

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

SÁVIO MENDES SILVA

**ESTUDO DE CASO SOBRE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM UMA
PISCINA INDUSTRIAL DE TESTES HIDROSTÁTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

MACAÉ

2021

ESTUDO DE CASO SOBRE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM UMA
PISCINA INDUSTRIAL DE TESTES HIDROSTÁTICOS

SÁVIO MENDES SILVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO – CAMPUS MACAÉ, COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO

Examinado por:

Prof. Marcelo Silva, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Prof. Marcelo Costa Cardoso, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Prof. Rudinelli Demarque, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

MACAÉ, RJ – BRASIL

2021

CIP - Catalogação na Publicação

S586

Silva, Sávio Mendes

Estudo de caso sobre processo de tratamento de água em uma piscina industrial de testes hidrostáticos / Sávio Mendes Silva. -- Macaé, 2021.
24 f.

Orientador: Marcelo Silva.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé Professor Aloisio Teixeira, Bacharel em Engenharia Mecânica, 2021.

1. Filtragem – industrial. 2. Piscina – testes. 3. Hidrostáticos – testes .
4. Engenharia mecânica. I. Silva, Marcelo orient. II. Título.

CDD 629

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a)
Campus UFRJ-Macaé Professor Aloisio Teixeira
Bibliotecário Anderson dos Santos Guarino CRB7 – 5280

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer meus pais e minha irmã, Graziela, Mário e Ana Luiza, toda minha família e meus amigos, que estiveram sempre junto a mim e me deram todo o suporte para que esse momento pudesse se tornar realidade. Sem eles, esse trabalho não existiria.

Além disso, não poderia deixar de agradecer à toda comunidade acadêmica da UFRJ Macaé por estes longos anos de muito aprendizado e crescimento pessoal e profissional, destacando meu orientador Marcelo que me auxiliou a conduzir este trabalho.

Por fim, agradeço imensamente a todos da empresa OneSubsea - Schlumberger, destacando meu supervisor Celso, por acreditar na ideia e por todo o apoio durante o desenvolvimento e implementação do projeto.

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro - Campus Macaé como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

ESTUDO DE CASO SOBRE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM UMA PISCINA INDUSTRIAL DE TESTES HIDROSTÁTICOS

Sávio Mendes Silva

2021

Orientador: Marcelo Silva

Curso: Engenharia Mecânica

Dado o contexto atual da agenda de sustentabilidade e os padrões cada vez mais rigorosos das legislações ambientais, o presente trabalho descreve o desenvolvimento e a implementação de um novo sistema para tratamento da água residuária proveniente de testes hidrostáticos em uma piscina de testes industrial. Esse sistema é aplicado em uma empresa do ramo *offshore* localizada na cidade de Macaé, RJ com o intuito de adequar os processos realizados na piscina com o procedimento interno e, principalmente, elevar a concordância da empresa com as normas e legislações ambientais vigentes no estado e no país. Para isso, foi desenvolvido um estudo de adequação de alguns conjuntos filtro-bomba para piscinas industriais a fim de se obter o que melhor se adequasse a necessidade da companhia e atendesse às demandas impostas ao projeto. Os resultados foram validados de maneira prática após o término das implementações, em um período de poucos meses. O projeto mostrou-se eficaz quanto adequação da empresa frente as legislações ambientais, aos procedimentos internos e quanto a redução de custos no descarte de efluentes contaminados.

Palavras-chave: legislação ambiental, tratamento de efluentes, água residuária, teste hidrostático, piscina de testes, conjuntos de filtragem industriais.

Abstract of Undergraduate Completion Work presented to UFRJ – Campus Macaé as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Mechanical Engineer.

CASE STUDY ON THE WATER TREATMENT PROCESS IN AN INDUSTRIAL HYDROSTATIC TESTING POOL

Sávio Mendes Silva

2021

Advisor: Marcelo Silva

Course: Mechanical Engineering

Given the current context of the sustainability agenda and the increasingly stringent standards of environmental legislation, this paper describes the development and implementation of a new system for treating wastewater from hydrostatic tests in an industrial test pool. This system is applied in an offshore company located in the city of Macaé, RJ in order to adapt the processes carried out in the pool with the internal procedure and, mainly, to increase the company's compliance with the environmental standards and legislation in force in the state and in the country. For this, a study was carried out on the suitability of some filter-pump sets for industrial swimming pools in order to obtain the one that best suits the company's needs and meets the demands imposed on the project. The results were practically validated after the end of the implementations, in a period of a few months. The project proved to be effective in terms of the company's compliance with environmental legislation, internal procedures and in terms of cost reduction in the disposal of contaminated effluents.

Keywords: environmental legislation, effluent treatment, wastewater, hydrostatic testing, test pool, industrial filtration sets.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 CONTEXTO.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivos gerais	13
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.1 A INDÚSTRIA FRENTE AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	15
2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA	15
2.3 ÁGUA DE REUSO	16
2.4 PISCINA DE TESTES (PIT).....	19
2.5 TESTE HIDROSTÁTICO (“TH”).....	19
2.5.1 Fluidos de teste	20
2.6 CRITÉRIOS DA QUALIDADE	20
2.7 EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS	22
3. ESTUDO DE CASO	23
3.1 A EMPRESA.....	24
3.2 CENÁRIO ENCONTRADO	24
3.3 PROCESSO DE MELHORIA	28
3.3.1 Etapas do reuso.....	28
3.3.2 Melhorias aplicadas	28
3.3.3 Escolha do conjunto	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 ANÁLISE DE ADEQUAÇÃO DO CONJUNTO MOTOBOMBA.....	39
4.2 RESULTADOS DAS ALTERAÇÕES	43
5. CONCLUSÕES	47
5.1 COMPLEMENTOS FUTUROS	48
6. REFERÊNCIAS	49

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DO USO DO DISCO DE SECCI COMPARANDO A TURBIDEZ DE DOIS LAGOS ...	22
FIGURA 2 – SITUAÇÃO ENCONTRADA POSTERIOR A UM TESTE MOLHADO	26
FIGURA 3 – PONTOS DE RETORNO, SUÇÇÃO E FLUXO DE ÁGUA ANTES DAS ALTERAÇÕES	28
IMAGEM 4 – EXEMPLIFICAÇÃO DOS FLUXOS DE RETORNO DA AGUA	30
FIGURA 5 - PERDAS DE CARGA EQUIVALENTE DE ACORDO COM A NBR 5626/2020 APUD CATÁLOGO DA TIGRE (2021).....	37
FIGURA 6 – PONTOS DE RETORNO, SUÇÇÃO E FLUXO DE ÁGUA APÓS AS ALTERAÇÕES	40
FIGURA 7 – CATÁLOGO DE BOMBA COM DESTAQUE PARA A BOMBA ESCOLHIDA	44
FIGURA 8 – MOTOBOMBA MODELO APP 7W – 3CV	45
FIGURA 9 – PISCINA DE TESTES APÓS TRATAMENTO	46
FIGURA 10 – PISCINA DE TESTES APÓS TRATAMENTO	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA DE SELEÇÃO DE CONJUNTOS FILTRO-BOMBA DANCOR	26
TABELA 2 – TABELA DE SELEÇÃO DE UNIDADES DE FILTRAGEM ALBACETE	32
TABELA 3 – QUANTIDADE DE ACESSÓRIOS EM CASA LINHA DE TUBULAÇÃO	38
TABELA 4 – RUGOSIDADE EQUIVALENTE DE TUBULAÇÕES DE DIFERENTES MATERIAIS	41
TABELA 5 – PERDA DE CARGA DEVIDO AOS ACESSÓRIOS DAS TUBULAÇÕES.....	42
TABELA 6 – TABELA AUXILIAR PARA DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA DAS PARTES RETAS DA MAIOR TUBULAÇÃO	43
TABELA 7 – TABELA DE SELEÇÃO	44

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

PIT PISCINA DE TESTES

TH TESTES HIDROSTATICOS

ETA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

ETE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

H_f ALTURA RELATIVA DEVIDO A RUGOSIDADE (M)

D DIAMETRO DO TUBO, METROS

L COMPRIMENTO DO TUBO, METROS

V VELOCIDADE DO FLUIDO NO INTERIOR DA TUBULAÇÃO, EM m^2

f FATOR DE ATRITO DE DARCY, ADIMENSIONAL

g GRAVIDADE, PADRÃO COMO $9,81 m/s^2$

Q VAZÃO (m^3/s)

H_{mt} ALTURA MANOMETRICA TOTAL (*m*)

n_b RENDIMENTO DA BOMBA

H_{aces} ALTURA RELATIVA DOS ACESSÓRIOS (M)

H_{gsuc} ALTURA GEOMÉTRICA DE SUCÇÃ (M)

P POTÊNCIA DE BOMBA (CV)

R_e NÚMERO DE REYNOLDS

ε RUGOSIDADE RELATIVA

ν VISCOSIDADE CINEMÁTICA DO FLUIDO

1. INTRODUÇÃO

A discussão sobre os temas ambientais e de desenvolvimento humano não é recente, contudo, somente no início do século XXI ações mais efetivas foram tomadas. Em setembro de 2000, os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) foram determinados após a definição de um pacto com 189 países a partir de discussões acerca da luta contra a pobreza e outros problemas de cunho social e ambiental. Estes objetivos eram subdivididos em alvos, metas e indicadores que deveriam ser alcançados até 2015.

O ano de 2015, na Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram consolidados. Esses objetivos tiveram suas discussões iniciadas em 2012 na conferência Rio+20, na qual o Brasil consolidou-se como ator na questão do desenvolvimento sustentável. As ODS são compostas por 17 objetivos que são subdivididos em novas metas para serem atingidas até 2030.

Por conta desse cenário de desenvolvimento humano, o mundo caminha, mesmo que a passos lentos, para uma situação de equilíbrio entre as necessidades humanas e os recursos disponíveis. Sendo assim, as indústrias têm papel fundamental nesse cenário, visto que demandam grande parte desses recursos e são de grande influência na sociedade.

Em indústrias, a utilização de água ocorre por diversas formas. Processos como lavagens de máquinas, tubulações e pisos, incorporação ao produto, utilização em sistemas de resfriamento, entre outros, necessitam de grandes quantidades desse bem que é tão essencial. Para algumas dessas finalidades não há tanta necessidade de um tratamento mais eficaz da água visto a utilização, contudo, para o caso estudado o cuidado no tratamento desse bem natural deve ser priorizado.

Empresas que possuem piscinas industriais voltadas para testes hidrostáticos e a gás possuem normas que baseiam a qualidade mínima que a água deve ser encontrada para a realização de alguns desses procedimentos. Por conta disso, é importante que haja um procedimento a ser seguido constantemente a fim de se obter a liberação para realização desses testes nas piscinas.

Segundo Giordano (2004) os sistemas de tratamento de efluentes baseiam-se na transformação dos poluentes dissolvidos, e em suspensão, em gases inertes ou sólidos sedimentáveis para que, posteriormente, haja a separação das fases líquida e sólido. Nessa linha, após a realização de procedimentos dentro da piscina, os sistemas de tratamento entram em ação para que essa transformação seja realizada e possa-se retirar os materiais poluentes/indesejados a fim de se obter novamente uma água em estado ótimo para novos testes.

Para alcançar as necessidades da empresa devido à grande demanda de testes na piscina, o projeto irá desenvolver os problemas levantados até a causa raiz da baixa eficiência do sistema. Posteriormente será apresentado as alterações realizadas – como troca de filtros e bombas – para melhorar a visibilidade e clareza da água em um menor período. Essas alterações trarão um melhor aproveitamento do reservatório, visto que o tempo entre testes poderá diminuir, além de garantir que todos os procedimentos estejam em conformidade com os requisitos impostos pelo setor de qualidade da empresa quanto à qualidade da água.

1.1 CONTEXTO

Em todo mundo os testes hidrostáticos são realizados em equipamentos classificados como vasos de pressão a fim de verificar a ocorrência (ou não) de vazamentos ou se haverá ruptura no mesmo quando submetido à pressão de trabalho. No Brasil, esse tipo de teste deve se submeter à norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e do Emprego aplicada a vasos de pressão e caldeiras (NR-13), que exige aplicações periódicas de testes hidrostáticos, desde que não haja possibilidade de propagação de defeitos. Na indústria do petróleo e gás, os equipamentos para utilização *offshore* estão submetidos a NR-13 e devem, periodicamente, realizar testes de estanqueidade (testes hidrostáticos ou a gás) para garantir a conformidade estrutural e de vedações deles, segundo a norma.

A empresa na qual o estudo foi desenvolvido possui atuação *offshore* e *onshore*. Em terra (*onshore*) são desenvolvidos e testados equipamentos que serão utilizados para auxiliarem na perfuração e prospecção de petróleo em alto mar (*offshore*). Esses equipamentos são desenvolvidos para suportarem pressões na casa dos milhares de PSI (variando de 1000 até 15000 PSI, em média) e não podem apresentar nenhuma falha

quando estiverem em operação, caso contrário, grandes desastres ambientais podem ocorrer, gerando multas multimilionárias às empresas responsáveis pela operação.

A fim de assegurar que os equipamentos *offshore* estão aptos para o trabalho *subsea* (no fundo do mar), eles são submetidos aos testes hidrostáticos para simular as condições de operação. Essas condições são bastante severas por conta da alta pressão externa que o equipamento está submetido – devido ao grande volume de água salgada acima dele – e, principalmente, por conta da alta pressão dos fluidos que são extraídos dos poços de petróleo e gás. De acordo com Giordano (2004) os testes hidrostáticos são realizados a fim de garantir a ausência de vazamentos e da integridade (resistência) global do conjunto testado. Por conta disso, segundo Furini (2012) para evitar paralizações não programadas, falhas ou até mesmo acidentes, é utilizada a técnica de confirmação da estanqueidade e integridade dos vasos, chamada de teste hidrostático.

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

A partir da observação dos frequentes atrasos e paradas nos testes por conta da visibilidade da água incompatível com a desejada (e exigida) pelo setor da qualidade, iniciou-se a análise das possíveis causas dessas não-conformidades. Tais não-conformidades, além de gerarem longos períodos de máquina parada, acarretam atrasos na entrega dos equipamentos.

Em empresas do setor de petróleo e gás, principalmente, qualquer período de máquina parada gera custos na casa dos milhares de reais. Além disso, atrasos na entrega dos equipamentos *offshore* geram multas ainda maiores que, ao todo, criava um montante de perdas que trazia grandes prejuízos a empresa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos gerais

Este trabalho analisará um estudo de caso sobre o processo de tratamento de água em uma piscina de testes hidrostáticos utilizado em uma empresa do ramo de óleo e gás, situada na cidade de Macaé, no estado do Rio de Janeiro. O principal objetivo é melhorar a gestão do sistema de tratamento da água utilizada em testes hidrostáticos.

1.3.2 Objetivos específicos

Atender a normas e regulamentações ambientais;

Atender requisitos técnicos para o bom funcionamento dos testes hidrostáticos e adequação aos padrões de qualidade demandado por esse setor da empresa de referência.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro é destinado à introdução, no qual é feita a apresentação do problema, bem como uma leitura do contexto em que o estudo está inserido. É realizada também uma apresentação da justificativa prática do trabalho, bem como motivação pessoal que levou o autor a buscar uma solução à situação problema. Além disso, são enunciados os principais objetivos do trabalho, tanto no aspecto geral como no específico.

O segundo capítulo consiste no referencial teórico, no qual é feita a revisão bibliográfica dos temas que englobam o foco do problema. Este capítulo está subdividido em 7 seções, que aborda aspectos desde o papel da indústria no meio sustentável até as definições de teste hidrostático e piscina de testes.

O terceiro capítulo consiste no desenvolvimento metodológico do trabalho, sendo responsável pela explanação dos passos realizados para desenvolvimento do trabalho. Este capítulo mostra de maneira simples e objetiva um resumo de todas as etapas do estudo bem como os principais pontos abordados nas melhorias levantadas.

O quarto capítulo consiste na análise dos resultados quanto à adequação do conjunto escolhido às necessidades do sistema, assim como os resultados obtidos posteriormente à implementação desse conjunto.

O quinto e último capítulo é constituído pela conclusão, ocasião na qual se avalia se os objetivos enunciados no capítulo inicial foram cumpridos. Além disso, são mostrados os principais resultados, limitações do estudo e perspectivas para trabalhos futuros acerca do tema.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 A INDÚSTRIA FRENTE AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Segundo a WWF-Brasil (2021), desenvolvimento sustentável é aquele capaz de suprir as necessidades da geração atual, mas que não comprometa a capacidade de atender as necessidades da geração futura. O desenvolvimento sustentável depende de planejamento, engajamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos (WWF, 2021).

Contrário do que muito se pensa, o desenvolvimento não significa crescimento econômico. Esse segundo, depende muito do consumo de recursos naturais e tem uma crescente demanda de energia (WWF,2021). O crescimento econômico é insustentável e leve ao esgotamento de recursos naturais, por conta da alta demanda de recursos naturais (WWF, 2021). Dessa forma, mesmo que o principal foco de uma indústria seja o lucro, esse não pode ser apenas conseguido através do crescimento econômico, mas sim também a partir do desenvolvimento, tanto de processos quanto de ideias.

O comprometimento da indústria com o desenvolvimento sustentável, a partir do encontro de 2015 da Cúpula das Nações Unidas, pôde se tornar mais expressiva com os novos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dos 17 objetivos, a indústria *offshore* está presente em pelo menos 8 desses. De forma mais pontual, o presente projeto, e o apoio da empresa a ele, mostra o real comprometimento frente a ODS número 6, referente a água potável e saneamento básico, pelo menos.

2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA

O processo utilizado para tratamento da água – principalmente aquela proveniente de resíduos industriais – não é algo simples. Muitos são os parâmetros a serem alterados e corrigidos a fim de se garantir um estado ótimo da água. Características como cor, odor são sensoriais e facilmente percebidas, porém, os aspectos físico-químicos compõem a base e são os principais pontos que influenciam na turbidez e visibilidade da água.

De maneira pouco semelhante ao que ocorre em uma estação de tratamento de água (ETA), o processo utilizado na empresa em estudo possui ao todo 5 etapas –

diferentemente das 8 realizadas em uma ETA tradicional. Após a liberação da piscina para tratamento da água, esse segue a seguinte ordem: oxidação, coagulação e floculação, decantação, filtração e correção de pH.

Segundo SABESP (2019), podemos caracterizar as etapas da seguinte forma:

- **Oxidação:** é a primeira etapa do processo. Mistura-se cloro na água para oxidar os metais presentes, principalmente o ferro e o manganês, que se apresentam dissolvidos na água. Além de facilitar a retirada da matéria orgânica presente.
- **Coagulação e floculação:** para que ocorra a coagulação é adicionado sulfato de alumínio, principalmente. Contudo, para fazer com que as partículas fiquem eletricamente desestabilizadas e mais fáceis de agregar, geralmente, também é adicionado o cloreto férrico. Para floculação, basta que haja circulação da água, o que acarreta o surgimento de flocos com as partículas coaguladas.
- **Decantação:** diferentemente de uma estação de tratamento, onde são presentes tanques de separação dos flocos, na piscina essa etapa ocorre apenas com a circulação lenta do fluido de seu interior até que todo o particulado se deposite no fundo.
- **Filtração:** essa etapa é responsável por reter a sujeira que foi acumulada pelas etapas anteriores. Geralmente, faz-se a retirada do particulado através de um sugador ligado a filtros de areia, que retém as partículas de sujeira. Essa etapa também pode ocorrer de forma concomitante com as anteriores.
- **Correção de pH:** também chamada de pós-alkalinização, essa etapa consiste em retiradas de amostras para análise de pH. O processo visa evitar a corrosão ou incrustações nas tubulações, acrescentando-se cal hidratado.

2.3 ÁGUA DE REUSO

Em muitos casos, na literatura, não há distinção entre reuso/reutilização e reciclagem da água. Tendo por base o tratamento de esgoto, o reuso de água ocorre quando há utilização e logo após o descarte em uma rede de esgoto, por exemplo. Esse esgoto é conduzido a uma estação de tratamento e passa por etapas e processos a fim de se obter um padrão de qualidade determinado para que possa ser utilizado novamente em outras atividades.

O reuso da água ocorre quando o esgoto sanitário, depois de sofrer um tratamento adicional realizado nas estações de tratamento de esgoto, é conduzido, pelas redes duplas de distribuição, ao local de consumo. Os padrões de qualidade para o reúso são estabelecidos em função de tipo de consumo e do nível de exposição humana à água (TEIXEIRA, 2003, p.8).

A água a ser reutilizada pode ser caracterizada como **água de reuso e/ou água de qualidade inferior (tratada ou não)**. De acordo com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2005), tem-se as seguintes definições:

I – Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

II – Reuso de água: utilização de água residuária;

III – Água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

IV - Reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Partindo dessas definições, o reuso da água pode ser dividido em algumas categorias, como: reutilização direta ou indireta; decorrente de ações planejadas ou não.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB, (2019), após a água ser utilizada em alguma atividade o reuso indireto não planejado ocorre quando essa é descarregada no meio ambiente e, de forma diluída, reutilizada de maneira não intencional e não controlada, geralmente em outra atividade. Nessa segunda atividade, a água pode ter sofrido ações naturais do seu próprio ciclo hidrológico, como diluição ou autodepuração, porém, contendo ainda resquícios da primeira utilização.

De maneira planejada, o reuso indireto, segundo a CETESB (2019), é aquele no qual a água, após ser utilizada em atividades domésticas ou industriais, é tratada e descarregada em corpos de água superficiais ou subterrâneos para serem utilizados a jusante em alguma atividade, de maneira controlada. Esse controle pressupõe que as eventuais novas descargas de efluentes no caminho mantenham com a mesma qualidade do reuso objetivado para que, assim, o fluido garanta os requisitos de uso para as próximas atividades.

O reuso direto planejado ocorre quando a água, após ser tratada, é descartada diretamente no local onde será realizada a atividade posterior com esse mesmo fluido, de acordo com CETESB (2019). Ou seja, os efluentes são encaminhados diretamente da descarga ao próximo ponto de coleta sem intermédio do meio ambiente. Essa característica justifica esse processo ser o mais utilizado em indústrias – sendo tratado no presente trabalho –, em irrigações, entre outros.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) traz duas outras classificações para o reuso de água, que são: potável e não potável. Dentro da primeira, há ainda subdivisões: potável direto ou indireto. Baseando-se nessa definição, Iwaki (2015) caracterizou os tipos direto e indireto de maneira idêntica às já indicadas nesse trabalho, contudo, quando ao se tratar de conceitos de potabilidade, a reutilização da água é submetida a mais etapas. Dentre elas, há a disposição da água para diluição – de maneira subterrânea ou superficial -, purificação natural e, posteriormente, captação, tratamento e utilização final como água potável novamente. Com relação a reutilização de água não potável, Iwaki (2015) aborda o quão amplo é o potencial desse método, devido principalmente à não exigir níveis elevados de tratamento.

Em acordo com essa divisão, o CNRH, em seu artigo 3º, modalidade IV, da Resolução 54 de 28 de novembro de 2005, prevê a utilização da água de processos e operações industriais como reuso direto não potável.

Caminhando paralelamente à essas definições, a reciclagem, embora comumente ser um termo utilizado para falar de objetos que cumprirão funções que não são as projetadas em sua criação, essa também pode se referir a água. A reciclagem de água, segundo CARVALHO (2012), é a reutilização desse efluente residual para fins benéficos dentro de alguma atividade, oferecendo economia financeira e de recursos. Esse processo não utiliza tratamentos tão energéticos como os necessários para o reuso direto ou indireto. A captação da água das chuvas ou de processos – que não alterem demais as características físico-químicas da água – e posterior utilização para irrigação é um bom exemplo desse método.

Partindo da diferenciação dos processos é possível estabelecer que o padrão utilizado pela empresa estudada é o de reuso direto planejado, contudo, a reutilização é realizada dentro do próprio processo, ou seja, é caracterizado como reuso interno,

inclusive. Também é possível incluir essa atividade em reuso direto não potável, se baseando nas definições do Ministério do Meio Ambiente e do CNRH.

2.4 PISCINA DE TESTES (PIT)

Uma piscina de testes (PIT) é uma estrutura criada abaixo do nível do solo da fábrica, em formato retangular, sendo a área superficial 6x6 metros e 7 metros de profundidade. Ele foi construído por espessas camadas de concreto com aditivos químicos para compor uma estrutura com alta densidade e, posteriormente, camadas de revestimentos isolantes e resistente quimicamente, para as áreas laterais. Com relação ao piso, sobre o qual ficam apoiados equipamentos *subsea* que chegam a pesar mais de 50 toneladas, além da espessa camada de concreto de alta densidade, foi acrescentado uma armadura dupla transpassada, totalizando uma camada de, aproximadamente, 1,5 metros. Além dessa estrutura, acima do solo há 3 laterais com dupla camada de chaparia de 1" (~25,4mm) de aço, cada uma, com uma terceira camada de régua de madeira de 1,5" (~38mm) e, por último, uma porta de folhas duplas e de mesmo padrão que as demais laterais.

O acesso à piscina apenas pode ser realizado por pessoas autorizadas e que possuam o cartão de acesso. Assim, além dessa barreira, há um complexo sistema de trancas e sensores que devem estar acionados para que o teste hidrostático seja realizado. Todo esse sistema visa garantir a segurança de todos os colaboradores que estão envolvidos no processo.

2.5 TESTE HIDROSTÁTICO ("TH")

O processo de reutilização da água na indústria se faz necessário em diversos momentos. Mais especificamente na área do petróleo e gás, por se tratar de uma atividade que movimenta sempre muitos recursos, principalmente financeiro, todo elemento poupado é muito bem avaliado segundo a ótica das grandes empresas. Sob essa perspectiva e, mesmo entendendo que a indústria do petróleo e gás possui inúmeros processos e tantas outras ramificações dentro desses, o foco será em um dos principais realizados nesse tipo de indústria: o teste hidrostático.

Segundo FILHO (2004), o teste hidrostático (TH) tem por objetivo verificar a existência de vazamentos ou de rupturas nos equipamentos industriais que passarão pelo teste, como tanques, tubulações ou outros equipamentos da área *offshore*, por exemplo. São realizados com os equipamentos fora de serviço, através de sua pressurização com água (teste hidrostático), ar comprimido (teste pneumático) ou outro fluido disponível, em pressões superiores às pressões operacionais ou de projeto, normalmente na ordem de 1,5 vezes a pressão máxima de trabalho admitida (PMTA) (HUPPES, 2009). Dessa maneira, é simulado uma condição operacional mais rigorosa do que comumente ocorre, a fim de garantir que, em uma situação normal (com pressões mais baixas), não ocorrerá nenhuma falha.

O teste hidrostático é considerado um ensaio não destrutivo exigido pela ASME, e deve ser realizado periodicamente ou sempre que um equipamento for fabricado, reparado ou transportado (HUPPES, 2009).

Ao final de cada TH são gerados resíduos, que variam desde o próprio fluido utilizado no teste até óleos hidráulicos, particulados que se soltam dos equipamentos testados, entre outros. Todo esse resíduo é depositado na água da piscina de testes (PIT), que posteriormente será reutilizada.

O procedimento de teste depende de alguns fatores, como o tipo de equipamento a ser submetido a ele (arvore de natal molhada, FIBAP, conectores, entre outros, por exemplo), tipo de teste (a gás ou hidrostático) e pressão. Esses aspectos são definidos pela engenharia e reproduzidos através de um procedimento a ser seguido pelos colaboradores responsáveis pela realização do serviço.

A fim de garantir que o teste ocorra de acordo com o procedimento e, posteriormente aprovado pelo setor de qualidade, os colaboradores devem garantir que todas as conexões e *plugs* estejam devidamente checadas para que não haja vazamentos. Caso ocorra em testes a gás, como o equipamento a ser testado está submerso em água, será possível visualizar as bolhas através das câmeras para, com isso, saber quais conexões ajustar e, posteriormente, reiniciar o procedimento.

Para testes hidrostáticos, a melhor ferramenta para encontrar possíveis perdas é através de gráficos de pressão. Esses, são criados através de *software* específico que registra a variação da pressão ao longo do período estipulado. Logo, caso não seja possível

visualizar um patamar com uma variação máxima previamente estipulada, o teste não é validado. Caso a negativa ocorra, deve-se localizar o vazamento e, novamente, realizar o teste até que seja possível alcançar a estabilidade, prevista no procedimento, necessária para que o teste hidrostático seja validado.

2.5.1 Fluidos de teste

O fluido utilizado para os testes dentro do PIT é um preparado orgânico de nome *Oceanic HW 525P*. Esse fluido possui entre 20% e 25% de etileno glicol e outros compostos em sua formulação, sendo o restante água. Por conta disso, segundo sua Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico (FISPQ), mesmo a maior parte de sua composição sendo água, a inalação pode gerar problemas respiratórios, o contato com a pele pode desenvolver irritações e, caso haja contato com os olhos, deve-se procurar um médico com urgência devido aos riscos à saúde ocular. Além disso, o produto é considerado muito tóxico por ingestão e pode gerar graves problemas.

Os possíveis vazamentos desse fluido de teste causam contaminações de solo e de córregos, sendo perigoso tanto a fauna quanto a flora, segundo a FISPQ do material. Da mesma forma, a mistura causa grande turbidez na água da piscina dentro da qual os testes são realizados. Também, quando a desconexão das ferramentas *offshore* ocorre, grande parte do HW que restava dentro delas também é despejado e contamina essa água.

Por se tratar de uma água com grande quantidade de resíduos – fluidos hidráulicos, fluidos de testes hidrostáticos (“HW”) e demais produtos utilizados durante todo o processo de instalação, teste e desmontagem do equipamento – e particulados, essa água não pode ser descartada de forma convencional e deve ser submetida à tratamento para nova utilização.

2.6 CRITÉRIOS DA QUALIDADE

A qualidade da água é algo de suma importância para a liberação ou não de um teste hidrostático porque é ela que permitirá a visualização (ou não) de possíveis vazamentos nas ferramentas submarinas. Por conta disso, alguns parâmetros devem ser atendidos para garantir essa qualidade. Segundo EMBRAPA (2015), os parâmetros físico-químicos

fundamentais no controle da qualidade da água são muitos, inclusive a visibilidade e transparência. Esses aspectos representam a capacidade que a água tem de permitir a passagem dos raios solares, que é inversamente proporcional ao nível de turbidez da água, de acordo com Embrapa (2015). Ou seja, quanto mais partículas em suspensão e outros materiais misturados à água, maior será a turbidez e menor será a visibilidade.

Tendo em vista a garantia da qualidade da água, a empresa possui normas internas relativas aos testes “molhados” realizados no PIT (Piscina de Testes). O teste molhado – aquele no qual há água junto da ferramenta dentro da piscina – deve ser realizado com uma condição de água com visibilidade tal que seja possível, a olho nu, enxergar uma placa 0,7 X 0,5m recortada com formato numérico – “123” – no fundo. Essa placa funciona como um disco de Secchi. O disco metálico de 20 cm de diâmetro, com 2 quadrantes alternados pintados de preto e suspenso por um cabo graduado. A transparência é medida, inserindo-se o disco na água e observando até que ele não seja mais visível. O valor da transparência será a distância entre a superfície da água e o ponto onde o disco deixou de ser visível (EMBRAPA, 2011). Assim, no caso da piscina de testes, a medida de visibilidade ótima para realização de uma operação molhada é 6 metros. A Figura 1 exemplifica dois padrões possíveis:

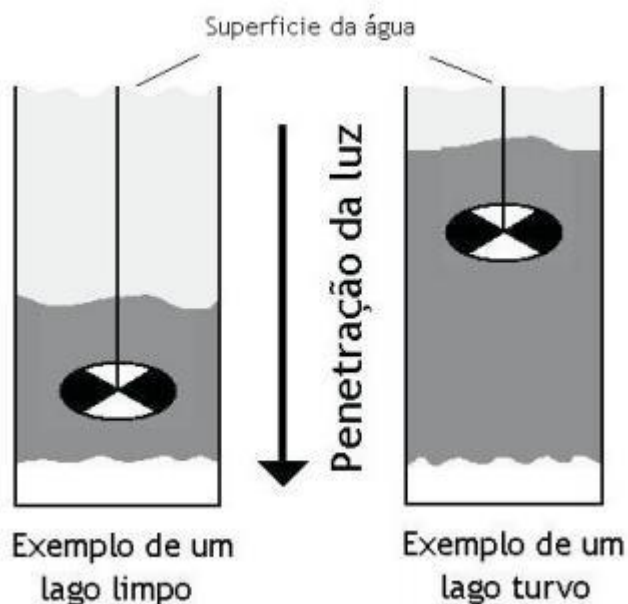


Figura 1 – Exemplo do uso do disco de Secchi comparando a turbidez de dois lagos. Fonte: EMPRAPA (2011)

2.7 EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS

Ambientalmente, o descarte de resíduos líquidos é algo bastante criterioso e há diversas normas e regulamentos que tratam do assunto. De acordo com a NBR 9800/1987, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanações de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. Esse efluente está submetido à resolução 20/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que trata do descarte de resíduos líquidos na natureza. Assim, o material descartado, que se enquadra no artigo 10 e 11 dessa resolução, para ser descartado precisa que a presença de óleos, graxas materiais flutuantes, cor, odor, entre outras características, estejam virtualmente ausentes, ou seja, demandam uma grande carga de tratamento prévio.

Além dessa, a norma regulamentadora NBR 10004/2004 trata especificamente da classificação de resíduos sólidos, na qual caracteriza que qualquer material flotante gerado da separação física e/ou química de água/óleo no processo de efluentes líquidos oleosos é considerado resíduo. Para que esse resíduo seja recolhido por empresas especializadas sem que haja um tratamento prévio, o valor desembolsado é na casa dos milhares de reais – dado ao grande volume de fluido a ser descartado.

Dessa maneira, a reutilização da água da piscina é de extrema importância, pois resíduos de óleo hidráulico, fluidos anti-congelantes e diversos outros resíduos dos testes são, ambientalmente, muito impactantes se descartados de forma incorreta e, para serem descartados, necessitam de uma carga de tratamento muito alta e custosa para a empresa. Assim como, caso sejam recolhidos por empresas especializadas, também demande grande investimento.

3. ESTUDO DE CASO

Na indústria do petróleo e gás há diversas áreas passíveis de estudos de melhoria. Por conta da complexidade desse setor e do contínuo avanço das tecnologias embarcadas, as inovações que condicionem a empresa a ser mais competitiva e eficiente diante do mercado são sempre muito bem vistas. Não diferente, na empresa em questão há processos de testes hidrostáticos à seco e molhados dentro da Piscina de Testes (PIT) que mereciam atenção

Os testes à seco ocorrem de forma que toda a água da piscina é retirada e transferida aos reservatórios, sendo eles realizados dentro da piscina. Assim, após a conexão dos pontos de pressão no equipamento, esse é colocado no fundo do PIT e já está apto ao início do processo. Posteriormente, todo o sistema de travas das portas é acionado e verificado para garantir que esteja de acordo para iniciar o procedimento. Geralmente, em teste à seco é utilizado o fluido HW 525P, pressurizando o vaso até um nível estabelecido com base nas condições do projeto e, para estar apto a retornar as operações, o equipamento deve conseguir manter essa pressão por um período que também é determinado no projeto.

Semelhante àqueles que ocorrem sem a presença de água, os testes molhados ocorrem também dentro da piscina, porém, com os quase 200 mil litros de água junto do equipamento. Nesse caso o fluido HW 525P pode ser substituído por algum gás inerte (geralmente nitrogênio) que será pressurizado seguindo o mesmo processo do caso anterior. Contudo, esse procedimento contém mais algumas nuances que são de extrema importância para a realização do teste. A mais importante delas é a garantia da qualidade da água, visto que é parâmetro decisivo para liberação ou não da realização do teste. Por conta disso, a limpeza e manutenção dessa água é de grande importância para a empresa.

Parâmetros como pH e dureza são aqueles que mais influenciam na visibilidade e qualidade da água. Conforme LISBOA (2010), através do manual do fabricante dos produtos químicos que são acrescentados a água, a análise do pH da água deve ser feita diariamente e deve ser mantida, preferencialmente, entre 7,4 e 7,6 pois assim ela não irá corroer equipamentos, cimento ou argamassa e nem gerar deposição em superfícies submersas. Logo, neste trabalho, não foi realizada nenhuma alteração em parâmetros químicos, como por exemplo, quantidade (em kg) de produtos e/ou pH ideal que são

necessários para manutenção da visibilidade adequada da água. Esses parâmetros foram mantidos conforme indicação dos fabricantes dos produtos para a quantidade de água utilizada.

Foram parâmetros modificados no estudo: modelo e capacidade dos filtros utilizados, motobombas, diâmetro de tubulações e disposição de pontos de sucção e recalque.

3.1 A EMPRESA

O setor de óleo e gás há muitos anos é um dos mais influentes e representativos no cenário econômico do país. Nele, são gerados grande parte de toda a riqueza e energia utilizada no país, tanto para a indústria em geral quanto para casas e cidades. Por conta disso, esse setor tem grandes responsabilidades, que vão desde ao desenvolvimento de novas tecnologias até garantia e comprometimento com as questões ambientais das regiões nas quais as suas bases estão instaladas.

Para atender a toda essa expectativa, o foco está sempre voltado para maiores eficiências e reduções de custos, além de jamais comprometer o ecossistema local-global. Dessa forma, poder reduzir os custos de descarte de efluentes, assim como a redução do tempo necessário para deixar a água suja novamente apta para a utilização, são de grande interesse e importância. Além disso, esse esforço garante que a empresa esteja alinhada com as normas e legislações ambientais vigentes no país.

Por fim, um projeto dessa natureza mostra que, apesar de se tratar de uma empresa do ramo que possui grande potencial poluidor, há constates estratégias e reais mudanças que visam impactar positivamente no cenário mundial quanto aos aspectos ambientais.

3.2 CENÁRIO ENCONTRADO

Antes da aplicação das melhorias desenvolvidas, a configuração de bombas e filtros resultava em uma má recirculação de água, gerando longos períodos de tratamento e baixa visibilidade da água do PIT. Essa condição, além de estar em não-conformidade com os padrões exigidos pela empresa, impossibilita a visualização correta de possíveis vazamentos durante o procedimento, conforme mostrado na Figura 2.

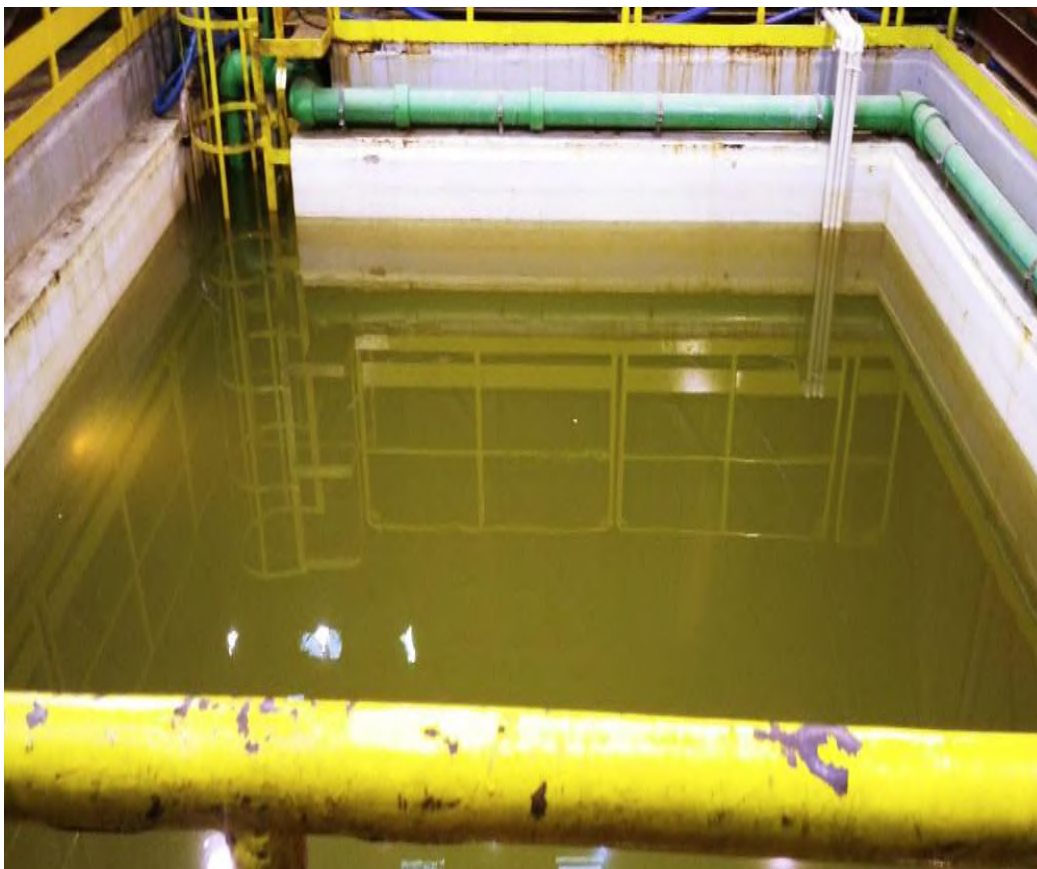


Figura 2 – Situação encontrada posterior a um teste molhado. Fonte: Autor (2021)

A limpeza e o tratamento da água eram realizados por 3 conjuntos: filtros DANCOR DFR-24 e bombas PF – 17M de 1cv 127/220v. Esses filtros possuem características conforme Tabela 1:

TABELA DE SELEÇÃO													
FILTROS			Bomba Dancor Auto-aspirante - Série PF					Tempo de Recirculação em horas				Carga de Areia (Kg)	
Modelo	Diâmetro (cm)	Área Filtrante (m ²)	Modelo		Pot. (cv)	Vazão Nominal (m ³ /h)	Altura manométrica total na vazão nominal (mca)	Volume da Piscina em m ³					
			Monofásico 110/220V	Trifásico 220/380V				6	8	10	12		
DFR-11	28	0.06	PF-17-M PF-17C	--	1/4	2.2	10.5	13.2	17.6	22.0	26.4		14
DFR-12	30	0.07		--	1/4	2.7	10.4	16.2	21.6	27.0	32.4	28	
DFR-12-4*	30	0.07		--	1/3	3.8	10.3	22.8	30.4	38.0	45.6	28	
DR-15	39	0.12		--	1/3	4.0	10.3	24.0	32.0	40.0	48.0	45	
DFR-15-7*	39	0.12		PF-17-T		1/2	7.0	11.2	42.0	56.0	70.0	84.0	45
DFR-19	49	0.18				1/2	7.0	11.2	42.0	56.0	70.0	84.0	100
DFR-19-10*	49	0.18				3/4	9.8	12.0	58.8	78.4	98.0	117.6	100
DFR-22	56	0.25				3/4	10.0	12.0	58.8	78.4	98.0	117.6	140
DFR-22-11*	56	0.25			1.0	11.0	15.1	66.0	88.0	110.0	132.0	140	
DFR-24	61	0.29	PF-17-M			1.0	11.0	15.1	66.0	88.0	110.0	132.0	160
DFR-24-13*	61	0.29			1.5	12.7	16.0	76.2	101.6	127.0	152.4	160	
DFR-30	76	0.45			1.5	16.9	13.5	101.4	135.2	169.0	202.8	240	
DFR-30-18*	76	0.45			2.0	18.4	7.6	110.4	147.2	184.0	220.8	240	
DFR-2-22**	56	0.50	PF-22-M	PF-22-T	1.5	19.6	13.4	117.6	156.8	196.0	235.2	280	
DFR-2-24**	61	0.58			2.0	22.0	15.5	132.0	176.0	220.0	264.0	320	
DFR-2-30**	76	0.90			3.0	33.0	14.0	195.6	260.8	326.0	391.2	480	

*Modelo de filtros com vazão maior ** Bateria com dois filtros

NOTA: 10 mca = 1.0 kgf/cm² = 14.22 ibf/in²

Tabela 1 – Tabela de seleção de conjuntos filtro-bomba Dancor. Fonte: site do fabricante

www.dancor.com.br (2021)

Além disso, o posicionamento das tubulações de sucção e recalque estavam alinhadas em uma mesma face lateral da piscina, cada ponto em um vértice conforme Figura 3.

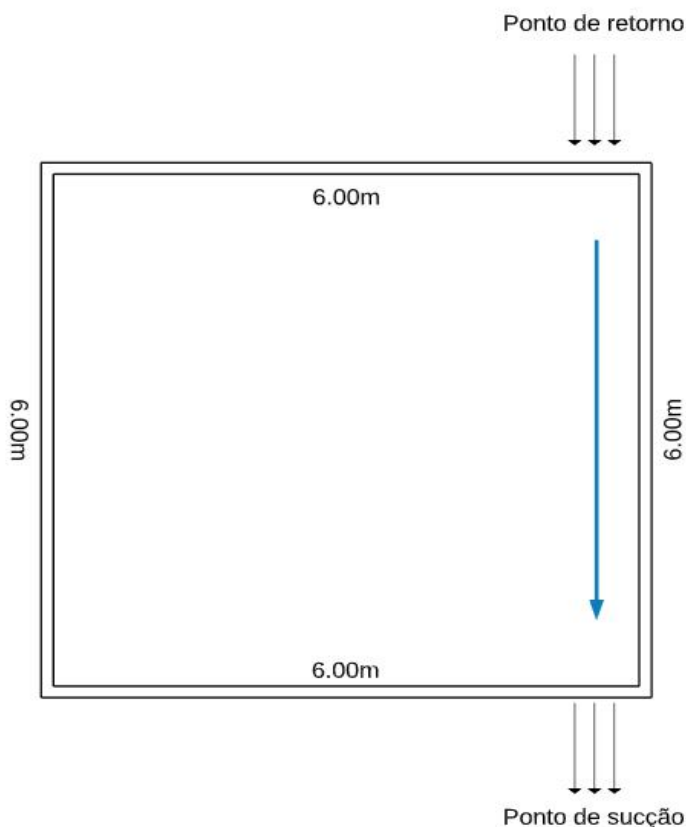


Figura esquemática 3: Pontos de retorno, sucção e fluxo de água antes das alterações. Fonte: Autor (2021)

O esquema simplificado exemplifica os pontos de coleta (sucção) e retorno (recalque) do efluente tratado. A seta em azul é uma representação da movimentação realizada pela água através da vista superior da piscina. Os dois pontos destacados se encontram na mesma altura – cerca de 3m a partir do fundo.

Devido a essas características, o fluxo de água circulava, principalmente, na face lateral direita – seguindo a referência visual do esquema. Por conta disso, não havia suficiente mistura e, conseqüentemente, maior tempo necessário para equalizar os produtos químicos despejados por todo o volume da piscina e, posteriormente, maior tempo para que ocorresse de fato a melhoria na qualidade visual do fluido.

Essa configuração trazia como resultado, em média, cerca de 10 dias para tratamento da água – desde a liberação da piscina para tratamento até sua entrega à produção novamente. Contudo, dependendo dos parâmetros iniciais no qual a água era encontrada (pH, dureza, entre outros), o prazo poderia variar a duas semanas ou mais para o tratamento.

3.3 PROCESSO DE MELHORIA

3.3.1 Etapas do reuso dos efluentes

O reuso do efluente gerado posteriormente aos testes passa por um processo de, em resumo, 4 etapas principais *in loco*: **adição de produtos químicos** na água (sulfato de cobre, ácido clorídrico, algicidas, entre outros), a fim de equalizar parâmetros – não alterado devido aos parâmetros ideal de pH e alcalinidade, por exemplo; **recirculação com filtração**, trazendo melhorias de turbidez e visibilidade da água – variando-se o tempo de acordo com o estado inicial do efluente; **decantação**, podendo haver nova adição de produtos químicos para agilizar o processo; e posterior **aspiração** dos resíduos pesados do fundo do reservatório.

Cada uma dessas etapas demanda certa quantidade de tempo que, ao final do processo, gera um montante ineficiente. De toda maneira, como as etapas **recirculação** e **decantação** são as que demandavam mais tempo, esses foram os pontos focais do estudo.

O processo de recirculação e filtração da água a ser reutilizada é parte chave no tratamento da água. Durante essa etapa ocorre a mistura dos produtos químicos previamente adicionados e retenção das partículas maiores nos filtros de areia.

3.3.2 Melhorias quanto a sucção e recalque

A configuração de bombas e filtros, assim como o posicionamento das tubulações de sucção e recalque foram os principais pontos abordados, pois verificou-se que esses influenciavam tanto na eficiência da recirculação de água quanto no tempo de decantação, pois o efluente já estaria em um estado de limpeza mais avançado ao iniciar essa terceira etapa.

A primeira alteração proposta foi a alteração física dos pontos de sucção e recalque, para melhor aproveitar a circulação de água e a mistura dos químicos utilizados. O principal objetivo dessa melhoria foi aumentar a taxa de mistura do efluente durante sua recirculação, a fim de reduzir o tempo necessário para realização dessa etapa.

Primeiramente, por se tratar de uma piscina de realização de testes em equipamentos submarinos, há grande restrição de adição de itens nessa região que possam causar a diminuição da área interna dela. A partir desse princípio e, também,

devido à proximidade com as bombas, os dois pontos estudados foram mantidos nas posições, contudo, algumas alterações foram realizadas:

- Os pontos de retorno da água tratada tiveram seus fluxos distribuídos em direções diferentes, uma a 0° , outra a 45° e a terceira a 90° conforme mostrado na Imagem Ilustrativa 4:

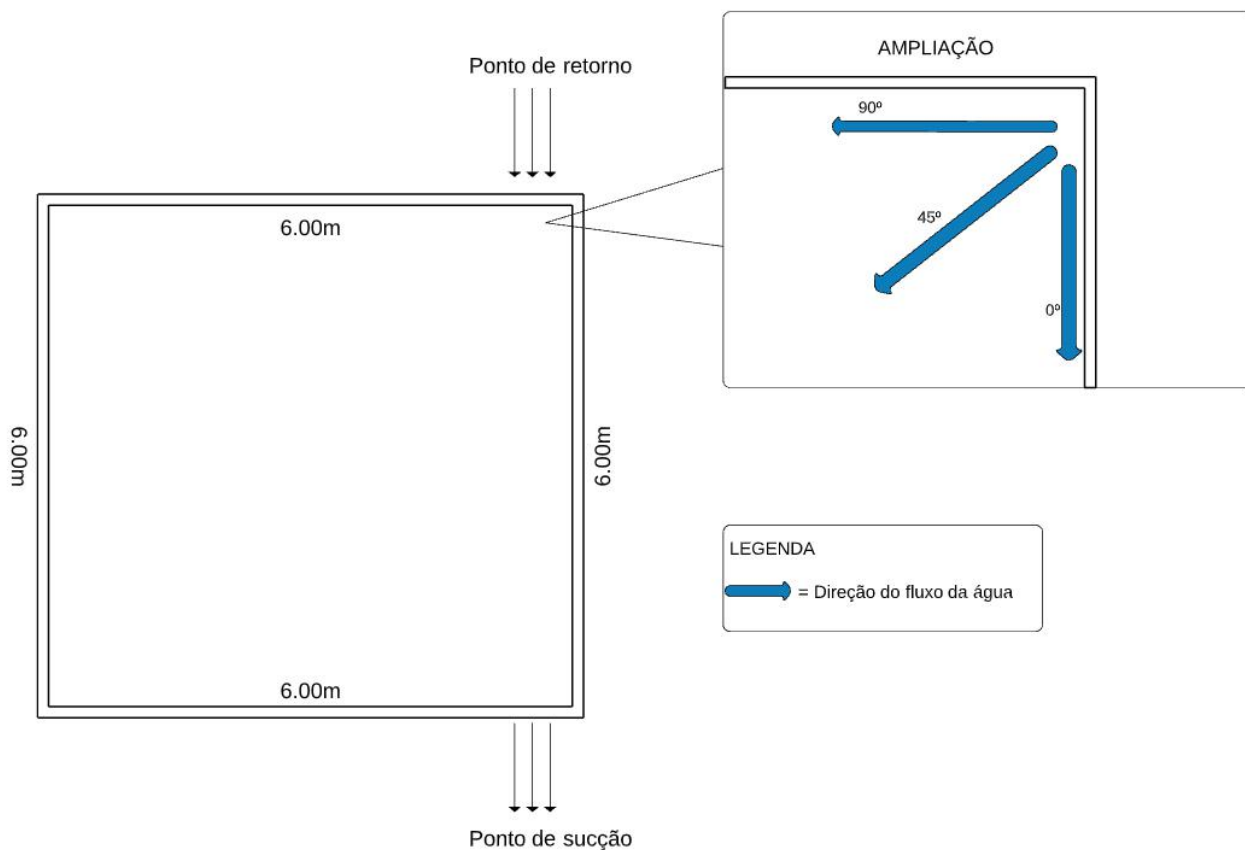


Imagem 4: Exemplificação dos fluxos de retorno da água

- Além disso, as alturas dos pontos de recalque também foram alteradas: 2 metros, 2,5 metros e 3 metros medidos a partir do fundo da piscina.

Conforme apresentado anteriormente, a configuração das bombas e dos filtros também demandavam atenção. A princípio, as linhas de sucção e recalque eram compostas por 3 tubulações de 1 ½" que, combinada com as bombas de 1cv e 3 filtros DANCOR DFR-24, alcançavam uma razão nominal de $33\text{m}^3/\text{h}$, quando funcionando ao mesmo tempo. Com essas configurações, o tempo de tratamento da água variava em torno de 5 dias, o que não atendia aos requisitos da empresa.

Para atender as demandas da empresa e dos órgãos ambientais, foi realizado um estudo com as possíveis alterações. Essas modificações precisaram, também, se adaptar as limitações espaciais tanto da piscina quanto do local no qual as motobombas e filtros seriam instalados.

3.3.3 Escolha do conjunto

A escolha do filtro ocorreu com base, principalmente, em parâmetros como vazão de filtragem (m^3/h), potência das motobombas e confiabilidade/facilidade de manutenção.

Com relação aos parâmetros de confiabilidade e facilidade de manutenção foi decidido por marcas que tivessem revendas próximas ou fossem nacionais, o que traria agilidade e mais facilidade de acesso aos serviços no futuro. Dentre essas características, foi escolhido a empresa ALBACETE.

Para atender aos requisitos legais apresentados nas normas NBR 10818/2016 e NBR 10339/2019, algumas métricas foram definidas. Primeiramente, é indicado que um conjunto motobomba e filtro não trabalhe mais do que 10 horas por dia, a fim de garantir seu ótimo funcionamento por um período satisfatório. Outro dado apresentado na norma NBR 10818/2016 é que o pH ideal é aquele que está entre 7,2 e 7,8. Esse é alcançado através de pequenas aplicações de produtos químicos para equalizar a água.

MOD.	MOTOBOMBA		TUBULAÇÃO DO FILTRO	ÁREA FILTRANTE (m ²)	VAZÃO (M ³ /H)		VOLUME DA PISCINA (M ³) COM TEMPO DE RECIRCULAÇÃO (H)					AREIA (kg)	PESO SEM AREIA E COM EMBALAGEM (kg)	DIMENSÕES EXTERNAS (mm)			
	MODELO	POTÊNCIA			FILTRAGEM	LAVAGEM	2 HORAS	4 HORAS	6 HORAS	8 HORAS	12 HORAS			ALTURA TANQUE	DIÂMETRO TANQUE	A	B
A-230R	APP5 W	11/2	2 1/2"	0.441	21.16	23.27	42m ³	84m ³	127m ³	169m ³	254m ³	320	58	980	750	250	250
A-236R	APP7 W	3	2 1/2"	0.769	36.91	40.6	74m ³	148m ³	221m ³	295m ³	443m ³	620	108	1120	990	350	400
A-236RE	APP7 W	3	2 1/2"	0.849	40.75	44.82	81m ³	163m ³	244m ³	326m ³	488m ³	582	166	1190	1040	315	400
A-250R	APP9 W	5	3"	1.347	64.65	71.11	129m ³	258m ³	388m ³	517m ³	775m ³	1345	232	1650	1310	490	480
A-260R	APP10 W	7.5	4"	1.935	92.88	102.16	186m ³	371m ³	557m ³	742m ³	1114m ³	2200	258	1850	1570	600	540
A-286R	Consultar fábrica		8"	4.154	199.39	219.32	399m ³	797m ³	1196m ³	1594m ³	2392m ³	*	1.18	2800	2300	*	*

Tabela 2 – (Adaptação) Tabela de seleção de unidades de filtragem Albacete. FONTE: site do fabricante:

www.albacete.com.br (2021)

Com o fabricante ALBACETE escolhido, o próximo passo foi identificar as opções de unidades de filtragem industriais que se adequavam. No site do fabricante há a Tabela 2, que apresenta as características dos conjuntos motobomba industriais oferecidos. Com isso, seria necessário verificar se a vazão de filtragem e a capacidade das motobombas dos modelos seriam suficientes e atenderiam as expectativas para, posteriormente, definir o melhor conjunto.

Previamente, alguns padrões foram definidos para que o projeto fosse aprovado, dentre eles:

- Continuidade na utilização de 3 conjuntos de filtragem de forma paralela e individual;

- O sistema trabalharia em ciclos de 2 dias para tratamento da água, considerando 8 horas de trabalho por dia. Para as duas primeiras etapas (recirculação e ajuste de parâmetros), a meta será de 2 horas para ajuste dos parâmetros e 6 horas para a recirculação, em média. Para as duas etapas restantes (decantação e sucção de particulados maiores do fundo), 6 horas para a completa decantação das partículas – conforme informa o manual do fabricante do produto utilizado nessa etapa, IGUI – e 2 horas para sucção dos particulados, em média. Caso seja necessário mais de um ciclo para a

completa limpeza da água, deve ser acordado entre as partes interessadas esse novo período de tratamento.

Tendo em vista essas definições e analisando as opções possíveis no catálogo, para atender a meta de 4h de recirculação (de um total de aproximadamente 250 m³ de fluido) e utilização dos 3 conjuntos de filtragem, foi identificado que todos os conjuntos estavam aptos. Para cumprir a meta, o mínimo de vazão de filtração deveria ser de 14m³/h e, segundo a Tabela 2 de seleção de conjuntos, todas se adequam.

Para escolha do conjunto, precisava ser realizado um estudo para verificação da capacidade da motobomba quanto ao atendimento do projeto. Assim, alguns parâmetros devem ser conhecidos e atentados, como a vazão total necessária (em m³/s); altura manométrica total de coluna d'água que o projeto demanda; e o rendimento do motor.

O cálculo da altura manométrica para esse tipo de utilização é a soma das alturas geométrica de recalque com a altura de sucção, além das perdas de carga ao longo do conjunto. A primeira é a distância vertical entre o eixo da bomba até o ponto de saída (dentro da piscina). Contudo, como os conjuntos ficarão acima do nível da água, esse dado não será considerado. A altura de sucção é a distância vertical do nível do reservatório até o eixo da bomba.

Para se calcular a perda de carga, devem ser analisados, principalmente, 3 parâmetros: o diâmetro da tubulação, a vazão e o material utilizado nessa tubulação. Ao final, esses parâmetros serão apresentados como valores percentuais da altura geométrica e de sucção. Como padrão para este estudo, será utilizado uma eficiência de 75% da bomba, julgado como valor aceitável de acordo com o próprio fabricante (Albacete) devido ser uma bomba de média capacidade.

A perda de carga das tubulações foi calculada através da fórmula universal de Darcy-Weisbachou para se encontrar esse parâmetro em tubulações contínuas, dada pela Equação 1.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Sendo,

H_f = altura relativa devido à rugosidade (m);

D = diâmetro da tubulação (m);

L = comprimento da tubulação (m)

v = velocidade do fluido no interior da tubulação (m/s);

f = fator de atrito de Darcy, adimensional;

g = gravidade padrão (9,81 m²/s).

O coeficiente de atrito (f) necessita de métodos numéricos para alcançar os valores em função do **Número de Reynolds (Re)** e da **Rugosidade Relativa (E)** que, por sua vez, pode ser definida com relação entre a altura da aspereza no tubo (ϵ) e seu diâmetro (D),

sendo $\frac{\epsilon}{D}$.

O cálculo padrão do número de Reynolds foi introduzido por George Gabriel Stokes em 1851, contudo, o nome dessa grandeza física dos escoamentos se dá devido ao físico e engenheiro britânico Osborne Reynolds (1842-1912), apenas em 1883. Essa grandeza auxilia para determinar se o escoamento é turbulento ou laminar (FREITAS & REZENDE, 2010). A cálculo padrão do número de Reynolds é realizado através da Equação 2.

$$Re = \frac{4*Q}{\pi*D*v} \quad (2)$$

Sendo,

Q = vazão do fluido no interior da tubulação;

ν = viscosidade cinemática do fluido (cSt);

D = diâmetro da tubulação

A viscosidade cinemática do fluido é algo difícil de ser determinado. Por conta disso, será baseado em uma possível mistura do fluido utilizado no teste (HW 525) e água – em testes com nitrogênio, não há alteração dessa propriedade da água. A média volumétrica utilizada em cada teste, segundo a engenharia da empresa, é por volta de 100 litros de HW. Esse valor corresponde a aproximadamente 5% do volume de água presente no tanque.

Isso significa que ao menos 10 testes devem realizados despejando todo o volume de fluido de teste na água para que a viscosidade cinemática dela fosse alterada cerca de 16% (de 1,731 para 2,017 cSt), segundo os dados trazidos por SILVA (2019). Sendo assim, a viscosidade cinemática do efluente utilizada será aquela trazida sob essa condição hipotética, como representação de um caso extremo (2,017 cSt, ou $2,017 \cdot (10^{-6}) \text{ m}^2/\text{s}$). Da mesma forma, o valor de ρ (1014.4 kg/m^3) considerado será o mesmo apresentado por SILVA (2019) em sua tabela com 10% de concentração de etilenoglicol.

Segundo FREITAS & REZENDE (2010), para $Re < 2300$ (regime laminar) utilizamos a Equação 3:

$$f_{laminar} = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

Nos regimes transiente e turbulento a definição de qual equação a ser utilizada depende do material da tubulação, que irá influenciar na rugosidade (FREITAS & REZENDE, 2010). Caso o regime seja transiente ($2300 < Re < 4000$), deve-se utilizar as equações matemáticas implícitas, ou explícitas, de Colebrook-White, conforme Equação 4:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (4)$$

Sendo f o fator de atrito de Darcy, ε a rugosidade da tubulação, D o diâmetro interno e Re o número de Reynolds.

Caso o regime trabalhado seja completamente turbulento ($Re > 4000$), Moody propôs substituir a equação de Colebrook-White, através de métodos numéricos, para se obter os valores dos coeficientes de atrito. Assim, a solução pode ser dividida em duas partes:

Para $4000 < Re < 10^7$, utilizamos a Equação 5 para determinar o fator de atrito de Darcy:

$$f = 0,0055 * \left[1 + \left(20000 * \frac{\varepsilon}{D} * \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (5)$$

Sendo,

ε = rugosidade relativa para tubulação em PVC;

D = diâmetro da tubulação

Re = número de Reynolds.

Para valores de Reynolds maiores do que 10^7 , encontramos o fator através da Equação 6:

$$f = \frac{1}{-2 \log \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{3,7}} \quad (6)$$

Sendo:

ε = rugosidade relativa para tubulação em PVC;

D = diâmetro da tubulação.

Ao todo, serão utilizados como 12,7 metros de trechos contínuos com 0,075 m de diâmetro. Esse é o maior valor encontrado dentre as 3 tubulações diferentes que fazem parte do conjunto de tratamento de todo sistema, para garantir que seja englobado o pior caso.

No cálculo de perdas de carga localizadas, ou seja, aquelas geradas pelos acessórios do sistema (curvas, reduções, joelhos), será utilizada a Figura 5.

















CONEXÃO		Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização									
		MATERIAL	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90°		PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
		Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45°		PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
		Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
		Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
		Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta		PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
		Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União		PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
		Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização		PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
		Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*)		PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
		Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto		PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
		Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto		Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto		Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo		PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
		Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
	Vertical 	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

Figura 5 – Perdas de carga equivalente de acordo com a NBR 5626/2020 apud catálogo da Tigre (2021).

A Figura 5 foi considerada como base para os valores de perda de carga em cada acessório utilizado. Para o projeto, foi utilizado como diâmetro de tubulação 75 mm (~3pol). Além disso, foi levado em consideração a bomba na qual era necessário a maior quantidade de acessórios (curva 90°, uniões, válvulas e tê) conforme tabela 3.

BOMBA	QUANTIDADE DE ACESSÓRIOS				
	"Joelho" 90°	UNIAO RETA	REDUÇÃO	VÁLVULA	TÊE
1	7	3	4	2	3
2	8	2	4	3	3
3	7	2	4	2	2

Tabela 3 – Quantidade de acessórios em cada linha de tubulação. Fonte: Autor (2021)

Através dos dados da tabela 3, será calculado a perda de carga das tubulações das bombas 1, 2 e 3. Posteriormente, esses valores serão comparados e o maior valor de perda de carga será o utilizado, como caso limite. Por fim, esses dados serão inseridos na determinação da altura manométrica total que a bomba deverá superar, através da Equação 7.

$$H_{mt} = H_{frec} + H_{grec} + H_{fsuc} + H_{gsuc} \quad (7)$$

Sendo,

H_{mt} = altura manométrica total (m);

H_{frec} = perda de carga localizada e contínua no recalque (m);

H_{grec} = altura geométrica de recalque (m);

H_{fsuc} = perda de carga localizada e contínua de sucção (m);

H_{gsuc} = altura geométrica de sucção (m).

Dado a configuração da bomba em relação ao reservatório, com a bomba em um nível mais alto, a altura geométrica de recalque (H_{grec}) será igual a zero e a altura geométrica de sucção (H_{gsuc}) é de 1 metro.

A potência mínima que o sistema demanda das bombas será encontrada utilizando a Equação 8, na qual a potência é determinada em kW:

$$P = \frac{9,8 * Q * H_{mt}}{n_b} \quad (8)$$

Sendo,

$$Q = \text{vazão} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

H_{mt} = altura manométrica total (m)

n_b = rendimento da bomba.

Com as informações levantadas e calculadas, de acordo com a necessidade do sistema - vazão e altura manométrica - pode-se verificar a adequação das motobombas fornecidas por cada conjunto com a necessidade apresentada do sistema e, posteriormente, definir qual será aquela utilizada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O novo modelo de captação e distribuição da água é retratado de forma simplista na Figura 6.

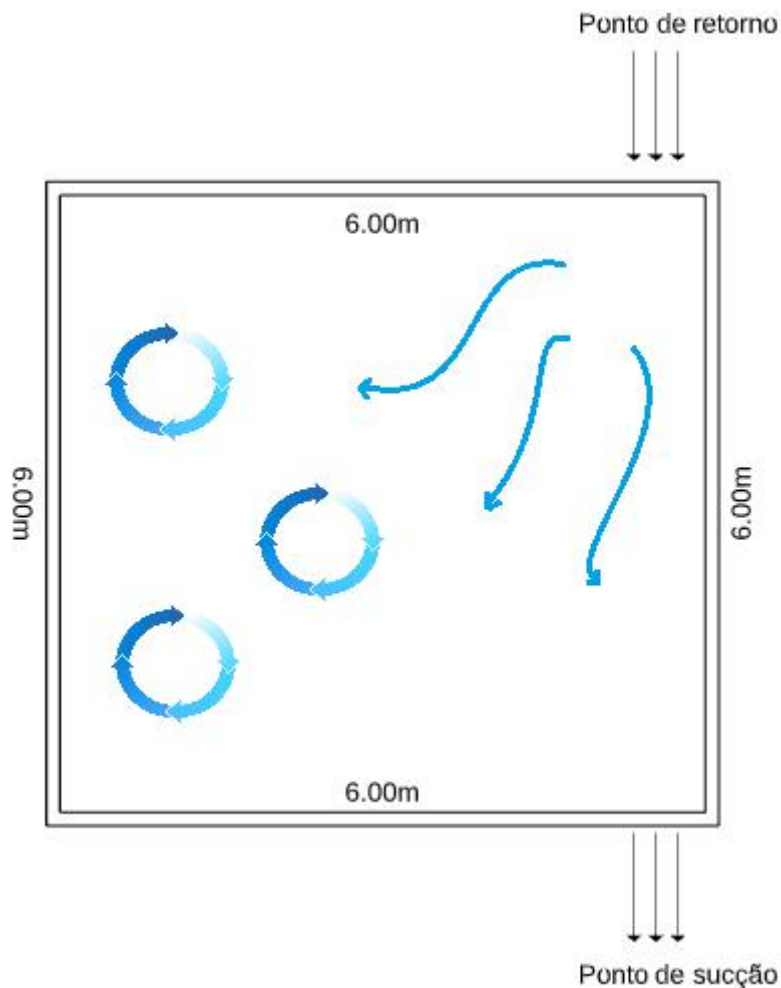


Figura 6: Pontos de retorno, sucção e fluxo de água após das alterações. Fonte: Autor (2021)

Essas modificações proporcionaram uma maior recirculação da água no tanque e, conseqüentemente, uma mistura mais eficiente. Dessa maneira, os produtos despejados na água são rapidamente distribuídos a todo volume e, além disso, mais bem aproveitados.

Para verificar a segunda proposta de melhoria era necessário averiguar qual a motobomba, das trazidas nos conjuntos de filtros era mais adequada. Fez-se necessário encontrar os valores de perda de carga e altura manométrica de todo o sistema e, posteriormente, comparar com o valor de potência demandada pelo mesmo com os valores apresentados pelo fabricante do equipamento de cada conjunto. O escolhido seria aquele

mais viável economicamente e que atendesse a demanda do sistema e as condições impostas ao projeto.

4.1 ANÁLISE DE ADEQUAÇÃO DO CONJUNTO MOTOBOMBA

A vazão que será considerada nos cálculos será a menor necessária para atender a meta de filtração imposto ao projeto – 6 horas para filtração de todo o volume do reservatório (totalizando 13,8m³/h ou 0,0038m³/s por conjunto).

Os resultados dos cálculos de perda de carga da tubulação de sucção estão sendo apresentados na Tabela 6. Ela foi desenvolvida a partir dos valores encontrados nos cálculos e trazidos pelas tabelas de rugosidade (Tabela 4) e auxiliar (Tabela 5).

Material	Rugosidade equivalente (mm)		
Aço, revestimento asfalto quente	0,3	a	0,9
Aço, revestimento esmalte centrifugado	0,01	a	0,06
Aço enferrujado ligeiramente	0,15	a	0,3
Aço enferrujado	0,4	a	0,6
Aço muito enferrujado	0,9	a	2,4
Ferro galvanizado novo, com costura	0,15	a	0,2
Ferro galvanizado novo, sem costura	0,06	a	0,15
Ferro fundido revest. asfalto	0,12	a	0,20
Ferro fundido com crostas	1,5	a	3,0
PVC e Cobre	0,015		
Cimento-amianto, novo	0,05	a	0,10

Tabela 4 – Rugosidade equivalente de tubulações de diferentes materiais. Fonte: NETTO (1998).

Foi desenvolvido a Tabela 5 para calcular a perda de carga total dos acessórios das tubulações ligadas à cada uma das bombas. O maior valor será utilizado no cálculo final de potência de bomba que o sistema demanda. Os dados dessa tabela foram retirados da Tabela 3, referente as perdas de carga específicas de cada acessório, trazendo o total em metros da perda de carga tanto da linha de recalque quanto de sucção.

		PERDA DE CARGA DOS ACESSÓRIOS (3")				
		ITEM	FORMA DE CÁLCULO	QTD. (n)	VALOR FINAL (m)	TOTAL (m)
BOMBA 1	RECALQUE	JOELHO	$3,7*n$	3	11.1	17
		UNIÃO	$0,1*n$	2	0.2	
		REDUÇÃO	$0,8*n$	2	1.6	
		TÊE	$2,4*n$	2	4.8	
		VÁLVULA ESFERA	$0,9*n$	1	0.9	
	SUÇÃO	JOELHO	$3,7*n$	4	14.8	19.8
		UNIÃO	$0,1*n$	1	0.1	
		REDUÇÃO	$0,8*n$	2	1.6	
		TÊE	$2,4*n$	1	2.4	
		VÁLVULA ESFERA	$0,9*n$	1	0.9	
BOMBA 2	RECALQUE	JOELHO	$3,7*n$	4	14.8	21.7
		UNIÃO	$0,1*n$	1	0.1	
		REDUÇÃO	$0,8*n$	2	0.2	
		TÊE	$2,4*n$	2	4.8	
		VÁLVULA ESFERA	$0,9*n$	2	1.8	
	SUÇÃO	JOELHO	$3,7*n$	4	14.8	18.4
		UNIÃO	$0,1*n$	1	0.1	
		REDUÇÃO	$0,8*n$	2	0.2	
		TÊE	$2,4*n$	1	2.4	
		VÁLVULA ESFERA	$0,9*n$	1	0.9	
BOMBA 3	RECALQUE	JOELHO	$3,7*n$	4	14.8	20.8
		UNIÃO	$0,1*n$	1	0.1	
		REDUÇÃO	$0,8*n$	2	0.2	
		TÊE	$2,4*n$	2	4.8	
		VÁLVULA ESFERA	$0,9*n$	1	0.9	
	SUÇÃO	JOELHO	$3,7*n$	3	11.1	17.1
		UNIÃO	$0,1*n$	1	0.1	
		REDUÇÃO	$0,8*n$	2	0.2	
		TÊE	$2,4*n$	2	4.8	
		VÁLVULA ESFERA	$0,9*n$	1	0.9	

Tabela 5 – Perda de carga devido aos acessórios das tubulações. Fonte: Autor (2021).

Será utilizado o maior valor de perda de carga encontrado na Tabela 5, para atender ao caso mais crítico, incluindo o valor da sucção e do recalque da mesma bomba. Assim, o maior valor foi encontrado na tubulação da bomba 2 com 40,1 metros.

Para desenvolvimento da Tabela 6 foi necessário definir o número de Reynolds para, posteriormente, determinar qual relação será utilizada para encontrar o fator de atrito de Darcy (f). Em seguida, através da equação de Darcy-Weisbachou (Equação 1), encontramos o valor da perda de carga referente as partes retas da tubulação de 3", referente ao maior trecho dentre as tubulações das 3 bombas existentes.

DIÂMETRO	COMP. (m)	VAZÃO (m³/s)	REYNOLDS	CORRELAÇÃO	VALOR DE f	PERDA DE CARGA (m)
3"	12.7	0.0038	31983.5	$f = 0,0055 * [1 + \left(20000 * \frac{\epsilon}{D} * \frac{10^6}{Re}\right)^{1/3}]$	0.28	3.4

Tabela 6 – Tabela auxiliar para determinação da perda de carga das partes retas da maior tubulação. Fonte: Autor (2021)

A partir dos valores encontrados, foi possível calcular a altura manométrica total que o sistema irá demandar da bomba, através da Equação 6.

Assim, o resultado para perda de carga será:

$$H_{mt} = H_{aces} + H_f + H_{gsuc}$$

$$H_{mt} = 40,1 + 3,4 + 1$$

$$H_{mt} = 44,5 \text{ m}$$

Sendo,

H_{aces} = altura relativa dos acessórios

H_f = altura relativas das tubulações contínuas

Dessa maneira, com esse resultado podemos encontrar a potência da bomba que é demandada pelo sistema através da Equação 8. Temos como resultado 2,20 kW ou 2,98cv como potência demandada pelo sistema a cada uma das 3 bombas. Dessa maneira, dentre as opções trazidas na Tabela 2, a mais adequada é o modelo A236-R, visto que atende aos requisitos de vazão de filtração e as bombas estão acopladas a motores de 3cv cada, conforme destacado na Tabela 7:

MOD.	MOTOBOMBA		TUBULAÇÃO DO FILTRO	ÁREA FILTRANTE (m ²)	VAZÃO (M ³ /H)		VOLUME DA PISCINA (M ³) COM TEMPO DE RECIRCULAÇÃO (H)					AREIA (kg)	PESO SEM AREIA E COM EMBALAGEM (kg)	DIMENSÕES EXTERNAS (mm)			
	MODELO	POTÊNCIA			FILTRAGEM	LAVAGEM	2 HORAS	4 HORAS	6 HORAS	8 HORAS	12 HORAS			ALTURA TANQUE	DIÂMETRO TANQUE	A	B
A-230R	APP5 W	1 1/2	2 1/2"	0.441	21.16	23.27	42m ³	84m ³	127m ³	169m ³	254m ³	320	58	980	750	250	250
A-236R	APP7 W	3	2 1/2"	0.769	36.91	40.6	74m ³	148m ³	221m ³	295m ³	443m ³	620	108	1120	990	350	400
A-236RE	APP7 W	3	2 1/2"	0.849	40.75	44.82	81m ³	163m ³	244m ³	326m ³	488m ³	582	166	1190	1040	315	400
A-250R	APP9 W	5	3"	1.347	64.65	71.11	129m ³	258m ³	388m ³	517m ³	775m ³	1345	232	1650	1310	490	480
A-260R	APP10 W	7.5	4"	1.935	92.88	102.16	186m ³	371m ³	557m ³	742m ³	1114m ³	2200	258	1850	1570	600	540
A-286R	Consultar fábrica		8"	4.154	199.39	219.32	399m ³	797m ³	1196m ³	1594m ³	2392m ³	*	1.18	2800	2300	*	*

Tabela 7 – (Adaptação) Tabela de seleção. Fonte: site do fabricante: www.albacete.com.br (2021)

A Figura 8 representa o modelo de motobomba APP-7W de 3cv, que faz parte do conjunto A-236R escolhido. A Figura 7 apresenta as opções de motobomba trazidos pelo fabricante, destacando a opção escolhida para o projeto.

MODELO	CV	TENSÃO	REDE	CORRENTE	BITOLA	DISJUNTOR	TENSÃO DISJUNTOR
APP-4	1CV	220V	BIFÁSICO	8,0A	2.5mm ²	BIPOLAR	10A
APP-4	1CV	220V	TRIFÁSICO	3,6A	2.5mm ²	TRIPOLAR	6A
APP-4	1CV	380V	TRIFÁSICO	2,0A	2.5mm ²	TRIPOLAR	6A
APP-5	1.1/2CV	220V	BIFÁSICO	10A	2.5mm ²	BIPOLAR	16A
APP-5	1.1/2CV	220V	TRIFÁSICO	5,0A	2.5mm ²	TRIPOLAR	10A
APP-5	1.1/2CV	380V	TRIFÁSICO	2,8A	2.5mm ²	TRIPOLAR	6A
APP-7	3CV	220V	BIFÁSICO	17A	4mm ²	BIPOLAR	20A
APP-7	3CV	220V	TRIFÁSICO	9,0A	2.5mm ²	TRIPOLAR	16A
APP-7	3CV	380V	TRIFÁSICO	5,2A	2.5mm ²	TRIPOLAR	10A
APP-9	5CV	220V	TRIFÁSICO	15A	4mm ²	TRIPOLAR	20A
APP-9	5CV	380V	TRIFÁSICO	8,5A	2.5mm ²	TRIPOLAR	16A
APP-10	7,5CV	220V	TRIFÁSICO	21A	6mm ²	TRIPOLAR	25A
APP-10	7,5CV	380V	TRIFÁSICO	12A	4mm ²	TRIPOLAR	16A

Figura 7 – Catálogo de bomba com destaque para a bomba escolhida. Fonte: site do fabricante

www.albacete.com.br (2021)



Figura 8 - Motobomba modelo APP 7W – 3cv. Fonte: site do fabricante www.albacete.com.br (2021)

4.2 RESULTADO DAS ALTERAÇÕES

As alterações propostas foram implementadas em um período de 1 mês a partir do momento no qual os conjuntos de filtragem já estavam disponíveis no almoxarifado da empresa. Dessa forma, esse mês foi voltado para ajuste e instalação das tubulações, assim como adequação dos pontos nos quais os filtros seriam instalados. Essas adequações contaram com a construção de uma base de concreto e desenvolvimento do *layout* dos encanamentos. Por fim, foi desenvolvido um novo quadro elétrico e realizado a instalação elétrica das motobombas APP 7W.

Após a conclusão das obras civis e completa instalação dos conjuntos iniciou-se o tratamento da água. Esse, durou 8 dias (4 ciclos). O resultado é mostrado nas Figuras 8 e 9:

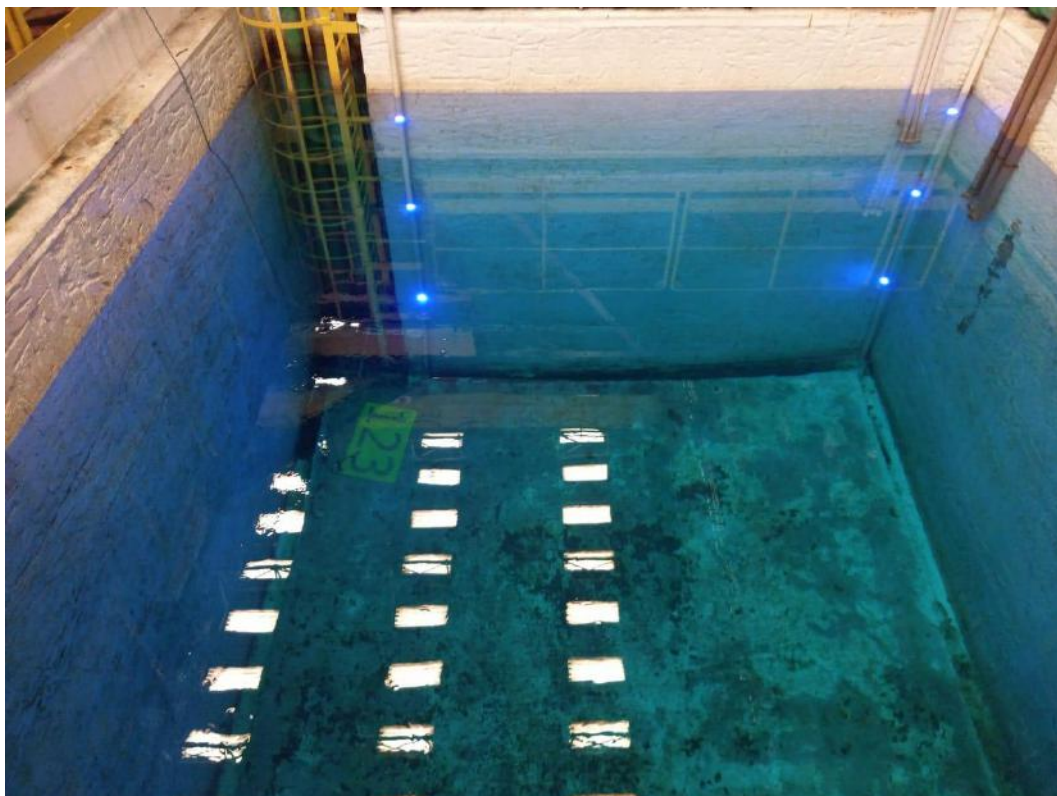


Figura 9 – Piscina de testes após tratamento. Fonte: Autor (2021)

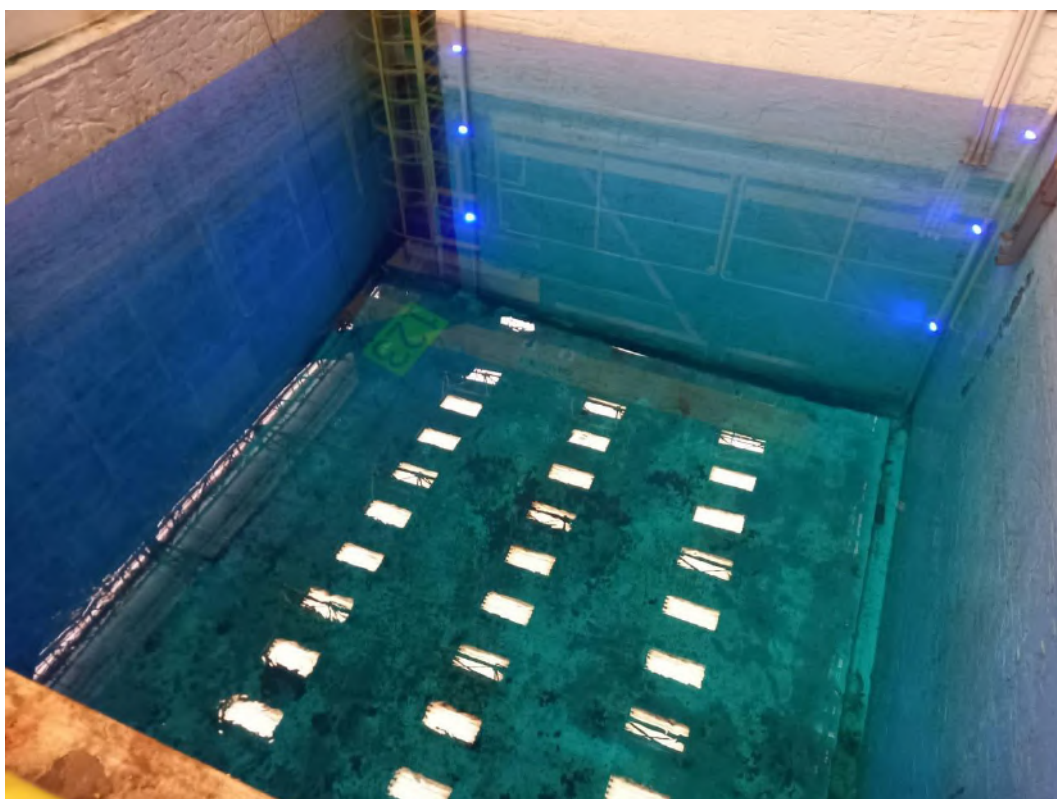


Figura 10 – Piscina de testes após tratamento. Fonte: Autor (2021)

5. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento do estudo e das implementações, a apresentação dos resultados era periodicamente apresentados aos representantes da empresa que, ao final do processo, mostraram-se satisfeitos com os resultados obtidos. A utilização do novo modelo de bombas proporcionou maior velocidade de bombeamento e, em conjunto com os novos modelos de filtro, tornou a atividade muito mais eficiente, podendo ser realizado apenas aos finais de semana. Essa prática garantiu uma melhor gestão do processo visto que o planejamento mensal das atividades na piscina, agora, inclui as etapas de tratamento, bem definidas e eficientes.

Com a conclusão do projeto e de todo o processo de melhorias, o sistema apresentou significativos ganhos. A nova disposição dos pontos de sucção e recalque trouxeram uma economia de 20% na quantidade de produtos que era necessário utilizar, ao final de 6 meses de implementação. Também, hoje, a piscina permanece constantemente liberada para uso por parte do setor de Qualidade, visto que cumpre com todos os requisitos impostos por esse setor da empresa. Dessa forma, não há mais perdas com *downtime* dos equipamentos de teste e nem multas contratuais devido a atrasos nas entregas.

Através da finalização do projeto não há novos gastos com o descarte da água contaminada. Antes, cerca de R\$1,00 por litro de efluente era gasto com o descarte cada vez que essa intervenção fosse necessária. Também, não há mais necessidade de se adquirir caminhões pipa, que antes eram utilizados para encher a piscina com água limpa após o descarte – entre 10 e 12 caminhões.

Além dos ganhos diretos, por conta da adequação do processo às legislações ambientais, a empresa não está mais suscetível a multas ambientais devido ao efluente contaminado, o que contribui principalmente com a imagem dela perante os órgãos ligados ao meio ambiente e diante de todos seus clientes.

5.1 COMPLEMENTOS FUTUROS

Mesmo que o resultado tenha sido positivo, ainda há espaço para melhorias. Para melhor eficiência do projeto, seria interessante um maior aprofundamento quanto a disposição das tubulações na área da piscina. A proximidade dos pontos de recalque e sucção com relação às bombas traz uma menor perda de carga, contudo, o estudo acerca de outra distribuição mais espaçada das tubulações e em pontos variados da região estudada poderia acrescentar mais ao projeto. Além disso, há espaço para um estudo mais intensificado da distribuição do produto por todo volume da piscina, através de *softwares* específicos de elementos finitos. Essas limitações ocorreram, primeiramente, devido ao curto prazo para realização do estudo mais aprofundado desse item e implementação. Também, devido as dificuldades de instalação em demais pontos, optou-se por apenas alterar as direções do recalque do efluente.

Futuramente, e talvez como complemento desse trabalho, estuda-se um método de retorno da água para a piscina de forma que aumente a carga de oxigênio na nela, auxiliando nos tratamentos aeróbicos que ocorrem nela. A ideia base é elevar uma das tubulações de retorno acima da lâmina d'água, fazendo com que a própria queda da água gere mais turbulência e leve maiores quantidades do gás oxigênio para dentro dela, agilizando ainda mais o processo.

6. REFERÊNCIAS

DE ALMEIDA, Rodrigo Gomes. **Aspectos legais para a água de reúso**. Revista Vértices, Campos dos Goytacazes, v. 13, n. 2, p. 31-43, 2011. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/42ca/e1fbb90c1be14ed725ac141b8915ac5371a4.pdf>>. Acesso em: 08 de Jun. 2021.

GIORDANO, Gandhi et al. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Revista ABES, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004. Disponível em: <encurtador.com.br/fwxT0> Acesso em: 13 de Jun. 2021

TEIXEIRA, Priscila da Cunha et al. Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água. 2003.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (ed.). **Reuso de água**. 2019. Elaborado por: CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 15 Jun. 2021

CARVALHO, Everton. Associação Brasileira de Integração e Desenvolvimento Sustentável (ed.). **Reciclagem da Água: Sistema de captação para captação da água da chuva e ideias para evitar o desperdício. Sistema de captação para captação da água da chuva e ideias para evitar o desperdício**. 2012. Disponível em: <encurtador.com.br/flnsJ>. Acesso em: 18 jun. 2021.

PEREIRA FILHO, Jorge dos Santos. **ANÁLISE DE EFEITOS DE TESTE HIDROSTÁTICO EM VASO DE PRESSÃO**. 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Cap. 1. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88131/250100.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 18 Jun. 2021

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. [S. l.], 9 mar. 2006.

Disponível em: <<https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file>>. Acesso em: 4 jul. 2021.

IWAKI, Gheorge. Conceitos de Reuso de Água. In: IWAKI, Gheorge. **Reuso de Água: Tipos, Processos Específicos e Contaminantes**. [S. l.]: Gheorge Patrick Iwaki, 27 ago. 2015. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/reuso-de-agua-tipos-processos-especificos-e-contaminantes/>>. Acesso em: 4 jul. 2021.

MULLER HUPPES, Ricardo. **Análise de falha em um vaso de pressão**. Porto Alegre, 2009. Monografia (Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <[Análise de falha em vaso de pressão \(ufrgs.br\)](#)>. Acesso em: 5 jul. 2021

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Tratamento de água**. SABESP. São Paulo. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de Hidráulica**, 8ª Edição, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1998.

FLORIANÓPOLIS. Vanessa Karla Silva. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A IMPORTÂNCIA DE MONITORAR A QUALIDADE DA ÁGUA**. 2015. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: 17 maio 2021.

EMBRAPA. Carlos Eduardo Siste. Embrapa Agroindústria Tropic (org.). **Manual para Formação e Capacitação de Grupos Comunitários em Metodologias Participativas de Monitoramento da Qualidade da Água**. 2011. Módulo III: Avaliação Físico-Química. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/900819/1/DOC11001.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. 2 ed. 2004. 71 p. Disponível em:

<https://analiticaqmcredidos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.

FURINI, Adriano. **AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO TESTE HIDROSTÁTICO EM VASOS DE PRESSÃO VISANDO A GARANTIA DA INTEGRIDADE**. 2012. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/81539824/tcc-teste-hidrostatico>. Acesso em: 26 maio 2021.

ALCIDES S. LISBOA (São Paulo). **GUIA PRÁTICO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS DE PISCINAS**. 5. ed. São Paulo: Genco Química Industrial Ltda., 2010. Disponível em: <http://www.genco.com.br/downloads/guia-completo.pdf>. Acesso em: 15 junho 2021

FREITAS, S.A; REZENDE, R. **Hidráulica para acadêmicos das ciências agrárias**. Departamento Agronomia, Maringá, 2010, 107 p.

SILVA, Sérvulo Cristian de Carvalho. **Propriedades termofísicas de fluidos secundários para refrigeração indireta à base de etilenoglicol, etanol e cloreto de sódio**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, [S. l.], 2019. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/8947/1/TCC%20FINAL.pdf>> Acesso em: 24 jun. 2021.

WWF - BRASIL. World Wildlife Fund (ed.). **O que é desenvolvimento sustentável**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/ . Acesso em: 19 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10339: **Piscina — Projeto, execução e manutenção**. [S.l.]: Abnt, 2021. 45 p.