

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**FILIPPE MOREIRA NUNES**

**TREN – Software para Estudo Técnico de Viabilidade  
de Centrais de Tratamento de Efluentes**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2019**

**FILIPPE MOREIRA NUNES**

# **TREN – Software para Estudo Técnico de Viabilidade de Centrais de Tratamento de Efluentes**

Monografia apresentada ao Curso de  
Ciência da Computação da Universidade  
Federal de Viçosa, como requisito para  
obtenção do título de bacharel em Ciência  
da Computação.

Orientador: Lucas Francisco da Matta Vegi

Coorientadora: Ann Honor Mounteer

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2019**

## **RESUMO**

TREN é um software para auxiliar projetistas na área de saneamento no Estudo de Viabilidade da implantação de Centrais de Tratamento de Efluentes. Foi idealizado por alunos de Engenharia Ambiental após notarem a escassez de ferramentas práticas que automatizam esse procedimento. Atualmente os cálculos são feitos usando planilhas do Excel, que devido ao alto número de variáveis a serem consideradas, são muito extensas e complexas, tornando ocasionais erros difíceis de encontrar. O sistema proposto compara características relevantes de várias possíveis centrais de tratamento e gera um relatório com ilustrações de gráficos para auxiliar na decisão de projeto do engenheiro, deixando transparente ao usuário toda a parte complexa de cálculo.

Palavras-chave: Aplicação Desktop. Tratamento de Efluentes. Software para Estudo Técnico de Viabilidade. TREN.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tela de boas vindas .....	12
Figura 2 - Tela principal aba início .....	13
Figura 3 - Tela principal aba material de apoio .....	14
Figura 4 - Tela de seleção de sequências coletivas .....	14
Figura 5 - Tela para saber se possui dados de vazão.....	15
Figura 6 - Tela dos dados para cálculo da vazão.....	16
Figura 7 - Tela dos dados de vazão .....	17
Figura 8 - Tela de entrada de DBO .....	17
Figura 9 - Tela dos dados da lagoa facultativa.....	18
Figura 10 - Tela dos dados da lagoa anaeróbia .....	19
Figura 11 - Mensagem taxa inválida .....	19
Figura 12 - Tela de seleção de sequências individuais .....	20
Figura 13 - Tela entrada de dados caixa SÃO .....	21
Figura 14 - Tela de finalização .....	22
Figura 15 - Relatório final .....	23
Figura 16 - Tabelas geradas para calha parshall .....	23
Figura 17 - Tabela gerada para lagoa facultativa .....	24
Figura 18 - Tabela gerada para lagoa anaeróbia .....	24
Figura 19 - Tabela gerada para caixa SAO .....	24
Figura 20 - Gráfico gerado para comparação de área .....	24
Figura 21 - Diagrama de Classes.....	32

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	5
2.	OBJETIVOS .....	6
2.1.	Objetivo geral.....	6
2.2.	Objetivo específico.....	6
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
3.1.	Conceitos básicos.....	7
3.2.	Unidades preliminares .....	7
3.3.	Unidades secundárias .....	8
3.4.	Estudo de viabilidade.....	8
4.	METODOLOGIA .....	10
4.1.	Materiais.....	10
4.2.	Levantamento de requisitos .....	10
4.3.	Elaboração do diagrama de classes.....	10
4.4.	Desenvolvimento.....	10
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS .....	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26
	APÊNDICE A - Requisitos funcionais e não-funcionais.....	28
	APÊNDICE B - Diagrama de classes.....	32
	ANEXO A - Roteiros de cálculo.....	33

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil há uma deficiência na qualidade da água que é devolvida aos efluentes, visto que de todo o esgoto coletado no Brasil apenas 45,1% é tratado, e mesmo a média das 100 maiores cidades brasileiras é de somente 50,26% (1). Isso além de afetar a flora e a fauna em contato com essa poluição gera um risco de saúde à população. Torna-se necessária então a construção de novas centrais de tratamento de efluentes, a fim de aumentar a qualidade da água devolvida aos mesmos.

Existem alguns softwares feitos para facilitar o projeto dessas estações como SIDE (2) e ETE<sup>®</sup>, porém por serem anti-intuitivos ou defasados esses métodos não costumam ser usados pelos projetistas, dando preferência a planilhas de Excel extremamente extensas e complexas o que gera confusão durante a projeção da estação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Desenvolver um software que auxilie o projetista na tomada de decisão quando for projetar uma central de tratamento de efluentes.

### **2.2. Objetivo específico**

A proposta deste trabalho é a implementação de uma parte do software TREN com objetivo de ser simples, amigável e intuitivo ao usuário, fornecendo material teórico de apoio e ajudando o projetista na tomada de decisão da melhor configuração de unidades de tratamento de efluentes.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este referencial teórico tem como objetivo informar e contextualizar sobre como funciona uma central ou estação de tratamento de efluentes, as unidades que foram abordadas neste trabalho e termos que serão utilizados.

#### **3.1. Conceitos básicos**

Efluentes são quaisquer tipos de resíduos de atividades humanas emitidos no meio ambiente, sejam líquidos ou gasosos (3). Assim, esgotos domésticos e industriais são os tipos de efluentes que serão abordados.

Uma forma de medir o quão poluído está um efluente é pela concentração de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) presente nele. A DBO é o quanto de oxigênio os microorganismos precisam para conseguir degradar a matéria orgânica presente em alguma quantidade de líquido (4).

Temos ainda que a taxa de aplicação volumétrica é a razão da massa de DBO diário dividida pelo volume da lagoa (5).

Outros termos que serão usados é a viscosidade absoluta, que representa a resistência do efluente para o escoamento (6) e o fator de turbulência, que representa a forma como o líquido se mistura, é dado pela velocidade horizontal do fluido dividida pela velocidade vertical das partículas de óleo presentes nele (7).

Uma central de tratamento de efluentes, ou estação de tratamento de efluentes (ETE), é o local em que o efluente passa para que fique com características, como a DBO, em níveis que possa ser devolvido para a natureza.

As ETEs são um conjunto de unidades de tratamento que ficam dispostas de forma que a água poluída percorra um circuito enquanto é tratada.

As unidades que foram consideradas no software podem ser divididas em duas categorias, sendo elas: unidades preliminares e unidades secundárias, e que serão abordadas abaixo.

#### **3.2. Unidades preliminares**

As unidades preliminares são responsáveis pela remoção de sujeiras físicas que podem atrapalhar o funcionamento das unidades e o tratamento químico e biológico, como lixo, galhos de árvores, areia e gordura.



As consideradas neste trabalho são a calha parshall e a caixa separadora de água e óleo (SAO).

A primeira também é conhecida como medidor de vazão, sua função é determinar a quantidade de água que está percorrendo a ETE em um certo período de tempo (8). Esta informação é crucial para as unidades que a sucedem.

Já a caixa SAO é uma unidade que faz uso da densidade e da hidrofobia que substâncias oleosas têm, para separá-las da água do efluente e descartá-las, evitando assim, gastos com manutenção que a gordura causaria em peças de equipamentos e tubulações (9).

### **3.3. Unidades secundárias**

As unidades deste grupo são responsáveis pelo tratamento químico e biológico do efluente, a DBO é uma das impurezas que pode ser tratada por elas.

As unidades secundárias consideradas nesse trabalho são a lagoa facultativa e a lagoa anaeróbia. Ambas, como o próprio nome sugere, tendem a ser extensas, o que implica em um grande tempo para o efluente percorrer-las chamado de tempo de detenção hidráulico (TDH).

As lagoas facultativas são caracterizadas por terem duas zonas, a aeróbia e a facultativa. A primeira zona é localizada perto da superfície, e nela vivem microorganismos que fazem uso do oxigênio diluído na água para degradar a matéria orgânica. Já na segunda, por ser mais profunda, a quantidade de oxigênio é mais restrita, portanto nela habitam tanto microorganismos aeróbios quanto anaeróbios que fazem fermentação.

Na lagoa anaeróbia há a zona anaeróbia, mais profunda que as outras duas, nela não há oxigênio diluído na água (10) e, portanto só vivem microorganismos anaeróbios para degradarem a matéria orgânica por meio da fermentação.

Ambas as lagoas, como produto da degradação da matéria orgânica, produzem um lodo que se acumula no fundo (11) e deve ser retirado quando atinge certa altura, porém normalmente são projetadas para que isso aconteça em um prazo longo.

### **3.4. Estudo de viabilidade**

Existem ainda muitas outras unidades, e ao projetar uma central de tratamento de efluentes cabe decidir qual combinação de unidades é melhor para o

projeto, podendo ser por qualidade da água, espaço de construção ou até custo de manutenção. Isso é chamado de estudo de viabilidade (12).

É nesse ponto que surge a necessidade de um software que faz os cálculos necessários para o estudo de viabilidade e gera um relatório que auxilia a tomada de decisão.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Materiais

- Software
  - Visual Studio 2017 versão 15.9.6
  - GitHub Desktop versão 2.2.3
  - Lucidchart© Lucid Software Inc.
- Técnicas de Engenharia de Software
- Roteiros de Cálculo (Anexo A)

### 4.2. Levantamento de requisitos

Para dar início ao projeto foi feito o levantamento dos requisitos (Apêndice A), onde foram especificadas as principais funcionalidades que o software deveria ter. Foi realizado por meio de conversas com os alunos idealizadores do projeto, graduandos do curso de Engenharia Ambiental, a fim de compreender o que deveria ser feito e como deveria ser desenvolvido.

Para tal, seguiu-se o modelo de definição de requisitos funcionais e não-funcionais (13) com o objetivo de que se tornasse uma documentação de fácil entendimento, facilitando assim a comunicação entre os desenvolvedores do projeto.

### 4.3. Elaboração do diagrama de classes

Em seguida foi elaborado um diagrama de classes (Apêndice B) que especifica a estrutura e relações entre as várias classes que seriam criadas.

O diagrama foi feito de forma que facilitasse a implementação das funcionalidades especificadas e que permitisse a ampliação do software sem a necessidade de alteração das partes já desenvolvidas, fazendo uso dos recursos de herança e polimorfismo que a linguagem C# fornece.

### 4.4. Desenvolvimento

Durante o desenvolvimento, primeiramente foram feitas as classes que compõem o *backend* e realizam os cálculos necessários para que o estudo de viabilidade seja feito, seguindo o diagrama de classes.

Posteriormente foram implementadas as telas que compõem o *frontend*, nelas são coletados os dados de entrada que o *backend* necessita para funcionar.

Foi desenvolvido um gerenciador de telas para que fosse possível controlar o fluxo entre elas de maneira inteligente que e permitisse uma navegação fluida entre as mesmas.

O padrão de projeto Visitor (14) foi utilizado para a abstração do processo de geração do relatório em PDF, que é a principal saída do software e será o documento que auxiliará o usuário na decisão de qual modelo de central de tratamento utilizar.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software TREN será apresentado abaixo como um todo, mas serão aprofundadas apenas as partes desenvolvidas neste trabalho. Nessas telas, todos os campos são de preenchimento obrigatório.

A primeira tela exibida ao abrir o programa é um texto explicativo sobre o software e sua finalidade, como pode ser visto na figura 1.



**Figura 2 - Tela de boas vindas**

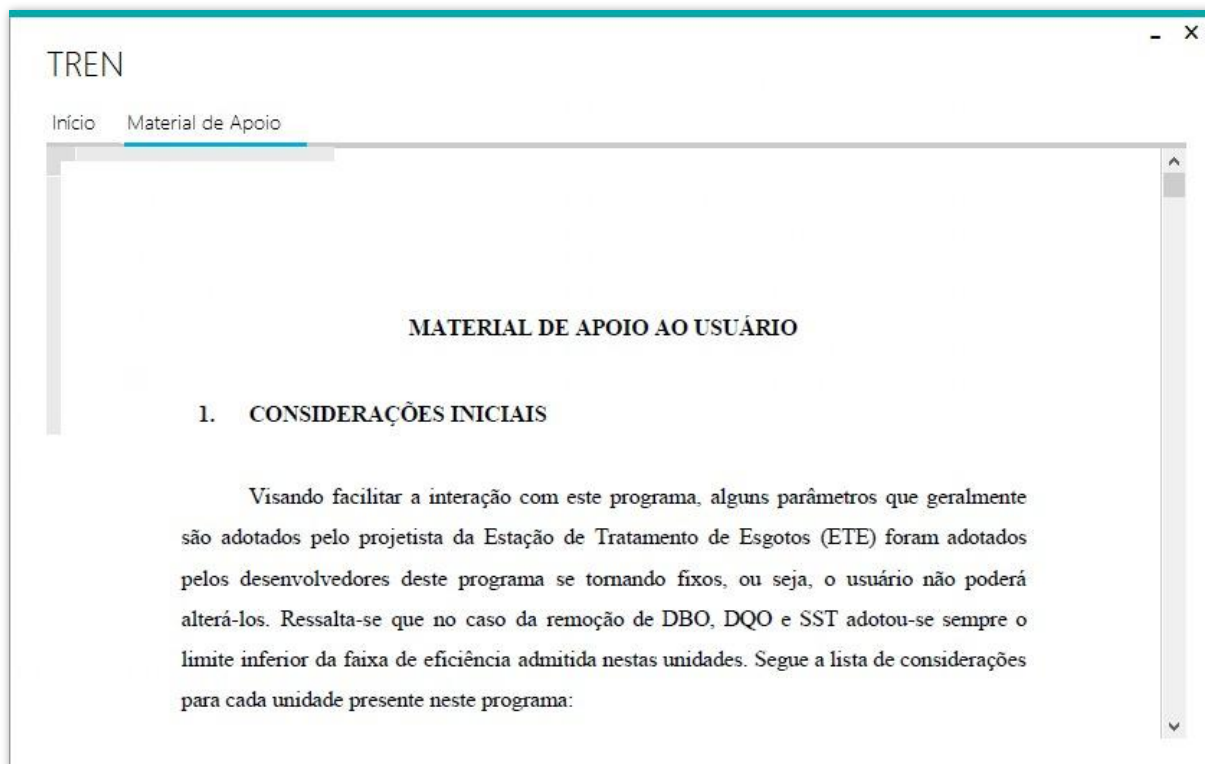
Ao clicar no botão 'Começar' aparecerá para a tela principal do programa conforme a figura 2.



**Figura 2 - Tela principal aba início**

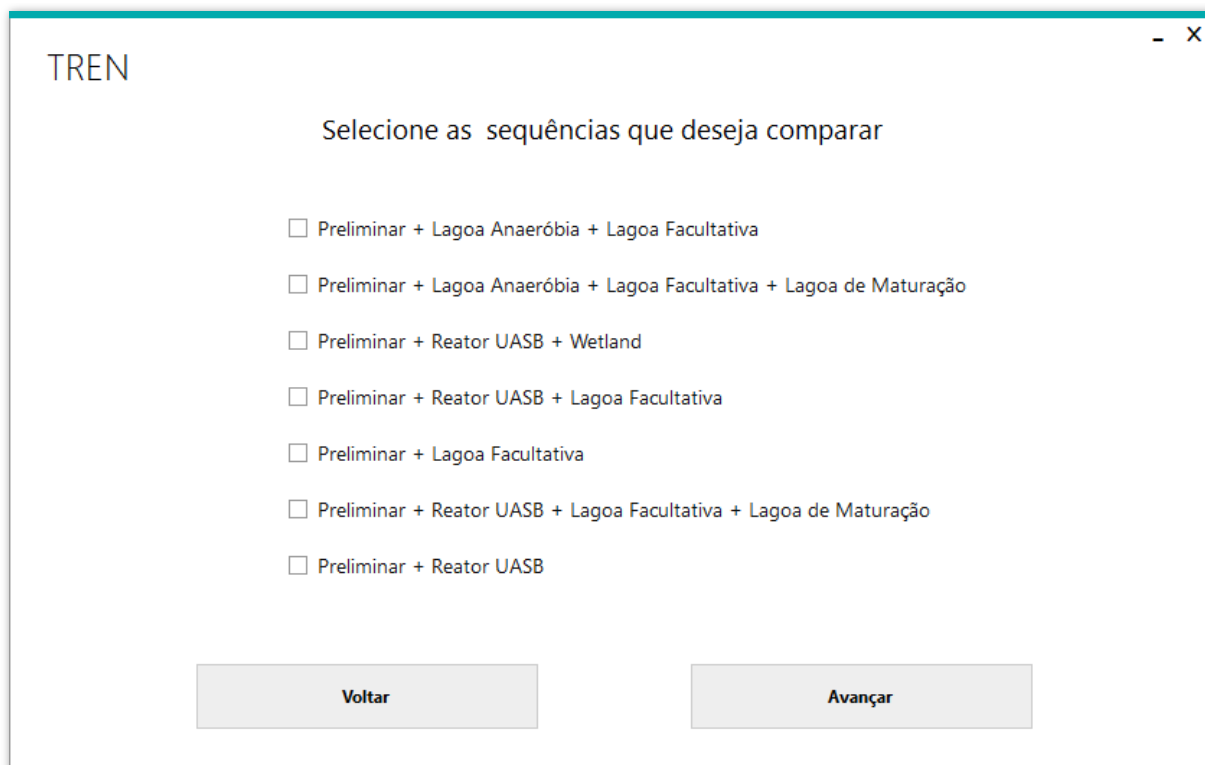
Caso o usuário esteja com alguma dúvida teórica ou sobre o funcionamento do software, basta selecionar a aba 'Material de Apoio' que será exibido um documento com informações para sanar as dúvidas, como mostra a figura 3.

Para realizar o estudo de viabilidade, deve-se clicar em um dos dois botões na tela, sendo o primeiro, 'Sequência Coletiva', para soluções de maior porte, como indústrias, prédios e bairros e sendo o segundo, 'Sequência Individual', para soluções de menor porte, como oficinas e casas.



**Figura 3 - Tela principal aba material de apoio**

Ao selecionar a opção 'Sequência Coletiva', serão exibidas as configurações de ETEs mais comuns que estão preestabelecidas no sistema, ilustrado na figura 4.



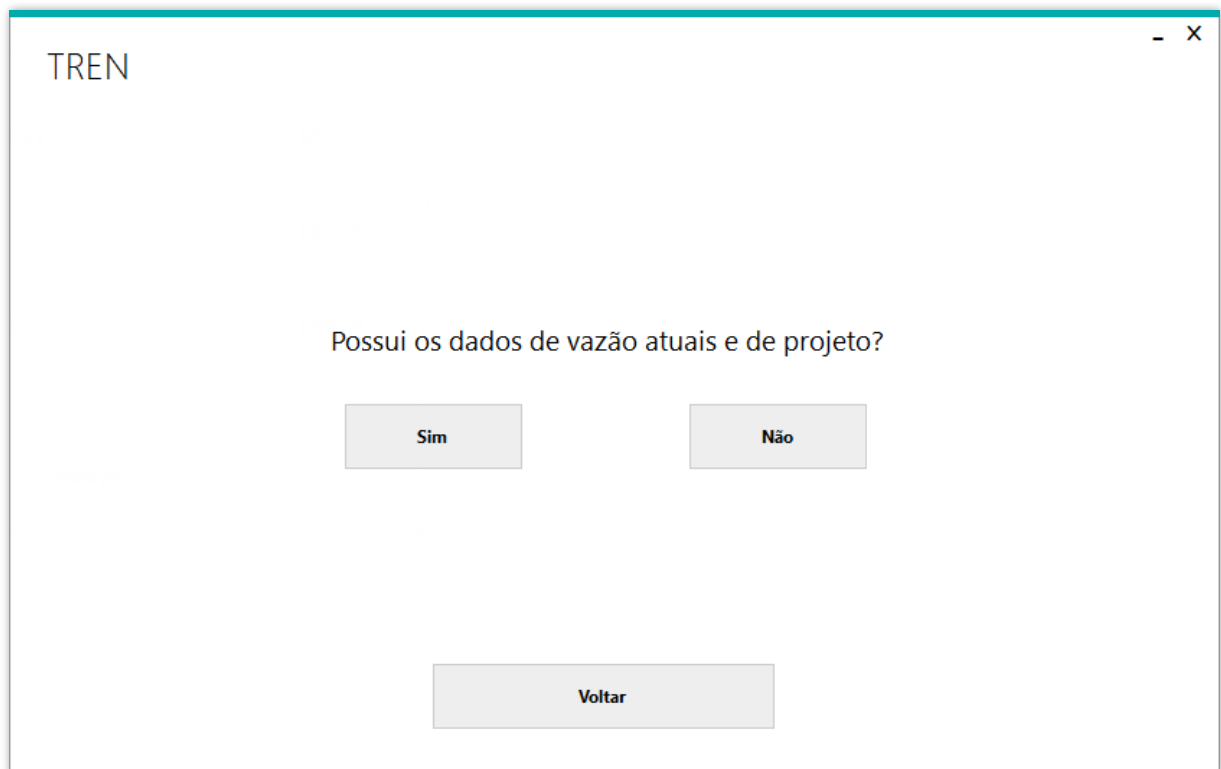
**Figura 4 - Tela de seleção de sequências coletivas**

Nesta tela da figura 4, podem ser selecionadas quantas sequências quanto o usuário queira a fim de ser comparadas.

Após avançar, serão requisitados os dados de entrada gerais de uma central de tratamento e os dados específicos para cada unidade presente em pelo menos uma das sequências selecionadas.

Vale informar que a palavra 'Preliminar' presente nas sequências foi uma decisão para compactar a escrita das unidades presentes no tratamento preliminar, das unidades preliminares tratadas neste trabalho, apenas a calha parshall está inclusa nesse grupo, já que a caixa SAO é mais utilizada em soluções individuais.

A partir disso, o software perguntará ao usuário se ele possui os dados de vazão atuais e de previsão para daqui a 20 anos, conforme ilustra a figura 5. Se não possuir, será direcionado a uma tela de inserção de tais dados, como mostra a figura 6.

The image shows a screenshot of a software window titled "TREN". The window has a white background and a thin blue border. In the top right corner, there are standard window control icons: a minus sign, a maximize icon, and a close 'X' icon. The main content of the window is a question in Portuguese: "Possui os dados de vazão atuais e de projeto?". Below the question, there are two rectangular buttons with a light gray background and black text. The left button is labeled "Sim" and the right button is labeled "Não". At the bottom center of the window, there is a third rectangular button, also with a light gray background and black text, labeled "Voltar".

**Figura 5 - Tela para saber se possui dados de vazão**



**TREN**

**Entrada de Dados**

População	<input type="text"/>	peessoas	Extensão da Rede	<input type="text"/>	Km
População Futura	<input type="text"/>	peessoas	Extensão Rede Futura	<input type="text"/>	Km
QPC	<input type="text"/>	L/(peessoa*dia)	Taxa de Infiltração	<input type="text"/>	L/(s*Km)
			Taxa de Infiltração Futura	<input type="text"/>	L/(s*Km)

**Voltar** **Avançar**

**Figura 6 - Tela dos dados para cálculo da vazão**

Já se o usuário tiver os valores requisitados, deverá entrá-los na tela da figura 7. Para o dimensionamento da calha parshall não é necessário nenhum dado a mais que os já inseridos anteriormente, portanto não há uma tela específica para essa unidade.

Para os cálculos referentes às unidades secundárias, é necessário que o usuário forneça o DBO que o efluente a ser tratado tem, para tal existe a tela representada pela figura 8. Esse valor é dependente entre as unidades secundárias, então a primeira unidade da sequência de unidades secundárias de cada central simulada receberá o valor integral, a segunda o valor de saída da primeira e assim sucessivamente.

TREN

Entrada de Dados

Vazão Máxima

L/s

Vazão Média

L/s

Vazão Mínima

L/s

Vazão Máxima Futura

L/s

Vazão Média Futura

L/s

Vazão Mínima Futura

L/s

População

peessoas

População Futura

peessoas

Voltar

Avançar

Figura 7 - Tela dos dados de vazão

TREN

Entrada de Dados

DBO

mg/L

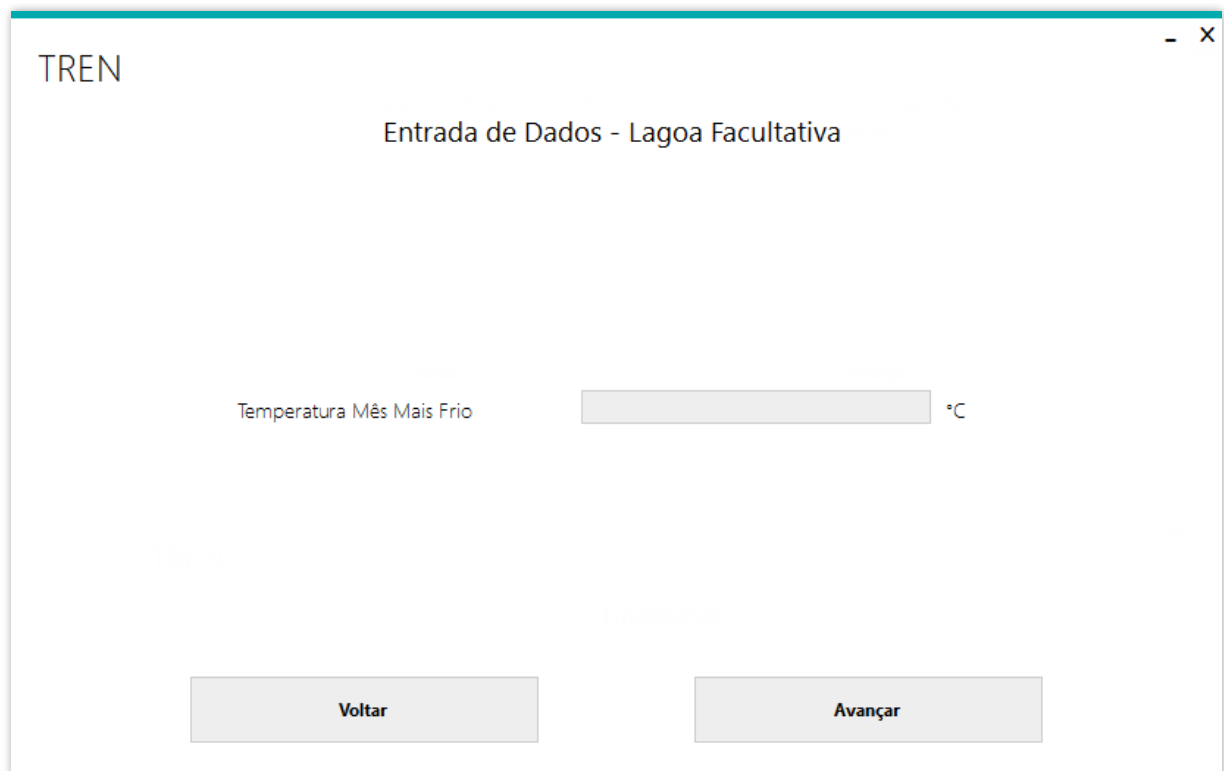
Voltar

Avançar

Figura 8 - Tela de entrada de DBO

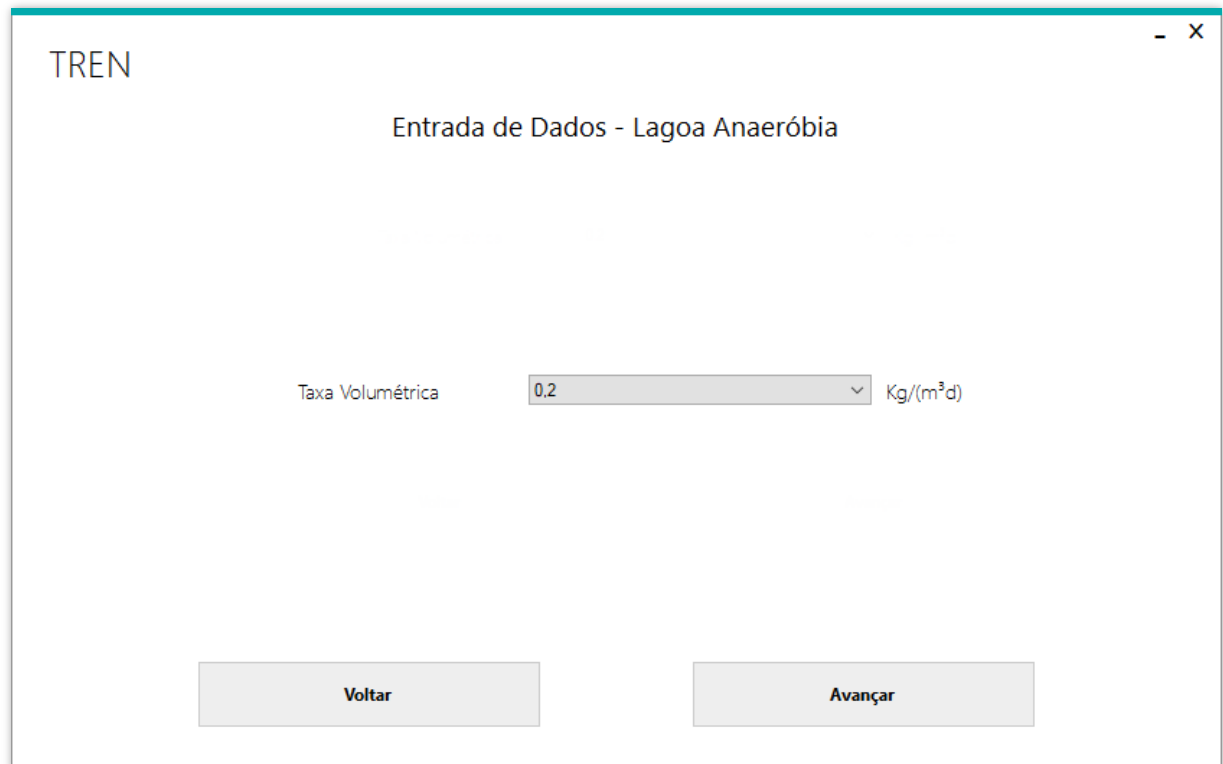
Caso a lagoa facultativa esteja presente em alguma das sequências selecionadas, eventualmente será exibida uma tela para coleta de seus dados de entrada, conforme a figura 9.

No campo 'Temperatura Mês Mais Frio', é para ser inserida a temperatura média do mês mais frio do ano na região que vai ser construída a central de tratamento, essa compactação do nome do campo bem como a forma de obter o valor são especificados no material de apoio.



**Figura 9 - Tela dos dados da lagoa facultativa**

Se a lagoa anaeróbia estiver presente em pelo menos uma das sequências selecionadas, a tela representada pela figura 10 deverá aparecer para que o usuário selecione a taxa de aplicação volumétrica. Caso a taxa selecionada seja absurda para o caso corrente, será exibida uma mensagem conforme a figura 11.



TREN

Entrada de Dados - Lagoa Anaeróbia

Taxa Volumétrica 0.2 Kg/(m³d)

Voltar Avançar

Figura 10 - Tela dos dados da lagoa anaeróbia



TREN

Entrada de Dados - Lagoa Anaeróbia

Taxa Volumétrica 0.2 Kg/(m³d)

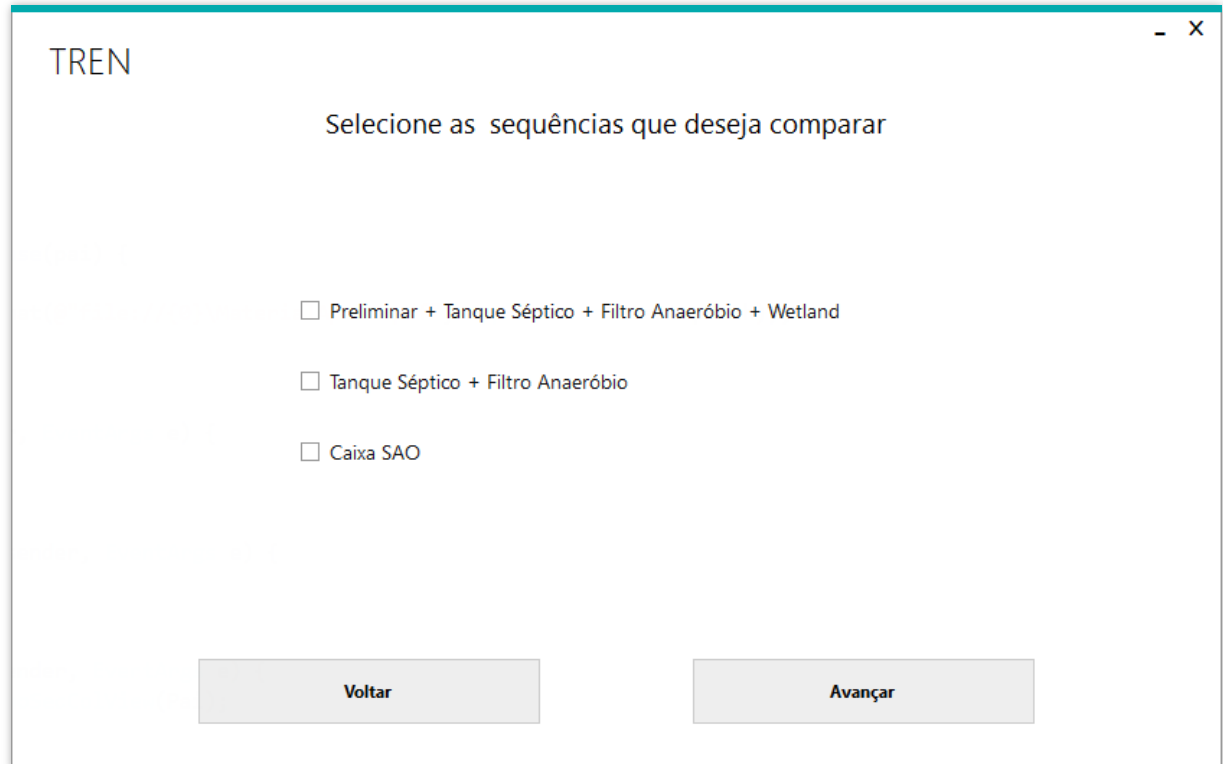
Tente outro valor para a Taxa Volumétrica

Voltar Avançar

Figura 11 - Mensagem taxa inválida

Agora, caso na tela da figura 2 o usuário escolha clicar no botão 'Sequência individual', aparecerá para ele uma lista para seleção conforme a figura 12.

Assim como no caso das sequências coletivas, as telas das figuras 5, 6 e 7 serão exibidas para entrada dos dados de vazão, e se a caixa SAO estiver presente em alguma das sequências selecionadas a tela da figura 13 será exibida.



A interface de usuário é uma janela com o título 'TREN' no canto superior esquerdo e ícones de minimizar e fechar no canto superior direito. O texto principal no topo da janela diz 'Selecione as sequências que deseja comparar'. Abaixo disso, há uma lista de três opções, cada uma precedida por uma caixa de seleção vazia: 'Preliminar + Tanque Séptico + Filtro Anaeróbio + Wetland', 'Tanque Séptico + Filtro Anaeróbio' e 'Caixa SAO'. Na base da janela, há dois botões retangulares cinza: 'Voltar' à esquerda e 'Avançar' à direita.

**Figura 12 - Tela de seleção de sequências individuais**

The screenshot shows a software window titled 'TREN' with a subtitle 'Entrada de Dados - Caixa SAO'. It contains three input fields for data entry: 'Viscosidade Absoluta' (unit: g/(cm\*s)), 'Densidade Óleo' (unit: g/cm³), and 'Fator de Turbulência'. At the bottom, there are two buttons: 'Voltar' (Back) and 'Avançar' (Next).

**Figura 13 - Tela entrada de dados caixa SÃO**

Na tela de dados da caixa SAO existem três campos de entrada de dados: viscosidade absoluta, densidade óleo, que representa a densidade do óleo que a caixa deve remover, e fator de turbulência.

Após todos os dados inseridos, o software terá completado todos os cálculos e o relatório pode ser gerado ao clicar no botão 'Gerar Relatório' ilustrado na figura 14.



**Figura 14 - Tela de finalização**

Ao gerar o relatório, uma nova janela se abrirá (figura 15) com tabelas com informações de cada unidade de cada sequência selecionada e gráficos comparativos entre as possíveis ETEs, tendo a possibilidade de salvar em formato PDF.

As tabelas geradas para relatório da calha parshal, caixa SAO, lagoa facultativa e lagoa anaeróbia estão ilustradas nas figuras 16, 17, 18 e 19 respectivamente

No relatório são gerados quatro gráficos comparativos de barras entre as sequências, estes são de área total de construção, volume total, TDH e eficiência na remoção da DBO. Todos são conforme a figura 20.

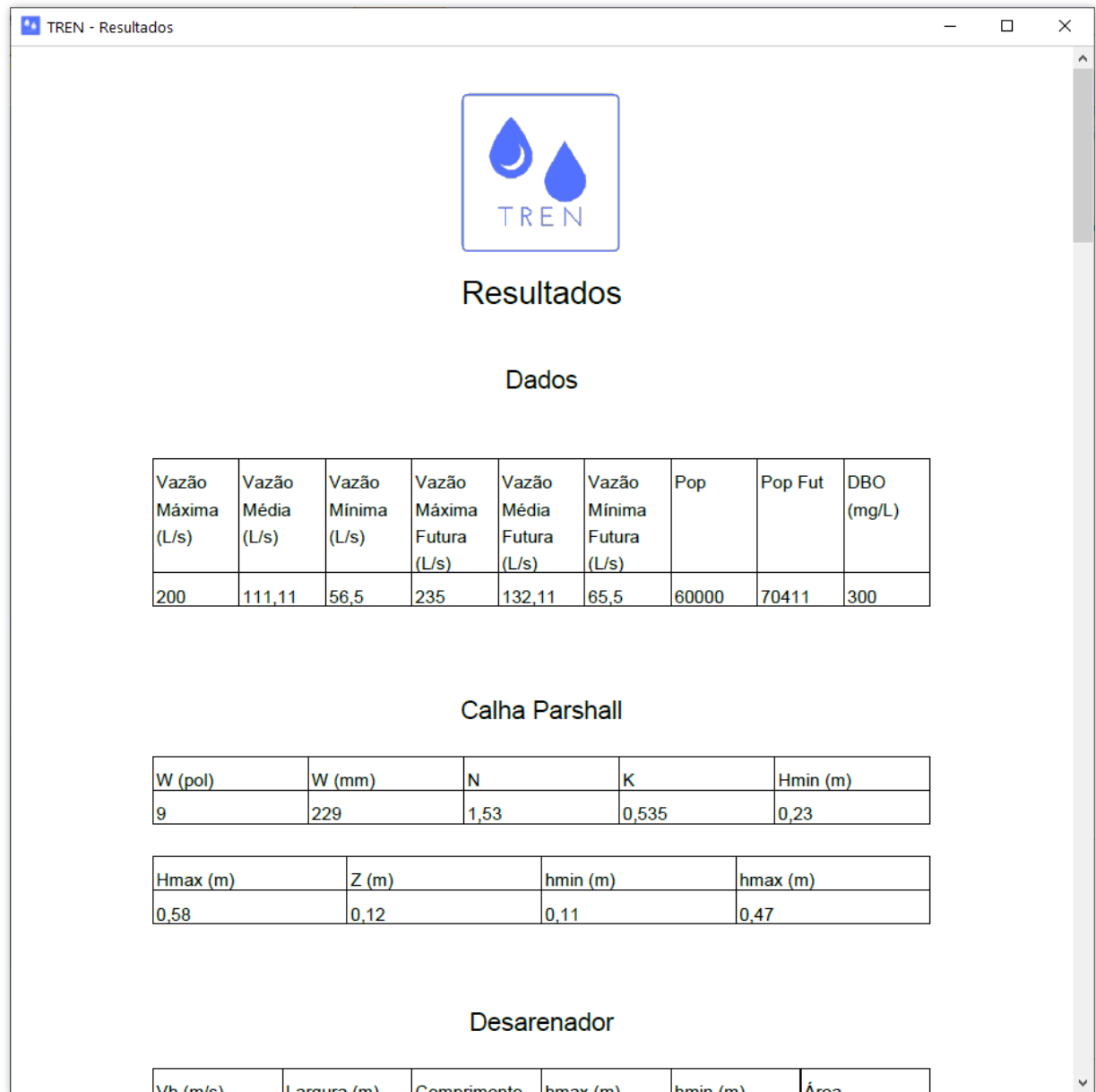


Figura 15 - Relatório final

### Calha Parshall

W (pol)	W (mm)	N	K	Hmin (m)
9	229	1,53	0,535	0,23

Hmax (m)	Z (m)	hmin (m)	hmax (m)
0,58	0,12	0,11	0,47

Figura 16 - Tabelas geradas para calha parshall



### Lagoa Facultativa

Cmax (KgDBO/ha*dia)	Ca (KgDBO/dia)	Área (m²)	Volume (m³)	Tempo de Detenção (dias)	DBO Saída (mg/L)
199,19	1720,05	86351,74	172703,49	15,06	30

Figura 17 - Tabela gerada para lagoa facultativa

### Lagoa Anaeróbia

Número de Lagoas)	TDH (dias)	Volume Unitário (m³)	Área Unitária (m²)	Comp e Largura Unitários (m)	DBO Saída (Mg/L)	Lodo Anual (m³/ano)	Esp Anual (m/ano)	Esp Futura (m/ano)
2	3	17200,51	3822,34	61,83	150	600	0,16	3,14

Figura 18 - Tabela gerada para lagoa anaeróbia

### Caixa SAO

V Vertical (cm/s)	V Horizontal (cm/s)	Área Transv (m²)	Largura (m)	Profundida de (m)	Comprime nto (m)	Vol (m³)	TDH (min)
0,05	205,11	114,57	19,54	5,86	89,11	10210,21	0,72

Figura 19 - Tabela gerada para caixa SAO

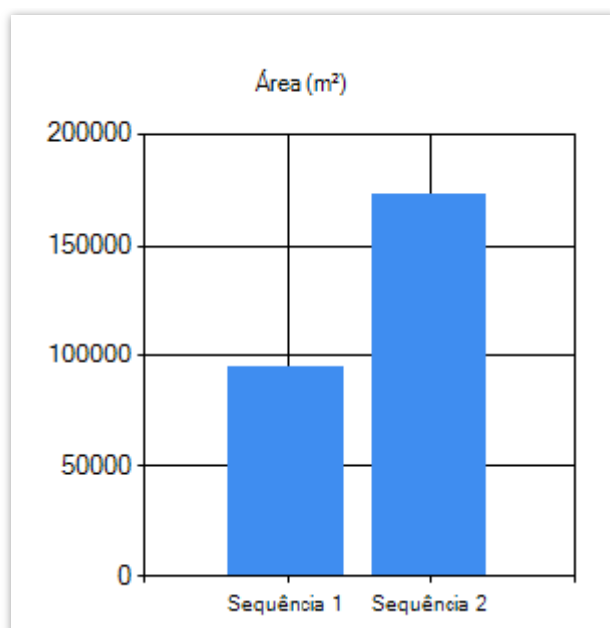


Figura 20 - Gráfico gerado para comparação de área

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS**

O processo utilizado para decidir qual ETE será mais eficiente é demorado e confuso, isso dificulta a etapa inicial para os projetistas. O software TREN faz várias simulações de centrais de tratamento e gera um relatório comparando todas elas, isso tudo utilizando dados que já deveriam ser coletados para o método tradicional.

O relatório gerado pelo TREN fornece estimativas de projeto que podem ajudar a agilizar o estudo técnico de viabilidade de centrais de tratamento de efluentes.

Durante o desenvolvimento do trabalho, ideias tiveram de ser descartadas para ser possível focar em partes mais cruciais do sistema. Era planejada a implementação de mais duas unidades: filtro anaeróbio e wetland, e de um gerenciador de fluxo de telas mais robusto, visando a ampliação futura do software.

Como trabalhos futuros podem ser implementadas novas funcionalidades como a opção do usuário montar uma sequência a partir de uma interface gráfica, e podem ser adicionadas outras unidades que não foram abordadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 SNIS, **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2017)**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/component/content/article?id=175>. Acesso em: 5 jul. 2019.
- 2 ANDRADE, Verônica S. de; PEREIRA, Renata de O. ; SANTOS, Ana Sílvia P.. **Sistema Computacional Para Pré-Dimensionamento de Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos para Municípios de Pequeno e Médio Porte**, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.
- 3 SIGNIFICADOS. **Significado de Efluentes**. Disponível em: <https://www.significados.com.br/efluentes/>. Acesso em: 6 dez. 2019.
- 4 SPERLING, Marcos Von et al. **Treatment wetlands**. 1 ed. UK: IWA Publishing, 2017. 154 p.
- 5 SABESP. **Projeto de lagoas de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto sanitário**. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts230.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- 6 PROLAB MATERIAS PARA LABORATÓRIOS. **O que é viscosidade de um fluido?**. Disponível em: <http://www.prolab.com.br/blog/curiosidades/o-que-e-viscosidade-de-um-fluido/>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- 7 Prepared by a Joint Working Group of the Ministry for the Environment, local authorities, and petroleum marketing companies. **Environmental Guidelines for Water Discharges from Petroleum Industry Sites in New Zealand**, Wellington, New Zealand, 1998. 130 p.
- 8 PORTO, Rodrigo De Melo. **Hidráulica básica**. 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.

- 9 CANDIAN, Guilherme Bassoto; MAGALHÃES, Ana Dávila de. **Software para Estudo de Viabilidade da Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos**, Universidade Federal de Viçosa, 2019. 133 p.
- 10 SPERLING, Marcos Von. **Lagoas de estabilização: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 134 p.
- 11 SPERLING, Marcos von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 470 p.
- 12 CONCEITO DE. **Conceito de Viabilidade**. Disponível em: <https://conceito.de/viabilidade>. Acesso em: 7 dez. 2019.
- 13 SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. 8.ed. Boston: Pearson, 2006. 768p.
- 14 GAMMA, Erich et al. ***Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software***. 1. ed. Estados Unidos: Addison-Wesley, 1994. 395p.

## APÊNDICE A - Requisitos funcionais e não-funcionais

F1 Relatório				Oculto ( )
<b>Descrição:</b> O sistema deverá ser capaz de criar um relatório com detalhes sobre cada unidade de cada sequência escolhida pelo usuário, tornando possível uma fácil comparação entre elas.				
Requisitos Não-Funcionais				
Nome	Restrição	Categoria	Desejável	Permanente
<b>NF 1.1</b> Gerar PDF do relatório	O Sistema deverá ser capaz de gerar um arquivo PDF do relatório	Usabilidade	(x)	( )
<b>NF 1.2</b> Exibir relatório	O sistema deverá exibir o relatório gerado	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 1.3</b> Gerar tabelas	O sistema deverá gerar tabelas de cada unidade para adicionar ao relatório	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 1.4</b> Gerar gráficos	O sistema deverá ser capaz de gerar gráficos comparativos entre cada sequência selecionada	Usabilidade	( )	(x)

F2 Dimensionamento de Calha Parshall				Oculto ( )
<b>Descrição:</b> O sistema irá receber dados do usuário e realizará o dimensionamento de uma Calha Parshall.				
Requisitos Não-Funcionais				
Nome	Restrição	Categoria	Desejável	Permanente
<b>NF 2.1</b> Inserção de dados do	O usuário deve fornecer os dados necessários para os	Usabilidade	( )	(x)

usuário	cálculos			
<b>NF 2.2</b> Validar entrada	O sistema deve validar os valores passados pelo usuário	Segurança	( )	(x)

<b>F3 Dimensionamento Caixa SAO</b>				<b>Oculto ( )</b>
<b>Descrição:</b> O sistema irá receber dados do usuário e realizará o dimensionamento de uma Caixa SAO.				
<b>Requisitos Não-Funcionais</b>				
<b>Nome</b>	<b>Restrição</b>	<b>Categoria</b>	<b>Desejável</b>	<b>Permanente</b>
<b>NF 3.1</b> Inserção de dados do usuário	O usuário deve fornecer os dados necessários para os cálculos	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 3.2</b> Validar entrada	O sistema deve validar os valores passados pelo usuário	Segurança	( )	(x)

<b>F4 Pré-Dimensionamento de Lagoa Facultativa</b>				<b>Oculto ( )</b>
<b>Descrição:</b> O sistema irá receber dados do usuário e realizará o pré-dimensionamento de uma Lagoa Facultativa.				
<b>Requisitos Não-Funcionais</b>				
<b>Nome</b>	<b>Restrição</b>	<b>Categoria</b>	<b>Desejável</b>	<b>Permanente</b>
<b>NF 4.1</b> Inserção de dados do usuário	O usuário deve fornecer os dados necessários para os cálculos	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 4.2</b> Validar entrada	O sistema deve validar os valores passados pelo usuário	Segurança	( )	(x)

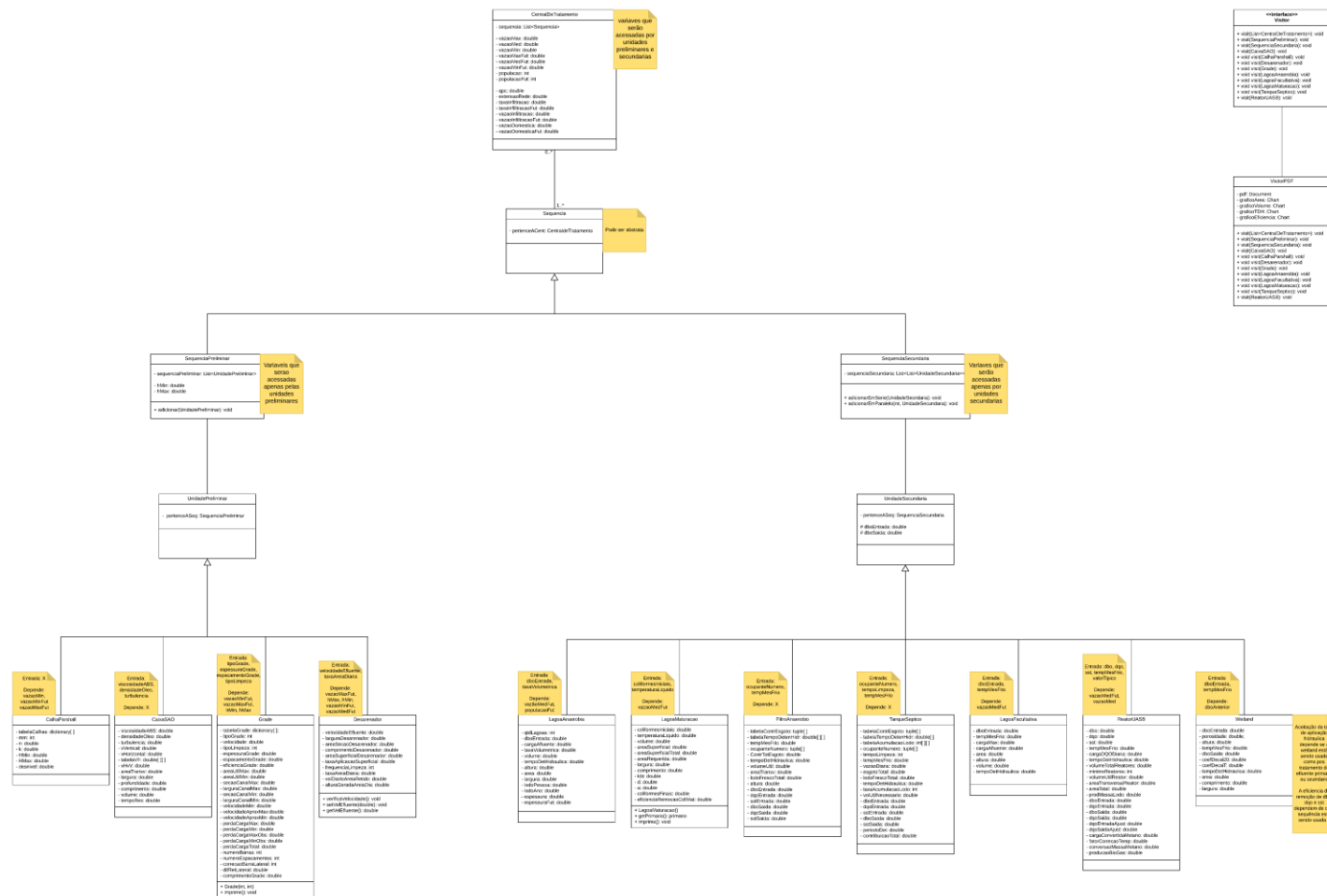
<b>F5</b> Pré-Dimensionamento de Lagoa Anaeróbia				<b>Oculto ( )</b>
<b>Descrição:</b> O sistema irá receber dados do usuário e realizará o pré-dimensionamento de uma Lagoa Anaeróbia.				
<b>Requisitos Não-Funcionais</b>				
<b>Nome</b>	<b>Restrição</b>	<b>Categoria</b>	<b>Desejável</b>	<b>Permanente</b>
<b>NF 5.1</b> Inserção de dados do usuário	O usuário deve fornecer os dados necessários para os cálculos	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 5.2</b> Validar entrada	O sistema deve validar os valores passados pelo usuário	Segurança	( )	(x)

<b>F6</b> Navegação de telas				<b>Oculto ( )</b>
<b>Descrição:</b> O sistema deverá gerenciar as telas a serem exibidas de acordo com as sequências selecionadas pelo usuário.				
<b>Requisitos Não-Funcionais</b>				
<b>Nome</b>	<b>Restrição</b>	<b>Categoria</b>	<b>Desejável</b>	<b>Permanente</b>
<b>NF 6.1</b> Seleção das sequências	O usuário deve selecionar quais sequências deseja comparar	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 6.2</b> Avançar tela	O sistema deve ser capaz de avançar para a próxima tela	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 6.3</b> Voltar tela	O sistema deve ser capaz de voltar para a tela anterior	Usabilidade	( )	(x)
<b>NF 6.4</b> Manter	O sistema deve ser capaz de manter os	Usabilidade	(x)	(x)

dados de entrada	dados preenchidos caso o usuário volte de tela			
<b>NF 6.2</b> Evitar telas de entrada redundantes	O sistema deve exibir apenas telas com valores ainda não inseridos pelo usuário	Usabilidade	(x)	(x)



## APÊNDICE B - Diagrama de classes



**Figura 21 - Diagrama de Classes**

Fonte: <https://github.com/Filipe-MN/ProjetoTCC/blob/master/Diagrama%20de%20Classes%20Tren.pdf>

## ANEXO A - Roteiros de cálculo

CANDIAN, Guilherme Bassoto; MAGALHÃES, Ana Dávila de. **Software para Estudo de Viabilidade da Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos**, Universidade Federal de Viçosa, 2019. 133 p.

### ROTEIRO DE DIMENSIONAMENTO DO TRATAMENTO PRELIMINAR

Para o pré-dimensionamento das unidades do tratamento preliminar, torna-se necessário em primeiro momento encontrar as vazões (volume sobre tempo) mínimas, médias e máximas do efluente atual, bem como a previsão para um determinado tempo futuro para estes mesmos valores (normalmente associado a 20 anos). Todo o dimensionamento das unidades é feito com os valores futuros para que não tenham valores de largura, altura, profundidade e outros, subestimados. Esses valores podem aumentar, diminuir ou permanecerem constantes quando se está dimensionando para indústrias e outros comércios por exemplo.

Sendo assim, a primeira pergunta para o usuário deverá ser: possui as vazões mínima, média e máxima atuais e para daqui a 20 anos ? Se sim, o programa irá pular para os cálculos da calha Parshall (próximo tópico deste documento). Se não, o usuário deverá fornecer a população atual (unidade: habitantes) e a de daqui a 20 anos para determinado bairro ou cidade (o usuário deverá descobrir por si mesmo a população do futuro por algum método que queira, disponível na literatura ou outras fontes bibliográficas). Após ele informar os dois valores para as populações, ele deverá informar também o índice chamado Quota Per Capita, QPC (unidade: Litros/(hab\*dia)). Para esse índice, o programa pode sugerir o valor de 300 Litros/(hab\*dia) como algo mais usado, mensagem esta deixada abaixo do retângulo de digitação da opção. Ele deverá informar também o valor da extensão da rede coletora de esgoto atual (unidade: km), a taxa de infiltração atual e a taxa de infiltração de daqui a 20 anos (unidade: Litros/(segundo\*km)). Com o valor do QPC e das populações, o programa deverá calcular os valores das vazões domésticas (atual e daqui a 20 anos) pela fórmula:

$$Q_d \text{ (vazão doméstica em Litros/segundo)} = ((QPC \times Pop \times 0,8)/86400)$$

O programa também deve calcular o valor da vazão de infiltração atual e daqui a 20 anos pela fórmula:

$$Q_{inf} \text{ (Litros/segundo)} = \text{Extensão da rede(Km)} \times \text{taxa de infiltração(Litros/(segundo.Km))}$$

Esse processo deve gerar então 2 valores para a vazão de infiltração.

De posse dos valores das vazões domésticas (atual e futuro) e das vazões de infiltração (atual e daqui a 20 anos). Para encontrar o valor da vazão média, segue a fórmula:

$$Q_{med} = Q_d + Q_{inf}$$

Para encontrar o valor da vazão máxima, segue a fórmula:

$$Q_{max} = 1,2 \times 1,5 \times Q_d + Q_{inf}$$

Para encontrar o valor da vazão mínima, segue a fórmula:

$$Q_{min} = 0,5 \times Q_d + Q_{inf}$$

Os resultados podem ser entregues conforme um quadro como o exemplo da tabela 1:

Tabela 1: Exemplo de retorno dos primeiros dados.

Ano	População, hab	$Q_{med}$ , L/s	$Q_{min}$ , L/s	$Q_{max}$ , L/s
2017	35.000	39	19	70
2037	52.008	73	36	119

### **CALHA PARSHALL**

Após o retorno para o usuário das vazões máximas, médias e mínimas, o programa deve retornar qual a calha Parshall que o usuário deverá usar. O dimensionamento do tratamento preliminar é feito primeiro da calha Parshall, e a partir das dimensões da calha Parshall, dimensiona-se a grade e o desarenador em sequência.

A escolha da calha Parshall é feita com base no intervalo entre a vazão mínima do ano atual e a vazão máxima de daqui a 20 anos, ou seja, no exemplo da tabela 1, esse intervalo seria de 19 a 119 L/s por exemplo. Essa escolha é feita com base na tabela 2:

Tabela 2: Tabela para escolha da calha Parshall.

W		Vazão ( $L s^{-1}$ )		n	K
mm	polegadas	$Q_{min}$	$Q_{max}$		
76	3	0,85	53,8	1,55	0,176
152	6	1,52	110,4	1,58	0,381
229	9	2,55	251,9	1,53	0,535
305	12	3,11	455,6	1,52	0,690
457	18	4,25	696,2	1,54	1,41
610	24	11,89	936,7	1,55	1,43
915	36	17,26	1426	1,56	2,18
1220	48	36,79	1921	1,57	2,94
1525	60	62,80	2422	1,58	3,70
1830	72	74,40	2929	1,59	4,52
2135	84	115,4	3440	1,60	5,32
2440	96	130,7	3950	1,61	6,10

Fonte: Notas de aula CIV 441 - Introdução ao tratamento de águas residuárias, da UFV.

Essa escolha é feita de modo que o intervalo encontrado pelo programa por meio dos valores do usuário esteja dentro do intervalo de alguma das calhas da tabela (cada linha do quadro 6 corresponde a uma calha com suas dimensões e coeficientes dispostos nas colunas e o respectivo intervalo de vazão suportada nas colunas 3 e 4). No exemplo do quadro 5, no qual o intervalo encontrado entre  $Q_{min}$  e  $Q_{max}$  é de 19 e 119 L/s, o programa encontraria 5 possibilidades de calhas, mostradas com as setas do lado esquerdo do quadro 6. Como deve-se escolher uma calha dentre essas 5 possibilidades, a calha mais adequada é aquela que possui o menor intervalo entre  $Q_{min}$  e  $Q_{max}$  da tabela (ou seja, o código deve fazer uma subtração entre os valores da 4ª coluna e da 3ª coluna e identificar o menor valor desta subtração, sendo correspondente da calha mais adequada). No exemplo do quadro 5, a calha mais adequada é a da 3ª linha, no qual possui  $W = 229$  mm, representada pela seta de cor laranja.

A seguir o programa deve usar os valores de “K” e “n” da calha escolhida presentes no quadro 5 (no exemplo em questão, K = 0,535 e n = 1,53) para calcular e retornar ao usuário os valores de Hmin (metros) e Hmax (metros) na calha Parshall. Para isso deve-se usar as fórmulas:

$$H_{min} = ((Q_{min}/1000)/K)^{(1/n)}$$

$$H_{max} = ((Q_{max}/1000)/K)^{(1/n)}$$

A seguir o programa deve retornar também o valor do rebaixo na entrada da calha Parshall, sendo que na figura 1 é o valor para “Z”. O valor de Z é:

$$Z = (Q_{max} \times H_{min} - Q_{min} \times H_{max}) / (Q_{max} - Q_{min})$$

A seguir o programa deve retornar também os valores das lâminas de água antes do rebaixo hmin e hmax, sendo encontradas pelas fórmulas;:

$$h_{min} = H_{min} - Z$$

$$h_{max} = H_{max} - Z$$

### **CAIXA SEPARADORA ÁGUA E ÓLEO**

No caso das caixas SAO, normalmente são utilizadas sozinhas para tratar efluentes de borracharias, postos de gasolina, garagens e outros estabelecimentos cujo efluente pode conter óleos e graxas. É importante dizer que, segundo o CONAMA, o teor de óleo nos efluentes da caixa (saída da mesma) não deve ser superior a 20 mg/L. Além disso, a remoção é para óleos livres (aquele que não é misturado com água, sendo visível) e não óleos emulsionados ou aderidos. Por fim, essa caixa aqui dita é a API (American Petroleum Institute).

Em ambos os casos, se o usuário escolher tratamentos com uma unidade ou tratamentos mais complexos com tratamento biológico, o programa deve perguntar a viscosidade absoluta do efluente ( $\mu$ ) em g/(cm.s), densidade do óleo ( $P_o$ ) em g/cm<sup>3</sup> e o fator turbulência (F) para esta etapa que é da caixa SÃO. Para o fator F, deverão ser oferecidas 5 opções fixas para escolha do usuário que serão usadas para calcular a proporção  $V_h/V_t$ . Sendo  $V_h$  a velocidade horizontal do efluente na unidade em cm/s e  $V_t$  a velocidade vertical de ascensão do óleo em cm/s. As informações de

como obter tais variáveis estarão no material didático para o usuário. As associações de valores que o programa deve fazer se encontram na Tabela 3

Tabela 3: Associações de valores para F e Vh/Vt.

Vh/Vt	F
3	1,28
6	1,37
10	1,52
15	1,64
20	1,74

Com o valor de F, o programa acha o valor de Vh/Vt. Dessa forma, o primeiro cálculo é dado pela fórmula:

$$V_t \text{ (cm/s)} = (980 \times (0,015^2) \times (0,999 - P_o)) / (18 \times \mu)$$

Logo após, com a proporção Vh/Vt calculada pelo programa por meio de F, tem-se:

$$V_h \text{ (cm/s)} = (V_h/V_t) \times V_t$$

Logo após, o programa deve calcular a área transversal (Ac, em m²), dada por:

$$A_c \text{ (m}^2\text{)} = (Q_{\max} \times 100) / V_h \gg \gg \text{ A resposta sairá em m}^2.$$

Logo após, a largura (B) da caixa SAO dada em metros:

$$B \text{ (m)} = (A_c / 0,3)^{1/2}$$

Com a largura (B) em metros, tem-se a profundidade do separador dada por:

$$d \text{ (m)} = 0,3 \times B$$

O comprimento (L) da caixa SAO, dada em metros:

$$L \text{ (m)} = F \times (V_h/V_t) \times d$$

O programa deve então calcular o volume da caixa SAO (Vo), dada em m³ por:

$$V_o \text{ (m}^3\text{)} = L \times B \times d$$

Assim, o tempo de residência do efluente na unidade (T) em minutos é dado por:

$$T \text{ (min)} = (V_o/Q_{\text{máx}})/60$$

Todas essas informações ( $V_t$ ,  $V_h$ ,  $A_c$ ,  $B$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $V_o$ ,  $T$ ) poderá ser oferecida ao usuário em uma tabela padrão com as unidades (Tabela 4):

Tabela 4: Representação das respostas apresentadas ao usuário.

$V_t$ (cm/s)	$V_h$ (cm/s)	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$B$ (m)	$d$ (m)	$L$ (m)	$V_o$ (m <sup>3</sup> )	$T$ (min)

## ROTEIRO DE DIMENSIONAMENTO DA LAGOA ANAERÓBIA

Esta unidade sempre deve ser precedida de tratamento preliminar, por este motivo, os dados de vazão já terão sido calculados, e a vazão ( $Q_{\text{med}}$ ) considerada no dimensionamento deve ser a média estimada para daqui 20 anos. Deverá ser pedido ao usuário a concentração de DBO no efluente ( $S_0$ ), que pode ser obtida por análise, pode ser estimada de acordo com as condições da população local, ou pode ser adotado um valor geral de 300 mg DBO/L. Por este motivo, ao lado da caixa de resposta do usuário deverá ter a opção “adotar valor padrão de 300 mg DBO/L” no início do programa. Lembrando que nenhuma pergunta deve ser feita depois do tratamento preliminar. Todos os dados que o usuário colocar, devem estar antes do preliminar, ou seja, no começo.

Com o valor da vazão e concentração que o usuário escolher, o programa deve calcular o valor da carga afluente (que vem antes),  $L$  (kgDBO/dia), de DBO. Para essa unidade, o programa irá usar valores fixos nas fórmulas seguintes para algumas variáveis.

Assim sendo, o usuário deve encontrar o volume pela taxa de aplicação volumétrica ( $L_v$ ). O programa deve oferecer 3 opções para adoção de  $L_v$ , sendo 0,1; 0,2 e 0,3 kgDBO/(m<sup>3</sup>).d.

Logo após ele escolher um dos três valores, o programa deve calcular o volume da lagoa ( $V$ ,  $m^3$ ):

$$V = L/L_v$$

Logo após, deve-se verificar o tempo de detenção hidráulica ( $t$ , dias), pela fórmula:

$$t = V/Q_{med}$$

Esse tempo deve ser entre 3 a 6 dias ( $3 \leq t \leq 6$ ). Se o valor não for entre 3 e 6, o programa deve retornar para o usuário para que mude o valor de  $L_v$  até que encontre o tempo adequado.

Seguindo em frente, o programa deve calcular os valores das dimensões da lagoa. Para a lagoa anaeróbia, a profundidade ( $H$ ) será fixa em 4,5 metros e a área será quadrada. Logo a área ( $A$ ,  $m^2$ ) é dada por:

$$A = V/4,5$$

Se a área ( $A$ ) for maior que 2000  $m^2$ , o programa deve emitir um aviso para o usuário para que ele adote 2 lagoas. A largura e o comprimento ( $C$ ) de cada lagoa (se for mais de uma) serão iguais valendo:

$$1 \text{ lagoa} - \text{Se } "A < 2000 \text{ m}^2" \ggggg C = A^{(1/2)} = (V/4,5)^{(1/2)}$$

$$2 \text{ lagoas} - \text{Se } "A \geq 2000 \text{ m}^2" \ggggg C = (A/2)^{(1/2)} = (V/9)^{(1/2)}$$

Para calcular o valor da concentração efluente (que vem depois),  $S$  (mg/l), de DBO no esgoto, o programa deve usar a fórmula:

$$S = S_o * 0,5 \ggg \text{ considerando } 50\% \text{ de eficiência de remoção de DBO.}$$

Em relação ao acúmulo de lodo na lagoa anaeróbia, o programa irá adotar um valor de 0,01  $m^3/(\text{hab} \cdot \text{ano})$  para a taxa de acúmulo ( $m^3/\text{ano}$ ). Logo

$$\text{Acumulação anual } (m^3/\text{ano}) = 0,01 * (\text{número de habitantes})$$

Espessura em 1 ano:



$$\text{Espessura (m/ano)} = \text{Acumulação anual} / A$$

$$\text{Espessura em 20 anos de operação} = \text{Espessura} \times 20$$

Estes valores poderão ser entregues como na Tabela 5:

Tabela 5: Representações de valores apresentadas ao usuário.

Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)	Concentração final (mg/l)	Acumulação anual	Espessura anual	Espessura em 20 anos

## ROTEIRO DE DIMENSIONAMENTO DA LAGOA FACULTATIVA

Esta unidade sempre deve ser precedida de tratamento preliminar, por este motivo, os dados de vazão já terão sido calculados, e a vazão (Q) considerada no dimensionamento deve ser a média estimada para daqui 20 anos. Deverá ser pedido ao usuário a concentração de DBO no efluente ( $L_0$ ), que pode ser obtida por análise, pode ser estimada de acordo com as condições da população local, ou pode ser adotado um valor geral de 300 mg DBO/L. Por este motivo, ao lado da caixa de resposta do usuário deverá ter a opção “adotar valor padrão de 300 mg DBO/L”. Além disso deve ser pedido para que o usuário forneça a temperatura média do mês mais frio (T).

O primeiro passo deve ser o cálculo da carga máxima (C) a ser aplicada na lagoa, em termos de kg DBO/ha.d, segundo a equação:

$$C \text{ (kgDBO5/ha.d)} = 350 \times (1,107 - 0,002 \times T)(T - 25)$$

Em seguida obtém-se a carga afluente a lagoa, dada pela equação:

$$C_a \text{ (kg/d)} = Q \text{ (m}^3\text{/d)} \times L_0 \text{ (mg DBO/L)} / 1000$$

Deve então ser calculada a área necessária (A) para a construção da lagoa:

$$A \text{ (m}^2\text{)} = C_a C \times 10000$$

Num dimensionamento de lagoa facultativa, geralmente o projetor escolhe um valor para a profundidade da lagoa dentro de um intervalo. Contudo, para o estudo de viabilidade o programa deve considerar que essa profundidade  $h$  é sempre igual a 2,0 m. Dado isso calcula-se o volume da lagoa, que equivale ao volume a ser escavado.

$$V(m^3) = A(m^2) \times 2,0$$

Em seguida deve ser estimado o tempo de detenção hidráulica ( $T_d$ ) pela seguinte equação:

$$T_d(dias) = V(m^3) / Q (m^3/d)$$

Admitindo-se uma eficiência de 80% de remoção de DBO para a lagoa do tipo facultativa, a concentração de DBO ( $L_e$ ) após passar pela unidade será de:

$$L_e(mg\ DBO/L) = 0,2 \times L_0(mg\ DBO/L)$$

Os resultados podem ser mostrados em uma tabela de resultados (Tabela 6).

Tabela 6: Representações de valores apresentadas ao usuário.

Carga máxima aplicável DBO (kgDBO/ha.dia)	Carga afluyente DBO (kgDBO/dia)	Área requerida (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Tempo de detenção hidráulica (dias)	DBO saída (mg/L)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO ANEXO A

BRASIL, **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63