



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FABRÍCIO LEITE ALVES

**DESENVOLVIMENTO DE APARATO DITÁTICO-EXPERIMENTAL DE CANAL DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

CARAÚBAS

2019

FABRÍCIO LEITE ALVES

**DESENVOLVIMENTO DE APARATO DITÁTICO-EXPERIMENTAL DE CANAL DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido (UFERSA) como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Gustavo Marques
Calazans Duarte.

CARAÚBAS

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A474d Alves, Fabrício Leite.

DESENVOLVIMENTO DE APARATO DITÁTICO -
EXPERIMENTAL DE CANAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA /
Fabrício Leite Alves. - 2019.
57 f. : il.

Orientador: Gustavo Marques Calazans Duarte.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Hidráulica. 2. Aparato experimental. 3.
Distribuição de água. 4. Simulações hidráulicas.
5. Abastecimento de água. I. Duarte, Gustavo
Marques Calazans, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

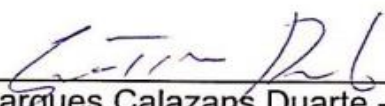
FABRÍCIO LEITE ALVES

**DESENVOLVIMENTO DE APARATO DITÁTICO-EXPERIMENTAL DE CANAL DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

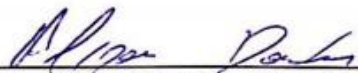
Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido (UFERSA) como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 22 / 03 / 2019.

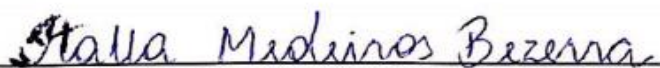
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Gustavo Marques Calazans Duarte - UFERSA
Presidente



Prof. Alison Kaio Dantas Pereira - UFERSA
Membro interno



Profª. Drª. Italla Medeiros Bezerra - UFERSA
Membro interno

Aos meus pais, Francimar e Salizete, por todo o amor, atenção, dedicação e incentivo dados em todos os momentos da minha vida. E aos meus avós: Manoel, Socorro, Bento (*in memoriam*) e Raimunda (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao pai celestial por proporcionar mais uma conquista em minha vida. Apesar das tripulações, estou de cabeça erguida todos os dias para enfrentar todas as circunstâncias, desde sair da minha cidade em busca de um sonho até todas as conquistas alcançadas. Na oportunidade, agradeço mais ainda por Ele ter me incluído em uma família abençoada e cheia de graça; obrigado Deus pelo amor da minha família.

Agradeço aos meus queridos pais Francimar e Salizete que tanto amo. Estes que são exemplos de vida, de simplicidade, de harmonia e de muitas características boas. Obrigado por serem fonte de inspiração em minha vida! Agradeço também ao meu irmão Fabiano, minha cunhada Michelle e minha sobrinha Lara Mabelly pelo apoio dado para minha formação. Só tenho a agradecer meu irmão Fabiano por acreditar do quanto sou capaz. Agradeço a minha namorada Rita Costa por todas as palavras, por todo apoio e por acreditar tanto em mim. Essa conquista também é sua, meu amor.

Na oportunidade, agradeço aos meus amigos de faculdade, aos meus amigos de vida. Obrigado Thiago por ter contribuído em meu trabalho. Obrigado Larissa, Yago e Rennan não apenas pelos apanzeiros diários, mas também pelo apoio, confiança e momentos felizes que me proporcionam. Agradeço pela solidariedade dos meninos que dividem apartamento comigo: Bruno, Sammuel, Emanuel, Lucas, e, também Thallyson. Não posso deixar de agradecer aos meus amigos Rafaela, Géssica, Thalia, Juliene, Joyce, Vinicius e Pollyana pelos momentos de alegria e diversão.

Agradeço ao meu orientador Gustavo Duarte pela transmissão de ensinamentos e profissionalismo, de modo que, contribuíram bastante para meu aprendizado. Muito obrigado por toda atenção e apoio ao longo desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos os meus professores do curso de Ciência e Tecnologia, e, a banca examinadora por também contribuírem para minha primeira formação de ensino superior.

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

(Ayrton Senna)

RESUMO

O estudo da hidráulica tem sido fundamental para satisfazer as necessidades da população mundial em termos dos serviços, infraestrutura, instalações de abastecimento de água, drenagens de águas pluviais urbanas e entre outras atividades. À vista disso, são investidas diversas políticas no sistema de abastecimento de água utilizando equipamentos e serviços para tratar e, posteriormente, distribuir água potável para o consumo doméstico, industrial e outros serviços públicos. Atualmente, as estações de tratamento de água são projetadas através das novas tecnologias que aperfeiçoam cada vez mais os projetos desenvolvidos. Para tanto, são efetuadas simulações em softwares, contribuindo no aprimoramento das situações reais existentes. Além disso, essas simulações podem auxiliar no ensino-aprendizagem de discentes de engenharia. Este trabalho tem como objetivo principal a construção de aparato experimental em escala reduzida de canal (*manifold*) de distribuição de água a partir de um software já existente com procedimento em Visual Basic for Applications, a partir das exigências da NBR 12.216 (ABNT, 1992). Para validar o aparato construído, realizou-se ensaio em duas etapas: calibração do fluxo de água do sistema e utilização do método volumétrico e E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud para medição de vazão dos laterais. Com os resultados obtidos foi possível perceber que o trabalho se mostrou favorável na aquisição de conhecimento dos discentes de engenharia, de modo a aprimorar o discernimento destes sobre o sistema de distribuição de água e simular situação real dentro do âmbito educacional.

Palavras-chave: Hidráulica. Aparato experimental. Distribuição de água. Simulações hidráulicas. Abastecimento de água.

ABSTRACT

The study of hydraulic supply services has been instrumental in understanding the needs of the world's population in terms of services, infrastructure, water supply facilities, urban storm drains and other activities. Therefore, various policies are invested in the water supply system using equipment and services to treat and subsequently distribute drinking water for domestic, industrial and other public services. Currently, water treatment plants are designed through new technologies that increasingly improve the projects developed. For this, software simulations are carried out, contributing to the improvement of the existing real situations. Besides that, these simulations can aid in the teaching-learning of engineering students. The main purpose of this paper is the construction of a small scale experimental apparatus for the water distribution line water from an existing software with procedure in Visual Basic for Applications, based on the requirements of NBR 12.216 (ABNT, 1992). To validate the device built, carried out through two steps: calibration of the system water flow and use of the volumetric method and E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud for flow measurement. With the obtained results it was possible to perceive that the work was favorable in the acquisition of knowledge of the engineering students, in order to improve their discernment about the water distribution system and to simulate a real situation within the educational scope.

Keywords: Hydraulic. Experimental apparatus. Water distribution. Hydraulic simulations. Water supply.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de abastecimento e distribuição de água.....	22
Figura 2 - Módulo hidráulico volumétrico.....	30
Figura 3 - Painel de comandos.....	31
Figura 4 - Válvula reguladora.	32
Figura 5 - Medidor de volume.....	32
Figura 6 - Vazão em tubo horizontal.	34
Figura 7 - Definição das posições das saídas laterais.	35
Figura 8 - Tela inicial do HudsonCalc.....	37
Figura 9 - Adaptadores para coleta de água nas saídas laterais.	39
Figura 10 - Corte do fundo do canal de distribuição de água: (a) Medição do comprimento e (b) Aproximação do valor medido na trena.	39
Figura 11 - Laterais do canal de distribuição de água: (a) Lateral direita e (b) Lateral esquerda.	40
Figura 12 - Apoio de madeira para sustentação do canal.	40
Figura 13 - Saídas laterais do canal de distribuição de água.....	41
Figura 14 - Aparato experimental de canal de distribuição de água: (a) Vista lateral e (b) Vista superior do canal.....	41
Figura 15 - Aparato experimental em funcionamento.....	44
Figura 16 - Turbulência gerada pela mangueira.....	46
Figura 17 - Seção plena em cada saída lateral.	47
Figura 18 - Esquema de arranjo inadequado para distribuição de vazão.	49
Figura 19 - Canal com presença de dissipador de energia.	50
Figura 20 - Turbulência na água.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Posicionamento dos laterais em relação ao início do principal.	36
Tabela 2 - Valores de entrada atribuídos para o canal principal.	36
Tabela 3 - Forma e dimensões das saídas laterais.	37
Tabela 4 - Formato e dimensões das seções.	37
Tabela 7 - Ferramentas utilizadas na construção do aparato experimental.	38
Tabela 8 - Materiais utilizados na construção do aparato experimental.	38
Tabela 9 - Produtos utilizados na construção do aparato experimental.	38
Tabela 5 - Parâmetros calculados pelo HudsonCalc.	42
Tabela 6 - Relatório de cálculo gerado pelo HudsonCalc.	43
Tabela 10 - Tempo necessário para preencher volume conhecido da proveta.	44
Tabela 11 - Vazões médias obtidas pelo método volumétrico.	45
Tabela 12 - Velocidades médias dos laterais.	46
Tabela 13 - Comprimento L em cm para $y = 25$ cm.	47
Tabela 14 - Vazões e velocidades obtidas pelo método E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABENGE - Associação Brasileira de Ensino de Engenharia

ANA - Agência Nacional de Águas

ETA - Estação de Tratamento de Água

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR - Norma Brasileira

VBA - *Visual Basic for Applications*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 PERSPECTIVA INTERDISCIPLINAR	18
3.2 UTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES NA EDUCAÇÃO	18
3.2.1 Utilização de computadores no ensino-aprendizagem em engenharia	19
3.3 SIMULAÇÕES NA ENGENHARIA	20
3.4 CONSTITUIÇÃO DAS UNIDADES PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA	21
3.5 SEDIMENTAÇÃO	22
3.6 CANAL <i>MANIFOLD</i>	23
3.7 REQUISITOS DA NBR 12.216/1992 PARA DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES	24
3.8 MODELO MATEMÁTICO DE HUDSON PARA CANAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	25
3.9 MODELO MATEMÁTICO PARA O GRADIENTE DE VELOCIDADE	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 MÓDULO HIDRÁULICO VOLUMÉTRICO OU MF101	30
4.2 ESPECIFICAÇÕES DO MÓDULO HIDRÁULICO VOLUMÉTRICO	31
4.2.1 Modo de execução do MF101	31
4.2.2 Calibração do fluxo de água do módulo hidráulico volumétrico	33
4.2.3 Medição da vazão nas saídas laterais do canal de distribuição de água	33
4.2.3.1 Método volumétrico	33
4.2.3.2 Método E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud	34

4.3 DIMENSIONAMENTO DO CANAL	35
4.4 CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL.....	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 PARÂMETROS CALCULADOS PELO SOFTWARE CONFORME NBR 12.216/1992	42
5.2 ENSAIO EXPERIMENTAL PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO	43
5.3 ENSAIO EXPERIMENTAL PELO MÉTODO E. R. YASSUDA, P. NOGAMI, R. MONTRIGAUD.....	46
5.4 ARRANJO INADEQUADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO.....	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DAS VAZÕES E VELOCIDADES PARA AS QUATRO SAÍDAS LATERAIS PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO.....	55
APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DAS VAZÕES E VELOCIDADES PARA AS QUATRO SAÍDAS LATERAIS PELO MÉTODO E. R. YASSUDA, P. NOGAMI, R. MONTRIGAUD	57

1 INTRODUÇÃO

A água é recurso natural limitado e essencial para a manutenção e sobrevivência das espécies contidas no planeta, em qualquer atividade, processo ou tarefa que desejamos exercer. Os serviços de abastecimento de água, segundo IBGE (2002), configuram-se como indispensáveis para o desenvolvimento dos países. No Brasil, têm sido implementados milhões de dólares no setor, sendo motivados por políticas como o Plano Nacional de Saneamento. Contudo, em 2000, ainda existiam milhões de brasileiros sem serviço de abastecimento de água apropriado.

No estudo realizado pela ANA (2009) foi percebido que o crescimento desordenado das grandes cidades causou um grande impacto sobre os recursos hídricos locais. Com isso foi necessário a procura por novas fontes de abastecimento em locais cada vez mais distantes e com altos investimentos. É significativo informar que antes da mudança de manancial devem considerar esforços no sentido de adequar e ampliar as estações de tratamento de água introduzidas, com destaque no aproveitamento das unidades existentes.

Conforme a NBR 12.216 (ABNT,1992), que dispõe das condições exigíveis para elaboração de um projeto de estação de tratamento de água fornecida à produção de água potável para disponibilização da população, uma estação de tratamento de água, concerne de conjunto de unidades destinado a adequar as propriedades da água aos padrões de potabilidade, bem como, definir cada elemento a ser seguido no processo de tratamento da água.

Um dos objetivos dos projetistas das ETA é agregar técnicas eficientes em unidades que envolvem menor área e sejam automatizadas. O bom desempenho da estação de tratamento de água requer, inicialmente, uma seleção correta da tecnologia de tratamento, assim como também, uma elaboração de projeto criterioso e de operação apropriada.

Os canais de condução de água utilizados na antiguidade (270 a. C.) ainda são bastante usuais nos dias de hoje com grande importância na distribuição de água floculada em ETA (Duarte, 2015). De acordo com Di Bernardo (1993), decantador de alta taxa só funciona eficientemente quando há distribuição uniforme de água floculada sob os módulos tubulares ou placas. Duarte (2015) ainda falou que, em uma ETA essa distribuição equitativa de água floculada para os

decantadores é processada por meio de furos laterais ao canal, os quais serão nomeados genericamente de “saídas laterais” neste trabalho.

Para os canais de distribuição de água floculada, a NBR 12.216 (ABNT, 1992) recomenda alguns limites para a variação da vazão, velocidade das partículas e do gradiente máximo. Essas recomendações importunam em resoluções de cálculo diferenciado a qual foi formada por Hudson (1981, apud LIBÂNIO, 2009). Para isso, é necessário a utilização de um método de cálculo iterativo, devido a resolução manual do problema requerer bastante tempo.

Segundo Salgado (2006) está sendo bastante oportunizado o emprego de modelos numéricos em projetos e avaliação do desempenho hidrodinâmico de unidades de tratamento de água e efluentes. Dessa forma, é essencial o avanço de pesquisas e trabalhos técnicos que incluam a utilização de modelos numéricos na demonstração dos processos unitários contidos nas ETA.

Como a aplicação do computador está contribuindo favoravelmente para os problemas encontrados na engenharia, uma das soluções para ajudar no avanço de pesquisas e trabalhos técnicos que incluam a utilização de modelos numéricos na demonstração dos processos unitários contidos nas ETA, é a implementação da tecnologia usando os programas computacionais. Estes, por sua vez, oferecem redução de tempo para realização do cálculo, dispõem informações fidedignas e reais, maior segurança e redução de custos.

O HudsonCalc, *software* desenvolvido em VBA (*Visual Basic for Applications*) por Duarte (2015) para o dimensionamento de um canal de seção variável com saídas laterais, segue as recomendações da NBR 12.216 (ABNT, 1992). Este programa possui tela de entrada de dados de fácil manuseio e com saída de dados de bom entendimento e simples extração para uma memória de cálculo em modelo de texto.

Baseado no fato que a simulação em *softwares* é bastante empregada para favorecer a aprendizagem dos discentes de engenharia, bem como o manuseio de aparatos experimentais em laboratório, observou-se a importância da construção de aparato experimental em tamanho reduzido de canal de distribuição de água. Assim, este trabalho propiciará além do desenvolvimento do modelo do canal, a possibilidade de ministração de aulas práticas acerca de canais de distribuição de água e futuros estudos na área da hidráulica para os graduandos de engenharia civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Caraúbas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo construir aparato experimental em escala reduzida de canal de distribuição de água a partir de um *software* já existente com procedimento em VBA, seguindo às normas da NBR 12.216 (ABNT, 1992).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efetuar o dimensionamento de canal de distribuição de água seguindo os parâmetros estabelecidos pela NBR 12.216 (ABNT, 1992), bem como a literatura desta área;
- Projetar aparato experimental em escala reduzida;
- Construir aparato experimental em escala reduzida;
- Realizar ensaios para verificação do funcionamento do aparato experimental;
- Avaliar aplicabilidade de método de medição de vazão volumétrica;
- Avaliar aplicabilidade de método de medição de vazão de E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PERSPECTIVA INTERDISCIPLINAR

De acordo com Ferreira (1999), a interdisciplinaridade é uma prática metodológica. Em outras palavras, pode ser conceituada como ato de externar uma visão de mundo que, neste sentido, é holística. “A interdisciplinaridade surgiu nos anos 70 como resposta às necessidades de uma abordagem mais integradora da realidade” (DENCKER, 2002, p.19). O autor expõe que esta prática nasceu da hipótese de que, por seu intermédio, é provável diminuir ou superar os problemas consequentes da excessiva especialização, favorecendo assim, o vínculo entre o conhecimento e a prática.

Segundo Tavares (1999), o caminho interdisciplinar é abundante no seu contexto e revela uma questão que necessita de redefinição e ampliação. Para isso, professores e alunos devem se conhecer, trabalharem unidos e se entrosarem para presenciarem uma ação educativa eficiente. Ainda para este autor, a função do professor é essencial para o avanço construtivo do aluno, dado que, é este quem pode adquirir as necessidades do aluno e os proporcionar um ensino-aprendizagem de qualidade.

Favarão *et. al.* (2004) afirmaram em seu trabalho que, a interdisciplinaridade representa uma nova consciência da realidade, um novo modo de pensar, a qual visa, de modo global e abrangente, à produção de conhecimentos modernos e à resolução de problemas.

Para Luck (2001, p. 96):

Interdisciplinaridade é o processo de integração e engajamento de educadores, num trabalho conjunto, de interação das disciplinas do currículo escolar entre si e com a realidade, de modo a superar a fragmentação do ensino, objetivando a formação integral dos alunos, a fim de que exerçam a cidadania, mediante uma visão global de mundo e com capacidade para enfrentar os problemas complexos, amplos e globais da realidade.

3.2 UTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES NA EDUCAÇÃO

De acordo com Guillermo (2005), cresce a utilização de computadores no ramo educacional, gerando investigações a respeito da atuação desta tecnologia no sistema educativo. Em consequência disto, podem-se equilibrar os avanços

tecnológicos com as novas práticas pedagógicas provenientes dessa nova tecnologia.

Em seu trabalho, Guillermo (2005) declara que o uso de computadores se estende em toda parte, seja no trabalho, nos hospitais, nos bancos, nas escolas e universidades. O computador é um aparelho versátil e flexível que serve além da automação de serviços, adequa-se também para ajudar na tomada de decisões dos indivíduos. Na educação, o emprego de computadores é disseminado através do desenvolvimento de pesquisas.

Uma das formas frequentes do uso de computadores no processo educacional é através do *software* educativo, sendo sua concepção uma tarefa complexa devido ao envolvimento de fatores multidisciplinares, e da necessidade de ter pessoas capacitadas tanto na parte técnica de desenvolvimento de *software*, como na parte pedagógica, que vai embasar o desenvolvimento do conteúdo educacional (GUILLERMO, 2005, p. 15).

De acordo com Behar (1998), os programas computacionais proporcionam o surgimento e a modificação de novos objetos, aparecendo então, a designação de ferramentas computacionais, as quais possibilitam o desenvolvimento e transformação de novos objetos.

Guillermo (2005) afirma que de modo sistêmico, o uso de computadores é realizado através de *software* ou programas de computador, os quais podem ser específicos para o ensino-aprendizagem ou podem ser “aplicativos”. Estes são utilizados para auxiliar o professor e os alunos em seus trabalhos, como por exemplo, editores de texto como Word, Word Perfect, ou planilhas eletrônicas como Excel, Lótus 123 e Quatro Pró.

3.2.1 Utilização de computadores no ensino-aprendizagem em engenharia

Conforme Cazarini (1992), inicialmente, o computador foi apresentado como equipamento auxiliar na realização de cálculos complexos, o qual se tornou fundamental para engenheiros e cientistas. Apesar dessa grande contribuição, estes eram restritos as universidades, devido aos custos envolvidos. Em consequência disso, seu uso se tornou proibitivo para uma grande massa de pequenos usuários.

Para Guillermo (2005), com o desenvolvimento da computação gráfica e o melhor desempenho dos microcomputadores, a integralização de computadores se

tornou melhor e facilitou a área tecnológica. Gradativamente, as interfaces de comunicação foram melhorando, tornando-as mais atrativas, amigáveis e possibilitou o barateamento dos computadores, ativando assim, sua utilização em todas as áreas.

“Os computadores no ensino e aprendizagem de engenharia vêm sendo utilizados de diversas formas, nas salas de aula, em atividades extras, no ensino à distância, na educação continuada, etc.” (GUILLERMO, 2005). De acordo com o mesmo autor, essa perspectiva é notória nos anais dos últimos congressos realizados pela ABENGE, em que analisando os trabalhos submetidos e aprovados, nota-se o grande interesse de pesquisas sobre a utilização de computadores e *softwares* educacionais nas áreas de engenharia.

Pereira Filho (2002) aponta que metade dos discentes de engenharia abandonam o curso devido a inadequadas práticas pedagógicas e técnicas de ensino-aprendizagem. Em seu estudo, Martinez (1996), diz que os discentes apoiados pela educação com uso da tecnologia, necessitam de um terço menos de tempo do que os discentes que utilizam técnicas tradicionais para enfrentar as etapas de ensino.

Segundo Guillermo (2005), a utilização do computador no processo de ensino-aprendizagem instiga no discente a busca por meios e recursos tecnológicos, ajudando-os a aprender com rapidez e eficiência e possibilitando ao docente aplicar atividades condizentes com sua capacidade ao invés de tarefas rotineiras.

3.3 SIMULAÇÕES NA ENGENHARIA

Para Guillermo, Tarouco e Endres (2005), um simulador reproduz virtualmente uma situação real, e, permite realizar um experimento de determinado procedimento sem que a situação real esteja de fato ocorrendo. Focking (1999) declara que as simulações são representações ou modelagens de objetos específicos, reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos, bastante úteis, principalmente, quando uma determinada experiência original foi impossível de ser executada por alunos.

“A simulação é um recurso de aprendizagem que permite ao estudante observar o comportamento de um determinado sistema através de um modelo do mesmo, ou seja, de uma representação matemática, gráfica ou simbólica de um

fenômeno” (GUILLERMO; TAROUÇO; ENDRES, 2005, p. 3). Por isso, as simulações exercem uma funcionalidade de reduzir os problemas existentes devido à falta de estrutura de parte das universidades de engenharia do Brasil, em termos de laboratórios e equipamentos, para os cursos do ensino superior.

Segundo Barbeta (2000), o uso das simulações nas áreas do conhecimento tem aumentado intensamente. Na área educacional, as simulações são empregadas como ferramentas complementares de atividades didáticas convencionais, substituindo os experimentos reais com grande vantagem.

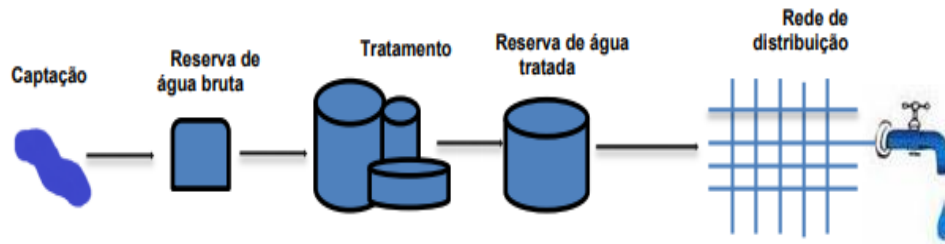
As simulações são classificadas, de acordo com o uso de computadores, em educação como aprendizagem por descoberta, segundo Focking (1999). As simulações possibilitam aos alunos, por meio do acesso de computadores, explorarem e buscarem alternativas para solução de problemas. Esta modalidade também oferece aos discentes a oportunidade de aprimorar hipóteses, aferi-las e refinar conceitos.

De acordo com Cardoso (1998), o ensaio de simulação tem se mostrado ser uma ferramenta de aprendizagem efetiva, embora os docentes não explorem este claro potencial. Diante de estudos comparativos entre programas de simulações e laboratórios convencionais, apesar da mesma aquisição de conhecimento para ambos os grupos, viu-se que os discentes obtiveram melhores resultados com o uso dos programas deste tipo, e, além disso, o custo com laboratórios tradicionais baseados nessa abordagem foi cerca de cinco vezes maior.

3.4 CONSTITUIÇÃO DAS UNIDADES PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA

De acordo com Sousa (2001), sistema de abastecimento e distribuição de água é constituído por um sistema de infraestruturas, a qual está ilustrada na Figura 1. Para cada uma destas unidades correspondem-lhe órgãos, formados por obras de construção civil, equipamentos elétricos, instrumentação, acessórios e equipamentos de automação e controle. Os órgãos possuem objetivos/funções distintas para o sistema de abastecimento e distribuição de água.

Figura 1 - Esquema de abastecimento e distribuição de água.



Fonte: Sousa (2001)

Em seu livro, Tsutiya (2006) explanou que os componentes do sistema de abastecimento de água são:

- Captação: sistema de estruturas e dispositivos, montados ou construídos junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento;
- Adutora: canalização destinada a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição;
- Estação de tratamento de água (ETA): conjunto de unidades a fim de tratar a água retirando as impurezas indesejáveis ao objetivo final da água (potabilidade);
- Reservatório: elemento do sistema de distribuição de água atribuído a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição;
- Rede de distribuição: parte do sistema formada por tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável para os consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

3.5 SEDIMENTAÇÃO

Segundo Castro (2008), após os processos de coagulação e floculação, segue-se a sedimentação ou decantação (processo mais comum no tratamento de água e esgoto), na qual é um seguimento de separação de sólidos suspensos em meio líquido e necessita da ação da gravidade para a separação das partículas de densidade superior à da água.

De acordo com Leme (1979), o decantador é um tanque no qual o afluente tem acesso a ele por um de seus lados menores. O procedimento de decantação compreende, inicialmente, em distribuir a água no tanque por meio da cortina de

distribuição. Essa cortina de distribuição contém orifícios que devem ser posicionados da maneira correta para aperfeiçoar o processo. Logo após, o escoamento do afluente é submetido a velocidades muito baixas, permitindo que os flocos sedimentem.

De acordo com Netto *et. al.* (1977),

Os decantadores de fluxo horizontal devem possuir relação apropriada entre o comprimento e a largura. Comprimentos relativamente pequenos dificultam a boa distribuição de água, no entanto, comprimentos grandes podem resultar em velocidades longitudinais elevadas, causando o arrasto das partículas sedimentadas.

Em relação ao dimensionamento de um decantador convencional, Pádua e Di Bernardo (1999), relatam que o maior número de interrupções no funcionamento de um decantador ocorrerá quanto menor for a altura deste. Isso também levando em consideração que tal operação não seja efetuada mecanicamente.

Segundo Viana (2002), a maneira correta para distribuição equitativa da água floculada é tornar a velocidade ao longo do canal de acesso permanentemente constante e sempre superior a 0,10 m/s, evitando assim a sedimentação de flocos em seu interior. Não é recomendado que a velocidade seja superior a 0,45 m/s para que não ocorra a quebra dos flocos. O gradiente de velocidade nesses dispositivos deve ser inferior ou igual ao da última câmara de floculação, dessa forma, a seção do canal que alimenta as comportas deve ser decrescente de montante para jusante.

3.6 CANAL MANIFOLD

A entrada de água aos decantadores é realizada através de canais com comportas laterais, segundo Duarte (2015), distribuindo o curso de água no interior de uma ou mais unidades. Esse tipo de canal é nomeado de *manifold* em inglês, significando múltiplos em português.

Segundo Richter (2008), em uma ETA o canal *manifold* tem utilização para dispositivos de eliminação de lodo, além de ser utilizado em fundos falsos para coleta da água filtrada e para distribuir o fluxo de água de lavagem.

De acordo com Duarte (2015), para cumprir os critérios estabelecidos pela NBR 12.2016/1992, se faz necessário o projeto de canais com seção variável ao

longo do comprimento com sucessivas saídas laterais, de modo que o escoamento seja perpendicular à entrada.

3.7 REQUISITOS DA NBR 12.216/1992 PARA DIMENSIONAMENTO DE DECANTADORES

O software utilizado neste trabalho segue algumas disposições normativas para os dispositivos de entrada de decantadores e para tubulações direcionadas para a distribuição de água, além de, o usuário conseguir personalizar as exigências usadas nesses dispositivos.

A distribuição de água para projetos com canais de entrada de água floculada em uma ETA deve satisfazer as recomendações prescritas pela NBR 12.216 (ABNT, 1992), as quais estão no item 5.10.6.1 desta norma:

- a) a entrada afogada através de abertura com dimensões tais que o gradiente de velocidade resultante seja inferior a 20 s^{-1} ;
- b) a velocidade da água, no canal que a conduz aos decantadores, no máximo igual à metade da velocidade nas aberturas de entrada nos decantadores;
- c) a velocidade resultante no canal seja inferior a $0,15 \text{ m/s}$ e devem ser previstas facilidades para limpeza do canal, tais como declividade, registros de descarga ou outros.

No item 5.10.6 da NBR 12.216 (ABNT, 1992) é relatado que a distribuição de água deve ser feita de modo que dela as vazões resultantes sejam aproximadamente iguais, estabelecendo para isso, um desvio máximo de 20% na distribuição das vazões em relação à vazão nominal de cada unidade.

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), a velocidade máxima de escoamento deve ser de $0,4 \text{ m/s}$ para evitar que ocorra a quebra dos flocos nas comportas ou deposição excessiva de flocos no canal de distribuição. Nesta mesma ideia, os autores ainda ressaltam que o gradiente de velocidade deve ser inferior que o da última câmara da unidade de floculação.

Utilizou-se nesse trabalho, uma nova denominação para o canal de distribuição, sendo nomeado de canal principal, e, as comportas ou aberturas, chamadas de saídas laterais.

O modelo matemático produzido por Hudson (1981, *apud* LIBÂNIO, 2009) considera desprezíveis as perdas de carga no canal principal e também no interior das saídas laterais. Isso se deve ao fato das baixas velocidades de escoamento

dentro dos canais, na condição pouco rugosa do revestimento destes e no pequeno comprimento das comportas.

3.8 MODELO MATEMÁTICO DE HUDSON PARA CANAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), apesar de o canal de distribuição de água floculada aos decantadores de uma estação não ser curto, a velocidade de escoamento é moderadamente baixa. Com isso, a perda de carga por atrito é desprezível ao se comparar com a perda nas entradas.

Em razão de a perda de carga por atrito ser desprezível, a distribuição de vazão é influenciada, principalmente, pela mudança de direção do escoamento e pela perda de carga nas comportas de entrada do decantador (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Conforme citado por Hudson (1981), o desprezo da perda de carga no canal principal e no interior do lateral concebe a equação 1 para a perda de carga:

$$h_f = h_f^* + \frac{V_l^2}{2g} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

h_f : Perda de carga total no lateral (m);

h_f^* : Perda de carga na entrada da comporta (m);

$V_l^2/2g$: Perda de carga na saída do lateral (m).

Hudson (1981) ainda afirma que a perda de carga na entrada do lateral, h_f^* , expressa na equação 2, é dada em função da carga cinética das velocidades através do lateral:

$$h_f^* = \alpha \frac{V_l^2}{2g} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

α : coeficiente de perda de carga;

h_f^* : perda de carga na entrada da comporta (m);

$V_l^2/2g$: perda de carga na saída do lateral (m).

O coeficiente α é função da velocidade no canal principal (V_p) a montante dela, devido à presença de uma velocidade longitudinal perpendicular à linha de corrente que passa no centro do lateral. Dessa forma, segundo Hudson (1981), o coeficiente α é considerado de acordo com a equação 3:

$$\alpha = \varphi \left(\frac{V_p}{V_l} \right)^2 + \theta \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

φ e θ : funções da espessura da parede do lateral;

V_l : velocidade no lateral (m/s).

É sugerido por Hudson (1981) que os valores de φ e θ sejam, respectivamente, 1,67 e 0,702¹ para laterais curtas nos decantadores em que a espessura da parede seja inferior a três vezes a dimensão² do lateral. Considerando os laterais com áreas iguais, a perda de carga se torna constante em ambos e ocorre a uniformidade das vazões. Logo, a perda de carga é expressa pela equação 4:

$$h_f = (\alpha + 1) \frac{V_L^2}{2g} \quad (\text{Eq. 4})$$

Obtém-se a equação 5 fazendo uma substituição da equação 3 na equação 4:

$$h_f = \left[\varphi \left(\frac{V_p}{V_L} \right)^2 + \theta \right] + \frac{V_L^2}{2g} \quad (\text{Eq. 5})$$

¹ Em laterais longas os valores de φ e θ devem ser, respectivamente, iguais a 0,90 e 0,40. O comprimento deve ser superior a três vezes o diâmetro ou dimensão do lateral.

² Diâmetro para as laterais de seção circular e lado para lateral quadrada.

Sintetizando com $\beta = \left[\phi \left(\frac{V_p}{V_L} \right)^2 + \theta + 1 \right]$ e considerando uma distribuição equitativa da vazão Q por meio dos laterais q_L , de mesmas áreas A_L , é obtida a equação 6 para as comportas de quantidade i :

$$\beta_1 = \frac{V_{L1}^2}{2g} = \beta_2 = \frac{V_{L2}^2}{2g} = \beta_3 = \frac{V_{L3}^2}{2g} = \dots = \beta_i = \frac{V_{Li}^2}{2g} \quad (\text{Eq. 6})$$

Expressando em função de V_{Li} , tem-se a equação 7:

$$V_{Li} = V_{L1} \sqrt{\frac{\beta_L}{\beta_i}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Devido às vazões constantes em todas os laterais, obtém-se a equação 8:

$$Q_t = q_L + q_2 + \dots + q_i = AV_{L1} + AV_{L2} + \dots + AV_{Li} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

Q_t : vazão de entrada no canal.

A equação 9 é resultado da substituição da equação 7 na equação 8:

$$Q_t = AV_{L1} + AV_{L1} \sqrt{\frac{\beta_L}{\beta_2}} + \dots + AV_{Li} \sqrt{\frac{\beta_L}{\beta_i}} \quad (\text{Eq. 9})$$

Considerando as áreas constantes em cada saída lateral, $A_{L1} = A_{L2} = A_{L3} = A_L$, e, combinando-se as equações 8 e 9, chega-se a equação 10:

$$Q_t = A_L V_{L1} \left[1 + \left(\sqrt{\frac{\beta_L}{\beta_2}} \right) + \dots + \left(\sqrt{\frac{\beta_L}{\beta_i}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 10})$$

Obtém-se a equação 11, expressando em função de V_{Li} :

$$V_{Li} = \frac{Q}{A\sqrt{\beta_1}} \left/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{\beta_1} \right/^{-1} \quad (\text{Eq. 11})$$

3.9 MODELO MATEMÁTICO PARA O GRADIENTE DE VELOCIDADE

Conforme Libânio (2009), o gradiente de velocidade é determinado pelas diferentes velocidades das linhas de corrente contínuas numa seção transversal. O gradiente de velocidade é limitante para canais de distribuição de água floculada, uma vez que, pode contribuir para ocorrer, ou não, a ruptura dos flocos produzidos na unidade de floculação, o que é indesejado.

O mesmo autor ainda ressalta que o gradiente de velocidade considera a perda de carga em conduto forçado quando está abaixo da linha de água, no qual o comprimento é dado pela espessura da parede do canal de distribuição.

Para Libânio (2009), o gradiente de velocidade é expresso pela equação 12:

$$G_p = 354U^{1,5} \sqrt{\frac{f}{R_h}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Em que:

G_p : gradiente de velocidade no lateral s^{-1} ;

R_h : raio hidráulico (m);

f : coeficiente de atrito da equação universal da perda de carga;

U : velocidade média através do lateral (m/s).

Em caso de canalizações e orifícios de seção circular, Richter (2008) afirma que a expressão utilizada para o gradiente de velocidade deve ser conforme mostra a equação 13:

$$G = 2,64n \sqrt{\frac{\rho g}{\mu}} D^{-0,7} V^{1,5} \quad (\text{Eq. 13})$$

Em que:

G : gradiente de velocidade na saída lateral;

n : coeficiente de Manning;

ρ : massa específica do fluido;

μ : viscosidade dinâmica do fluido;

g : gravidade;

D : diâmetro da tubulação;

V : velocidade média do fluido na saída lateral.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MÓDULO HIDRÁULICO VOLUMÉTRICO OU MF101

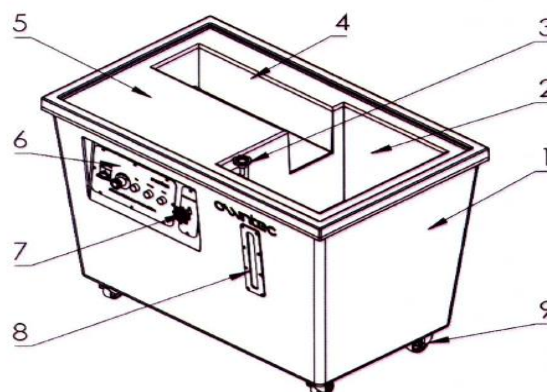
O equipamento é do tipo bancada autônoma, sem necessidade de reabastecimento, de fácil mobilidade e constituído por um conjunto de componentes fabricados em materiais não corrosivos (OWNTEC, 2017).

O aparelho, exposto na Figura 2, contém bomba submersível, reservatório de fluido principal, reservatório interno, sistema de vazão volumétrica e superfície de trabalho com pontos para montagem de acessórios.

O módulo didático MF101 constitui em:

- 1) Reservatório principal;
- 2) Reservatório interno;
- 3) Válvula de drenagem do reservatório interno;
- 4) Canal;
- 5) Superfície de trabalho para montagem de acessórios;
- 6) Painel de comandos de acionamento da motobomba;
- 7) Válvula reguladora de fluxo;
- 8) Visor de volume no reservatório interno;
- 9) Rodas.

Figura 2 - Módulo hidráulico volumétrico.



Fonte: Autoria própria (2019)

Segundo Owntec (2017), o líquido utilizado para estabelecer o fluxo é depositado no reservatório principal. Este reservatório funciona também como estrutura de suporte para o reservatório interno e para a superfície de trabalho. A

frente do módulo hidráulico é composta pelo painel de comandos de acionamento da motobomba, pelo visor de volume no reservatório interno e pela válvula de regulação de fluxo.

A superfície de trabalho, de acordo com a Owntec (2017), é elaborada por uma parte plana horizontal, um canal para aplicação com acessórios - sem a necessidade de ferramentas para instalação de utensílios - e um reservatório interno que contém conexão com o visor de volume e com a válvula de drenagem.

4.2 ESPECIFICAÇÕES DO MÓDULO HIDRÁULICO VOLUMÉTRICO

4.2.1 Modo de execução do MF101

Localiza-se na parte frontal do equipamento o painel de comandos de acionamento da motobomba, Figura 3, a válvula de regulação de fluxo e o visor de fluido do reservatório interno.

Seguiram-se os seguintes passos para o primeiro procedimento de execução do MF101:

- 1) Ligou-se a chave geral;
- 2) Resetou-se o equipamento;
- 3) Ligou-se o equipamento.

Figura 3 - Painel de comandos.



Fonte: Autoria própria (2019)

Seguidamente foi realizada a regulação do fluxo de água na válvula reguladora de fluxo, Figura 4.

Figura 4 - Válvula reguladora.



Fonte: Autoria própria (2019)

Simultaneamente, foi observado no visor de volume o ganho de água, para assim, ser possível calibrar a bomba na vazão desejada. Na Figura 5 expõe o visor de volume, em litros, para água situada no reservatório interno do módulo hidráulico volumétrico.

Figura 5 - Medidor de volume.



Fonte: Autoria própria (2019)

É imprescindível destacar que não foi utilizada a bomba d'água do sistema do módulo volumétrico hidráulico devido ser insuficiente para a vazão necessária deste experimento. Para isso, utilizou-se uma bomba d'água Dancor centrífuga $\frac{1}{2}$ cv em substituição da bomba submersível disponível no MF101.

4.2.2 Calibração do fluxo de água do módulo hidráulico volumétrico

Para regulação da vazão do MF101 foram realizados os seguintes passos:

- 1) Ligou-se a bomba d'água de ½ cv;
- 2) Abriu-se moderadamente a válvula reguladora de fluxo para a passagem de água;
- 3) Utilizou-se o cronômetro para determinar o tempo necessário para encher 1 litro do reservatório;
- 4) Repetiu-se o passo 2 até obter a vazão de 3,5 l/s.

4.2.3 Medição da vazão nas saídas laterais do canal de distribuição de água

4.2.3.1 Método volumétrico

Utilizou-se o método de coletar água em um recipiente de volume conhecido, e, simultaneamente, foi cronometrado o tempo desta coleta.

A vazão foi obtida através da divisão do volume coletado pelo tempo transcorrido, conforme mostra a equação 14:

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad (Eq. 14)$$

Em que,

Q: vazão volumétrica (l/s);

Vol: volume da água coletado (l);

t: tempo registrado durante a coleta da água (s);

Os seguintes procedimentos foram seguidos para determinação da vazão nas saídas laterais do canal:

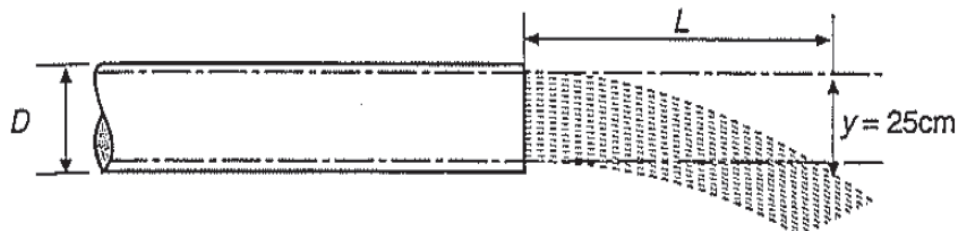
- 1) Inseriu-se o direcionador de fluxo no equipamento (mangueira);
- 2) Ligou-se a motobomba;
- 3) Colocou-se à válvula reguladora de fluxo de modo que a vazão fosse de 3,5 l/s;
- 4) Esperou a regularização do fluxo;

- 5) Foi cronometrado o tempo de enchimento de uma proveta graduada de vidro com volume de 500 ml;
- 6) Anotaram-se os valores observados de tempo e volume;
- 7) Foram repetidos dos passos 4 ao 6 por 5 vezes para melhor precisão dos dados;
- 8) Desligou-se a motobomba;
- 9) Efetuaram-se os cálculos da vazão volumétrica conforme a equação 14.
- 10) Fez-se a média das vazões obtidas.

4.2.3.2 Método E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud

Para execução deste método a seção do tubo deve estar totalmente cheia. Considerou-se o esquema mostrado na Figura 6 para determinação da vazão aproximada em cada saída lateral:

Figura 6 - Vazão em tubo horizontal.



Fonte: NETTO *et. al.* (1998, p. 435)

É imprescindível destacar que a distância L é medida entre a boca do tubo e o ponto onde o jato cai de 25 cm. L é sempre medido na direção da geratriz do tubo e y na vertical.

Foram seguidos os seguintes passos para realização do ensaio:

- 1) Encontrou-se a distância L em cm para $y = 25$ cm;
- 2) Anotou-se o diâmetro interno (cm) da conexão utilizada para captação da água da saída lateral.

A vazão é obtida através da equação 15 deduzida por NETTO *et. al.*

$$Q = 12.25LD^2$$

(Eq. 15)

Tabela 1 - Posicionamento dos laterais em relação ao início do principal.

Lateral	Posição acumulada do início do canal ($\times 10^{-2}$) (m)
1	7,375
2	22,125
3	36,875
4	51,625

Fonte: Autoria própria (2019)

Após inserir as posições das saídas laterais exigidas na tela inicial, foram adicionados os dados de entrada para verificação do dimensionamento correto do canal estudado. O preenchimento dos dados de entrada na tela inicial do *software* aconteceu em dois momentos:

a) No primeiro momento foram inseridos valores para vazão de entrada do principal (l/s), comprimento do canal principal (m) e espessura da parede do principal (cm).

Na Tabela 2 possui os valores inseridos para os parâmetros mencionados anteriormente.

Tabela 2 - Valores de entrada atribuídos para o canal principal.

Parâmetros do canal principal	Valores atribuídos
Vazão	3,5 l/s
Comprimento	0,59 m
Espessura da parede	0,2 mm

Fonte: Autoria própria (2019)

b) No segundo momento, foi selecionada a forma da saída lateral com suas respectivas dimensões e quantidades, e, posteriormente, a forma do canal principal com suas dimensões para seção inicial e final.

Na Tabela 3 contém os valores inseridos para a forma da saída lateral.

Tabela 3 - Forma e dimensões das saídas laterais.

Lateral	Formato	Dimensões (cm)
1	Retangular	4,8 x 4,8
2	Retangular	4,8 x 4,8
3	Retangular	4,8 x 4,8
4	Retangular	4,8 x 4,8

Fonte: Autoria própria (2019)

Na Tabela 4 expõe o formato do canal principal e as dimensões das seções.

Tabela 4 - Formato e dimensões das seções.

Formato	Seção inicial (cm)	Seção final (cm)
Retangular	14,5 x 15, 1	6 x 7,7

Fonte: Autoria própria (2019)

Na Figura 8 expõe a tela inicial do programa computacional, a qual recebe os dados de entrada antes da verificação do dimensionamento de acordo com a NBR 12.216/1992.

Figura 8 - Tela inicial do HudsonCalc.

HudsonCalc

Entrada de dados | Parâmetros | Pré-dimensionamento

Entre com os dados dos canais atentando para as unidades.

Projeto: Novo

Vazão de entrada do principal: l/s

Comprimento do canal principal: m

Espessura da parede do principal: cm

Forma da saída lateral:

Dimensões dos laterais: Largura Altura Diâmetro cm

Quantidade de saídas laterais:

Definir posição das saídas laterais

Forma do principal:

Seção inicial do canal principal: Largura Altura Diâmetro cm

Seção final do canal principal: Largura Altura Diâmetro cm

Coefficiente de VELOCIDADE "Cv":

Fonte: Autoria própria (2019)

4.4 CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

Devido ao dimensionamento do canal ter atendido aos limites da norma regulamentadora para estação de tratamento de água, foi possível executar a construção do aparato experimental.

Nesta fase o projeto foi iniciado com o detalhamento das ferramentas, materiais e produtos necessários para a construção, funcionamento e operação do aparato experimental. As ferramentas utilizadas estão listadas na Tabela 7.

Tabela 5 - Ferramentas utilizadas na construção do aparato experimental.

Ferramentas	Quantidade
Serra de arco	01
Martelo	01
Serrote comum	01

Fonte: Autoria própria (2019)

Os materiais utilizados estão listados na Tabela 8.

Tabela 6 - Materiais utilizados na construção do aparato experimental.

Equipamentos	Quantidade	Dimensões (CxAxEx) (mm)
Chapa de PVC expandido	01	1000 x 600 x 2
Compensado de madeira	01	1000 x 400 x 10
Chapa da madeira	01	1000 x 400 x 10

Fonte: Autoria própria (2019)

Os produtos utilizados estão listados na Tabela 9.

Tabela 7 - Produtos utilizados na construção do aparato experimental.

Produtos	Quantidade	Peso (g)
Adesivo plástico	01	35
Cola de silicone líquida	01	100
Super bonder	01	3

Fonte: Autoria própria (2019)

Foram adaptadas quatro conexões rápidas para coleta de água nas saídas laterais do aparato experimental, sendo estas constituídas por: reduções excêntricas

de esgoto (75 x 50 mm), reduções bucha de água fria (50 x 25 mm), adaptadores com roscas internas e 50 cm de tubo PVC soldável com diâmetro de 25 mm.

Na Figura 9 expõe as quatro conexões desenvolvidas.

Figura 9 - Adaptadores para coleta de água nas saídas laterais.



Fonte: Autoria própria (2019)

Em laboratório, com as dimensões calculadas pelo HudsonCalc e com os materiais disponíveis, iniciou-se o corte da chapa de PVC para representação das paredes do canal. Na Figura 10 mostra o fundo do canal de distribuição de água confeccionado na chapa de PVC e sua respectiva medição do comprimento, a qual foi de 59 cm.

Figura 10 - Corte do fundo do canal de distribuição de água: (a) Medição do comprimento e (b) Aproximação do valor medido na trena.



(a)

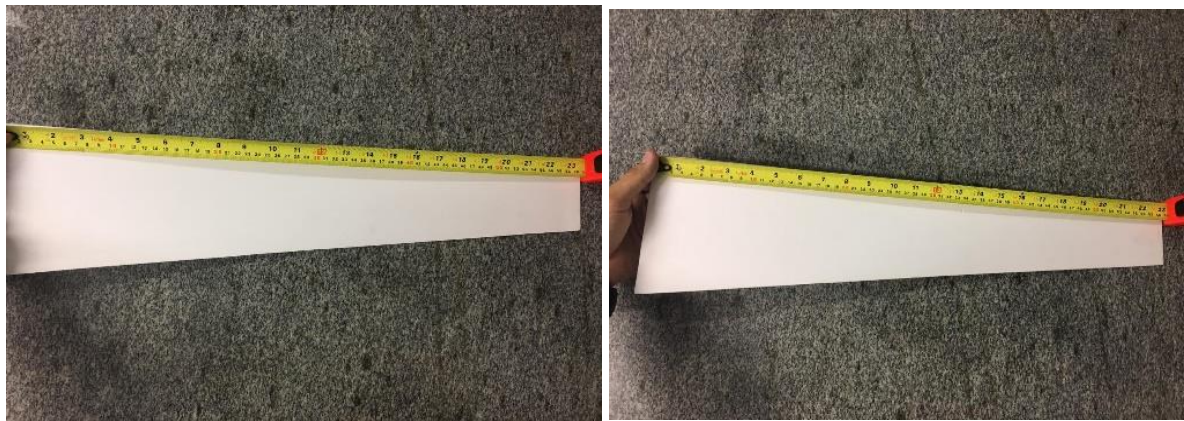
(b)

Fonte: Autoria própria (2019)

Na Figura 11 mostra a parede do lado direito e esquerdo do aparato experimental produzido.

O formato do canal principal construído é retangular, e, este possui seção inicial diferente da seção final. A seção inicial do canal contém 14,5 cm de largura e 15,1 cm de altura, já a seção final, contém 6 cm de largura e 7,7 cm de altura.

Figura 11 - Laterais do canal de distribuição de água: (a) Lateral direita e (b) Lateral esquerda.



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2019)

Desenvolveu-se um suporte de madeira para a sustentação do canal, conforme pode ser visto na Figura 12. É importante destacar que a parte externa do apoio de madeira não possui as mesmas dimensões do canal feito de PVC, porém, sua parte interna possui as dimensões corretas do canal, de modo a encaixá-lo exatamente na base desenvolvida.

Figura 12 - Apoio de madeira para sustentação do canal.

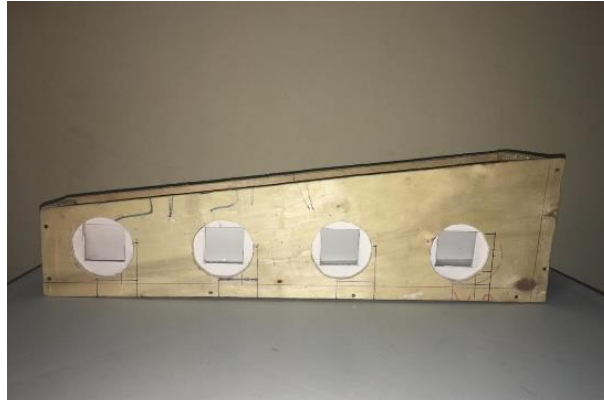


Fonte: Autoria própria (2019)

O aparato experimental construído constitui quatro saídas laterais em formato retangular, Figura 13, cujas dimensões são de 4,8 x 4,8 cm. A posição

acumulada de cada saída lateral em relação ao início do canal principal está mostrada na tabela 1.

Figura 13 - Saídas laterais do canal de distribuição de água.



Fonte: Autoria própria (2019)

Após a finalização de todas as etapas do processo de construção, o aparato experimental do canal de distribuição de água foi concluído, conforme pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Aparato experimental de canal de distribuição de água: (a) Vista lateral e (b) Vista superior do canal.



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PARÂMETROS CALCULADOS PELO SOFTWARE CONFORME NBR 12.216/1992

Na Tabela 5 contém os valores das velocidades, vazões e gradientes de velocidade calculados para as saídas laterais e para o canal principal através do HudsonCalc. O *software* utiliza as equações supracitadas no referencial teórico deste trabalho para realização dos cálculos de todos os parâmetros estudados.

Tabela 8 - Parâmetros calculados pelo HudsonCalc.

Lateral	q_i (L/s)	V_{li} (m/s)	Q_{pi} (L/s)	V_{pi} (m/s)
1	0,87	0,377	3,50	0,184
2	0,86	0,374	2,63	0,189
3	0,87	0,377	1,77	0,184
4	0,90	0,392	0,90	0,148

Fonte: HudsonCalc (2019)

Percebe-se que os valores calculados pelo *software* para o canal de distribuição de água apresentam-se bem próximos, principalmente, os resultados das vazões e velocidades para cada saída lateral. A vazão média dos laterais foi de 0,875 L/s e a velocidade média foi de 0,380 m/s.

Foram obtidos, também, resultados para as vazões e velocidades do canal principal próximas as saídas laterais. A vazão média obtida para o canal principal foi de 2,20 L/s e a velocidade média foi de 0,176 m/s.

Na Tabela 6 contém o relatório de cálculo elaborado pelo HudsonCalc para o dimensionamento correto do aparato experimental, a qual possui a verificação dos valores dos parâmetros calculados e limites estabelecidos pela NBR 12.216 (ABNT, 1992).

Tabela 9 - Relatório de cálculo gerado pelo HudsonCalc.

Parâmetros da última iteração	Calculado	Limite	Verificação de acordo com a NBR 12.216/1992
Desvio máximo da vazão nos laterais (%)	4,48	20,00	ATENDE!
Desvio máximo da perda de carga nos laterais (%)	0,00	1,00	ATENDE!
Gradiente máximo de velocidade nos laterais (s⁻¹)	11,15	20,00	ATENDE!
Velocidade máxima no principal (m/s)	0,189	0,187	NÃO ATENDE!
Velocidade mínima no principal (m/s)	0,148	0,150	NÃO ATENDE!
Velocidade máxima no lateral (m/s)	0,392	0,400	ATENDE!
Velocidade mínima no lateral (m/s)	0,374	0,150	ATENDE!

Fonte: HudsonCalc (2019)

Observando a Tabela 6, somente dois parâmetros não foram atendidos, sendo o primeiro referente à velocidade máxima no principal, 0,189 m/s, quando o limite foi de 0,187 m/s, e o segundo referente à velocidade mínima no principal, 0,148 m/s, quando o limite foi de 0,150 m/s. Contudo, apesar de ocasionarem possíveis erros nos ensaios de medição de vazão, os valores gerados pelo *software* foram considerados para este trabalho de ensino-didático, por se encontrarem próximos dos limites estabelecidos pela NBR 12.216/1992.

5.2 ENSAIO EXPERIMENTAL PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO

Com o aparato experimental em funcionamento, conforme mostra a Figura 15, foi identificado o fenômeno de turbulência no fluxo da água gerada pela saída da mangueira no início do canal. No entanto, foram determinadas as vazões e velocidades nas saídas laterais do aparato experimental construído, a fim de verificar a existência de distribuição de água uniforme.

Figura 15 - Aparato experimental em funcionamento.

Fonte: Autoria própria (2019)

Na Tabela 10 mostra o tempo cronometrado para encher totalmente de água a proveta utilizada no ensaio. Para isso, o volume de água utilizado nos cinco testes realizados em cada saída lateral foi de 500 ml.

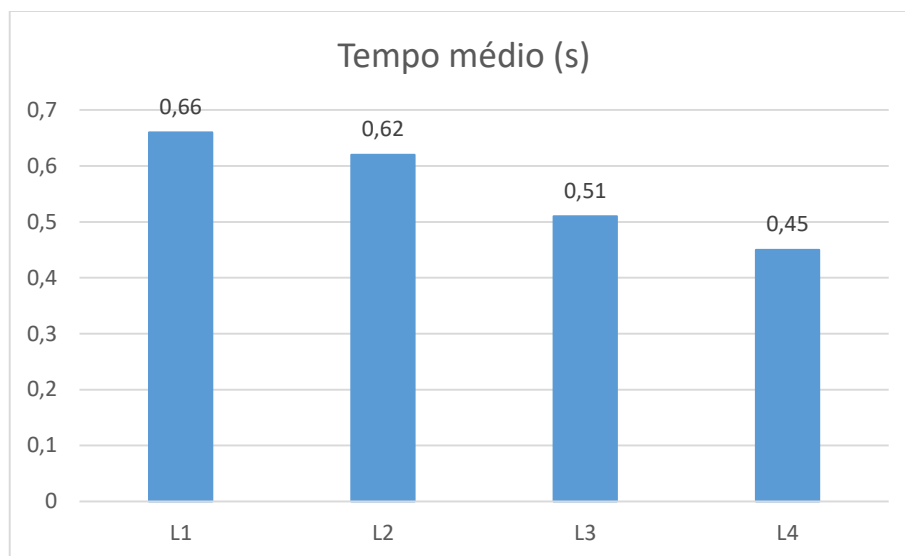
Tabela 10 - Tempo necessário para preencher volume conhecido da proveta.

Lateral (L _i)	Tempo 1 (s)	Tempo 2 (s)	Tempo 3 (s)	Tempo 4 (s)	Tempo 5 (s)	Tempo médio (s)
1	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
2	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,62
3	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51
4	0,44	0,45	0,45	0,45	0,44	0,45

Fonte: Autoria própria (2019)

O tempo médio das quatro saídas laterais foi de 0,56 s, concebendo assim, desvio padrão de 0,161 e variação de 0,026 em relação ao desvio padrão das quatro amostras.

No gráfico 1 é exposto o tempo médio obtido nos cinco testes realizados para cada saída lateral do canal de distribuição de água.

Gráfico 1 - Tempo médio para cada saída lateral.

Fonte: Autoria própria (2019)

Observou-se que o tempo médio diminuiu gradativamente em cada lateral, implicando assim, em vazões não uniformes. Esta redução é observada quando é comparado o tempo médio entre o primeiro (L_1) e último (L_4) lateral, uma vez que, foi identificada maior turbulência nos primeiros laterais.

A determinação das vazões médias se deu a partir do tempo médio calculado em cada saída lateral. Na Tabela 11 expõe os valores encontrados para o parâmetro analisado. O memorial de cálculo das vazões médias está no APÊNDICE A deste trabalho.

Tabela 11 - Vazões médias obtidas pelo método volumétrico.

Lateral (L_i)	Q_i (L/s)	Q_i (L/s)	Q_i (L/s)	Q_i (L/s)	Q_i (L/s)	$Q_{\text{média}}$ (L/s)
1	0,746	0,757	0,757	0,757	0,757	0,755
2	0,806	0,806	0,806	0,819	0,819	0,811
3	1	1	0,980	0,980	0,980	0,988
4	1,136	1,111	1,111	1,111	1,136	1,121

Fonte: Autoria própria (2019)

Assim como esperado, percebe-se que a vazão não se distribui uniformemente nas quatro saídas laterais do canal de distribuição de água. A vazão média obtida para ambos os laterais foi de 0,919 L/s, enquanto a vazão calculada pelo *software* foi de 0,875 L/s.

Os resultados obtidos das velocidades médias em cada saída lateral estão contidos na Tabela 12. O memorial de cálculo está exposto no APÊNDICE A.

Tabela 12 - Velocidades médias dos laterais.

Lateral (L_i)	v_i (m/s)
1	0,328
2	0,352
3	0,429
4	0,486

Fonte: Autoria própria (2019)

É importante destacar que este comportamento ocorreu, principalmente, devido à turbulência propiciada pela mangueira na entrada do canal. Na Figura 16 mostra, notadamente, a turbulência logo no início da execução do ensaio.

Figura 16 - Turbulência gerada pela mangueira.



Fonte: Autoria própria (2019)

5.3 ENSAIO EXPERIMENTAL PELO MÉTODO E. R. YASSUDA, P. NOGAMI, R. MONTRIGAUD

Os diâmetros das conexões elaboradas para determinação das vazões nas saídas laterais apresentaram seção plena, conforme pode ser visto na Figura 17. Por isso, aplicou-se o método E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud.

Figura 17 - Seção plena em cada saída lateral.



Fonte: Autoria própria (2019)

Na Tabela 13 expõe os valores medidos do comprimento L ($y = 25$ cm na vertical) em cada saída lateral.

Tabela 13 - Comprimento L em cm para $y = 25$ cm.

Lateral (L_i)	Representação	Comprimento L (cm)	Diâmetro (cm)
1	L_1	0,017	1,9
2	L_2	0,019	1,9
3	L_3	0,024	1,9
4	L_4	0,026	1,9

Fonte: Autoria própria (2019)

É possível observar que o comprimento L apresenta valor diferente para cada saída lateral, evidenciando a diferença nas vazões e velocidades. Os primeiros laterais (L_1 e L_2) apresentaram comprimentos menores devido à interferência da turbulência formada pela mangueira no início do canal, próximo ao posicionamento de ambos os laterais. Contudo, os valores das demais saídas laterais (L_3 e L_4), mostraram-se semelhantes, dado que, a ocorrência da turbulência se mostrou menor.

Os resultados calculados das vazões e velocidades aproximadas em cada saída lateral estão expostos na Tabela 14. O memorial de cálculo dos parâmetros está apresentado no APÊNDICE B.

Tabela 14 - Vazões e velocidades obtidas pelo método E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud.

Lateral (L_i)	q_i (L/s)	v_{li} (m/s)
1	0,772	0,335
2	0,840	0,364
3	1,061	0,460
4	1,149	0,499

Fonte: Autoria própria (2019)

É notório que os resultados das vazões nas saídas laterais não apresentaram uniformidade. Por conseguinte, as velocidades em cada lateral também mostraram resultados distintos. Analisando os resultados obtidos entre o método E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud mostrados na Tabela 14 e os resultados calculados pelo *software* mostrados na tabela 5, percebe-se diferenças entre os valores das vazões e velocidades nos laterais. A vazão média dos laterais foi de 0,955 L/s, enquanto a vazão calculada pelo *software* foi de 0,875 L/s, e, a velocidade média foi de 0,414 m/s, enquanto a velocidade calculada pelo *software* foi de 0,380 m/s.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE VAZÕES MÉDIAS DOS LATERAIS OBTIDAS PELO HUDSONCALC E MÉTODOS DE MEDIÇÃO APLICADOS

Na Tabela 15 estão expostos os resultados obtidos das vazões médias para os dois métodos de medição de vazão utilizados.

Tabela 15 - Comparação das vazões médias obtidas pelos métodos aplicados.

	Volumétrico		E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud	
	Software	Experimento	Software	Experimento
$Q_{\text{média}}$ (L/s)	0,875	0,919	0,875	0,955
$\Delta_{\text{média}}$ (%)	105,03		109,14	

Fonte: Autoria própria (2019)

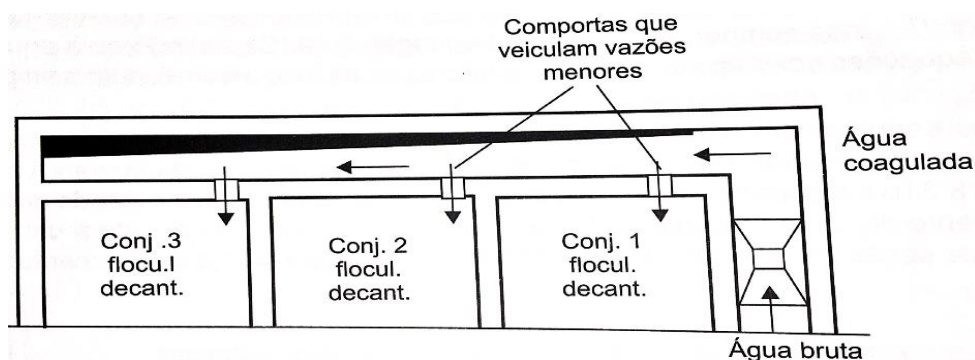
Analisando separadamente os métodos de medição de vazão, percebe-se que o método volumétrico apresentou diferença de vazão média de 5,03% a mais do que a calculada pelo HudsonCalc. O método E. R. Yassuda, P. Nogami, R. Montrigaud apresentou diferença de vazão média de 9,14% a mais do que a calculada pelo HudsonCalc.

Logo, ambos os métodos determinaram a não uniformidade de vazão nos quatro laterais do canal de distribuição de água desenvolvido neste trabalho.

5.5 ARRANJO INADEQUADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), apesar de um canal possuir seção variável, pode ocorrer a não distribuição uniforme de água como, por exemplo, no caso esquematizado na Figura 18, devido a energia de escoamento no canal principal, após a curva, ser relativamente grande, dificultando assim, a alimentação das primeiras saídas laterais.

Figura 18 - Esquema de arranjo inadequado para distribuição de vazão.



Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005, p. 422)

No caso do aparato experimental do canal de distribuição de água construído, ocorreu a mesma situação abordada na Figura 18, em que foram percebidas menores vazões nas primeiras saídas laterais devido à energia de escoamento ser elevada no início do canal.

Na tentativa de eliminar a turbulência gerada pela mangueira, foi necessário acrescentar um dissipador de energia, porém, ainda foi visualizado turbulência no sistema, o que continuou dificultando a distribuição de água uniformemente nos laterais do canal. Na Figura 19 contém a presença do dissipador feito de PVC.

Figura 19 - Canal com presença de dissipador de energia.



Fonte: Autoria própria (2019)

A turbulência se estendeu até 0,64 cm do comprimento do canal, chegando até a metade da largura da terceira saída lateral. Na Figura 20 mostra a turbulência no canal mesmo após a inserção do dissipador de energia.

Figura 20 - Turbulência na água.



Fonte: Autoria própria (2019)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do aparato experimental do canal de distribuição de água, conforme às exigências da NBR 12.216 (ABNT, 1992), auferiu considerações importantes após a demonstração do seu funcionamento. O seu desenvolvimento se mostrou importante tanto para o ensino-aprendizagem dos discentes de engenharia, quanto para o aprimoramento dos estudos na área de sistema de abastecimento de água. Outro diferencial do funcionamento do aparato experimental em relação ao processo educacional é a possibilidade de visualização de situações reais de canal de distribuição de água.

Foi possível verificar com os ensaios realizados que os dois métodos de medição de vazão se mostraram aplicáveis ao aparato experimental e constataram a não existência de vazões equânimes nos quatro laterais do canal de distribuição de água. As principais interferências que contribuíram para o verificado, possivelmente foram:

- a) Turbulência na água devido à elevada energia provocada pela mangueira;
- b) Rugosidade do PVC utilizado para construção do canal de distribuição de água;
- c) Falha na elaboração do dissipador de energia;
- d) Vazamentos associados a erros do equipamento;
- e) Erro de paralaxe necessário para medição de comprimento L em $y = 25$ cm.

Diante de problemas identificados no funcionamento do aparato experimental desenvolvido neste trabalho, são propostas melhorias futuras para sua eficiência, tais como:

- a) Prolongar a parte inicial do canal, evitando assim, o fenômeno da turbulência;
- b) Melhor adaptação de alimentação do fluxo de água, de maneira a distribuir corretamente a vazão de entrada;
- c) Atentar na impermeabilização do material utilizado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Abastecimento urbano de água**: resumo executivo Atlas Nordeste. Brasília, 2009. p. 96.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, p.18. 1992.
- BARBETA, V. B. Recursos de simulação em computador em aulas de física para engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA. 20., 2000, Ouro Preto. **Anais**. Ouro Preto: ABENGE, 2000.
- BEHAR, P. A. **Análise operatória de ferramentas computacionais de uso individual e cooperativo**. 1998. 139 p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1998.
- Brasil. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2002). **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE. Acompanha versão em CD-ROM.
- CARDOSO, S. H. Utilizando simulações no ensino médico. **Informática médica**. Campinas: Núcleo de informática biomédica, v.1, n.4, jul./ago., 1998.
- CASTRO, C. M. B. **Sedimentação/Decantação**. Porto Alegre: Gráfica UFRGS, 2008.
- CAZARINI, E. W. **A informática no curso de graduação em engenharia de produção mecânica**. 1992. 144 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- DENCKER, A. F. M. **Pesquisa e interdisciplinaridade no Ensino Superior**: uma experiência no curso de turismo. 1 ed. São Paulo: Aleph, 2002. p. 19.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 1 ed., v.1. Rio de Janeiro: ABES, 1993.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: RiMa, 2005.
- DUARTE, G. **Desenvolvimento de procedimento em VBA para verificação e dimensionamento racional de canal de distribuição ou coleta de água, de seção variável com saídas laterais**. 2015. 31 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2015.
- DUARTE, M. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração**. 2011. 301 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-05052011-085250/publico/Duarte_Marco.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2019.
- FAVARÃO, N. R. L.; ARAÚJO, C. S. A. **Importância da Interdisciplinaridade no Ensino Superior**. EDUCERE. Umuarama, v.4, n.2, p.103 - 115, jul./dez., 2004.
- FERREIRA, M. E. M. P. Ciência e interdisciplinaridade. In: FAZENDA, I. **Práticas interdisciplinares na escola**. São Paulo: Cortez, 1999. p. 22.
- FILHO, O. P. 2002. Informação, conhecimento e sabedoria no ensino de Engenharia. In: PINTO, Danilo Pereira; Nascimento, Jorge Luiz do (Org). **Educação em Engenharia**: metodologia. São Paulo: Mackenzie, 2002. p. 295.
- FOCKING, G. P. Um estudo sobre as técnicas de avaliação de *software* educacional. **Journal of Educational Computing Research**. Farmingdale, v.12, 1999.

- GUILLERMO, O. E. P. **O poder das simulações no ensino de hidráulica para engenheiros**. 2005. 87 p. Monografia (Especialização) - Curso de Informática, Departamento de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- GUILLERMO, O. E. P.; TAROUCO, L. M. R.; ENDRES, L. A. M. O poder das simulações no ensino de hidráulica. **CINTED-UFRGS**. São Paulo, v.3, n.1, p.1 - 10, 2005.
- HUDSON, H. E. **Water clarification processes**: Practical design and evaluation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1981. 353 p.
- IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Rio de Janeiro. Brasil. 2002. p. 397.
- LEME, F. P. **Teorias e técnicas de tratamento de água**. São Paulo: Cetesb, 1979. p. 424.
- LIBÂNIO, M. **Decantação**. In: _____. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas, São Paulo: [s.n.], 2009. p. 227 - 232.
- LUCK, H. **Pedagogia interdisciplinar**: fundamentos teórico-metodológicos. 9 ed. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 96.
- MARTINEZ, M. Q. A world wide web como poderosa ferramenta didática na educação a distância. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 1996, Barranquilla. **Actas**. Barranquilla, 1996. v.3.
- NETTO, A. J. M. *et. al.* **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo: EDGARD BLUCHER Ltda., 1998.
- NETTO, A. J. M. *et. al.* **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. 2 ed. v.2. São Paulo: CETESB, 1977.
- OWNTEC. **Manual de Instruções MF 101 – Módulo Hidráulico Volumétrico**. Santa Cruz do Sul. 2017.
- PÁDUA, V. L.; DI BERNARDO, L. Qualidade da água decantada em função do tempo de operação de decantadores convencionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.
- PEREIRA, F. O. **Informação, conhecimento e sabedoria no ensino de engenharia**. São Paulo: Mackenzie. 2002, p. 295.
- RICHTER, C. A. Sedimentação e decantação. In: Métodos e tecnologia de tratamento de água. São Paulo: [s.n.], 2008. p. 190 - 199.
- SALGADO, A. L. **Caracterização hidrodinâmica de flocluladores hidráulicos por meio de simulação numérica tridimensional**. 2006. 118 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/187235966/caracterizacao-hidrodinamica-de-floculadores-tubulares-helicoidais-por-meio-de-simulacao-numerica-tridimensional>>. Acesso em: 12 dez. 2018.
- SCHAFFER, M. Interdisciplinaridade: um novo “paradigma” para a educação e as ciências humanas? In: SILVA, Dinorá Fraga da; SOUZA, Nádia Geisa Silveira de (Org.). **Interdisciplinaridade na Sala de Aula**: uma experiência pedagógica nas 3ª e 4ª séries do primeiro grau. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995. p. 17-23
- SOUZA, E. **Sistemas de Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura. Lisboa: Instituto Superior Técnico. 2001.
- SOUZA, G. B. **Sistema computacional de pré-dimensionamento das unidades de água: floclulador, decantador e filtro**. 2011. 103 p. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34528/000789752.pdf?...1>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

TAVARES, D. E. Aspectos da história deste livro. In: FAZENDA, I. (Org.). **Práticas interdisciplinares na escola**. São Paulo: Cortez, 1999. p. 30.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3 ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006. p. 643.

VIANA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 4 ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002. p. 576.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DAS VAZÕES E VELOCIDADES PARA AS QUATRO SAÍDAS LATERAIS PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO

- Vazão (Q_i):

- *Lateral 1 (L₁):*

- 1º Teste:

$$q_1 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,67} = 0,746 \text{ L/s}$$

- 2º Teste:

$$q_1 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,66} = 0,757 \text{ L/s}$$

- 3º Teste:

$$q_1 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,66} = 0,757 \text{ L/s}$$

- 4º Teste:

$$q_1 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,66} = 0,757 \text{ L/s}$$

- 5º Teste:

$$q_1 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,66} = 0,757 \text{ L/s}$$

Portanto, a vazão média para o primeiro lateral foi de 0,755 L/s e a velocidade média de 0,328 m/s.

- *Lateral 2 (L₂):*

- 1º Teste:

$$q_2 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,62} = 0,806 \text{ L/s}$$

- 2º Teste:

$$q_2 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,62} = 0,806 \text{ L/s}$$

- 3º Teste:

$$q_2 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,62} = 0,806 \text{ L/s}$$

- 4º Teste:

$$q_2 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,61} = 0,819 \text{ L/s}$$

- 5º Teste:

$$q_2 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,61} = 0,819 \text{ L/s}$$

Portanto, a vazão média para o primeiro lateral foi de 0,811 L/s e a velocidade média de 0,352 m/s.

○ *Lateral 3 (L₃):*

▪ 1º Teste:

$$q_3 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,50} = 1 \text{ L/s}$$

▪ 2º Teste:

$$q_3 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,50} = 1 \text{ L/s}$$

▪ 3º Teste:

$$q_3 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,51} = 0,980 \text{ L/s}$$

▪ 4º Teste:

$$q_3 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,51} = 0,980 \text{ L/s}$$

▪ 5º Teste:

$$q_3 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,51} = 0,980 \text{ L/s}$$

Portanto, a vazão média para o primeiro lateral foi de 0,988 L/s e a velocidade média de 0,429 m/s.

○ *Lateral 4 (L₄):*

▪ 1º Teste:

$$q_4 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,44} = 1,136 \text{ L/s}$$

▪ 2º Teste:

$$q_4 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,45} = 1,111 \text{ L/s}$$

▪ 3º Teste:

$$q_4 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,45} = 1,111 \text{ L/s}$$

▪ 4º Teste:

$$q_4 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,45} = 1,111 \text{ L/s}$$

▪ 5º Teste:

$$q_4 = \frac{500 \times 10^{-3}}{0,44} = 1,136 \text{ L/s}$$

Portanto, a vazão média para o primeiro lateral foi de 1,121 L/s e a velocidade média de 0,486 m/s.

APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DAS VAZÕES E VELOCIDADES PARA AS QUATRO SAÍDAS LATERAIS PELO MÉTODO E. R. YASSUDA, P. NOGAMI, R. MONTRIGAUD

- **Vazão (Q_i):**

- *Lateral 1 (L_1):*

$$Q_1 = 12.25(0,017)(1,9)^2 = 0,752 \text{ L/s}$$

- *Lateral 2 (L_2):*

$$Q_2 = 12.25(0,019)(1,9)^2 = 0,850 \text{ L/s}$$

- *Lateral 3 (L_3):*

$$Q_3 = 12.25(0,024)(1,9)^2 = 1,08 \text{ L/s}$$

- *Lateral 4 (L_4):*

$$Q_4 = 12.25(0,026)(1,9)^2 = 1,17 \text{ L/s}$$

- **Velocidade (v_{ii}):**

- *Lateral 1 (L_1):*

$$v_1 = \frac{0,77 \times 10^{-3}}{0,002304} = 0,334 \text{ m/s}$$

- *Lateral 2 (L_2):*

$$v_2 = \frac{0,85 \times 10^{-3}}{0,002304} = 0,369 \text{ m/s}$$

- *Lateral 3 (L_3):*

$$v_3 = \frac{1,08 \times 10^{-3}}{0,002304} = 0,469 \text{ m/s}$$

- *Lateral 4 (L_4):*

$$v_4 = \frac{1,17 \times 10^{-3}}{0,002304} = 0,508 \text{ m/s}$$