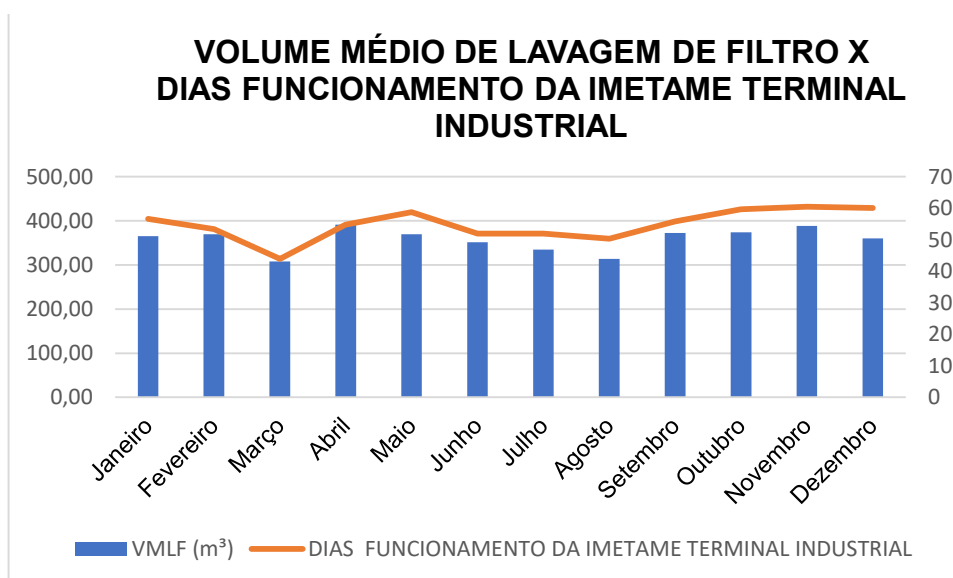
Outro setor de impacto econômico para Aracruz é o portuário. Segundo dados da CEPEMAR Consultoria em Meio Ambiente LTDA em parceria com a IMETAME Logística LTDA (2012), seu novo porto, identificado como Terminal Industrial IMETAME, a ser implantado no litoral da região, necessitará de até 200 m³/dia de água nos picos de operação.

Tabela 6 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros x Dias de funcionamento da Terminal Industrial Imetame.

Mês/2018	C. OP (m ³)	Dias de funcionamento da Terminal Industrial Imetame
Janeiro	11323,12	57
Fevereiro	10337,75	53
Março	8620,55	44
Abril	10948,56	55
Maio	11081,10	59
Junho	10383,84	52
Julho	10383,84	52
Agosto	9721,17	50
Setembro	11161,77	56
Outubro	11599,71	60
Novembro	12094,61	60
Dezembro	11167,53	60

Fonte: Autores (2019)

Figura 9 - Gráfico de Volume médio de lavagem de filtro x Dias funcionamento da Imetame



Fonte: Autores (2019)

Além dos gastos de água com ações de influência na economia aracruzensa, é válido analisar a quantidade do recuso renovável para o abastecimento de famílias da

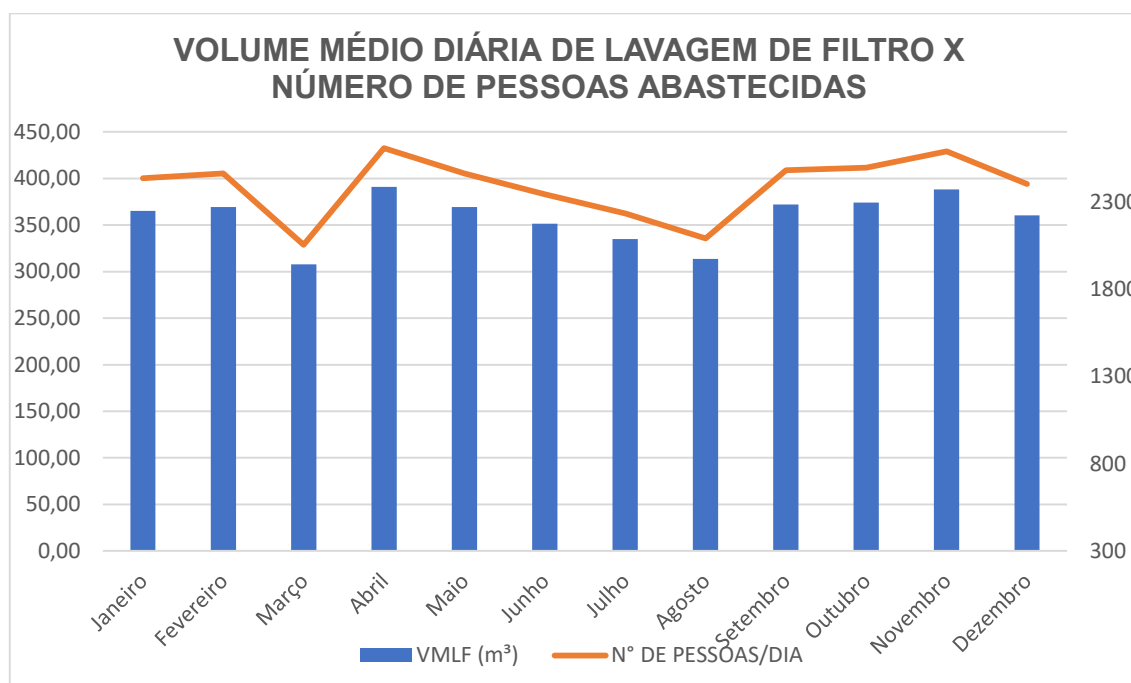
comunidade, para este fim estima-se que para residências considera-se o consumo diário por pessoa entre 120 L até 150 L, para fins de análise foi considerado o valor máximo de 150 L/dia *per capita*.

Tabela 7 - Volume mensal gasto para lavagem dos filtros x Número de pessoas abastecidas por dia.

Mês/2018	VMLF (m³)	Nº de pessoas abastecidas/dia
Janeiro	365,26	2435
Fevereiro	369,21	2461
Março	307,88	2053
Abril	391,02	2607
Maio	369,37	2462
Junho	351,51	2343
Julho	334,96	2233
Agosto	313,59	2091
Setembro	372,06	2480
Outubro	374,18	2495
Novembro	388,27	2588
Dezembro	360,24	2402

Fonte: Autores (2019)

Figura 10 - Gráfico de Volume médio de lavagem de filtro x Número de pessoas abastecidas



Fonte: Autores (2019)

A partir desses dados, pode-se constatar que com o volume anual de água utilizada na lavagem de filtros poderia ser produzido cerca de 4383,5 toneladas de celulose seca ao ar, ou garantir o funcionamento em ritmo intenso de em média 658 dias –

quase 1 ano e 10 meses - do Terminal Industrial IMETAME. É possível notar também que com este feito, a água reutilizada poderia abastecer, mensalmente, uma variação de 2053 a 2607 pessoas, que é, em média, a metade da população de Coqueiral, cujo a população habitual era de 4.197 no ano de 2010 segundo o Instituto Jones dos Santos Neves (2012).

7. RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS

A água que conhecemos como potável passa por diversos processos físicos e químicos antes de chegar a nossas residências. Como dito anteriormente, toda água tratada numa ETA advém de algum meio de captação. Seja ele por meio de adução, captação, manancial, lagos, rios, poços artesianos entre outros.

O que acontece atualmente, é que com o aumento gradativo da população mundial, associado a grande demanda de recursos naturais, e o desperdício e destruição do meio ambiente é cada vez mais importante promover ações que ajudem a minimizar esse quadro agravante. Estima-se que, segundo Trata Brasil (2017), a cada 100 litros de água potável produzidos no Brasil, apenas 67 litros são consumidos e os outros 37 são perdidos. Essa perda ocorre devido á vazamentos, irrigações irregulares, falta de medições, medições incorretas e roubos.

Tendo em vista o alto índice de perda de água tratada, pode-se dizer que a maior parte ocorre dentro da ETA, principalmente na etapa de limpeza dos filtros. Segundo USEPA (2002), a água usada para a lavagem de filtros rápidos pode refletir de 2 % a 10 % do montante de água tratada, ou seja, o volume de resíduos considerável, tendo em vista que são processadas muitos metros cúbicos diariamente. Por este fator, trazendo à luz a importância no âmbito ambiental, trata-se sobre a recirculação da lavagem de filtros.

Entretanto, para Kawamura (1991), mencionado por Campos (2014), o volume recomendado para que retorne ao processo de tratamento da ETA não pode ultrapassar 10% da vazão nominal da água bruta afluente, para que não prejudique a etapa de coagulação e floculação. Já a norma técnica brasileira NBR 12216/1992, não determina um valor máximo da razão do volume de água de lavagem para recirculação em relação à vazão nominal de água bruta em uma ETA.

Analisando o processo que compõe a ETA de Aracruz, pode-se perceber que a água bruta proveniente do Rio Piraque-açu é perdida em diversas etapas do processo de tratamento. A lavagem dos filtros é a etapa em que perde-se a maior quantidade de água bruta. Analisando os dados de volume de lavagem dos filtros, no período do mês

de janeiro de 2018, em média, aproximadamente 365,26 m³ de água tratada foram desperdiçados para a lavagem diariamente.

Por conseguinte, após a análise dos processos e etapas provenientes da ETA, levantaram-se medidas de cunho ambientais, que de alguma forma, possam ajudar a diminuir o desperdício da água ao longo do processo de tratamento da água, bem como citar ações em que essa água possa ser reutilizada. Uma das medidas que possivelmente pode ser adotada é a construção de uma rede de reutilização da água de lavagem dos filtros.

A ideia é construir um tanque que funcionará como um decantador e utilizar motobombas para que a água armazenada seja transportada para uma nova recirculação na estação de tratamento.

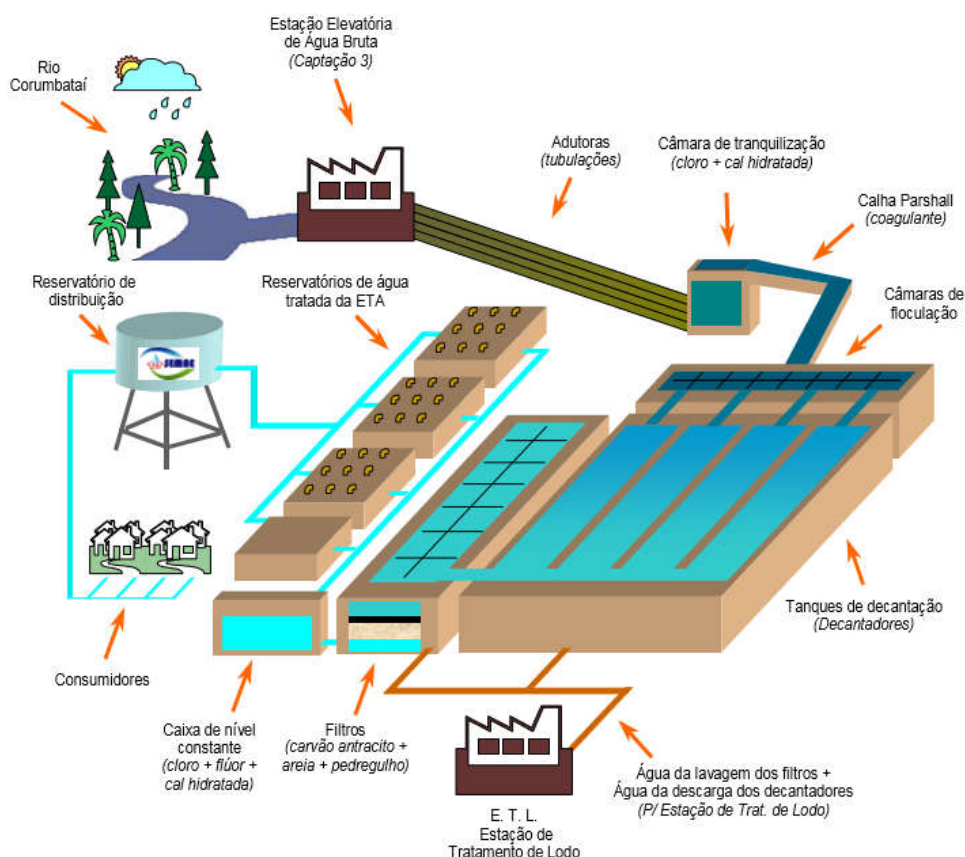
8. ESTUDOS DE CASO

Estudo 1: Caracterização microbiológica, parasitológica e físico-química da água de lavagem de filtros recirculada na ETA Capim Fino, em Piracicaba / SP.

Alguns estudos foram realizados acerca da qualidade da água da lavagem de filtros analisados em estações de tratamento de outras regiões. Chegou-se à conclusão que o material analisado possui um potencial de reaproveitamento e, por conseguinte pode ser reinserido à entrada da estação.

De acordo com o estudo sobre a caracterização físico-química, parasitológica e microbiológica da água recirculada de lavagem de filtros da ETA Capim Fino realizado por Canale (2014), esse tipo de água era recirculado em ciclo completo.

Figura 11 - Fluxograma geral do tratamento de água – ETA 3 Capim Fino.



0

Fonte: CANALE, 2014.

Para que se caracterizasse a água proveniente do lavagem de filtros foram analisados:

Parâmetros físico-químicos: cloro residual, cor, turbidez, pH, alumínio solúvel, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos sedimentáveis, carbono orgânico total e o potencial de formação de trihalometanos; os parâmetros microbiológicos: coliformes totais, *Escherichia coli*; e os protozoários patogênicos: *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. (CANALE, p. 07, 2014)

Segundo o estudo realizado por Ivan Canale (2014), as amostras, retiradas e analisadas por ele, apresentaram parâmetros relacionados na tabela abaixo:

Tabela 8 - Parâmetros analisados das amostras de água

PARÂMETROS	A.L.F. sem tratamento	ALF clarificada por sedimentação, sem polímero (sobrenadante)	ALF clarificada com polímero(sobrenadante)
Turbidez (uT)	147	37,2	8,14
Cor Aparente (Uc)	790	ND	ND
Sólidos Totais (mg/L)	189	30	16
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	143	22	8
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	53	8	7
Carbono Orgânico Total (mg/L)	11,4	6,9	4,2
Alumínio (mg/L)	3,6	0,17	0,02
Coliformes Totais (NMP / 100 mL)	2737	765	318
<i>Escherichia coli</i> (NMP / 100 mL)	227	43	11
PARASITOLÓGICO (qualitativo)	-	-	-
Cisto de <i>Entamoeba coli</i>	+	+	+
Larva de <i>Strongyloides stercoralis</i>	+	+	+
Larva de <i>Ancylostomatidae</i>	+	+	+
Ovo de <i>Ancylostomatidae</i>	+	+	+

Fonte: Ivan Canale (2014), modificado pelos Autores.

Após realizadas as análises, pode-se observar que, com exceção a turbidez, a água tratada da ETA estava em concordância com Portaria 2914/2011, que trata a respeito da potabilidade de água, do Ministério da Saúde. A turbidez apresentou quatro resultados superior ao limite de 0,5 NTU, os valores eram 1,53, 0,54, 0,59 e 0,74 NTU. O que, Segundo Canale (2014), poderia ser causado pela passagem de partículas sólidas na água filtrada nos minutos subsequentes a lavagem de filtro.

Após um período de decantação, a água de lavagem apresentou características aceitáveis dentro do padrão de qualidade. Levando em consideração que os resultados da análise foram satisfatórios, pode-se considerar que a água está apta a recirculação.

Tendo como suposição que a água atende os pré-requisitos abordados por, Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012) apresentados anteriormente, pode-se afirmar que a água analisada pode retornar ao início do tratamento, visto que apesar da estação usar sulfato de alumínio no processo de coagulação da matéria orgânica, o composto químico perde sua concentração no momento da recirculação da água, devido a mistura com a água bruta que chega do manancial.

Apesar da água poder ser reutilizada, faz necessário investimento em um tanque de decantação para que as matérias orgânicas possam ser decantadas, e que água de lavagem dos filtros possam retornar ao estágio inicial do tratamento com uma qualidade aceitável, não necessitando de utilizar novamente coagulantes.

Não há a necessidade de pré tratamento da água proveniente da lavagem de filtros.

Estudo 2: Viabilidade de projeto de recirculação da água de lavagem dos filtros da estação de tratamento de água da cidade de Goanésia – GO.

Segundo Haraguchi et al (2014), em sua avaliação do sistema de reutilização da água de lavagem de filtros da ETA de Goanésia, após verificada a qualidade da água resultante da lavagem dos filtros, que consistia na mistura das águas de descarga dos filtros com a água de lavagem dos filtros, fez-se necessário que na ETA houvesse um tanque de decantação antes da água retornar para o início do tratamento, assim não seria necessário uma maior quantidade de coagulantes, visto que a água não passaria por um processo de pré-tratamento. Foi considerado, também, no projeto de reutilização uma elevatória recalcar a água proveniente do decantador para a etapa inicial do tratamento devido ao nível a qual este se encontrava, para isso ela precisaria de duas bombas 1,5 CV, sendo que uma seria reserva.

Para a construção do projeto de recirculação da água, foi estimado um gasto de R\$ 253.978,49 (duzentos e cinquenta e três mil, novecentos e setenta e oito reais e quarenta e nove centavos), e o mesmo iria ser compensado ao passar do tempo com uma economia de energia elétrica anual aplicada pelas bombas de R\$ 17.024,09 (dezessete mil e vinte e quatro reais e nove centavos).

O retorno do investimento foi aferido de duas formas: no primeiro caso foi considerando que a companhia de saneamento Saneago utilizaria seus próprios recursos, além do segundo caso em que ela usaria o recurso de financiamento junto ao BNDES (juros de 13% ao ano). O retorno financeiro se concretizaria em 14 anos e 9 meses ou em 16 anos e 10 meses respectivamente.

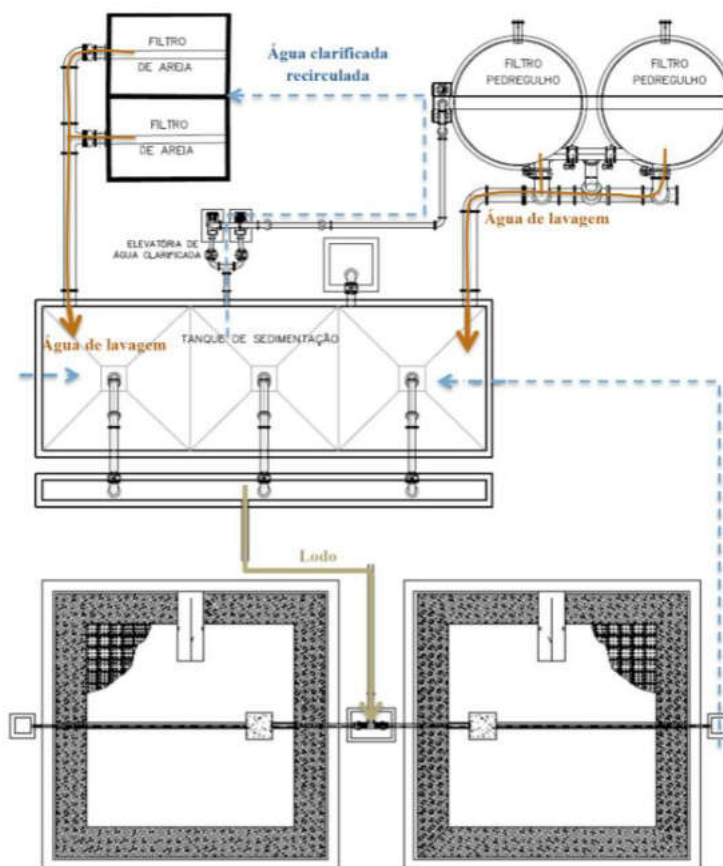
O autor finalizou afirmando que a implantação do sistema para recirculação da água de lavagem dos filtros para a ETA de Goanésia era viável técnico-economicamente e que a iniciativa diminuiria o lançamento de água no sistema de drenagem pluvial, além de reduzir a quantidade de água captada do manancial.

Estudo 3: Implantação do sistema de recirculação da água de lavagem dos filtros da Estação de tratamento de água da cidade de Colméia-TO.

Conforme estudo publicado por Lustosa et al (2016), a ETA de Colméia era responsável pelo fornecimento de água para toda a população daquele município. O seu tratamento de água é composto pelo processo de dupla filtração. O descarte e destinação da água derivada da lavagem dos filtros acontecia em um terreno vizinho à ETA, sem que houvesse qualquer tipo de tratamento prévio. O que significava uma perda de 10% da quantidade de água tratada na estação e um problema ambiental para o município.

A fim de solucionar o problema de destinação dessa água, foi construído um tanque de sedimentação da água de lavagem dos filtros, para que a água decantada retornasse para início do sistema de tratamento e que o lodo gerado fosse desaguado em leito de drenagem. Essa alteração na estação não modificou o tratamento da água.

Figura 12 - Esquema de funcionamento do sistema de reaproveitamento de água e desaguamento do lodo.



Fonte: LUSTOSA; BRACARENSE; CASTRO; QUEIROZ; SILVA, 2014.

Segundo Lustosa et al (2016), o tanque de sedimentação de 91,8 m³ funcionava de modo com que o volume de água vindo da lavagem dos filtros fosse sedimentado em aproximadamente 60 min e já retornasse para o tratamento, com o uso de bombeamento com bomba centrífuga para líquidos.

O projeto tornou possível que um percentual de 75% de recirculação das águas de lavagem do filtro, que os custos operacionais da unidade fossem reduzidos. Além de reduzir a quantidade de resíduos, favorecendo a conservação do meio ambiente.

Considerações:

Foram relatados os três estudos de caso a fim de abordar três situações: a viabilidade de implantação de sistema de recirculação da água de lavagem de filtros, a avaliação de um projeto já implantado a respeito desse método e análise das características da água de uma ETA que faz a recirculação completa da água de lavagem dos filtros.

Todos os três estudos expostos tiveram um parecer favorável ao reuso dessa água, seja no âmbito econômico, físico-químico, microbiológico, patológico e ambiental. É importante ressaltar, que todas as pesquisas abordadas disseram que recirculação de água da lavagem dos filtros diminui consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos.

9. ETAPAS DO ESTUDO

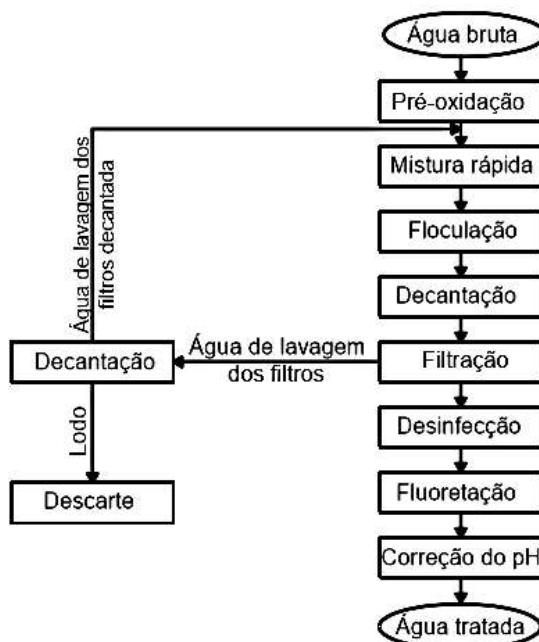
A viabilidade econômica dos estudos de recirculação da água de lavagem dos filtros foi dividida em quatro etapas, sendo elas:

- O estudo do reuso da água da lavagem dos filtros;
- Projeto de pré-tratamento e reuso da água;
- Levantamento dos custos do projeto;
- Análise de viabilidade econômica (Payback).

9.1 PROJETO DE PRÉ-TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA PROPOSTO

Para reaproveitar a água de lavagem dos filtros, propõe-se que sejam inseridos no sistema de tratamento um reservatório para a água de lavagem de filtros que atuará como decantador. Após acontecida a decantação a água será bombeada, por bomba centrífuga, para a calha Parshall, já o lodo irá para tratamento, se for o caso, e descartado. Na figura 13 pode-se ver a configuração depois da implantação do sistema de reutilização da água de lavagem de filtros.

Figura 13 - Fluxograma Funcionamento da ETA após implantação da recirculação.



Fonte: Autores (2019)

O tanque estimado será um reservatório simples, que armazenará água, com formato retangular não coberto e feito em concreto armado. Sua classificação em relação ao

solo é apoiada, ou seja, sua base encontra-se em contato direto com o solo. E, classificado como moldado in loco, em relação ao processo construtivo.

O reservatório retangular, foi dimensionado de forma a sustentar o volume de até 340,96 m³ água advindo da lavagem dos filtros, considerando a pior hipótese a qual acontece o transbordamento da água em caso de alguma falha na operação da ETA. Para isso, a construção, deveria possuir 13,4 m de comprimento, 7,4 m de largura, 4 m de altura e a laje e as paredes com 0,22 m de espessura. Propõe-se que o reservatório esteja alocado entre taludes inclinados na proporção 1:1 o qual estará revestido com grama como contenção, sendo possível verificar a localização do projeto nos Apêndices C e D.

Os cálculos, as análises e resultados de dimensionamento para estimativa de gastos estão descritos no Apêndice A e tabela de estimativa de custo no Apêndice B.

9.2 ORÇAMENTO E RETORNO FINANCEIRO

Para a implantação do sistema de recirculação, foi realizada a estimativa de custo tendo como parâmetro a Tabela de custos referência de outubro de 2019- SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices, 2019), da Tabela Referência De Serviços– Obras–2019 (IOPES, 2019) e da Tabela de preços de serviços julho de 2018(CESAN, 2018) e o preço do motobomba de acordo com orçamento realizado pela empresa LBE – COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA – ME. Os valores contidos nas tabelas incluem mão de obra, materiais, ferramentas e equipamentos.

O valor total de implantação estimado é de R\$ 164.078,37 (cento e sessenta e quatro mil e setenta e oito reais e trinta e sete centavos). A Tabela de composição orçamentária estimada para a implantação do sistema de reuso da água de lavagem dos filtros pode ser visualizada no Apêndice B.

A partir da Tabela de tarifas 2019 (SAAE, 2019), Anexo 2, aferiu-se quantos metros cúbicos de água seriam necessários fornecer para o consumo residencial em cada tipo de faixa tarifária para que os custos com o projeto fossem liquidados, como mostra a tabela 9.

Tabela 9 - Retorno avaliado em quantidade de produção e faturamento.

TARIFA DE ÁGUA CATEGORIA RESIDENCIAL

Faixa	Faixa de consumo m ³	Valor m ³ (R\$)	Valor total do reservatório	Quantidade de metros cúbicos para liquidação do valor
1	0 a 10 m ³	2,86	164078,3738	57370,06078
2	11 a 15 m ³	3,026	164078,3738	54222,85983
3	16 a 20 m ³	3,746	164078,3738	43800,95404
4	21 a 30 m ³	4,498	164078,3738	36478,07333
5	31 a 40 m ³	4,832	164078,3738	33956,6171

Fonte: Autores (2019)

10. CONCLUSÃO

Conclui-se que a instalação do sistema de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA de Aracruz-Sede é viável tanto economicamente quanto ambientalmente.

Pôde-se constatar que o projeto traria benefícios, como a menor captação de afluentes do manancial e consequentemente a redução de gastos com energia ocasionados pela adução, além de minorar a quantidade de resíduos gerados pelos processos de tratamento de água da concessionária.

A princípio foram medidas as perdas de água de lavagem de filtros. Após o levantamento de dados, foi idealizada a implantação de um tanque de decantação para que essa determinada água fosse decantada e posteriormente retornar ao início do tratamento. Foram dimensionados motores bombas a fim de aduzir a água á calha Parshall.

Considerando os estudos de parâmetros realizados na utilização da água de lavagem de filtros nos casos de fabricação de celulose, os dias de funcionamento da Imetame Industrial e a quantidade de pessoas abastecidas por essa água, pode-se ressaltar a importância e viabilidade do projeto.

Além disso, foi realizado estudos de experiências similares, nos casos de Piracicaba-SP, Colméia-TO e Goianésia-GO, constatando que viabilidade de implantação de sistema de recirculação da água de lavagem de filtros, a avaliação de um projeto já implantado a respeito desse método e análise das características da água de uma ETA que faz a recirculação completa da água de lavagem dos filtros. Todos os três estudos expostos tiveram um parecer favorável ao reuso dessa água, seja no âmbito econômico, físico-químico, microbiológico, patológico e ambiental. É importante ressaltar, que todas as pesquisas abordadas disseram que recirculação de água da lavagem dos filtros diminui consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos.

Para a concretização, faz-se necessário um investimento por parte do SAAE-Aracruz de aproximadamente R\$ 164.078,37 (cento e sessenta e quatro mil e setenta e oito reais e trinta e sete centavos). Este valor abrange um reservatório de concreto armado de 340,96 m³ de água, acrescido de materiais hidráulicos, gastos com canteiro do obra e preparação do terreno.

É importante ressaltar que a implantação do sistema de reuso da água de lavagem de filtros trará grande visibilidade ao SAAE no âmbito da sustentabilidade, visto que é tendência mundial a adoção de medidas que contemplem o consumo consciente e a proteção do ecossistema.

11.REFERENCIAS

ARACRUZ(ES). DECRETO N° 31.193 DE 31 DE MAIO DE 2016. **Prefeitura Municipal de Aracruz**, Aracruz, ES, jul 2016. Disponível em:<<http://www.aracruz.es.gov.br/arquivos/leis/D31193.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

ARACRUZ(ES). DECRETO N° 31.342, DE 01 DE JULHO DE 2016. **Prefeitura Municipal de Aracruz**, Aracruz, ES, jul 2016. Disponível em:<<http://www.aracruz.es.gov.br/arquivos/leis/D31342.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - especificações. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007. 13 p. Disponível em: <<http://ferramar.com.br/wp-content/uploads/2016/10/NBR7480.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). 1992. **Projeto de Estação de Tratamento de Água para Obras Públicas**, Rio de Janeiro- RJ, 1992. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/5609/identificar/visitante>. Acesso em: 8 jul. 2019.

BAGGIO, Mário Augusto. **Redução de Perdas em Sistemas de Saneamento**. 1. ed. Brasília: Editora Pontual, 2012. 143 p. v. 1.

BARCELOS, Emely Costa; MACHADO, Fabio. **CRISE HÍDRICA. UMA REALIDADE ATUAL NO MUNICÍPIO DE ARACRUZ**. Aracruz,ES.2017. Disponível em: <www.aracruz.es.gov.br/arquivos/noticias_arquivos/CRISE_HDRICA._UMA_REALIDADE_ATUAL_NO_MUNICPIO_DE_ARACRUZ_-_Acadmicos_Emely_Costa_Barcelos_-_Fabio_Machado.pdf> Acesso em 02 de novembro de 2019.

BRASIL. **Fundação Nacional da Saúde**. Manual do Saneamento. 4. Ed. Ver. – Brasília: Fundação Nacional da Saúde, 2006.

BRASIL. **LEI nº 6050, de 24 de maio de 1974**. Regulamento Dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento quando existir estação de tratamento. Brasília, 24 maio 1974. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6050.htm. Acesso em: 21 out. 2019. Prefeitura Municipal de Aracruz. **SAAE**. [S.I.] [2010] Disponível em: <<http://www.aracruz.es.gov.br/orgaos/saae>>. Acesso em 02 de outubro de 2019.

BRASIL. **Lei 11.445, 5 jan. 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio

de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Publicado no DOU de 8.1.2007 e retificado no DOU de 11.1.2007.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água.** In: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. DTA- Documento Técnico de Apoio nº A 2. 80 p. Brasília, DF: 2003. Versão preliminar para discussão

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (Espírito Santo). 2019. **Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil**, [S. l.], outubro 2019. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_645. Acesso em: 12 nov. 2019.

CAMPOS, Marlon Caianelo Dias. **INFLUÊNCIA DA RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS NA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.** 2014. Tese (Mestrado em Engenharia Civil, na área de Saneamento e Ambiente.) - Universidade Estadual de Campinas, [S. l.], 2014. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257942/1/Campos_MarlonCaianeloDias_M.pdf. Acesso em: 7 maio 2019.

CAUS, Tatiana. **Mais de 30 municípios em situação crítica por falta de chuva.** [S.l.]. 2016. Disponível em: < <https://agerh.es.gov.br/Notícia/mais-de-30-municipios-em-situacao-critica-por-falta-de-chuva>>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

CAVINATTO, V. M. Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar. São Paulo: Ed. Moderna, 1992.

CENTRAL. **Lei nº 6050, de 24 de maio de 1974.** Dispõe sobre a CESAN (ESPIRITO SANTO). CESAN. 2013. **Apostila de tratamento de água**, [S. l.], 8 ago. 2012. Disponível em: https://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2013/08/APOSTILA_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA-.pdf. Acesso em: 4 set. 2019.

CEPEMAR CONSULTORIA EM MEIO AMBIENTE LTDA., IMETAME LOGÍSTICA LTDA (Aracruz). Relatório de Impacto Ambiental. Revisão 01. Abril de 2012. **Relatório de Impacto Ambiental:** Terminal Industrial Imetame, Aracruz: Bios, 2012. Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/RIMAS/RIMAS_2012/2017.04.06%20-%20Rima_IMETAME_2012_G_53976541.pdf. Acesso em: 5 de novembro 2019.

Classificação de reservatórios -
http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998ME_FlaviodeOliveiraCosta.pdf
 COELHO, A. C. **Medição de água e controle de perdas**. Rio de Janeiro: ABES, 1983. 339.

CESAN. 2018. **Prescrições Técnicas de Serviços**, Vitória-ES, Junho 2018. Disponível em: https://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2018/06/PRESCRICOES_TECNICAS_JUNHO_2018.pdf. Acesso em: 2 dez. 2019.

CESAN (Vitória). 2018. **Tabela de Preços de Serviços**, Vitória-ES, Junho 2018. Disponível em: <https://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2018/06/SERVICOS-JUNHO-2018-BDI-2619-ES-15727-SEM-DESONERACAO.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p. Disponível em: < https://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/arquivos/consumo_sustentavel.pdf >

CORNWELL, D.; R. LEE. **Recycle stream effects on water treatment**. Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation. 153 p., 1993.

COSTA, Flávio de Oliveira Projetos estruturais de reservatórios paralelepípedicos de concreto armado moldados in loco. / Flávio de Oliveira Costa.--São Carlos, 1997. Disponível em: [set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998ME_FlaviodeOliveiraCosta.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998ME_FlaviodeOliveiraCosta.pdf). Acesso em: 20 ago. 2019.

Diagnóstico Habitacional. **Plano local de habitação de interesse social de Aracruz**, [s. l.], 2018. Disponível em: http://www.aracruz.es.gov.br/arquivos/noticias_arquivos/PLHISA_-_Diagnostico_unificado_vol_UNICO_7_REVISAO_FINAL_FEV.pdf. Acesso em: 4 jul. 2019.

EUROPEAN COMMISSION - **Good Practices on Leakage Management** - EU Reference Document, 2015

HELLER, Léo; DE PÁDUA Valter Lucio. Abastecimento de água para consumo humano. Belo horizonte, UFMG, 2006.

IBGE. **Aracruz**. [S.l.].2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/aracruz.html>>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

INCAPER. **PROGRAMA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL PROATER 2011 – 2013-ARACRUZ**. [S.l.][2011]. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Nordeste/Aracruz.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

INSTITUTO DE OBRAS PÚBLICAS DO ESPÍRITO SANTOS (Vitória). **2019**. Vitória-ES, Setembro 2019. Disponível em: <https://iopes.es.gov.br/referencial-preco-1>. Acesso em: 19 nov. 2019.

Instituto Jones dos Santos Neves. **Indicadores socioeconômicos dos bairros dos municípios do estado do Espírito Santo – Censo demográfico 2010**. Vitória, ES, 2012. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/component/attachments/download/1621>> Acesso em 02 de novembro de 2019.

JUNIOR, Rudinei Toneto; SAIANI, Carlos César Santejo; RODRIGUES, Regiane Lopes. **PERDAS DE ÁGUA: ENTRAVES AO AVANÇO DO SANEAMENTO BÁSICO E RISCOS DE AGRAVAMENTO À ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL**. 2013. Pesquisa científica - FUNDACE, [S. l.], 2013. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/perdas-de-agua/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2018.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2ed . New York: John Wiley e Sons, 691 p. 2000.

LOPES, Carlos Renato Antunes. **Análise de papel e Celulose no Brasil**. Orientador: Cláudio Roberto Contador. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD.1998, 130 P. Tese. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/319a/3991b04cd32acf85784cdee71b5efc421552.pdf> f. Acesso em: 5 de novembro 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasília). **Fundação Nacional de Saúde-FUNASA**. A água na natureza: Padrões de potabilidade. In: MANUAL de Saneamento: Engenharia de Saúde pública. 3. ed. rev. Brasília: Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde, 2007. cap. Capítulo 2- Abastecimento de água, p. 42. Branco e Rocha (1977)

MONTOYA, P.J.; MESEGUER, A. G.; CABRE, F. M., (1973). **Hormigon armado**. 14. ed. Barcelona, Gustavo Gili, 2000.

NASCIMENTO, Alberto César do. **Panorama de perdas em sistemas de abastecimento de água no Brasil** . 2015. 42 f. Dissertação (Graduação Engenharia

Sanitária e Ambiental)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/7101/1/PDF%20%20Alberto%20C%C3%A9sar%20do%20Nascimento%20Silva>> Acesso em: Nov/2018.

OLIVEIRA, C. F. A gestão dos serviços de saneamento básico no Brasil. Scripta Nova. v. IX, n. 194. ago. 2005. Disponível em: < <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-194-73.htm>>. Acesso em 01 dez. 2019

PINHEIRO, Lidiane Gomes; ARAÚJO, André Luis Calado. **Qualidade e aproveitamento da água de chuva**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Hidrossanitária) - IFES Rio Grande do Norte, [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3431/pdf>. Acesso em: 7 fev. 2018.

REMOA - V. 13, N. 4 (2014): Edição Especial LPMA/UFSM, p. 3713-3717. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/4e77/f04acea748d058160401f27ad0494fa4c61c.pdf> . Acesso em: 10 ago. 2019.

RESMIN, Talita. **ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE RESERVATÓRIOS RETANGULARES EM CONCRETO ARMADO**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/2072/1/Talita%20Resmin%20.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 2004. 102 p. v. 1.

RICHTER, Carlos A.; DE AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada**. 6. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 2005. 332 p. v. 2.

ROCHA VIANNA, Marcos. **Hidráulica para engenheiros sanitaristas e ambientais**. 1. ed. Belo Horizonte: Universidade FUMEC /FEA, 2009. 545 p. v. 4.

SAAE – **Serviço Autônomo de Água e Esgoto**. O que é o SAAE. Aracruz, 2009. Disponível em: < <http://www.saaeara.com.br/conteudo/o-que-e-o-saae> > Acesso em: Out/2018.

SAAE. **Aracruz-Sede**. [S.l.]. [2011]. Disponível em: <<https://www.saaeara.com.br/informacao/aracruz---sede/>>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

SAAE (Aracruz). 2019. **Tabela de tarifas 2019**, Aracruz, 18 fev. 2019. Disponível em: <https://www.saaeara.com.br/arquivos/servicos/a33a196bd75a31fbd3baa1db90b46ed9.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2019.

STEPHENS, I. **Níveis Econômicos de Perdas**. In. Seminário Internacional sobre Programas de Redução e Controle de Perdas em Sistema de Abastecimento de Água, 2002, Recife –PE. Proceedings. Recife, PE. 16p.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e redução de perdas**. In: TSUTYIA, M. T. (Ed.). Abastecimento de água. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. cap. 10, p. 475-525.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Filter backwash recycling rule. Technical guidance manual. Washington, DC: USEPA, Office of Ground Water and Drinking Water. 2002, 166p. (EPA 816-R-02-014).

VIANNA, MARCOS R.. (2010). Hidráulica para engenheiros sanitaristas e ambientais - volume 4: sistemas de tratamento de água.

12/09/2017. In: **Quem inventou o saneamento básico?** [S. l.], 12 set. 2017. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/quem-inventou-o-saneamento-basico/>. Acesso em: 12 ago. 2019.

APENDICE A – CALCULO DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO, ARMADURA E ORÇAMENTO.

Introdução

Neste capítulo é apontada a metodologia utilizada para se garantir os remates do dimensionamento de um reservatório retangular em concreto armado, conforme citado anteriormente como um dos objetivos específicos da pesquisa em questão. O referencial de cálculo foi baseado no método clássico fundamentado na Teoria das placas, com a utilização das tabelas de Bares adaptadas por Pinheiro (1994).

Definições do protótipo

O reservatório em questão dimensionado foi proposto para se estimar um levantamento de custo proveniente das etapas de construção, bem como seu payback ao longo dos anos. Logo foi comensurado um reservatório d'água assentado no solo. A estrutura possui 7,4 m de largura, 13,4 m de comprimento e 4 m de altura, as paredes e o fundo que constituem a estrutura possuem 0,22 m de espessura. Para o dimensionamento da edificação, o tanque foi delimitado na classe IV de agressividade do meio, conforme Tabela 10. Essa classificação de classe se deu pelo fato das áreas da estrutura estar a todo o momento em contato com meios hostis e destrutivos, como exemplo o contato com o solo e água, logo se considerou elevado o risco de deterioração da estrutura.

Tabela 10 - Classe de Agressividade

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118, pág. 16 (2004)

Seguindo os parâmetros provenientes da Tabela 11, que corresponde à classe de agressividade do ambiente e o cobrimento nominal, considerando a estrutura em concreto armado e que seus componentes se encontram em contato com o solo, o cobrimento da armadura de aço será de 50 mm. Relacionando com os materiais utilizados, a estrutura foi calculada com aço CA50 e concreto com fck de 40 MPa.

Tabela 11 - Classe de Agressividade X Cobrimento Nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6118, pág. 19 (2004)

Carga permanente

Para o cálculo dos esforços operantes em cada elemento da estrutura foram calculados os volumes necessários, considerando o reservatório cheio, pois este é o

caso mais crítico, onde a estrutura tem ação do empuxo d'água que acarreta na flexo-tração entre os elementos.

Volume do bloco

$$V_B = 13,4 \times 7,4 \times 4$$

$$V_B = 396,64 \text{ m}^3$$

Volume do líquido

$$V_L = 6,96 \times 12,96 \times 3,78$$

$$V_L = 340,96 \text{ m}^3$$

Volume de concreto

$$V_C = V_B - V_L$$

$$V_C = 396,64 - 340,96$$

$$V_C = 55,67 \text{ m}^3$$

Resultante das cargas nas paredes

As cargas aplicadas na estrutura do reservatório serão calculadas o considerado cheio, logo sobre as paredes atuará a pressão hidrostática, sendo esta de formato triangular e distribuída em toda área interna da parede que está em contato com o líquido. A carga nas paredes que a água age pode ser calculada pela equação:

$$Q_p = h \times \gamma$$

$$Q_p = 3,78 \text{ m} \times 10 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$Q_p = 37,8 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Onde:

Q parede = resultante da força na parede (kN/m²);

h = altura da coluna d'água (m);

γ = peso específico da água; γ água = 10 kN/m³

Figura 14 - Pressão Hidrostática no tanque do reservatório, vista lateral.



Fonte: RESMIN; (2017, p.67). Modificada pelo autor (2019).

Figura 15 - Pressão Hidrostática no tanque do reservatório, vista superior.



Fonte: RESMIN; (2017, p.67). Modificada pelo autor (2019).

Resultante das cargas no fundo

Para levantamento das resultantes das cargas no fundo do reservatório, deve-se considerar todo o peso da estrutura, mais o peso próprio da coluna de água que está em seu volume máximo. A soma das cargas permanentes (estrutura) e variável (água) gera uma carga uniformemente distribuída que comprime a parte interna do fundo do tanque no sentido de cima para baixo.

Tendo em vista que o reservatório está cheio em seu volume total, e encontra-se sustentado diretamente no solo, haverá a reação do solo na estrutura, onde as cargas atuam em sentido contrário de baixo para cima na parte externa da placa de fundo, observa-se que a reação do terreno sempre será maior. Desta forma as reações se subtraem, conforme exposto abaixo e demonstrado na Figura 16.

$$g = \frac{V}{A} \times \varphi$$

$$g_{est} = \frac{V_c}{A_f} \times \varphi = g_{est} = \frac{55,67 \text{ m}^3}{13,4 \text{ m} \times 7,4 \text{ m}} \times 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = g_{est} = 14,035 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{liq} = \frac{V_l}{A_f} \times \varphi = g_{liq} = \frac{340,96 \text{ m}^3}{13,4 \text{ m} \times 7,4 \text{ m}} \times 10 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = g_{liq} = 34,38 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Onde:

V = volume (m³);

A = área da base do reservatório (m²);

γ = peso específico; $\gamma_{\text{água}} = 10 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ kN/m}^3$; $q_{\text{líquido}}$ = carga variável (kN/m²)

Por conseguinte as resultantes das ações, Q pode ser definida pela equação:

$$\Sigma \text{cargas} = g_{est} + q_{liq}$$

$$\Sigma \text{cargas} = 14,035 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} + 34,38 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

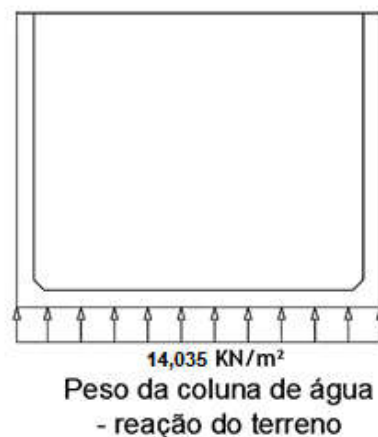
$$\Sigma \text{cargas} = 48,415 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{res} = q_{liq} - \Sigma \text{cargas}$$

$$Q_{res} = 34,38 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} - 48,415 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{res} = -14,035 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Figura 16 - Cargas atuantes no fundo do reservatório



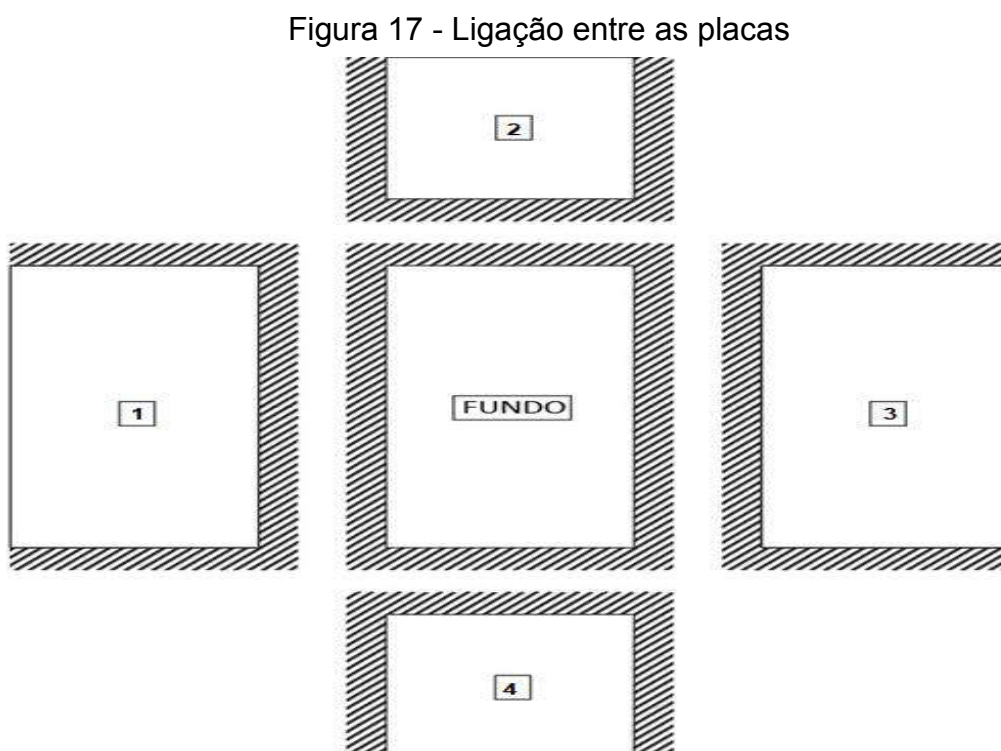
Fonte: RESMIN; (2017, p.68). Modificada pelo autor (2019).

Método Clássico

Neste presente artigo, foi utilizado o método clássico como forma de dimensionar o reservatório retangular em concreto armado. O método clássico consiste na utilização da teoria das placas, cuja mesma afirma que as estruturas devem ser estudadas de forma isolada, analisando cada parte separadamente e definindo as forças que nela se aplica. A teoria explica que em casos de reservatórios, a ligação parede parede, e parede-fundo são definidas para critério de cálculo, como lajes engastadas.

Logo, como presente em outros artigos de estudo, a definição dos esforços solicitantes que atuam sobre a laje foram adquiridos pelos valores encontrados nas Tabelas de Bares, Richard(1970), e adaptadas por Pinheiro(1994). As tabelas abrangem as placas estruturais em geral. Neste caso em específico, optou-se por utilizar o método das charneiras para calcular as reações de apoio em paredes que possuem cargas triangulares.

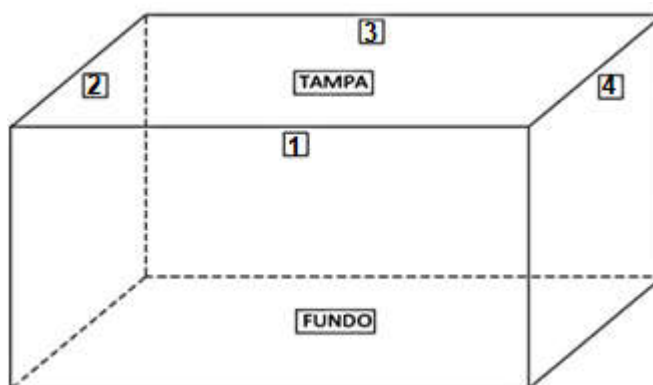
A figura 17 demonstra a representação das ligações entre as placas abordada pelo método clássico. Os lados representados em hachuras, especificam as partes engastadas.



Determinação das solicitações

Os esforços aplicados na estrutura foram calculados separadamente para cada elemento do reservatório. A figura 18 demonstra especificamente a identificação das placas. Para a efetividade dos cálculos, foram utilizados vãos teóricos, ou os eixos centrais de cada elemento.

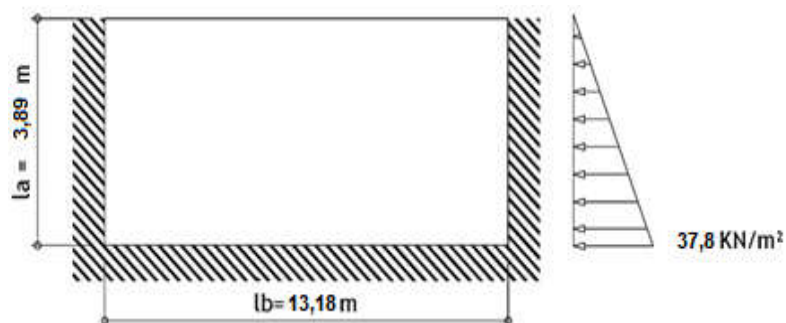
Figura 18 - Identificação das placas



Fonte: RESMIN (2017, p.70). Modificada pelo autor (2019).

Solicitações nas paredes 1 e 3

Figura 19 - Paredes 1 e 3



Fonte: RESMIN; (2017, p.72). Modificada pelo autor (2019).

Para verificar se a laje será armada em uma ou em duas direções utiliza-se a seguinte relação:

Solicitações nas paredes 1 e 3

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \lambda = \frac{1318 \text{ cm}}{389 \text{ cm}} = \lambda = 3,38$$

$3,38 > 2,0$, logo a laje será armada em uma direção.

$b > 2 h$: $9,75 > 2 \times 3,775$. : $9,6 > 7,55$, logo será armada verticalmente

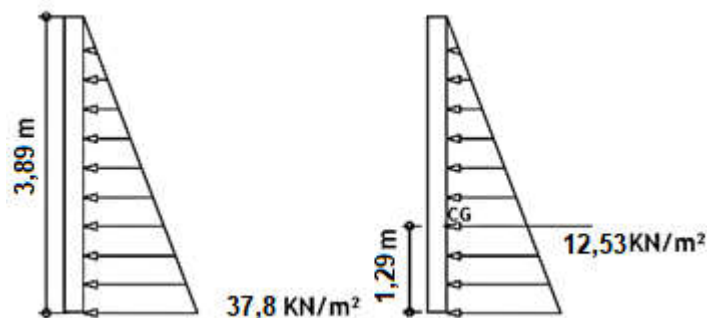
$b > 2h$ $\therefore 13,18 > 2 \times 3,89$

$13,18 > 7,78$ logo será armada verticalmente.

Reações de apoio

A pressão hidrostática com forma triangular e distribuída, representada na figura 20 é a carga que atua sobre na parede 1 e 3, para ser utilizada nas equações de reação de apoio calculou- se o valor da pressão no centro de carga, por semelhança de triângulos.

Figura 20 - Representação das cargas da pressão hidrostática.



Fonte: RESMIN; (2017, p.73) - Modificada pelo autor (2019).

$$GC = \frac{l}{3} = GC = \frac{3,89 \text{ m}}{3} = 1,29 \text{ m}$$

Onde:

CG = centro de gravidade (m);

l = altura da placa onde a carga está atuando (m)

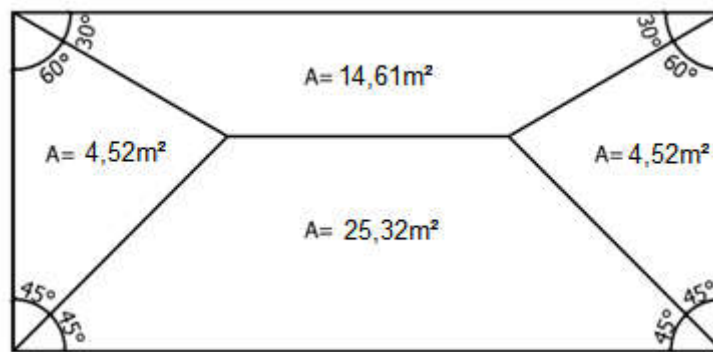
q = carga distribuída (kN/m²)

$$q = \frac{GC \times Q_p}{\lambda} = q = \frac{1,29 \times 37,8}{3,89} = q = 12,53 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

As reações de apoio foram calculadas através do Método das Charneiras, as áreas encontradas estão representadas na Figura 21.

Área de influência

Figura 21 - Áreas de influência



Fonte: RESMIN; (2017, p.74) - Modificada pelo autor (2019).

Área de influência

$$V = \frac{q \times A}{l}$$

$$V_y' = \frac{12,53 \times 4,5292}{3,89} = 14,58 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_x' = \frac{12,53 \times 25,3148}{13,18} = 24,06 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_x = \frac{12,53 \times 14,0155}{13,18} = 13,89 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Onde:

V = reação de apoio (KN/m);

g = carga (kN/m²);

A = área de influência (m²);

$l =$ comprimento onde área de influência se encontra (m).

Momentos Fletores

Tendo ciência que as paredes 1 e 3 do reservatório que estão sendo consideradas como lajes armadas em uma direção, logo as cargas horizontais de momentos fletores foram calculadas tendo base a da tabela de Bares, ANEXO C, tipo 16, com valores substituídos na equação abaixo:

$$y = \frac{l_a}{l_b} = y = \frac{3,89}{13,18}$$

Para os valores encontrados através do ANEXO C: quando $\gamma = 0,29$, têm-se os coeficientes: $\mu_y = 0,96$ e $\mu'_y = 3,60$, $\mu_x = 2,98$, $\mu'_x = 6,67$. A carga resultante da pressão hidrostática que atua nas paredes do reservatório é $p = 37,8 \text{ KN/m}^2$. Logo os momentos fletores na seção horizontal são:

$$y = 0,29$$

$$\mu_x = 2,98$$

$$\mu'_x = 6,67$$

$$\mu_y = 0,96$$

$$\mu'_y = 3,60$$

$$M = \frac{\mu \times Qp \times h^2}{100}$$

$$M_y = \frac{3,6 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 20,59 \text{ KN.m/m}$$

$$M'_y = \frac{0,96 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 5,49 \text{ KN.m/m}$$

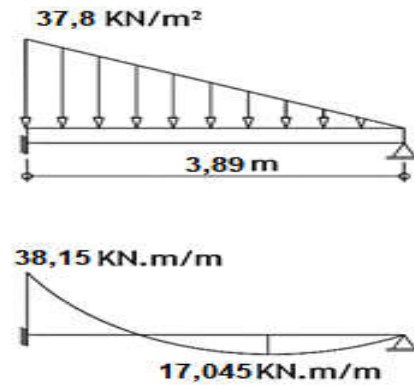
$$M_x = \frac{2,98 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 17,045 \text{ KN.m/m}$$

$$M'_x = \frac{6,67 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 38,15 \text{ KN.m/m}$$

Para seção vertical os momentos fletores foram calculados considerando a carga

atuante em uma faixa de 1m, através do programa *Ftool* obteve-se o diagrama de momentos representado na Figura 22, onde $M'_x = 38,15 \text{ kN.m/m}$ e $M_x = 17,045 \text{ kN.m/m}$.

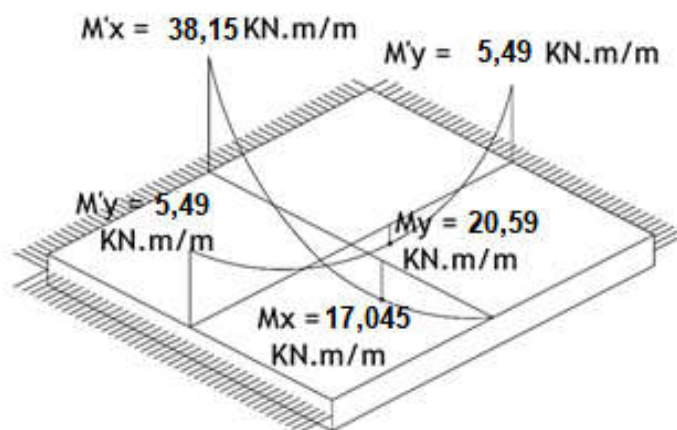
Figura 22 - Diagrama do momento M'_x e M_x



Fonte: RESMIN; (2017, p.75) - Modificada pelo autor (2019).

Na Figura 23 pode ser observada a representação de todos os diagramas de momentos fletores encontrados na parede 1 e 3.

Figura 23 - representação dos diagramas de momentos fletores encontrados na parede 1 e 3.



Fonte: RESMIN; (2017, p.76) - Modificada pelo autor (2019).

Solicitações nas paredes 2 e 4

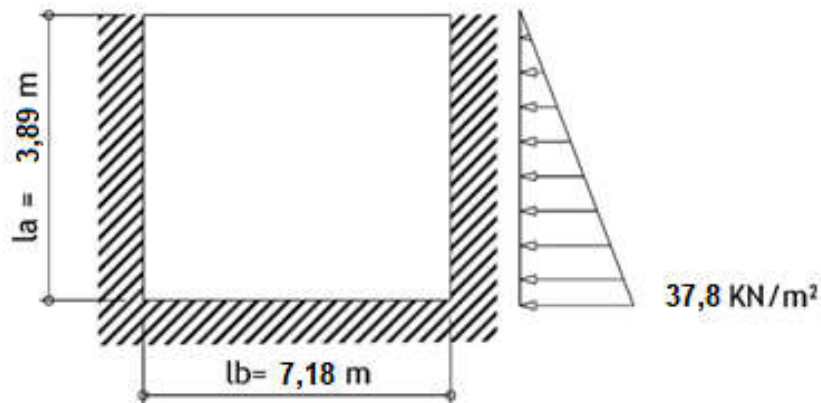
Conforme equação abaixo, as paredes 2 e 4 serão armadas em duas direções, pois a

relação entre o menor e o maior lado é menor que dois.

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \lambda = \frac{718 \text{ cm}}{389 \text{ cm}} = \lambda = 1,845$$

$1,845 < 2,0$ logo a laje será armada em duas direções, verticalmente e horizontalmente.

Figura 24 - Paredes 2 e 4.

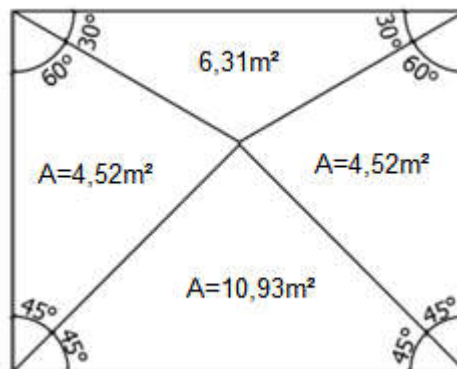


Fonte: RESMIN; (2017, p.76) - Modificada pelo autor (2019).

Reações de apoio

As reações de apoio nas paredes 2 e 4 foram calculadas pelo mesmo método utilizado para as paredes 1 e 3, o Método das charneiras, logo, a carga será a mesma $12,53 \text{ kN/m}^2$, pois as alturas são iguais. A pressão hidrostática atua com a mesma intensidade. As áreas de influência encontradas estão representadas na Figura 25.

Figura 25 - Áreas de influência



$$V = \frac{q \times A}{l}$$

$$V_y' = \frac{12,53 \times 4,5292}{3,89} = 14,58 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_x' = \frac{12,53 \times 10,9363}{7,18} = 19,08 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V_x = \frac{12,53 \times 6,3141}{7,18} = 11,02 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Momentos Fletores

Os momentos fletores das paredes 3 e 4 foram cálculos com coeficientes retirados do ANEXO C, consideradas como lajes se enquadram no tipo 16 da tabela em anexo. Logo temos:

$$y = \frac{l_a}{l_b}$$

$$y = \frac{3,89}{7,18} = y = 0,54$$

Considerou-se $y = 0,6$ no anexo

Os coeficientes encontrados no ANEXO C para $\lambda = 0,6$ são: $\mu_x = 2,27$, $\mu'_x = 5,65$, $\mu_y = 0,89$ e $\mu'_y = 3,58$. A resultante das cargas nas paredes do reservatório é $p = 37,80 \text{ KN/m}^2$. Logo os momentos fletores são:

$$\mu_x = 2,27$$

$$\mu'_x = 5,65$$

$$\mu_y = 0,89$$

$$\mu'_y = 3,58$$

$$M = \frac{\mu \times Q_p \times h r^2}{100}$$

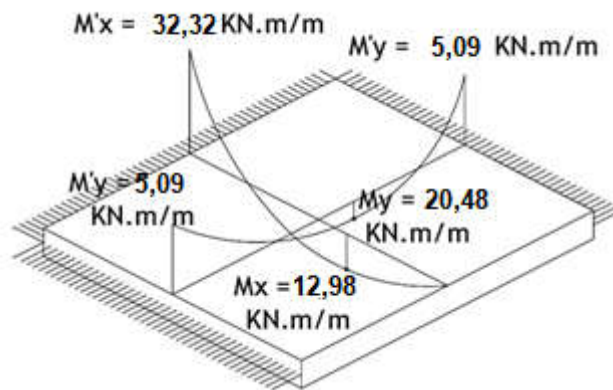
$$M_y = \frac{3,58 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 20,48 \text{ KN.m/m}$$

$$M'_y = \frac{0,89 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 5,09 \text{ KN.m/m}$$

$$M_x = \frac{2,27 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 12,98 \text{ KN.m/m}$$

$$M'_x = \frac{5,65 \times 37,8 \times 3,89^2}{100} = 32,32 \text{ KN.m/m}$$

Figura 26 - Diagrama dos momentos fletores

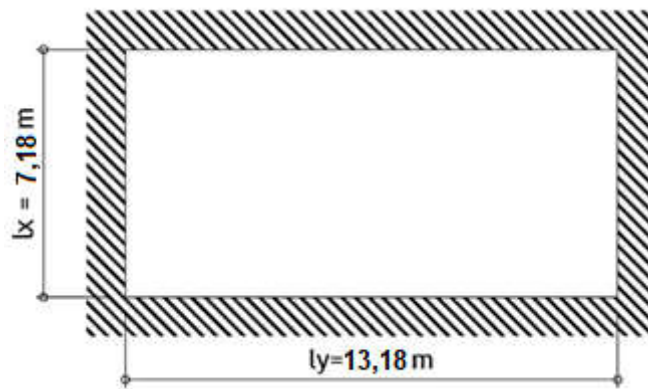


Fonte: RESMIN; (2017, p.77) - Modificada pelo autor (2019).

Fundo

As solicitações para o fundo do reservatório foram calculadas considerando que todas as suas extremidades se encontram engastadas, o que pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 - Placa de fundo



Fonte: RESMIN; (2017, p.79) - Modificada pelo autor (2019).

Fundo

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \lambda = \frac{1318\text{cm}}{718\text{ cm}} = \lambda = 1,83$$

1,83 < 2,0, Logo a laje será armada nas duas direções, verticalmente e horizontalmente.

Reações de apoio

Diferente do método utilizado para calcular as reações de apoio nas paredes, as reações no fundo foram calculadas com a ajuda das tabelas de Bares adaptadas por Pinheiro (1994), pois as cargas atuantes são uniformemente distribuídas e os coeficientes para este tipo de carregamento são conhecidos.

Os valores podem ser consultados no ANEXO D, laje tipo 6, os coeficientes encontrados para $\lambda = 1,83$ são: $v'_x = 3,65$ e $v'_y = 2,5$. A resultante das cargas no fundo do reservatório é $Q_p = 14,035 \text{ KN/m}^2$. Logo as reações de apoio são calculadas pela equação:

$$V'_y = \frac{3,65 \times 14,035 \times 7,18}{10} = 36,78 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$V'_x = \frac{2,50 \times 14,035 \times 7,18}{10} = 25,19 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Momentos fletores

Os momentos fletores para placa de fundo foram cálculos com coeficientes retirados do ANEXO B, tipo 6, onde todas as extremidades encontram-se engastadas. Para $\lambda = 1,83$ os coeficientes encontrados são: $\mu_x = 3,96$, $\mu'_x = 8,18$, $\mu_y = 1,07$ e $\mu'_y = 5,72$. A resultante das cargas no fundo do reservatório é $Q_p = 14,035 \text{ KN/m}^2$. Logo os momentos fletores são calculados pela equação:

$$y = \frac{l_a}{l_b} = y = \frac{13,18}{7,18} = y = 1,83$$

$$\mu_x = 3,96$$

$$\mu'_x = 8,18$$

$$\mu_y = 1,07$$

$$\mu'_y = 5,72$$

$$M = \frac{\mu \times Q_p \times h^2}{100}$$

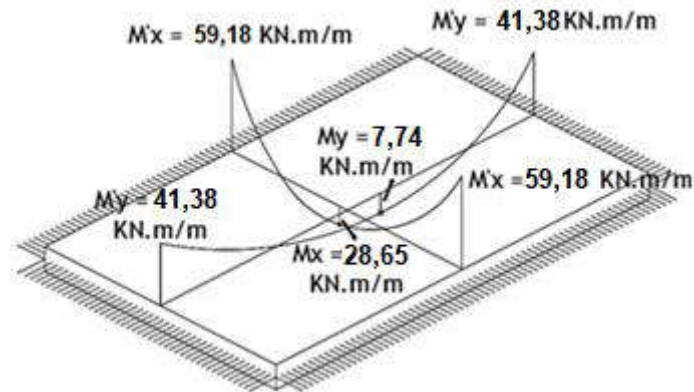
$$M_y = \frac{1,07 \times 14,035 \times 7,18^2}{100} = 7,74 \text{ KN.m/m}$$

$$M'_y = \frac{5,72 \times 14,035 \times 7,18^2}{100} = 41,38 \text{ KN.m/m}$$

$$M_x = \frac{2,27 \times 14,035 \times 7,18^2}{100} = 28,65 \text{ KN.m/m}$$

$$M'_x = \frac{5,65 \times 14,035 \times 7,18^2}{100} = 59,18 \text{ KN.m/m}$$

Figura 28 - Diagrama dos momentos fletores



Fonte: RESMIN; (2017, p.80) - Modificada pelo autor (2019).

Tabela 12 - Valores de momentos fletores não compatibilizados.

ELEMENTOS	MOMENTOS FLETORES (kN.m/m)			
	- M'x	+ Mx	- M'y	+ My
PAREDE 1 E 3	20,59	17,04	5,49	20,59
PAREDE 2 E 4	20,48	12,98	5,09	20,48
FUNDO	59,18	28,65	41,38	7,74

Fonte: RESMIN; (2017, p.81) - Modificada pelo autor (2019).

Compatibilização dos momentos fletores

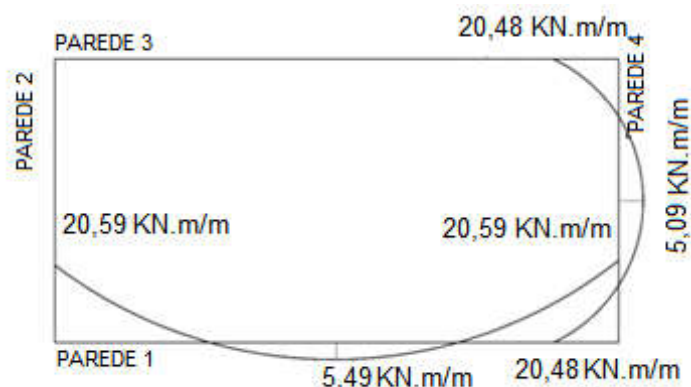
Analisando particularmente cada elemento que compõe a estrutura, pode-se afirmar que as arestas das paredes possuem pontos de engastamento com momentos negativos distintos. Para harmonização destas forças é aplicado o método de compatibilização dos momentos fletores. A compatibilização dos momentos tem por função analisar os momentos da estrutura como um todo e, e assim ver como as

cargas se comportam ao longo da mesma. Segundo como descrito por Pinheiros(1994), para critérios de cálculo, utilizou-se aproximadamente 80% do maior valor do momento fletor, por conseguinte a média entre os dois momentos fletores. Os momentos positivos são corrigidos em função da correção realizada nos momentos negativos. Quando ocorrer uma redução no momento negativo ocorrerá um acréscimo no momento positivo, já quando ocorrer um acréscimo no momento negativo, não é usual a correção no momento positivo em função da segurança, não havendo a redução.

Compatibilização das paredes 1 e 2 e paredes 3 e 4

Para a compatibilização dos momentos fletores entre as paredes é exposta na Figura 29, por meio de um corte horizontal que as intercepta, os diagramas que demonstram os momentos fletores característicos a serem compatibilizados.

Figura 29 - Momentos fletores entre as paredes não compatibilizado



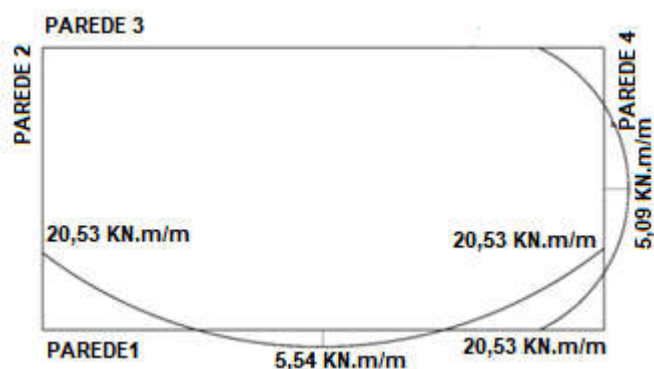
Fonte: RESMIN; (2017, p.82) - Modificada pelo autor (2019)

$$M \geq \begin{cases} 0,8 \times M'_{1,2} \\ \frac{M'_{1,2} + M'_{2,1}}{2} \end{cases}$$

$$M \geq \begin{cases} 0,8 \times 20,59 = 16,47 \text{ KN.m/m} \\ \frac{20,59 + 20,48}{2} = 20,53 \text{ KN.m/m} \end{cases}$$

$$\frac{20,59-20,53}{2} + 5,09 = 5,12 \text{ KN.m/m}$$

Figura 30 - Momentos fletores entre as paredes compatibilizados

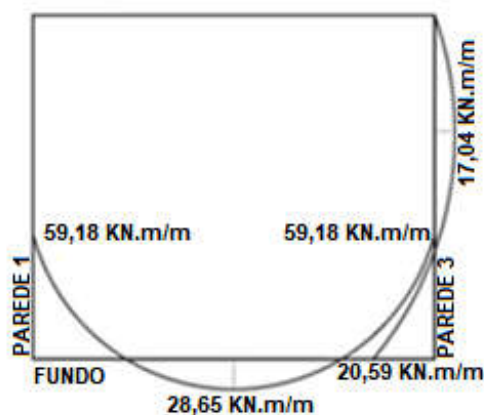


Fonte: RESMIN; (2017, p.82) - Modificada pelo autor (2019).

Compatibilização da laje de fundo e paredes 1 e 3

Os esforços de momentos fletores que solicitam o fundo e as paredes 1 e 3 têm seus diagramas apresentados na Figura 30, mediante corte vertical, apresentam-se valores a serem compatibilizados, os momentos compatibilizados podem ser vistos na Figura 31.

Figura 31 - Momentos fletores do fundo e paredes 1 e 3 não compatibilizados



Fonte: RESMIN; (2017, p.83) - Modificada pelo autor (2019).

Utiliza-se o maior valor dentre os calculados abaixo, logo o momento fletor final

será: $M = 47,34 \text{ kN.m/m}$.

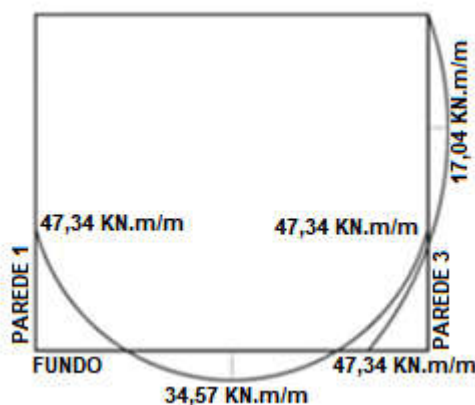
$$M \geq \begin{cases} 0,8 \times 59,18 = 47,34 \text{ kN.m/m} \\ \frac{59,18 + 20,59}{2} = 39,88 \text{ kN.m/m} \end{cases}$$

Para as correções dos momentos fletores positivos, tem-se: $17,04 \text{ kN.m/m}$, que é mantido a favor da segurança e $28,65 \text{ kN.m/m}$ tem seu valor acrescido pela seguinte expressão:

$$\frac{59,18 - 47,34}{2} + 28,65 = 34,57 \text{ kN.m/m}$$

Logo o diagrama de compatibilização dos momentos fletores, será:

Figura 32 - Momentos fletores do fundo e paredes 1 e 3 compatibilizados

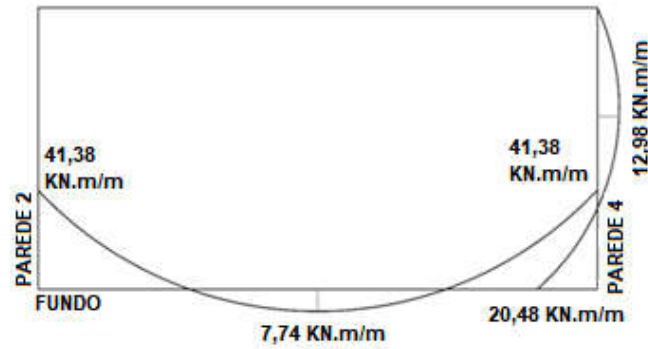


Fonte: RESMIN; (2017, p.84) - Modificada pelo autor (2019).

Compatibilização da laje de fundo e paredes 2 e 4

Mediante corte vertical, os esforços de momentos fletores que solicitam o fundo e as paredes 02 e 04 do reservatório apresentam-se valores a serem compatibilizados, os momentos compatibilizados podem ser vistos na Figura 33.

Figura 33 - Momentos fletores não compatibilizados



Fonte: RESMIN; (2017, p.84) - Modificada pelo autor (2019).

Utilizando a equação da compatibilização dos momentos temos:

$$M \geq \begin{cases} 0,8 \times 41,38 = 33,10 \text{ KN.m/m} \\ \frac{41,38 + 20,48}{2} = 30,93 \text{ KN.m/m} \end{cases}$$

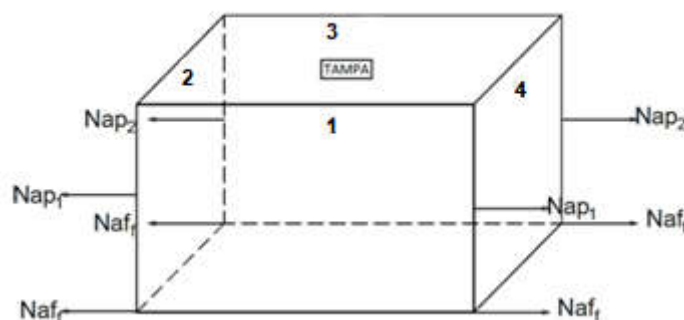
O momento negativo compatibilizado será o maior valor dentre os calculados pelas expressões abaixo, logo o momento fletor final será: $M = 33,10 \text{ KN.m/m}$.

Para as correções dos momentos fletores positivos, tem-se: $12,98 \text{ KN.m/m}$, que é mantido a favor da segurança e $7,74 \text{ KN.m/m}$ tem seu valor acrescido pela seguinte expressão:

$$\frac{41,38 - 33,10}{2} + 7,74 = 11,88 \text{ KN.m/m}$$

Parede 1 e 3 e fundo

Figura 34 - Esforços de tração placas 1, 3 e fundo.



Fonte: RESMIN; (2017, p.86) - Modificada pelo autor (2019).

Considera-se:

$$a = 740 \text{ cm} - 44 \text{ cm} = 696 \text{ cm}$$

$$h = 400 \text{ cm} - 22 \text{ cm} = 378 \text{ cm}$$

$$\varphi = 10 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{h}{a} = \frac{378}{696} = 0,54$$

$$\rho_f = 0,54$$

$$\rho_p = 0,23$$

$$N = \frac{\rho_p \times b \times h^2 \times \varphi}{2} = N_{ap1,3} = \frac{0,23 \times 6,96 \times 3,78^2 \times 10}{2} = N_{ap1,3} = 114,36 \text{ KN}$$

$$N_{ap1,3} = \frac{314,36 \text{ KN}}{23,78 \text{ m}} = N_{ap1,3} = 30,25 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

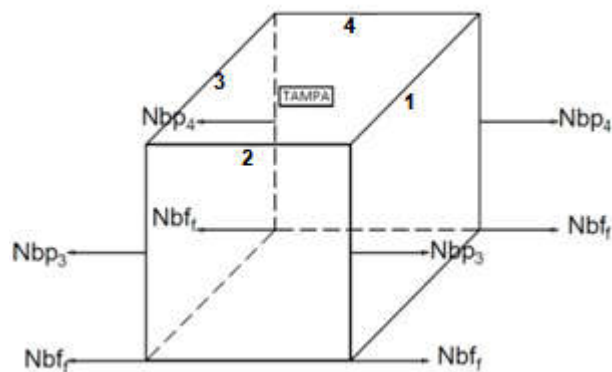
$$N_{af1,3} = \frac{0,54 \times 6,96 \times 3,78^2 \times 10}{2} = N_{ap1,3} = 268,50 \text{ KN}$$

$$N_{ap1,3} = \frac{268,50 \text{ KN}}{6,96 \text{ m}} = N_{ap1,3} = 38,58 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Paredes 2 e 4 e fundo

Considera-se:

Figura 35 - Esforços de tração placas 2, 4 e fundo



Fonte: RESMIN; (2017, p.86) - Modificada pelo autor (2019).

$$a = 1340 \text{ cm} - 44 \text{ cm} = 1296 \text{ cm}$$

$$h = 400 \text{ cm} - 22 \text{ cm} = 378 \text{ cm}$$

$$\varphi = 10 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

Para calcular os esforços nas placas 2, 4 e fundo, considerou-se que $a=12,96\text{m}$, $h=3,78\text{m}$ e $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$, os coeficientes de porcentagem para $h/a \cong 0,29$ nas paredes são $\beta = 0,80$ e no fundo $\beta = 0,10$.

$$\frac{h}{a} = \frac{378}{1296} = 0,29$$

$$\rho_f = 0,80 ; \rho_p = 0,10$$

$$N = \frac{\rho_p \times b \times h^2 \times \gamma}{2}$$

$$N_{ap1,3} = \frac{0,10 \times 12,96 \times 3,78^2 \times 10}{2}$$

$$N_{ap2,4} = 92,58 \text{ KN}$$

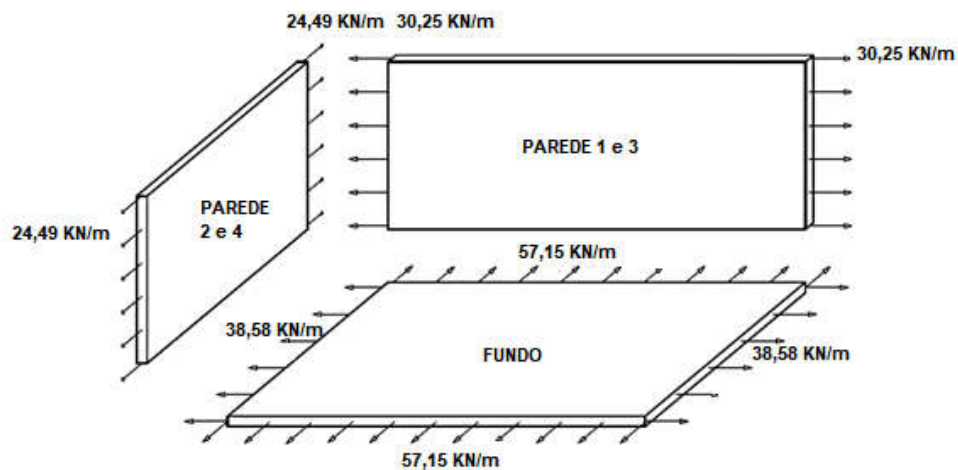
$$N_{ap2,4} = \frac{92,58 \text{ KN}}{3,78 \text{ m}} = N_{ap2,4} = 24,49 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$N_{af2,4} = \frac{0,8 \times 12,96 \times 3,78^2 \times 10}{2}$$

$$N_{ap2,4} = 740,71 \text{ KN}$$

$$N_{ap2,4} = \frac{740,71 \text{ KN}}{12,96 \text{ m}} = N_{ap2,4} = 57,15 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Figura 36 - Representação das forças normais de tração



Fonte: RESMIN; (2017, p.87) - Modificada pelo autor (2019).

Armadura mínima

Para fins de enriquecimento do trabalho em questão, desenvolveram-se memoriais de cálculo das armaduras do reservatório dimensionado. Nesta etapa em questão, serão utilizados os conceitos de área mínima propostos por Montoya, Monseguer e Cambre (2000) que citam que para estes determinados cálculos sejam usados uma porcentagem de 0,2% da área de concreto, logo a equação de área de aço mínima seria descrita como:

Foram considerados nesta equação os valores da porcentagem de aço utilizada e a espessura do reservatório (22 cm).

$$A_{s_{\min}} = \frac{0,2 \times 100 \times 22}{100} = A_{s_{\min}} = 4,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armadura das paredes e do fundo

Armadura das paredes 1 e 3.

Em reservatórios como os do tipo analisado, os esforços de tração e flexão atuam em conjunto nas paredes e no fundo da estrutura, ocasionando flexo-tração, logo a área de aço deve ser calculada em função das duas solicitações.

Os f_{ck} do concreto e f_{yd} do aço utilizados para a construção do tanque foram escolhidos com $f_{ck}=40 \text{ Mpa}$ e aço CA50.

Consideraram-se os seguintes valores para obter as áreas de aço: $b= 100 \text{ cm}$; $h= 22 \text{ cm}$; $d= 16,5 \text{ cm}$; $f_{cd}= 2,857 \text{ kN/cm}^2$ e $f_{yd}=43,48 \text{ kN/cm}^2$.

Sendo que os momentos fletores majorados que agem nas placas 1 e 3:

$$-M'_{yd} = 5,49 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4 = 7,686 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 768,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$+M_{yd} = 20,59 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4 = 28,826 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 2882,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$-M'_{xd} = 38,15 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4 = 53,41 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 5341 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$+M_{xd} = 17,045 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4 = 23,863 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 2786,3 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

A força de tração majorada será igual a:

$$N_d = N_{ap1,3} \times 1,4$$

$$N_d = 30,25 \times 1,4$$

$$N_d = 42,35 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \text{ ou } 0,4235 \frac{\text{KN}}{\text{cm}}$$

Para - M'yd, que apresenta solicitações composta de flexo-tração, a área da armadura foi encontrada utilizando as equações:

$$M_{sd} = -M'_{yd} - N_d \times \left(d - \frac{e}{2}\right)$$

$$M_{sd} = 768,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}} - 0,4235 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} \times \left(16,5 - \frac{22}{2}\right)$$

$$M_{sd} = 766,27 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{sd}}{0,425b \times d^2 \times f_{cd}}} \right] = x = 1,25 \times 16,5 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{766,27}{0,425 \times 100 \times 16,5^2 \times 2,857}} \right] = x = 0,24 \text{ cm}$$

$$x_{1,3} = 0,628d$$

$$x < x_{1,3}$$

0,24 cm < 10,36 cm, logo a armadura sera simples.

Utilizando a equação para cálculo da área de aço tem-se:

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} \times \left[\frac{M_{sd}}{d - 0,4x} + N_d \right]$$

$$A_s = \frac{1}{43,48} \times \left[\frac{766,27}{16,5 - 0,4 \times 0,24} + 0,4235 \right]$$

$$A_s = 1,08 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Como a armadura encontrada foi menor que a armadura mínima, o valor a ser utilizado será o valor de $A_{s,min} = 4,4 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Para +Myd, tem suas solicitações composta por flexo-tração, assim a área de aço foi encontrada utilizando as equações abaixo:

$$M_{syd} = +M_{yd} - N_d \times \left(d - \frac{e}{2}\right)$$

$$M_{sd} = 2882,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}} - 0,4235 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} \times \left(16,5 - \frac{22}{2}\right)$$

$$M_{sd} = 2880,27 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{syd}}{0,425b \times d^2 \times f_{cd}}} \right] = x = 1,25 \times 16,5 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2880,27}{0,425 \times 100 \times 16,5^2 \times 2,857}} \right] = x = 0,92 \text{ cm}$$

$$x_{1,3} = 0,628d$$

$$x < x_{1,3}$$

0,92 cm < 10,36 cm, logo a armadura sera simples.

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} \times \left[\frac{M_{sd}}{d - 0,4x} + N_d \right]$$

$$A_s = \frac{1}{43,48} \times \left[\frac{2880,27}{16,5 - 0,4 \times 0,92} + 0,4235 \right]$$

$$A_s = 4,11 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Como a armadura encontrada foi menor que a armadura mínima, o valor a ser utilizado será o valor de $A_{s,min} = 4,4 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Os momentos fletores, M'_{xd} e M_{xd} , nas placas de parede 1 e 2 não apresentam outro efeito de sollicitação agindo em conjunto com os momentos fletores, logo a força que atua nesses elementos é simples. Por este motivo, as taxas de armaduras foram calculadas em função de K_c e K_s , com o auxílio da tabela no ANEXO 3, para flexão simples.

A taxa de armadura para - M'_{xd} foi calculada através das seguintes equações:

$$K_c = \frac{100 \times 16,5^2}{5341}$$

$$K_c = 5,097 \frac{\text{cm}^2}{\text{KN}}$$

$$K_s = 0,024 \frac{\text{cm}}{\text{KN}}$$

$$A_s = \frac{K_s \times M'_{xd}}{d}$$

$$A_s = \frac{0,024 \times 5341}{16,5}$$

$$A_s = 7,76 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Para $+M_{xd}$, com momento fletor igual a 2386,3 kN.cm/m, encontrou-se a seguinte taxa de armadura:

$$K_c = \frac{100 \times 16,5^2}{2386,3}$$

$$K_c = 11,40 \frac{\text{cm}^2}{\text{KN}}$$

$$K_s = 0,023 \frac{\text{cm}}{\text{KN}}$$

$$A_s = \frac{K_s \times M'_{xd}}{d}$$

$$A_s = \frac{0,023 \times 2386,3}{16,5}$$

$$A_s = 3,32 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Logo, como o valor de A_s encontrado foi menor que o valor de $A_{s,\text{min}}$, a armadura será dimensionada com $A_{s,\text{min}} = 4,4 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Armaduras das paredes 2 e 4

Sendo que os momentos fletores majorados que agem nas placas de parede 2 e 4:

$$-M'_{yd} = 20,54 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4 = 28,756 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 2875,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$+M_{yd} = 5,49 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4 = 7,686 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 768,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$-M'_{xd}=48,67 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} 1,4=68,138 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 6813,8 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$+M_{xd}=17,045 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} 1,4=23,863 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 2786,3 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

A força de tração majorada para as paredes 2 e 4 é igual à:

$$N_d = N_{ap2,4} \times 1,4 = N_d = 24,49 \times 1,4 = N_d = 34,29 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \text{ ou } 0,3429 \frac{\text{KN}}{\text{cm}}$$

Para - M'yd, que apresenta solicitações composta de flexo-tração, a área da armadura será a mesma de - M'yd da parede 1 e 3: $A_s = 1,08 \text{ cm}^2/\text{m}$, logo considera-se a taxa de armadura mínima: $A_{smin} = 4,4 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Para que fosse determinada a taxa para +Myd utilizaram-se as seguintes equações:

$$M_{syd} = -M'_{yd} - N_d \times \left(d - \frac{e}{2}\right)$$

$$M_{syd} = 768,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}} - 0,3429 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} \times \left(16,5 - \frac{22}{2}\right)$$

$$M_{sd} = 766,71 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{sd}}{0,425b \times d^2 \times f_{cd}}} \right] = x = 1,25 \times 16,5 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{766,71}{0,425 \times 100 \times 16,5^2 \times 2,857}} \right]$$

$$x = 0,24 \text{ cm}$$

$$x_{2,4} = 0,628d$$

$$x < x_{2,4}$$

0,24 cm < 10,36 cm, logo a armadura será simples.

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} \times \left[\frac{M_{sd}}{d - 0,4x} + N_d \right]$$

$$A_s = \frac{1}{43,48} \times \left[\frac{766,71}{16,5 - 0,4 \times 0,24} + 0,3429 \right] = A_s = 1,08 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Logo, deve-se adotar a armadura mínima de 4,4 cm²/m.

Os momentos fletores M'xd e Mxd nas placas de parede 3 e 4 apresentam flexão simples. Por este motivo as taxas de armaduras puderam ser calculadas em função de Kc e Ks, com o auxílio da tabela no ANEXO 3, para flexão simples.

A taxa de armadura para - M'xd foi calculada pelas seguintes equações:

$$K_c = \frac{100 \times 16,5^2}{6813,8} = K_c = 4,00 \frac{\text{cm}^2}{\text{KN}}$$

$$K_s = 0,023 \frac{\text{cm}}{\text{KN}}$$

Dimensionamento armadura

$$A_s = \frac{K_s \times M'_{xd}}{d}$$

$$A_s = \frac{0,023 \times 6813,8}{16,5} = A_s = 9,62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Para +Mxd, que tem seu momento fletor igual a 2387 kN.cm/m, encontrou-se a seguinte taxa de armadura:

$$K_c = \frac{100 \times 16,5^2}{2386,3}$$

$$K_c = 11,40 \frac{\text{cm}^2}{\text{KN}}$$

$$K_s = 0,023 \frac{\text{cm}}{\text{KN}}$$

$$A_s = \frac{K_s \times M'_{xd}}{d} = A_s = \frac{0,023 \times 2386,3}{16,5} = A_s = 3,32 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Logo, usar-se-a As,min=4,4 cm²/m.

Armaduras da placa de fundo

A placa de fundo terá a ação de solicitações compostas nas duas direções, desta forma para o cálculo da armadura será necessária à utilização das equações onde momento fletor e a força normal é considerada.

Os momentos fletores majorados que agem nas placas de fundo são:

$$-M'_{yd}=41,38 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4=57,93 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 5793 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$+M_{yd}=7,74 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4=10,836 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 1083,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$-M'_{xd}=59,18 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4=82,85 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 8285 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$+M_{xd}=28,65 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \times 1,4=40,11 \frac{\text{KN.m}}{\text{m}} \text{ ou } 4011 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

Para as forças de tração majoradas para placa de fundo têm-se os seguintes valores:

$$N_d = N_{di} \times 1,4$$

$$N_d = 38,58 \times 1,4 = N_{dy} = 54,012 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \text{ ou } 0,54012 \frac{\text{KN}}{\text{cm}}$$

$$N_{dx} = 57,15 \times 1,4 = N_{dx} = 80,01 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \text{ ou } 0,800 \frac{\text{KN}}{\text{cm}}$$

Para que fosse determinada a taxa para - M'_{yd} utilizaram-se as seguintes equações:

$$M_{sd} = M_d - N_d \times \left(d - \frac{e}{2}\right)$$

Para $-M'_{yd}$

$$M_{sd} = 5793 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}} - 0,54012 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} \times \left(16,5 - \frac{22}{2}\right)$$

$$M_{sd} = 5790,02 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{sd}}{0,425b \times d^2 \times f_{cd}}} \right] = x = 1,25 \times 16,5 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{5790,02}{0,425 \times 100 \times 16,5^2 \times 2,857}} \right] = x = 1,89 \text{ cm}$$

$$x_f = 0,628d$$

$$x < x_f$$

1,89 cm < 10,36 cm, logo armadura simples.

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} \times \left[\frac{M_{sd}}{d - 0,4x} + N_d \right]$$

$$AS = \frac{1}{43,48} \times \left[\frac{5790,02}{16,5 - 0,4 \times 1,89} + 0,54012 \right]$$

$$AS = 8,47 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \text{ em y}$$

Para que fosse determinada a área da armadura necessária para + M'yd utilizaram-se as seguintes equações:

$$M_{syd} = +M_{yd} - N d \times \left(d - \frac{e}{2} \right)$$

$$M_{sd} = 1083,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}} - 0,54012 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} \times \left(16,5 - \frac{22}{2} \right)$$

$$M_{sd} = 1080,63 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{syd}}{0,425b \times d^2 \times f_{cd}}} \right] = x = 1,25 \times 16,5 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1080,63}{0,425 \times 100 \times 16,5^2 \times 2,857}} \right] = x = 0,33 \text{ cm}$$

$$x < x_f$$

$$0,33 \text{ cm} < 10,36 \text{ cm}$$

$$AS = \frac{1}{f_{yd}} \times \left[\frac{M_{sd}}{d - 0,4x} + N d \right]$$

$$AS = \frac{1}{43,48} \times \left[\frac{1080,63}{16,5 - 0,4 \times 0,33} + 0,54012 \right]$$

$$AS = 1,53 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Logo se utiliza armadura de $A_{s,\min} = 4,4 \text{ cm}^2/\text{m}$

Para -M'xd, encontrou-se a seguinte taxa de armadura:

$$M_{sd} = 8285 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}} - 0,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} \times \left(16,5 - \frac{22}{2} \right)$$

$$M_{sd} = 8280,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{sd}}{0,425b \times d^2 \times f_{cd}}} \right] = x = 1,25 \times 16,5 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{8280,60}{0,425 \times 100 \times 16,5^2 \times 2,857}} \right] = x = 2,76 \text{ cm}$$

$$x < x_f$$

2,76 cm < 10,36 cm, logo armadura simples.

$$AS = \frac{1}{f_{yd}} \times \left[\frac{Msd}{d-0,4x} + Nd \right]$$

$$AS = \frac{1}{43,48} \times \left[\frac{8280,6}{16,5-0,4 \times 1,89} + 0,8 \right] = AS = 12,38 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Para +Mxd, encontrou-se a seguinte taxa de armadura:

$$M_{syd} = +M_{yd} - Nd \times \left(d - \frac{e}{2} \right)$$

$$Msd = 4011 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}} - 0,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} \times \left(16,5 - \frac{22}{2} \right)$$

$$Msd = 4006,6 \frac{\text{KN.cm}}{\text{m}}$$

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{syd}}{0,425b \times d^2 \times f_{cd}}} \right] = x = 1,25 \times 16,5 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4006,6}{0,425 \times 100 \times 16,5^2 \times 2,857}} \right] = x = 1,29 \text{ cm}$$

$$x < x_f$$

1,29 cm < 10,36 cm, logo armadura simples.

$$AS = \frac{1}{f_{yd}} \times \left[\frac{Msd}{d-0,4x} + Nd \right] = AS = \frac{1}{43,48} \times \left[\frac{4006,6}{16,5-0,4 \times 1,29} + 0,8 \right] = AS = 5,78 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Tabela 13 - Tabela Área de aço dos elementos do reservatório

ELEMENTOS	ÁREA DE AÇO (cm²/m)			
	- M'yd	+ Myd	- M'xd	+ Mxd
PAREDE 1 E 3	4,4	4,4	7,76	4,4
PAREDE 2 E 4	4,4	4,4	9,6	4,4
FUNDO	8,47	4,4	12,38	5,78

Fonte: Autores (2019).

Quantidade de armaduras

A partir da aferição da área de aço para cada laje do reservatório, considerando o maior valor entre os momentos flettores de cada orientação, M e M' , que podem ser vistas na tabela 13. Os valores usados foram:

Parede 1 e 3:

M_y : 4,4 ; M_x : 7,76

Parede 2 e 4:

M_y : 4,4 ; M_x : 9,6

Fundo:

M_y : 8,47 ; M_x : 12,36

Cada área de aço foi verificada na tabela 14, a fim de ser definida, pela escolha dos autores, a bitola de aço a ser utilizada em cada placa de laje, utilizando-se prioritariamente o espaçamento de 10 – 20 cm.

Tabela 14 - Área da seção transversal de barras longitudinais por metro de laje (cm²/m)

Espaçamento	Diâmetro da barra (mm) - $\phi \leq h/8$								
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	22	25
7	2,80	4,45	7,18	11,22	17,53	28,72	44,88	54,30	70,12
8	2,45	3,90	6,28	9,82	15,34	25,13	39,27	47,52	61,36
9	2,18	3,46	5,59	8,73	13,64	22,34	34,91	42,24	54,54
10	1,96	3,12	5,03	7,85	12,27	20,11	31,42	38,01	49,09
11	1,78	2,83	4,57	7,14	11,16	18,28	28,56	34,56	44,62
12	1,64	2,60	4,19	6,54	10,23	16,76	26,18	31,68	40,91
13	1,51	2,40	3,87	6,04	9,44	15,47	24,17	29,24	37,76
14	1,40	2,23	3,59	5,61	8,77	14,36	22,44	27,15	35,06
15	1,31	2,08	3,35	5,24	8,18	13,40	20,94	25,34	32,72
16	1,23	1,95	3,14	4,91	7,67	12,57	19,63	23,76	30,68
17	1,15	1,83	2,96	4,62	7,22	11,83	18,48	22,36	28,87
18	1,09	1,73	2,79	4,36	6,82	11,17	17,45	21,12	27,27
19	1,03	1,64	2,65	4,13	6,46	10,58	16,53	20,01	25,84
20	0,98	1,56	2,51	3,93	6,14	10,05	15,71	19,01	24,54
21	0,93	1,48	2,39	3,74	5,84	9,57	14,96	18,10	23,37
22	0,89	1,42	2,28	3,57	5,58	9,14	14,28	17,28	22,31
23	0,85	1,36	2,19	3,41	5,34	8,74	13,66	16,53	21,34
24	0,82	1,30	2,09	3,27	5,11	8,38	13,09	15,84	20,45
25	0,79	1,25	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57	15,21	19,63
26	0,76	1,20	1,93	3,02	4,72	7,73	12,08	14,62	18,88
27	0,73	1,15	1,86	2,91	4,55	7,45	11,64	14,08	18,18
28	0,70	1,11	1,80	2,80	4,38	7,18	11,22	13,58	17,53
29	0,68	1,07	1,73	2,71	4,23	6,93	10,83	13,11	16,93
30	0,65	1,04	1,68	2,62	4,09	6,70	10,47	12,67	16,36
31	0,63	1,01	1,62	2,53	3,96	6,49	10,13	12,26	15,83
32	0,61	0,97	1,57	2,45	3,83	6,28	9,82	11,88	15,34
33	0,59	0,94	1,52	2,38	3,72	6,09	9,52	11,52	14,87

[MUSSO]

Fonte: MUSSO, (ano).

As áreas de aço obtidas através da análise da tabela de Musso (ano), foi possível definir, a bitola e espaçamento de cada barra, como mostra o resumo nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15 - Resumo das Armaduras em Y (horizontal)

	Área de aço adotada(cm ² /m)	Armadura
Parede 1e3	4,4	8mm- c.11-c=1318(4,57 cm ²)
Parede 2 e 4	4,4	8mm - c.11-c=718 (4,57 cm ²)
Fundo	8,47	12,5mm-c.14-c=1318 (8,77 cm ²)

Fonte: Autores (2019)

Tabela 16 - Resumo das Armaduras em X (Vertical).

	Área de aço adotada(cm ² /m)	Armadura
Parede 1e3	7,76	10mm-c.10-c=389 (7,85 cm ²)
Parede 2 e 4	9,6	12,5mm-c12-c=389 (10,23 cm ²)
Fundo	12,38	16,0mm-c16-c=718(12,57 cm ²)

Fonte: Autores (2019)

Para calcular a quantidade de barras verticais, foi utilizado a medida horizontal da laje sobre o espaçamento. E a quantidade de barras horizontais, o oposto, como estão descritos nas tabelas 17, 18 e 19.

Tabela 17 - Número de barras parede 1 e 3.

Parede 1 e 3
Nº de barras
$mx=ly/10 = 1318/10=131,8$, usou-se 131.
$my=lx/11= 389/11=35,36$, usou-se 35.

Fonte: Autores (2019)

Tabela 18 - Número de barras paredes 2 e 4.

Paredes 2 e 4
Nº de barras=
$mx=ly/12=718/12= 59,83$, usou-se 59.
$my=lx/11= 378/11= 35,36$, usou-se 35.

Fonte: Autores (2019)

Tabela 19 - Número de barras paredes fundo.

Fundo
Nº de barras=
$mx=ly/16=1318/16=82,37$, usou-se 82.
$my=lx/14= 718/14=51,28$, usou-se 51.

Fonte: Autores (2019)

Para efeitos de cálculo foi usado o valor de massa linear de acordo com a Norma Brasileira, ABNT NBR 7480 (2007), descritos na tabela 20.

Tabela 20 - Relação de Massa Linear e diâmetro de barra de aço CA-50.

Diâmetro	Massa linear (kg/m)
8mm	0,395
10mm	0,617
12,5mm	0,963
16mm	1,578

Fonte: NBR 7480 (2007), pág. 10, modificado pelos autores (2019)

O peso em Kg de cada barra será calculada usando a formula a seguir:

$$P = M \times n^{\circ} \times C, \text{ onde:}$$

P: Peso da barra(Kg);

M: Massa linear (Kg/m)

n° = Número de barras;

C = Comprimento da barra(m).

A relação do Peso e comprimento das barras estão descritas nas tabelas 21 e 22 a seguir:

Tabela 21 - Peso das barras em My.

	My	Comprimento(m)	Peso (kg)
Parede 1 e 3	35 x 8.0 ϕ - c.11 - c=1318	461,3	182,2
Parede 2 e 4	35 x 8.0 ϕ - c.11 - c=718	251,3	99,3
Fundo	51 x 12,5 ϕ - c.14 - c=1318	672,18	647,3

Fonte: Autores (2019)

Tabela 22 – Peso das barras em Mx.

	Mx	Comprimento(m)	Peso (Kg)
Parede 1 e 3	131 x 10 ϕ - c.10 - c=389	509,59	314,4
Parede 2 e 4	59 x 12,5 ϕ - c.12 - c=389	229,51	221,0
Fundo	82 x 16 ϕ - c.16 - c=718	595,94	929,1

Fonte: Autores (2019)

Dimensionamento da tubulação e bombas

Para dimensionamento da tubulação, primeiramente, foi feita uma sobreposição da planta baixa disponibilizada pelo SAAE-Aracruz na a planta de georreferenciamento obtida no levantamento cadastral do município (PMA, 2012), ambas da ETA e visíveis no anexo x. Através desta junção, pode-se saber onde o reservatório dimensionado, no Apêndice A, poderia ser alocado.

Após, foram traçados no projeto onde se encontrariam a tubulação de entrada da água de lavagem dos filtros no reservatório e a saída da água decantada com destino a calha Parshall, conforme anexo X. O encanamento de destinação do lodo do reservatório não foi aferido por não haver dados suficientes a respeito da tubulação pré-existente de saída desse material no SAAE e do tipo de tratamento que esse resíduo recebe, entretanto propõe-se que seja aplicado o mesmo tratamento já realizado e que o reservatório seja conectado à rede de destinação de lodo já encontrada na ETA.

Dimensionamento tubulação antes do reservatório

Para o trecho filtro-reservatório, denominado trecho A, a água de lavagem de filtros ira escoar por gravidade, logo há apenas a necessidade de dimensionar a quantidade tubos que saem dos filtros, a quantidade de metros corridos de tubulação, bem como os equipamentos necessários para sua execução.

Para o dimensionamento da tubulação foram utilizados dois tubos de diâmetro 400 mm, que pode ser visto na Tabela 22, cujo diâmetro interno equivale a:

$$DN - 2 * Enom = 400 - 2 * (6,3)$$

$$DI = 388 \text{ mm} = 0,388 \text{ m}$$

Sendo cada tubo responsável por escoar a água de lavagem de três filtros (ao todo no SAAE existem seis filtros em funcionamento).

Tabela 23 - Diâmetro de tubo em ferro fundido

DN	L	L1	DE	DI Bolsa	B	P	e nom Ferro	Por Metro	Total
	m	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	Kg	Kg
150	6	-	170	173	243	100,5	5,2	23,3	139,8
200	6	-	222	225	296	106,5	5,4	31,9	191,4
250	6	-	274	277	353	105,5	5,5	40,3	241,8
300	6	-	326	329	410	107,5	5,7	49,8	298,8
350	6	-	378	381	465	110,5	5,9	64,9	389,4
400	6	-	429	432	517	112,5	6,3	77,9	467,4
450	6	-	480	483	575	115,5	6,7	91,7	550,2
500	6	-	532	535	630	117,5	7	106,1	636,6
600	6	135	635	638	739	122,5	7,7	137,9	827,4
700	7	148	738	741	863	147,5	8,4	176,5	1235,5
800	7	150	842	845	974	147,5	9,1	216,3	1514,1
900	7	148	945	948	1082	147,5	9,8	259,4	1815,8
1000	7	155	1048	1051	1191	157,5	10,5	316,2	2213,4

1200	7	165	1255	1258	1412	167,5	11,9	411,9	2883,3
------	---	-----	------	------	------	-------	------	-------	--------

Fonte: Saint Gobain (2019)

Após a escolha do diâmetro da tubulação, foi necessário calcular a área da seção transversal do tubo.

Equação área da seção transversal do tubo

$$A_{\text{seção}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_{\text{seção}} = \frac{\pi \cdot 0,3874^2}{4} = 0,1179 \text{ m}^2$$

Onde:

D = diâmetro do tubo

Perdas de carga na tubulação (hl)

Para cálculo de perda de carga na tubulação no trecho A adotou-se, uma válvula de agulha, um tê e uma curva de 45°, de acordo com a tabela 23

Tabela 24 - Valor de K (perda de carga), trecho A.

Trecho A	quant.	k	Subtotal
Válvula agulha, totalmente aberta	1	2	2
T	1	0,4	0,4
Curva 90°, rosqueado regular	0	0	0
Curva 45°, rosqueado regular	1	0,2	0,2
Total			2,6

Fonte: LIVRO (ANO), modificado pelo autor

Calculo do número de Reynolds (Re) e Fator de atrito (f)

Sabe-se que de acordo com as características do tubo, como o material, e do fluido, pode-se considerar alguns dados necessários para o cálculo do número de Reynolds e Fator de atrito da tubulação de ambos os trechos.

Tabela 25 - Dados trecho A

Dados (unidade)	Valor
P = Massa esp (kg/m ³)	1000
μ = Visc. (Pa.s)	0,001
e = Rugosidade tubo (mm)	0,25
e/D	0,000645
z₂-z₁ (m)	4,44
L (m)	24,04

Fonte: Autores (2019)

Tabela 26 - Vazão esperada para o tanque

f	V (m/s)	Re	F	Convergiu?	Q (m ³ /s)
0,00001	1,847855	715859,2	0,018238	não	0,21781
0,018238	1,542585	597597,5	0,018333	sim	0,181827
0,018333	1,541373	597127,8	0,018333	sim	0,181684
0,018333	1,541367	597125,6	0,018333	sim	0,181683
0,018333	1,541367	597125,6	0,018333	sim	0,181683
0,018333	1,541367	597125,6	0,018333	sim	0,181683
0,018333	1,541367	597125,6	0,018333	sim	0,181683

Fonte: Autores

Equação da velocidade média de escoamento

Para cálculo da velocidade de escoamento da água pelo tubo na expressão:

$$V = \sqrt{\frac{(2 * (z_2 - z_1))}{\left(\frac{L}{D}\right) * f + S_p}}$$

Onde:

(z₂-z₁)= Altura manométrica(m);

L= Comprimento nominal da tubulação(m);

D= Diâmetro interno do tubo(m)

f= Fator de atrito (0,00001);

h_l = perda de carga ao longo da tubulação;

$$V = \sqrt{\frac{(2 * 4,4)}{\left(\frac{24,04}{0,3874}\right) * 0,018333 + 2,6}}$$

$$V = 1,5413 \text{ m/s}$$

Cálculo Número de Reynolds

Para o cálculo de Reynolds utiliza-se a equação:

$$Re = \frac{\rho * V_m * D}{\mu}$$

Onde:

V_m = velocidade média do fluido (m/s);

ρ = massa específica (kg/m³);

D = Diâmetro interno (m);

μ = Viscosidade (Pa.s);

$$Re = \frac{1000 * 1,5413 * 0,3874}{0,001}$$

$$Re = 597125,6$$

Fator de atrito

Para o cálculo do fator de atrito adotou-se o método da estimativa e erro. Esse método consiste em estimar um valor mínimo a fim de iniciar os cálculos por associação.

Para início dos cálculos foi dado um fator de atrito de 0,00001, porém comparando com o valor encontrado na tabela, percebe-se que o mesmo não converge com o resultado. Pela tabela é visível que o valor do fator de atrito converge a partir de $f = 0,018333$. Foi escolhido pelos autores, como valor base de cálculo, o mesmo valor, pois não houve alteração dos outros valores.

$$f = \left[-1,8 * \log \left(\left(\frac{e}{D} \right)^{1,11} + \left(\frac{6,9}{Re} \right) \right) \right]^{-2}$$

$$f = \left[-1,8 * \log \left(\left(\frac{0,25}{0,3874} \right)^{1,11} + \left(\frac{6,9}{597125,6} \right) \right) \right]^{-2}$$

$$f = 0,018333$$

Tempo de enchimento do tanque

Para o cálculo de tempo de enchimento do tanque utilizou a seguinte expressão da vazão:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

Onde:

Q= Vazão (m³/s);

V= volume correspondente ao tanque (m³);

t= tempo (s);

Porém para encontrar o tempo de enchimento do tanque é preciso antes ter o valor da vazão gerada no processo.

$$Q = \pi * D^2 * e * V$$

Onde:

Q= vazão esperada (m³/s);

D= diâmetro interno do tubo(m);

e= rugosidade do tubo;

V= velocidade média de escoamento (m/s);

$$Q = \pi * (0,3874)^2 * 0,25 * 1,5413$$

$$Q = 0,18168 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sabendo o valor da vazão correspondente, basta calcular o tempo que o tanque demora a encher. Utilizando a equação citada anteriormente tem-se:

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{117}{0,18168}$$

$$t = 1876,671 \text{ seg}$$

$$t = \frac{1876,671}{60} = 31,27786 \text{ min}$$

t = 31 minutos e 16 segundos

Para os dias em que o volume do reservatório não for suficiente para comportar toda água proveniente da lavagem dos filtros, deverá ser previsto em projeto uma tubulação em que a água sobressalente seja destinada ao mesmo local que é atualmente, dito isso, conclui-se que a água não poderá ser aproveitada 100%, pois não seria viável economicamente um reservatório em maior escala.

Para que o sistema seja acionado automaticamente deverá ser previsto em projeto um sistema de sensor e boia, no qual será adotado uma altura máxima de nível d'água onde o mesmo irá acionar e a água proveniente dos filtros irá cessar seu fornecimento ao reservatório e será levada por tubulação adjacente para o destino que existe atualmente.

Dimensionamento após reservatório

Após a água chegar ao reservatório é necessário que a mesma fique em repouso por pelo menos 1 (uma) hora antes de começar ser bombeada para a entrada da ETA. Além disso, a vazão com que esta água deverá ser inserida na entrada da estação, não deve ultrapassar 10% da água bruta que chega do manancial.

Sendo assim, o primeiro passo deve ser calcular a vazão média bruta da ETA. Para isso serão utilizados as vazões brutas descritas na tabelas mensais que se encontram no anexo A desta trabalho, fazendo uma média de cada mês e ao final a média anual, um exemplo do mês de janeiro de 2018 será descrito abaixo na tabela 26:

Tabela 27 - Vazão mês de Janeiro

DATA	VB (L/s)
1-jan	143,85
2-jan	163,09
3-jan	155,71
4-jan	130,86
5-jan	132,86
6-jan	135,14
7-jan	132,43
8-jan	138,00

9-jan	132,46
10-jan	145,21
11-jan	126,14
12-jan	154,71
13-jan	144,50
14-jan	130,29
15-jan	137,79
16-jan	139,86
17-jan	145,21
18-jan	144,36
19-jan	150,50
20-jan	147,36
21-jan	151,08
22-jan	150,83
23-jan	141,14
24-jan	152,93
25-jan	152,29
26-jan	164,50
27-jan	165,86
28-jan	140,85
29-jan	155,23
30-jan	144,31
31-jan	160,50
TOTAL	4509,85
Média mensal:	4509,85/31 = 145,48

Fonte: SAAE – Aracruz (2018), modificado pelos autores(2019)

Assim foi realizado o cálculo da média de vazão mensal, os valores encontrados encontram-se na tabela 27, assim como a média anual de vazão, será este valor usado para cálculo:

Tabela 28 - Cálculo da média mensal de vazão da ETA-Aracruz sede, em 2018

Mês	Média mensal (l/s)
Jan	145,48
Fev	148,82
Mar	143,63
Abr	147,09
Mai	147,99
Jun	148,17
Jul	150,38
Ago	147,03

Set	135,42
Out	145,25
Nov	197,37
Dez	156,22
Soma anual	1812,84
Média anual	151,07

Fonte: Autores (2019)

Como dito anteriormente a vazão de água de lavagem de filtro a ser inserida na entrada da ETA, não deve ultrapassar 10% da vazão de entrada, sendo assim são 10% de 151,07 L/s, logo a vazão com que a água deverá ser bombeada é de 15.107 L/s, que equivale a aproximadamente 0,015 m³/s.

O trecho do sistema que será bombeado foi dividido em duas partes, a fim de calcular as perdas de carga, trecho B e C, onde o B é o trecho que sai do reservatório e o C é depois da bomba que vai até a calha Parshal, como mostra o Apêndice D.

A tubulação adotada será de ferro fundido e o diâmetro para esta parte do sistema foi de 150 mm, baseado na tabela de tubo de ferro fundido da empresa Saint Gobain apresentada anteriormente:

Para definir qual diâmetro interno basta subtrair duas vezes a espessura da parede do tubo. Sendo assim, com DN = 150 mm.

$$D = 150 - 2 \times 5,2$$

$$D = 139,6 \text{ mm} = 0,1396 \text{ m}$$

Cálculo da área da seção transversal:

A seção transversal é circular, sendo calculada pela formula:

$$A_{\text{seção}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_{\text{seção}} = \frac{\pi \cdot 0,1396^2}{4} = 0,015306 \text{ m}^2$$

Calculo do número de Reynolds (Re) e Fator de atrito (f)

Na tabela 28, pode-se ver dados necessários para o cálculo do número de Reynolds e Fator de atrito da tubulação dos trechos B e C.

Tabela 29 - Dados para os trechos B e C.

Dados (unidade)	Valor
P = Massa esp (kg/m ³)	1000
μ = Visc. (Pa.s)	0,001
e = Rugosidade tubo (mm)	0,25
e/D	0,001791

Fonte: Autores (2019)

Para calcular o Re deve-se primeiro achar a velocidade do escoamento, para isso a equação utilizada foi da vazão, onde:

$$Q = V \cdot A, \text{ seção}$$

Logo,

$$V = \frac{Q}{A, \text{ seção}}$$

Calculado anteriormente A, seção = 0,015306 m²

$$V = (0,015 \text{ m}^3/\text{s}) / 0,015306 \text{ m}^2$$

$$V = 0,980 \text{ m/s}$$

A equação de Re:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \cdot 0,980 \cdot 0,1396}{0,001}$$

$$Re = 136809$$

A equação de f:

$$f = \left[-1,8 \cdot \log \left(\left(\frac{e}{3,7D} \right)^{1,11} + \left(\frac{6,9}{Re} \right) \right) \right]^{-2}$$

$$f = \left[-1,8 \cdot \log \left(\left(\frac{0,25}{3,7 \cdot 0,1396} \right)^{1,11} + \left(\frac{6,9}{136809} \right) \right) \right]^{-2}$$

$$f = 0,0240$$

Trecho B

Analisando o fluxograma apresentado no APENDICE D, pode-se ver a diferença de altura e comprimento de tubulação reta do trecho B que estão descritos na tabela X abaixo:

Tabela 30 - Dados trecho B

Dados trecho B	Valor
z2-z1 (m)	6,25
L (m)	9,4
g (m/s ²)	9,81

Fonte: Autores (2019)

Tabela 31 - Valor de K, trecho B

Trecho B	quant.	k	Subtotal
Válvula agulha, totalmente aberta	1	2	2
Curva 90°, rosqueado regular	1	1,4	1,4
Curva 45°, rosqueado regular	2	0,4	0,8
Total			4,2

Fonte: Autores (2019)

Cálculo da perda de carga do trecho B se dá através da formula:

$$h_l = \left(f \cdot \frac{L}{D} + k \right) \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$h_l = \left(0,0240 \cdot \frac{9,4}{0,1396} + 4,2 \right) \cdot \frac{0,980^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$h_l = 0,285 \text{ m}$$

Para o trecho C o método é o mesmo:

Tabela 32 - Dados trecho C

Dados trecho C	Valor
z2-z1 (m)	2,99
L (m)	23,87
g (m/s ²)	9,81

Fonte: Autores (2019)

Tabela 33 - Valores de K, trecho C

Trecho C	quant.	k	Subtotal
Válvula agulha, totalmente aberta	0	2	0
Curva 90°, rosqueado regular	5	1,4	7

Curva	45°,	0	0,4	0
rosqueado regular				
Total				7

Fonte: Autores (2019)

$$h_l = \left(f \cdot \frac{L}{D} + k \right) \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$h_l = \left(0,0240 \cdot \frac{23,87}{0,1396} + 7 \right) \cdot \frac{0,980^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$h_l = 0,544 \text{ m}$$

Calculada as perdas de carga de cada trecho, a altura manométrica (Hman) é a diferença de altura mais as perdas de carga:

$$H_{man}: \Delta Z_{\text{trecho A}} + \Delta Z_{\text{trecho B}} + h_{l \text{ trecho A}} + h_{l \text{ trecho B}}$$

$$H_{man} = 6,25 \text{ m} + 2,99 \text{ m} + 0,285 \text{ m} + 0,544 \text{ m}$$

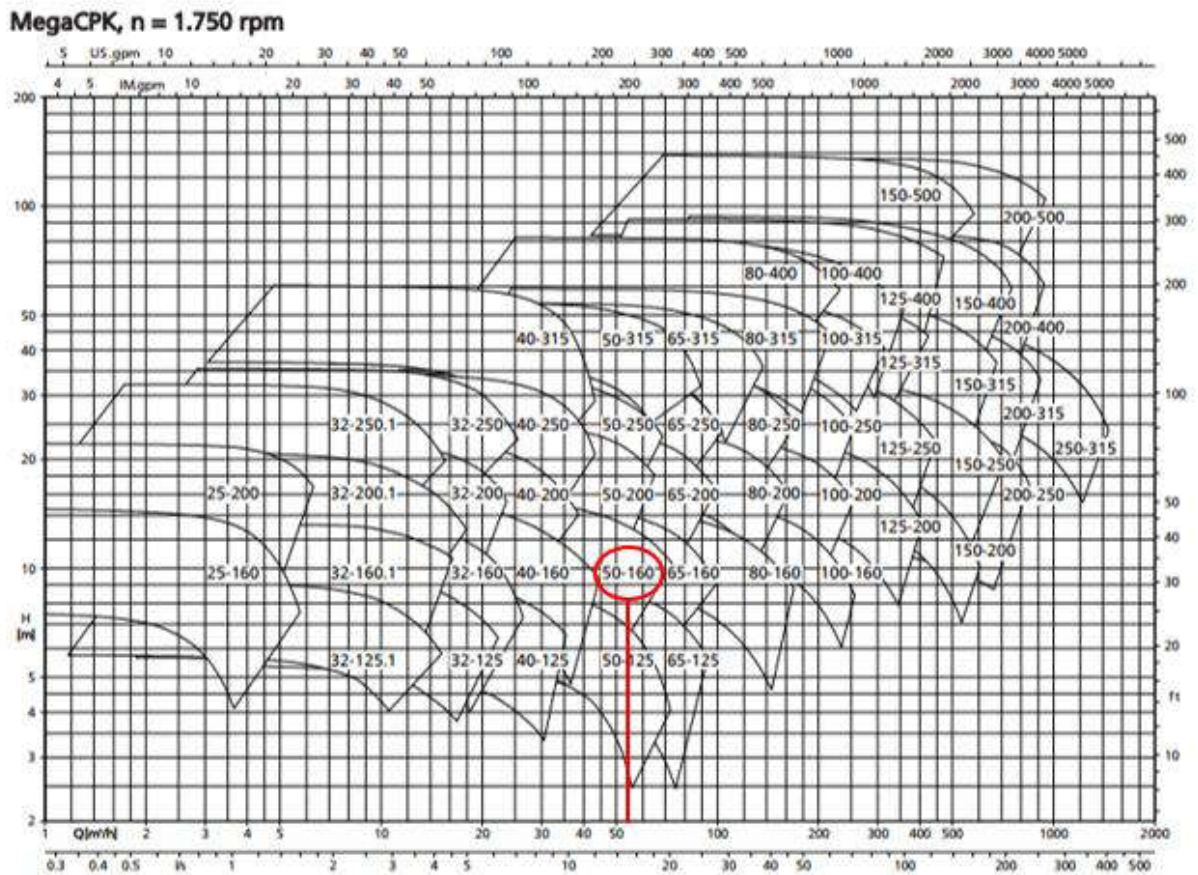
$$H_{man} = 10,07 \text{ m}$$

$$Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600$$

$$Q = 54 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tendo como base a vazão e a altura manométrica apresentados, pode-se verificar na figura 37 a classe da bomba.

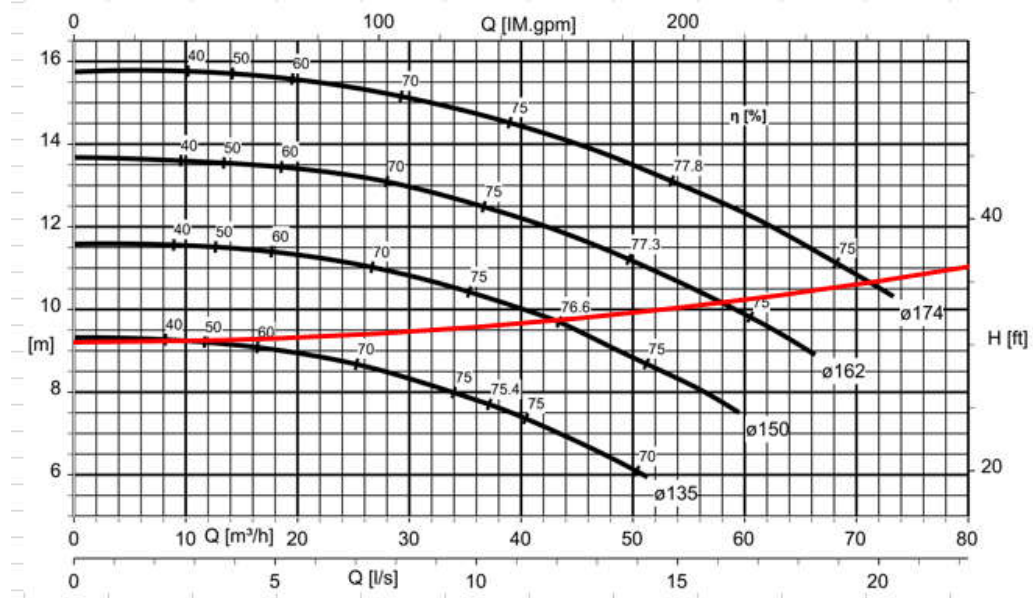
Figura 37 - Curva característica



Fonte: KSB (2012)

Após análise da figura 37, no catálogo da KSB (2012), o gráfico da Mega Cpk definiu-se a bomba 080-050-160, como consta na figura 38, com 1750 rpm, rotor com 162 mm. A bomba vai estar trabalhando com 75% eficiência, vazão esperada 58 m³/h aproximadamente.

Figura 38 - Vazão X Altura Manométrica



Fonte: KSB (2012)

O cálculo do NPSH disponível deu em torno 3,56 metros, para que seja adequado deveria ser maior que o requerido pela vazão, sendo assim 4 metros como mostra a figura 39. Assim para que o valor de NPSH seja ideal, basta colocar a bomba a uma altura de 1 metro da saída do reservatório, o que configura NPSH 15 metros, que é maior que o requerido pela bomba.

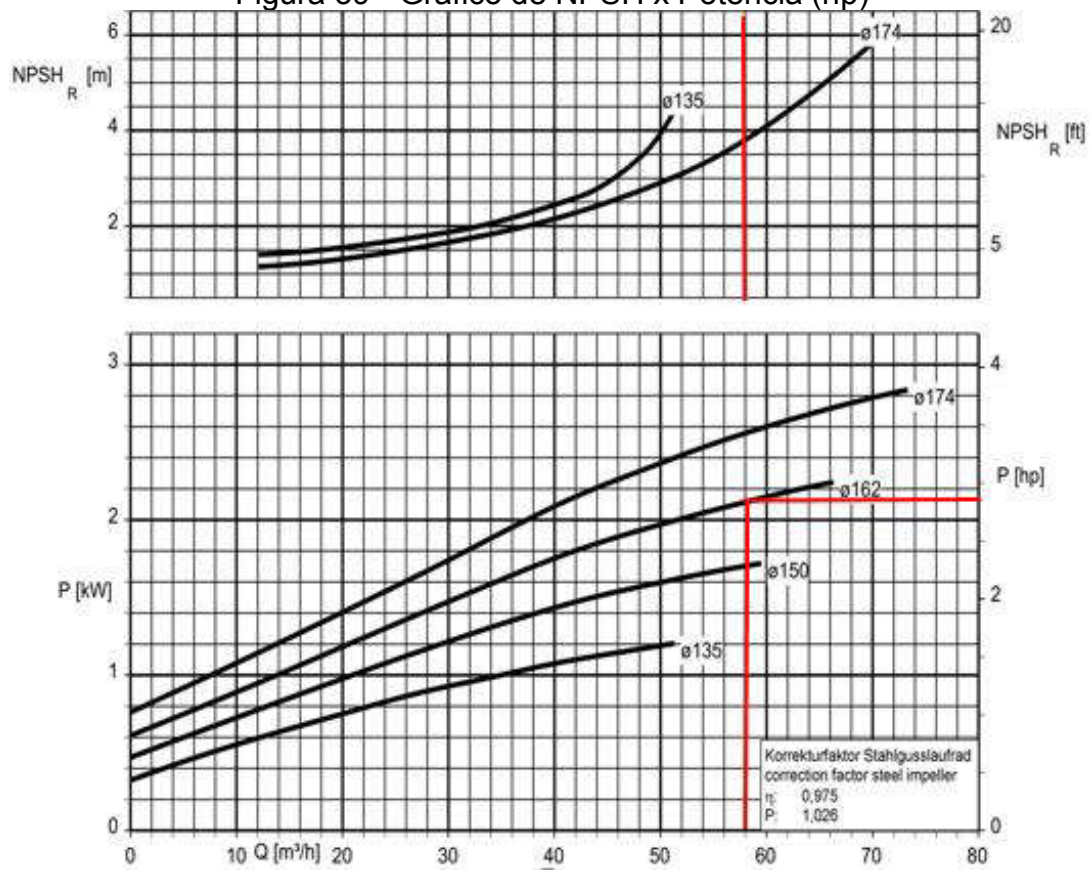
Ainda na figura 39 é possível identificar a potência em Hp para a bomba, chegando ao valor de aproximadamente 2,8 Hp. Seguindo a proporção que $1 \text{ Hp} = 1,01387 \text{ CV}$.

$$P = 2,8 \text{ Hp} * 1,01387$$

$$P = 2,83884 \text{ CV}$$

Logo, a bomba considerada de 3 CV.

Figura 39 - Gráfico de NPSH x Potência (hp)



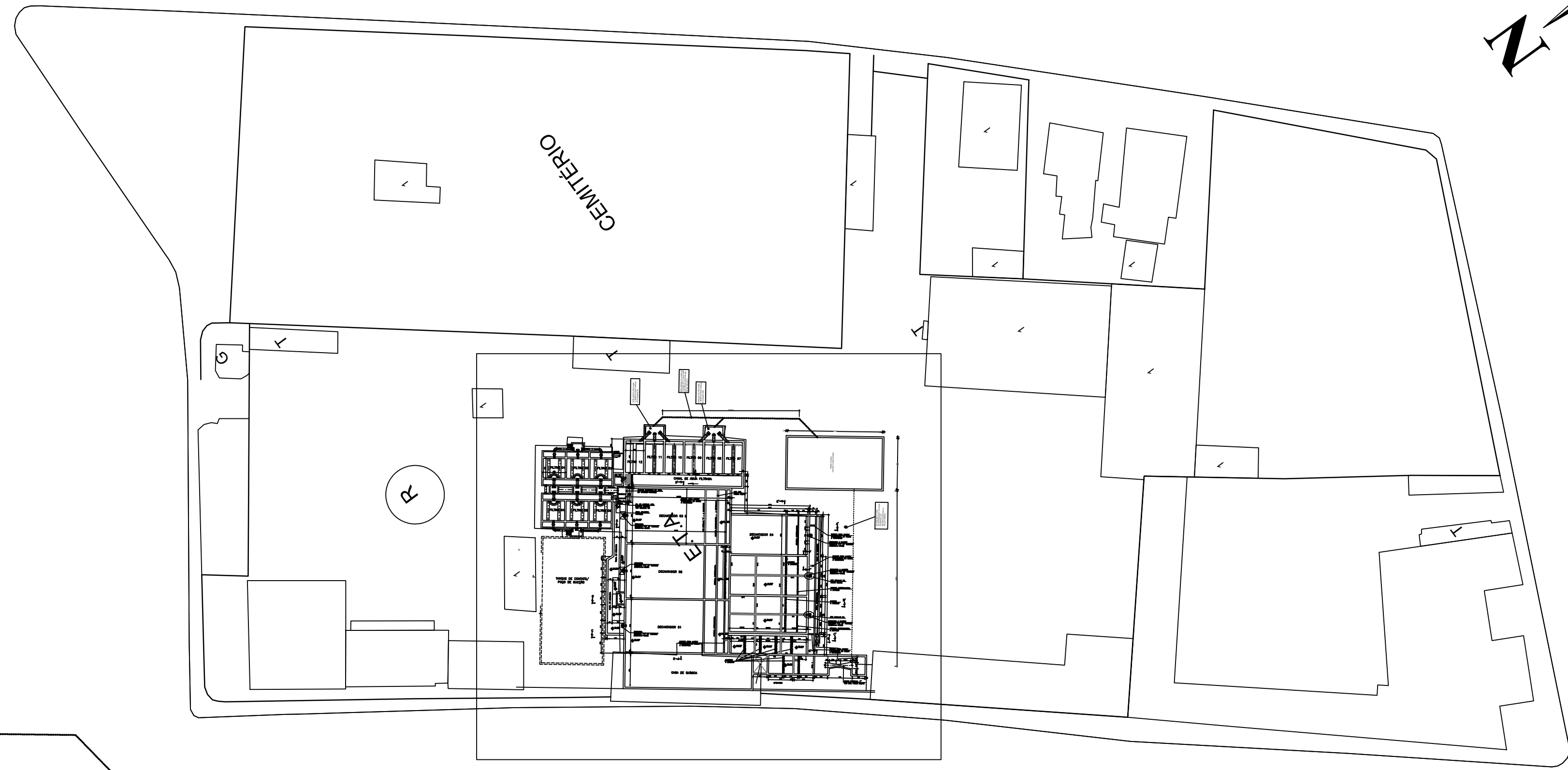
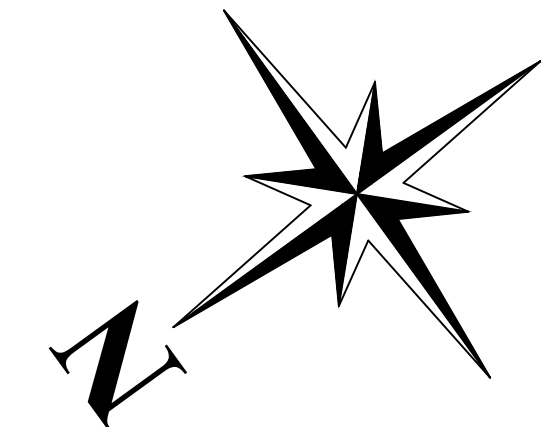
Fonte: KSB (2012)

APENDICE B – TABELA DE COMPOSIÇÃO E CUSTO, COM VALOR TOTAL.

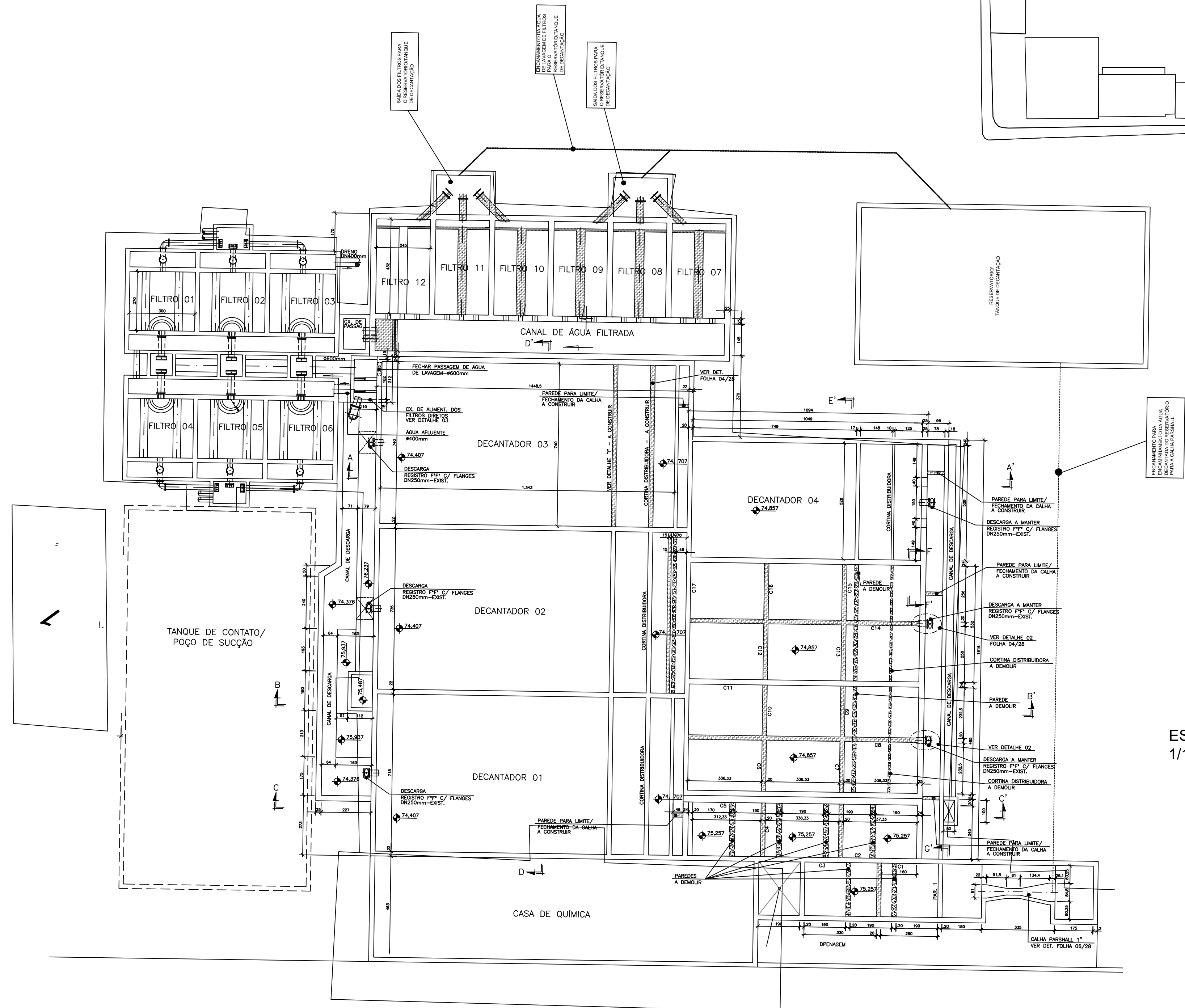
CODIGO DA COMPOSICAO NA TABELA REFERÊNCIA	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UNID.	CUSTO UNITARIO	QUANT.	CUSTO TOTAL	FONTE
7170100040	ASSENTAMENTO TUBO FOFO JE DN 150	M	12,85	33,27	R\$ 427,52	CESAN,2018
7170100090	ASSENTAMENTO TUBO FOFO JE DN 400 MM	M	30,73	26,6	R\$ 817,42	CESAN,2018
13741	MEDIDOR DE NÍVEL ESTÁTICO E DINÂMICO PARA POÇOS	UN	1844,5	1	R\$ 1.844,50	SINAPI, 2019
7160100010	MONT E ASSENT CJ MOTOBOMBA POT ATE 10CV	UN	630,08	1	R\$ 630,08	CESAN, 2018
148000069	MOTORBOMBA KSB MEGACPK 1750 RPM	UN	2645	1	R\$ 2.645,00	LBE, 2019
40243	Fornecimento, dobragem e colocação em fôrma, de armadura CA-50 A média, diâmetro de 6.3 a 10.0 mm	KG	8,76	595,9	R\$ 5.220,08	IOPES, 2019
40245	Fornecimento, dobragem e colocação em fôrma, de armadura CA-50 A grossa diâmetro de 12.5 a 25.0 mm	KG	9,11	1797,4	R\$ 16.374,31	IOPES,2019
7070100360	CONCRETO USINADO FCK 400 KG/CM2 BOMBEADO	M3	433,22	55,67	R\$ 24.117,36	CESAN, 2018
94974	CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MANUAL. AF_07/2016	M3	298,06	4,958	R\$ 1.477,78	SINAPI, 2019
96624	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRA BRITADA N.2), APLICADO EM PISOS OU RADIERES, ESPESSURA DE *10 CM*. AF_08/2017	M3	100,09	9,916	R\$ 992,49	SINAPI, 2019
91004	FORMAS MANUSEÁVEIS PARA PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO, DE EDIFICAÇÕES DE PAVIMENTO ÚNICO, EM FACES INTERNAS DE PAREDES. AF_06/2015	M2	12,49	157,24	R\$ 1.963,93	SINAPI, 2020

91007	FORMAS MANUSEÁVEIS PARA PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO, DE EDIFICAÇÕES DE PAVIMENTO ÚNICO, EM PANOS DE FACHADA SEM VÃOS. AF_06/2015	M2	10,34	166,4	R\$ 1.720,58	SINAPI, 2019
97086	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA PARA RADIER, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_09/2017	M2	86,11	9,152	R\$ 788,08	SINAPI, 2019
83516	ESCORAMENTO FORMAS H=3,50 A 4,00 M, COM MADEIRA DE 3ª QUALIDADE, NÃO APARELHADA, APROVEITAMENTO TABUAS 3X E PRUMOS 4X.	M3	18,19	10	R\$ 181,90	SINAPI, 2019
99839	GUARDA-CORPO DE AÇO GALVANIZADO DE 1,10M DE ALTURA, MONTANTES TUBULARES DE 1.1/2" ESPAÇADOS DE 1,20M, TRAVESSA SUPERIOR DE 2", GRADIL FORMADO POR BARRAS CHATAS EM FERRO DE 32X4,8MM, FIXADO COM CHUMBADOR MECÂNICO. AF_04/2019_P	M	331,71	84,6	R\$ 28.062,67	SINAPI, 2019
73665	ESCADA TIPO MARINHEIRO EM AÇO CA-50 9,52MM INCLUSO PINTURA COM FUNDO ANTICORROSIVO TIPO ZARCAO	M	58,78	4	R\$ 235,12	SINAPI, 2019
7030100050	PASSADICOS COM CHAPAS DE AÇO	KG	9,86	5,7	R\$ 56,20	CESAN, 2018
79460	PINTURA EPOXI, DUAS DEMAS	M2	41,47	166,4	R\$ 6.900,61	SINAPI, 2019
89913	ESCAVAÇÃO VERTICAL A CÉU ABERTO, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA: 0,8 M³ / 111 HP), FROTA DE 6 CAMINHÕES BASCULANTES DE 18 M³, DMT DE 6 KM E VELOCIDADE MÉDIA 22 KM/H. AF_12/2013	M3	15,61	219,41	R\$ 3.424,99	SINAPI, 2019

7040100180	REGULARIZACAO DO FUNDO VALA	M3	7,66	219,41	R\$ 1.680,68	CESAN, 2018
7210100460	GRAMA ESMERALDA PLACAS, TERRA VEG. 2,0CM	M2	15,18	349,8	R\$ 5.309,96	CESAN, 2018
7030100010	TAPUME VEDACAO DESCONTINUO COM TABUAS	M	9,29	91,6	R\$ 850,96	CESAN, 2018
97063	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE ANDAIME MODULAR FACHADEIRO, COM PISO METÁLICO, PARA EDIFICAÇÕES COM MÚLTIPLOS PAVIMENTOS (EXCLUSIVE ANDAIME E LIMPEZA). AF_11/2017	M2	8,67	30	R\$ 260,10	SINAPI, 2019
7030100400	REMOCAO DE ENTULHO SEM CAMINHAO	M3	22,98	15	R\$ 344,70	CESAN, 2018
93207	EXECUÇÃO DE ESCRITÓRIO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, NÃO INCLUSO MOBILIÁRIO E EQUIPAMENTOS. AF_02/2016	M2	722,48	40	R\$ 28.899,20	SINAPI, 2019
93208	EXECUÇÃO DE ALMOXARIFADO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, INCLUSO PRATELEIRAS. AF_02/2016	M2	556,61	25	R\$ 13.915,25	SINAPI, 2019
93210	EXECUÇÃO DE REFEITÓRIO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, NÃO INCLUSO MOBILIÁRIO E EQUIPAMENTOS. AF_02/2016	M2	364,79	25	R\$ 9.119,75	SINAPI, 2019
93212	EXECUÇÃO DE SANITÁRIO E VESTIÁRIO EM CANTEIRO DE OBRA EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA, NÃO INCLUSO MOBILIÁRIO. AF_02/2016	M2	646,35	9	R\$ 5.817,15	SINAPI, 2019
				TOTAL	R\$ 164.078,37	



ESCALA
1/500



ESCALA
1/125

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ - FAACZ

ALUNOS: **JAMILE CAMPOS;
THAMIRES NEVES;
WANDERSON JUNIOR.**

ENGENHARIA
CIVIL

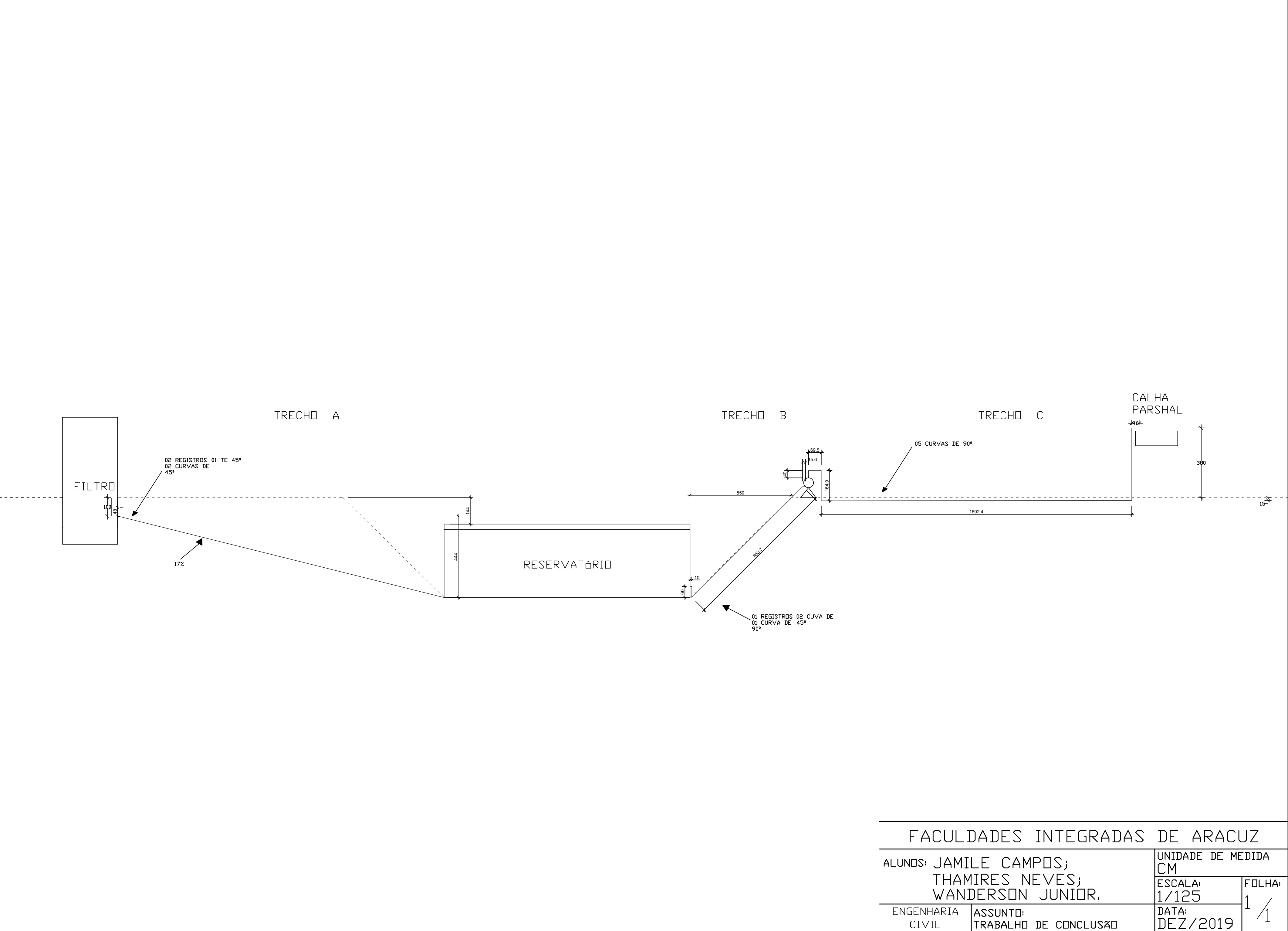
ASSUNTO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO

UNIDADE DE MEDIDA
CM

ESCALA:
INDICADA

DATA:
DEZ/19

FOLHA:
1 / 1



FACULDADES INTEGRADAS DE ARACUZ		
ALUNOS: JAMILE CAMPOS; THAMIRES NEVES; WANDERSON JUNIOR.	UNIDADE DE MEDIDA CM	
	ESCALA: 1/125	FOLHA: 1 / 1
	ENGENHARIA CIVIL	ASSUNTO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DATA: DEZ/2019

ANEXO 1 – TABELAS DE LEVANTAMENTOS DE DADOS

Tabela 1 - Levantamento de dados referente ao mês de Janeiro

DATA	VB (L/s)	TLF(min)	VMB (L/s)	VLF (m³)	VD
1-jan	143,85	94	12428,64	541,67	11886,97
2-jan	163,09	15	14090,98	86,44	14004,54
3-jan	155,71	69	13453,34	397,61	13055,74
4-jan	130,86	83	11306,30	478,28	10828,02
5-jan	132,86	92	11479,10	530,14	10948,96
6-jan	135,14	44	11676,10	253,55	11422,55
7-jan	132,43	57	11441,95	328,46	11113,50
8-jan	138,00	110	11923,20	633,86	11289,34
9-jan	132,46	18	11444,54	103,72	11340,82
10-jan	145,21	63	12546,14	363,03	12183,11
11-jan	126,14	69	10898,50	397,61	10500,89
12-jan	154,71	97	13366,94	558,95	12807,99
13-jan	144,50	84	12484,80	484,04	12000,76
14-jan	130,29	15	11257,06	86,44	11170,62
15-jan	137,79	58	11905,06	334,22	11570,84
16-jan	139,86	22	12083,90	126,77	11957,13
17-jan	145,21	67	12546,14	386,08	12160,06
18-jan	144,36	58	12472,70	334,22	12138,48
19-jan	150,50	70	13003,20	403,37	12599,83
20-jan	147,36	101	12731,90	582,00	12149,90
21-jan	151,08	84	13053,31	484,04	12569,27
22-jan	150,83	15	13031,71	86,44	12945,28
23-jan	141,14	70	12194,50	403,37	11791,13
24-jan	152,93	61	13213,15	351,51	12861,65
25-jan	152,29	66	13157,86	380,32	12777,54
26-jan	164,50	60	14212,80	345,74	13867,06
27-jan	165,86	70	14330,30	403,37	13926,94
28-jan	140,85	48	12169,44	276,60	11892,84
29-jan	155,23	70	13411,87	403,37	13008,50
30-jan	144,31	69	12468,38	397,61	12070,78
31-jan	160,50	66	13867,20	380,32	13486,88
TOTAL	4509,85	1965	389651,04	11323,12	378327,92

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 2 - Levantamento de dados referente ao mês de Fevereiro

DATA	VB (L/s)	TLF(min)	VMB (L/s)	VLF (m³)	VD
1-fev	143,21	63	12373,34	363,03	12010,31
2-fev	124,79	66	10781,86	380,32	10401,54
3-fev	152,29	63	13157,86	363,03	12794,82
4-fev	132,29	60	11429,86	345,74	11084,11
5-fev	136,27	73	11773,73	420,66	11353,07
6-fev	133,86	52	11565,50	299,64	11265,86
7-fev	146,23	107	12634,27	616,58	12017,70
8-fev	135,64	12	11719,30	69,15	11650,15
9-fev	154,54	54	13352,26	311,17	12702,88
10-fev	150,93	113	13040,35	651,15	12389,20
11-fev	137,69	18	11896,42	103,72	11792,69
12-fev	150,64	137	13015,30	789,45	12225,85
13-fev	163,71	66	14144,54	380,32	13764,23
14-fev	149,92	8	12953,09	46,10	12906,99
15-fev	154,08	76	13312,51	437,94	12874,57
16-fev	142,07	48	12274,85	276,60	11998,25
17-fev	162,50	56	14040,00	322,69	13717,31
18-fev	148,77	63	12853,73	363,03	12490,70
19-fev	157,86	60	13639,10	345,74	13293,36
20-fev	148,63	160	12841,63	921,98	11919,65
21-fev	154,43	87	13342,75	501,33	12841,42
22-fev	166,81	92	14412,38	530,14	13882,24
23-fev	159,64	35	13792,90	201,68	13591,21
24-fev	169,14	18	14613,70	103,72	14509,97
25-fev	155,07	65	13398,05	374,56	13023,49
26-fev	134,00	49	11577,60	282,36	11295,24
27-fev	157,79	40	13633,06	230,50	13402,56
28-fev	144,29	53	12466,66	305,41	12161,25
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
TOTAL	4167,09	1794	360036,58	10337,7456	349360,62

 Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 3 - Levantamento de dados referente ao mês de março

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-mar	151,36	63	13077,50	363,031	12714,47
2-mar	167,38	63	14461,63	363,031	14098,60
3-mar	173,69	73	15006,82	420,655	14586,16
4-mar	156,79	56	13546,66	322,694	13223,96
5-mar	141,86	53	12256,70	305,407	11951,30
6-mar	151,57	78	13095,65	449,467	12646,18
7-mar	157,36	53	13595,90	305,407	13290,50
8-mar	145,43	63	12565,15	363,031	12202,12
9-mar	143,43	57	12392,35	328,457	12063,90
10-mar	138,40	45	11957,76	259,308	11698,45
11-mar	143,63	0	12409,632	0	12409,63
12-mar	90,00	6	7776,00	34,57	7741,43
13-mar	155,86	12	13466,30	69,1488	13397,16
14-mar	151,64	78	13101,70	449,467	12652,23
15-mar	150,81	42	13029,98	242,021	12787,96
16-mar	153,50	63	13262,40	363,031	12899,37
17-mar	132,00	45	11404,80	259,308	11145,49
18-mar	143,63	0	12409,632	0	12409,63
19-mar	129,33	15	11174,11	86,436	11087,68
20-mar	141,10	67	12191,04	386,081	11804,96
21-mar	144,46	55	12481,34	316,932	11993,60
22-mar	152,29	100	13157,86	576,24	12581,62
23-mar	132,75	12	11469,60	69,1488	11400,45
24-mar	162,36	62	14027,90	357,269	13670,64
25-mar	153,14	104	13231,30	599,29	12632,01
26-mar	139,00	8	12009,60	46,0992	11963,50
27-mar	142,67	15	12326,69	86,436	12240,25
28-mar	130,21	61	11250,14	351,506	10898,64
29-mar	135,29	59	11689,06	339,982	11349,07
30-mar	148,00	88	12787,20	507,091	12280,11
31-mar	93,67	0	8093,09	0	8093,09
TOTAL	4452,61	1496	384705,50	8620,55	375914,14

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 4 - Levantamento de dados referente ao mês de abril

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-abr	152,16	0	13146,624	0	13146,624
2-abr	160,82	60	13894,85	345,74	13549,10
3-abr	116,00	0	10022,40	0	10022,40
4-abr	143,44	10	12393,22	57,62	12335,59
5-abr	147,21	64	12718,94	368,79	12350,15
6-abr	144,88	61	12517,63	351,51	12166,13
7-abr	150,43	69	12997,15	397,61	12599,55
8-abr	110,67	30	9561,89	172,87	9389,02
9-abr	162,09	18	14004,58	103,72	13900,85
10-abr	143,00	104	12355,20	599,29	11755,91
11-abr	192,33	20	16617,31	115,25	16502,06
12-abr	159,43	94	13774,75	541,67	13233,09
13-abr	143,79	77	12423,46	443,70	11979,75
14-abr	148,00	60	12787,20	345,74	12441,46
15-abr	176,80	133	15275,52	766,40	14509,12
16-abr	121,10	30	10463,04	172,87	10290,17
17-abr	149,64	127	12928,90	731,82	12197,07
18-abr	136,36	153	11781,50	881,65	10899,86
19-abr	132,86	115	11479,10	662,68	10816,43
20-abr	141,21	60	12200,54	345,74	11854,80
21-abr	155,93	143	13472,35	824,02	12648,33
22-abr	134,71	20	11638,94	115,25	11523,70
23-abr	129,64	63	11200,90	363,03	10837,86
24-abr	158,67	50	13709,09	288,12	13420,97
25-abr	316,60	12	27354,24	69,15	27285,09
26-abr	135,63	73	11718,43	420,66	11297,78
27-abr	143,14	114	12367,30	656,91	11710,38
28-abr	147,18	15	12716,35	86,44	12629,92
29-abr	159,69	58	13797,22	334,22	13463,00
30-abr	151,38	67	13079,23	386,08	12693,15
-	-	-	-	-	-
TOTAL	4412,63	1900	394397,86	10948,56	383449,30

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 5 - Levantamento de dados referente ao mês de maio

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-mai	138,79	56	11991,46	322,69	11668,76
2-mai	133,42	61	11527,49	351,51	11175,98
3-mai	150,92	64	13039,49	368,79	12670,69
4-mai	147,71	87	12762,14	501,33	12260,82
5-mai	150,21	23	12978,14	132,54	12845,61
6-mai	169,45	64	14640,48	368,79	14271,69
7-mai	153,00	68	13219,20	391,84	12827,36
8-mai	147,00	71	12700,80	409,13	12291,67
9-mai	121,64	63	10509,70	363,03	10146,66
10-mai	142,86	70	12343,10	403,37	11939,74
11-mai	146,00	32	12614,40	184,40	12430,00
12-mai	153,79	71	13287,46	409,13	12878,33
13-mai	143,38	0	12388,03	0	12388,03
14-mai	151,75	22	13111,20	126,77	12984,43
15-mai	129,31	57	11172,38	328,46	10843,93
16-mai	161,31	67	13937,18	386,08	13551,10
17-mai	150,38	68	12992,83	391,84	12600,99
18-mai	152,50	61	13176,00	351,51	12824,49
19-mai	168,67	62	14573,09	357,27	14215,82
20-mai	140,85	109	12169,44	628,10	11541,34
21-mai	145,00	66	12528,00	380,32	12147,68
22-mai	148,85	16	12860,64	92,20	12768,44
23-mai	148,92	62	12866,69	357,27	12509,42
24-mai	146,46	75	12654,14	432,18	12221,96
25-mai	138,43	72	11960,35	414,89	11545,46
26-mai	164,57	68	14218,85	391,84	13827,00
27-mai	158,00	65	13651,20	374,56	13276,64
28-mai	144,00	104	12441,60	599,29	11842,31
29-mai	140,92	71	12175,49	409,13	11766,36
30-mai	144,92	35	12521,09	201,68	12319,40
31-mai	154,57	113	13354,85	651,15	12039,64
TOTAL	4587,58	1923	396366,912	11081,10	384621,76

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 6 - Levantamento de dados referente ao mês de junho

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-jun	144,43	22	12478,75	126,77	12351,98
2-jun	159,14	68	13749,70	391,84	13357,85
3-jun	153,00	83	13219,20	478,28	12740,92
4-jun	155,09	19	13399,78	109,49	13290,29
5-jun	132,31	104	11431,58	599,29	10832,29
6-jun	140,71	38	12157,34	218,97	11938,37
7-jun	143,57	46	12404,45	265,07	12139,38
8-jun	148,43	60	12824,35	345,74	12478,61
9-jun	156,02	68	13480,13	391,84	13088,28
10-jun	141,00	105	12182,40	605,05	11577,35
11-jun	143,14	55	12367,30	316,93	12050,36
12-jun	148,31	64	12813,98	368,79	12445,19
13-jun	145,86	89	12602,30	512,85	12089,45
14-jun	148,38	65	12820,03	374,56	12445,48
15-jun	147,62	51	12754,37	293,88	12460,49
16-jun	157,77	65	13631,33	374,56	13256,77
17-jun	148,92	42	12866,69	242,02	12624,67
18-jun	127,43	106	11009,95	610,81	10399,14
19-jun	138,89	15	12000,10	86,44	11913,66
20-jun	156,27	16	13501,73	92,20	13409,53
21-jun	153,54	110	13265,86	633,86	12631,99
22-jun	143,08	47	12362,11	270,83	12091,28
23-jun	148,43	73	12824,35	420,66	12403,70
24-jun	150,77	35	13026,53	201,68	12824,84
25-jun	157,69	61	13624,42	351,51	13272,91
26-jun	149,46	64	12913,34	368,79	12544,55
27-jun	144,57	85	12490,85	489,80	12001,04
28-jun	143,38	50	12388,03	288,12	12099,91
29-jun	150,80	79	13029,12	455,23	12573,89
30-jun	167,09	45	14436,58	259,31	14177,27
-	-	-	-	-	-
TOTAL	4445,10	1830	384056,64	10545,19	373511,45

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 7 - Levantamento de dados referente ao mês de julho

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-jul	155,00	28	13392,00	161,35	13230,65
2-jul	146,00	62	12614,40	357,27	12257,13
3-jul	152,55	14	13180,32	80,67	13099,65
4-jul	148,07	103	12793,25	593,53	12199,72
5-jul	146,36	71	12645,50	409,13	12236,37
6-jul	161,00	67	13910,40	386,08	13524,32
7-jul	161,86	103	13984,70	593,53	13391,18
8-jul	159,85	82	13811,04	472,52	13338,52
9-jul	167,17	15	14443,49	86,44	14357,05
10-jul	121,50	42	10497,60	242,02	10255,58
11-jul	140,14	46	12108,10	265,07	11843,03
12-jul	153,10	58	13227,84	334,22	12893,62
13-jul	152,64	66	13188,10	380,32	12807,78
14-jul	170,92	76	14767,49	437,94	14329,55
15-jul	144,92	12	12521,09	69,15	12451,94
16-jul	153,00	61	13219,20	351,51	12867,69
17-jul	147,71	57	12762,14	328,46	12433,69
18-jul	147,64	63	12756,10	363,03	12393,06
19-jul	144,29	57	12466,66	328,46	12138,20
20-jul	167,00	62	14428,80	357,27	14071,53
21-jul	154,29	70	13330,66	403,37	12927,29
22-jul	154,86	45	13379,90	259,31	13120,60
23-jul	146,46	122	12654,14	703,01	11951,13
24-jul	147,23	33	12720,67	190,16	12530,51
25-jul	133,33	74	11519,71	426,42	11093,29
26-jul	141,93	65	12262,75	374,56	11888,20
27-jul	141,50	19	12225,60	109,49	12116,11
28-jul	147,38	26	12733,63	149,82	12583,81
29-jul	148,14	47	12799,30	270,83	12528,46
30-jul	151,69	68	13106,02	391,84	12714,17
31-jul	154,15	88	13318,56	507,09	12811,47
TOTAL	4661,68	1802	402769,15	10383,84	392385,31

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 8 - Levantamento de dados referente ao mês de agosto

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-ago	140,07	74	12102,05	426,418	11675,63
2-ago	160,12	84	13834,37	484,042	13014,41
3-ago	136,45	53	11789,28	305,407	11483,87
4-ago	153,67	30	13277,09	172,872	13104,22
5-ago	155,92	31	13471,49	178,634	13292,85
6-ago	149,86	56	12947,90	322,694	12625,21
7-ago	153,93	104	13299,55	599,29	12700,26
8-ago	158,92	54	13730,69	311,17	13419,52
9-ago	150,92	64	13039,49	368,794	12670,69
10-ago	147,36	15	12731,90	86,44	12645,47
11-ago	162,14	52	14008,90	299,645	13709,25
12-ago	147,14	47	12712,90	270,833	12442,06
13-ago	132,86	73	11479,10	420,655	11058,45
14-ago	154,43	60	13342,75	345,744	12997,01
15-ago	135,77	10	11730,53	57,62	11672,90
16-ago	139,73	87	12072,67	501,329	11571,34
17-ago	158,77	66	13717,73	380,318	13337,41
18-ago	153,42	10	13255,49	57,62	13197,86
19-ago	147,38	66	12733,63	380,318	12353,31
20-ago	145,69	13	12587,62	74,91	12512,70
21-ago	145,21	62	12546,14	357,269	12188,88
22-ago	151,71	40	13107,744	230,50	12877,248
23-ago	156,15	68	13491,36	391,843	13099,517
24-ago	150,36	70	12991,10	403,368	12587,736
25-ago	147,03	103	12703,392	593,527	12109,86
26-ago	129,57	18	11194,848	103,723	11091,125
27-ago	141,08	64	12189,312	368,794	11820,518
28-ago	145,54	52	12574,656	299,645	12275,011
29-ago	142,00	62	12268,8	357,269	11911,531
30-ago	134,71	87	11638,944	501,329	11137,615
31-ago	129,95	12	11227,68	69,15	11158,531
TOTAL	4557,86	1687	393799,10	9721,17	383742,02

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 9 - Levantamento de dados referente ao mês de setembro

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-set	142,21	124	12286,94	714,54	11572,41
2-set	126,21	67	10904,54	386,08	10518,46
3-set	150,31	18	12986,78	103,72	12883,06
4-set	139,50	44	12052,80	253,55	11799,25
5-set	137,50	71	11880,00	409,13	11470,87
6-set	131,14	58	11330,50	334,22	10996,28
7-set	144,71	61	12502,94	351,51	12151,44
8-set	143,79	117	12423,46	674,20	11749,26
9-set	128,00	25	11059,20	144,06	10915,14
10-set	152,23	106	13152,67	610,81	12541,86
11-set	151,14	18	13058,50	103,72	12954,77
12-set	132,36	63	11435,90	363,03	11072,87
13-set	145,57	82	12577,25	472,52	12104,73
14-set	135,93	72	11744,35	414,89	11329,46
15-set	160,43	132	13861,15	760,64	13100,52
16-set	148,36	12	12818,30	69,15	12749,16
17-set	141,86	128	12256,70	737,59	11519,12
18-set	130,50	65	11275,20	374,56	10900,64
19-set	137,21	73	11854,94	420,66	11434,29
20-set	149,50	59	12916,80	339,98	12576,82
21-set	141,21	72	12200,54	414,89	11785,65
22-set	156,38	61	13511,23	351,51	13159,73
23-set	149,71	88	12934,94	507,09	12427,85
24-set	149,43	11	12910,75	63,39	12847,37
25-set	143,21	112	12373,34	645,39	11727,96
26-set	139,38	44	12042,43	253,55	11788,89
27-set	164,91	18	14248,22	103,72	14144,50
28-set	160,07	43	13830,05	247,78	13582,26
29-set	157,71	38	13626,14	218,97	13407,17
30-set	140,50	55	12139,20	316,93	11822,27
-	-	-	-	-	-
TOTAL	4062,55	1937	374195,81	11161,77	363034,04

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 10 - Levantamento de dados referente ao mês de outubro

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
01/out	147,79	61	12769,06	351,51	12417,55
02/out	147,93	124	12781,15	714,54	12066,61
03/out	144,50	52	12484,80	299,64	12185,16
04/out	149,29	29	12898,66	167,11	12731,55
05/out	154,31	62	13332,38	357,27	12975,12
06/out	137,62	59	11890,37	339,98	11550,39
07/out	137,50	72	11880,00	414,89	11465,11
08/out	134,38	60	11610,43	345,74	11264,69
09/out	146,64	61	12669,70	351,51	12318,19
10/out	157,14	70	13576,90	403,37	13173,53
11/out	154,29	105	13330,66	605,05	12725,60
12/out	149,36	47	12904,70	270,83	12633,87
13/out	155,92	36	13471,49	207,45	13264,04
14/out	138,79	59	11991,46	339,98	11651,47
15/out	153,77	80	13285,73	460,99	12824,74
16/out	159,57	105	13786,85	605,05	13181,80
17/out	138,64	17	11978,50	97,96	11880,54
18/out	146,79	76	12682,66	437,94	11906,50
19/out	151,71	137	13107,74	789,45	12318,30
20/out	138,71	64	11984,54	368,79	11615,75
21/out	132,38	18	11437,63	103,72	11333,91
22/out	140,54	54	12142,66	311,17	11831,49
23/out	160,42	70	13860,29	403,37	13456,92
24/out	156,93	75	13558,75	432,18	13126,57
25/out	139,57	17	12058,85	97,96	11960,89
26/out	140,07	69	12102,05	397,61	11704,44
27/out	147,50	73	12744,00	420,66	12323,34
28/out	137,15	116	11849,76	668,44	11181,32
29/out	139,54	18	12056,26	103,72	11952,53
30/out	131,43	67	11355,55	386,08	10969,47
31/out	132,54	60	11451,46	345,74	11105,71
TOTAL	4502,72	2013	389035,01	11599,71	377097,09

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 11 - Levantamento de dados referente ao mês de novembro

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
01/nov	146,70	10	12674,88	57,62	12617,26
02/nov	145,43	46	12565,15	265,07	12300,08
03/nov	154,64	68	13360,90	391,84	12969,05
04/nov	141,00	136	12182,40	783,69	11398,71
05/nov	150,38	47	12992,83	270,83	12722,00
06/nov	131,46	24	11358,14	138,30	11219,85
07/nov	1566,79	70	135370,66	403,37	134967,29
08/nov	126,64	69	10941,70	397,61	10544,09
09/nov	135,44	0	11702,02	0	11702,02
10/nov	172,17	56	14875,49	322,69	14552,79
11/nov	145,86	89	12602,30	512,85	12089,45
12/nov	140,86	73	12170,30	420,66	11749,65
13/nov	134,00	68	11577,60	391,84	10849,84
14/nov	154,79	74	13373,86	426,42	12947,44
15/nov	162,00	55	13996,80	316,93	13679,87
16/nov	185,21	68	16002,14	391,84	15111,34
17/nov	172,31	45	14887,58	259,31	14628,28
18/nov	143,64	81	12410,50	466,75	11943,74
19/nov	156,64	54	13533,70	311,17	13222,53
20/nov	145,71	65	12589,34	374,56	12214,79
21/nov	141,93	60	12262,75	345,74	11917,01
22/nov	143,21	49	12373,34	282,36	12090,99
23/nov	145,64	64	12583,30	368,79	12214,50
24/nov	174,36	67	15064,70	386,08	14678,62
25/nov	129,93	118	11225,95	679,96	10545,99
26/nov	157,29	158	13589,86	910,46	12679,40
27/nov	160,71	31	13885,34	178,63	13706,71
28/nov	146,71	93	12675,74	535,90	12139,84
29/nov	146,64	85	12669,70	489,80	12179,89
30/nov	163,14	31	14095,30	178,63	13916,66
-	-	-	-	-	-
TOTAL	5921,23	1954	511594,27	11259,73	499499,66

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

Tabela 12 - Levantamento de dados referente ao mês de dezembro

DATA	VB	TLF	VMB	VLF	VD
1-dez	174,36	56	15064,70	322,69	14742,01
2-dez	134,33	52	11606,11	299,64	11306,47
3-dez	139,43	59	12046,75	339,98	11706,77
4-dez	154,46	66	13345,34	380,32	12458,30
5-dez	142,07	70	12274,85	403,37	11871,48
6-dez	165,07	74	14262,05	426,42	13835,63
7-dez	167,71	107	14490,14	616,58	13873,57
8-dez	141,57	15	12231,65	86,44	12145,21
9-dez	125,07	40	10806,05	230,50	10575,55
10-dez	143,21	70	12373,34	403,37	11969,98
11-dez	136,21	125	11768,54	720,30	11048,24
12-dez	161,71	12	13971,74	69,15	13902,60
13-dez	154,21	69	13323,74	397,61	12926,14
14-dez	169,08	68	14608,51	391,84	14216,67
15-dez	177,00	113	15292,80	651,15	14641,65
16-dez	156,50	72	13521,60	414,89	13106,71
17-dez	150,92	10	13039,49	57,62	12981,86
18-dez	156,22	77	13497,41	443,70	13053,70
19-dez	185,00	105	15984,00	605,05	15050,80
20-dez	169,86	20	14675,90	115,25	14560,66
21-dez	183,93	42	15891,55	242,02	15649,53
22-dez	165,29	71	14281,06	409,13	13871,93
23-dez	170,31	100	14714,78	576,24	14138,54
24-dez	161,36	58	13941,50	334,22	13607,28
25-dez	144,57	85	12490,85	489,80	12001,04
26-dez	160,15	45	13836,96	259,31	13577,65
27-dez	139,00	10	12009,60	57,62	11951,98
28-dez	155,14	67	13404,10	386,08	13018,02
29-dez	154,76	45	13371,26	259,31	13111,96
30-dez	153,16	61	13233,02	351,51	12881,52
31-dez	151,07	74	13052,45	426,42	12626,03
TOTAL	4842,73	1938	418411,87	11167,53	406409,46

Fonte: SAAE Aracruz (2018) – Modificada pelo autor

ANEXO 2 – TABELA DE TARIFAS SAAE 2019



SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ARACRUZ

TABELA DE TARIFAS

VIGÊNCIA: 18/02/2019

TARIFA RESIDENCIAL PARA CLIENTES HIDROMETRADOS							
Categoria : R	Faixa : 01	De: 00	m ³	Até : 10	m ³	Valor do m ³ :	2,860
Categoria : R	Faixa : 02	De: 11	m ³	Até : 15	m ³	Valor do m ³ :	3,026
Categoria : R	Faixa : 03	De: 16	m ³	Até : 20	m ³	Valor do m ³ :	3,746
Categoria : R	Faixa : 04	De: 21	m ³	Até : 30	m ³	Valor do m ³ :	4,498
Categoria : R	Faixa : 05	De: 31	m ³	Até : 40	m ³	Valor do m ³ :	4,832
Categoria : R	Faixa : 06	De: 41	m ³	Até : 9999	m ³	Valor do m ³ :	5,296

TARIFA COMERCIAL PARA CLIENTES HIDROMETRADOS							
Categoria : C	Faixa : 01	De: 00	m ³	Até : 15	m ³	Valor do m ³ :	4,832
Categoria : C	Faixa : 02	De: 16	m ³	Até : 9999	m ³	Valor do m ³ :	6,978

TARIFA PÚBLICA PARA CLIENTES HIDROMETRADOS							
Categoria : P	Faixa : 01	De: 00	m ³	Até : 15	m ³	Valor do m ³ :	4,832
Categoria : P	Faixa : 02	De: 16	m ³	Até : 9999	m ³	Valor do m ³ :	6,978

TARIFA OBRAS PARA CLIENTES HIDROMETRADOS							
Categoria : O	Faixa : 01	De: 00	m ³	Até : 15	m ³	Valor do m ³ :	4,832
Categoria : O	Faixa : 02	De: 16	m ³	Até : 9999	m ³	Valor do m ³ :	6,978

TARIFA INDUSTRIAL PARA CLIENTES HIDROMETRADOS							
Categoria : I	Faixa : 01	De: 00	m ³	Até : 20	m ³	Valor do m ³ :	6,978
Categoria : I	Faixa : 02	De: 21	m ³	Até : 9999	m ³	Valor do m ³ :	8,494

ANEXO 3 – TABELA DE KS E KC

$\beta_x = \frac{x}{d}$	Kc (cm²/kN)				Ks (cm²/kN)
	C25	C30	C40	C50	CA-50
0,01	82,7	68,9	51,7	41,3	0,023
0,02	41,5	34,6	25,9	20,8	0,023
0,04	20,9	17,4	13,1	10,5	0,023
0,06	14,1	11,7	8,8	7,0	0,024
0,08	10,6	8,9	6,6	5,3	0,024
0,10	8,6	7,1	5,4	4,3	0,024
0,12	7,2	6,0	4,5	3,6	0,024
0,14	6,2	5,2	3,9	3,1	0,024
0,16	5,5	4,6	3,4	2,7	0,025
0,18	4,9	4,1	3,1	2,5	0,025
0,20	4,5	3,7	2,8	2,2	0,025
0,22	4,1	3,4	2,6	2,1	0,025
0,24	3,8	3,2	2,4	1,9	0,025
0,26	3,5	2,9	2,2	1,8	0,026
0,28	3,3	2,8	2,1	1,7	0,026
0,30	3,1	2,6	1,9	1,6	0,026
0,32	3,0	2,5	1,8	1,5	0,026
0,34	2,8	2,3	1,8	1,4	0,027
0,36	2,7	2,2	1,7	1,3	0,027
0,38	2,6	2,1	1,6	1,3	0,027
0,40	2,5	2,0	1,5	1,2	0,027
0,42	2,4	2,0	1,5	1,2	0,028
0,44	2,3	1,9	1,4	1,1	0,028
0,46	2,2	1,8	1,4	1,1	0,028
0,48	2,1	1,8	1,3	1,1	0,028
0,50	2,1	1,7	1,3	1,0	0,029
0,52	2,0	1,7	1,2	1,0	0,029
0,54	1,9	1,6	1,2	1,0	0,029
0,56	1,9	1,6	1,2	0,9	0,03
0,58	1,8	1,5	1,2	0,9	0,03
0,60	1,8	1,5	1,1	0,9	0,03
0,62	1,8	1,5	1,1	0,9	0,031

Fonte: NBR 6118 (2004), Adaptado por RESMIN (2017).

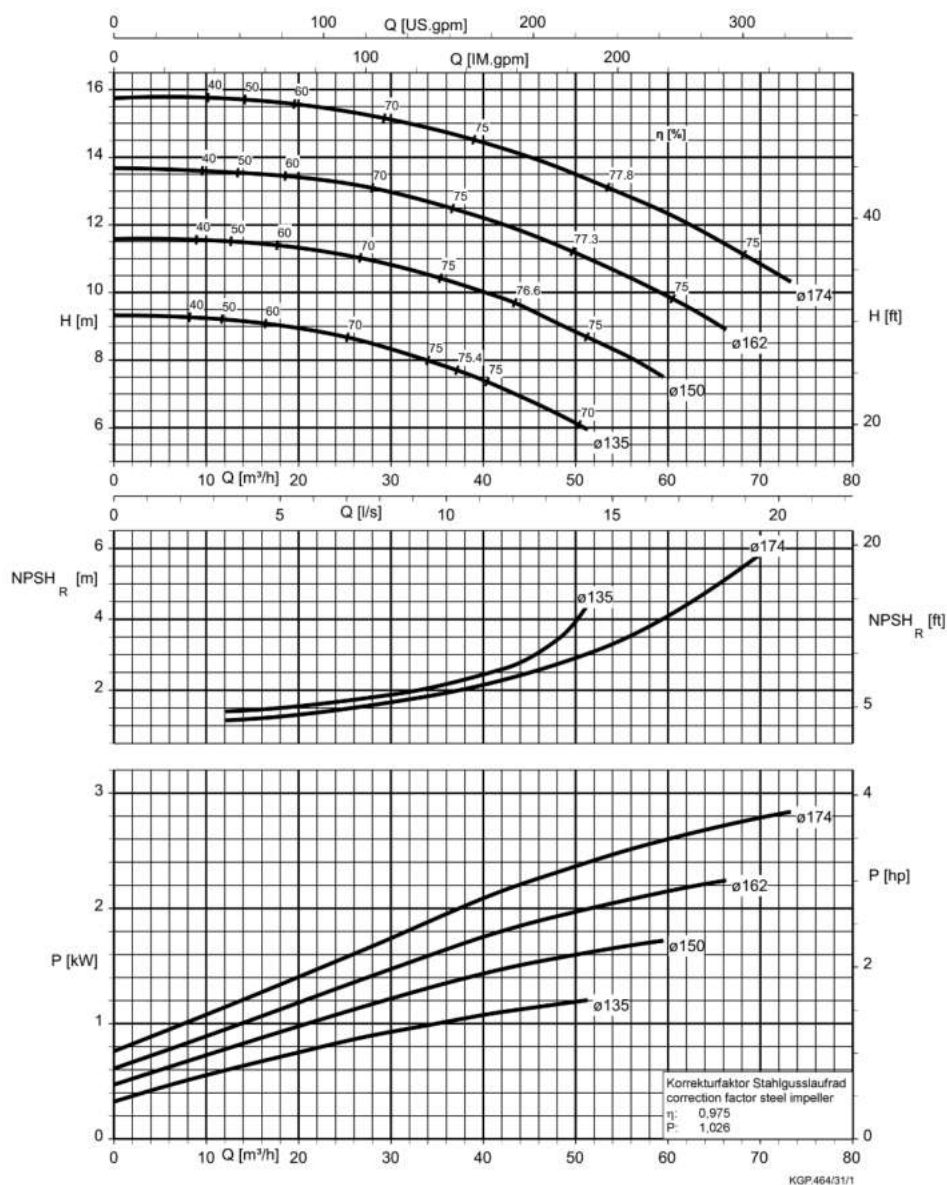
ANEXO 4 – GRÁFICOS BOMBA MEGACPK



Bombas centrífugas com vedação do eixo
Bombas químicas standard

MegaCPK 080-050-160, $n = 1.750 \text{ rpm}$

Meganorm, Megabloc



**SAAE**SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO
ARACRUZ-ES

DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

Eu, Elias Antônio Coelho Marochio, diretor geral do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Aracruz (SAAE), tenho ciência e autorizo a realização Trabalho de conclusão de curso intitulado AVALIAÇÃO DE PERDA DE FATURAMENTO NO SISTEMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE AGUA EM ARACRUZ – ES, VISANDO O REUSO DA AGUA DE LAVAGEM DE FILTROS, sob responsabilidade dos estudantes Jamile Campos, Thamires dos Santos Aquino Neves e Wanderson Mendonça de Oliveira Jr. na Estação de Tratamento de Água de Aracruz. Para isto, foram disponibilizados aos estudantes planilhas da quantidade de água da lavagem dos filtros, planta geral e cortes dos filtros e decantadores.

Em função da complexidade do supra citado assunto, a divulgação dos trabalhos ficam condicionados a prévia análise a aprovação formal da Autarquia.

Aracruz, 16 de dezembro de 2019.

Elias Antônio Coelho Marochio