



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSIELLY MATIAS ROLIM

**ESTIMATIVA AUTOMÁTICA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

João Pessoa – PB

2021

JOSIELLY MATIAS ROLIM

**ESTIMATIVA AUTOMÁTICA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba – PB, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Profº Dr. Francisco Jácome Sarmiento.

João Pessoa – PB

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R748e Rolim, Josielly Matias.

Estimativa Automática de Custos de Implantação de
Sistemas de Esgotamento Sanitário / Josielly Matias
Rolim. - João Pessoa, 2021.
76 f. : il.

Orientação: Francisco Jácome Sarmento.
TCC - Graduação - UFPB/CT.

1. Estimativa de custos. 2. Programa. 3. Saneamento.
4.
Sistemas de esgotamento sanitário. I. Sarmento,
Francisco Jácome. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSIELLY MATIAS ROLIM

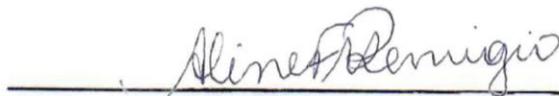
ESTIMATIVA AUTOMÁTICA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso em 03/12/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:



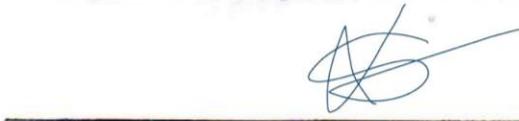
Francisco Jacome Sarmento
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA



Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA



Leonardo Vicira Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho à minha família, por todo o amor, esforço e suporte necessários para que eu chegasse até aqui. Gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida, pela força concedida e por todas as pessoas colocadas em meu caminho ao longo desta jornada.

Aos meus pais, Jozevânia e Marlon, que são meu alicerce e que, mesmo diante de todas as dificuldades, nunca mediram esforços para que eu pudesse atingir os meus objetivos. Nenhuma palavra que eu coloque aqui jamais será suficiente para agradecer por todo o amor, paciência, compreensão e cuidado.

À voinha Terezinha, por ser minha fortaleza, meu refúgio e por me apoiar em todos os momentos. À vizinha Tereza, exemplo de garra e de amor ao próximo, por sempre cuidar tão bem de mim. A vovô Zuzu, por todo o suporte e incentivo. À vovó Nazaré, pelo exemplo de força e de serviço à família. Minha gratidão eterna a vocês.

Aos demais familiares, na pessoa da minha tia Elioneide, por toda assistência oferecida e por sempre torcerem pelo meu sucesso. Que Deus abençoe e retribua a cada um.

A todos os amigos que fizeram parte desta jornada e a tornaram mais leve. Em especial, a Abimael, Alexandre, Bergson, Cecília, George, Kessia, Letícia, Lucas, Nathalia, Paulinha e Raul. Muito obrigada, vocês moram no meu coração e não fazem ideia do quanto me ajudaram e me inspiraram durante esses cinco anos.

Aos meus amigos da vida que se fazem presentes, pela paciência, apoio e carinho.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, honrada instituição pública, por terem proporcionado tantos aprendizados ao longo desta caminhada. Em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Jácome Sarmiento, por toda ajuda, disponibilidade e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Prof.^a Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes e ao Prof. Dr. Leonardo Vieira Soares, que se dispuseram a participar da banca examinadora do trabalho de conclusão de curso.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os que, direta ou indiretamente, colaboraram para com esse ciclo que hoje chega ao fim.

Obrigada a todos, de todo meu coração!

“Quando a educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser o opressor”

(Paulo Freire)

RESUMO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) aponta que cada US\$1.0 investido em saneamento gera uma economia de US\$4.3 em saúde. Apesar disso, ainda existe um grande déficit de acesso aos serviços básicos no Brasil, sobretudo no que diz respeito ao esgotamento sanitário. É urgente, portanto, a necessidade de planejamento voltado para o atendimento com rede de esgoto, tratamento e destinação correta do lodo, tarefa que requer cautela e criteriosos estudos técnico-econômicos. Nesse sentido, o objetivo principal do trabalho foi a automatização do cálculo das estimativas de custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário, visando oferecer subsídios à tomada de decisões no setor. O programa foi desenvolvido no *Visual Studio*, utilizando a linguagem de programação *Visual Basic*. Inicialmente, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica acerca das principais unidades que compõem um sistema de esgotamento sanitário (rede coletora, interceptores, estações elevatórias, emissários, estações de tratamento, e tratamento do lodo de esgoto). Em seguida, foi desenvolvida a interface do programa, bem como toda a sequência lógica de instruções, com posterior realização de testes a fim de verificar se os resultados obtidos e as automações estavam sendo realizadas corretamente. Por fim, foi desenvolvido um programa que permite a estimativa de custos de implantação para todas as unidades de um SES, atualizados para a data desejada, mediante o fornecimento de alguns dados por parte do usuário, uma ferramenta propícia para acelerar o processo de avaliação de alternativas de projeto nesse setor, tendo, ainda, sido demonstrada sua funcionalidade através da aplicação em uma situação real para a cidade de Bom Jesus – PB.

Palavras-chave: Estimativa de custos. Programa. Saneamento. Sistemas de esgotamento sanitário.

ABSTRACT

The World Health Organization (WHO) points out that every US\$1.0 invested in sanitation generates a US\$4.3 saving in health. Despite this, there is still a large deficit in access to basic services in Brazil, especially with regard to sanitary sewage. It is urgent, therefore, the need for planning directed to the attendance with sewage system, treatment and correct destination of the sludge, a task that requires caution and careful technical-economics studies. In this sense, the main objective of the work was to automate the calculation of cost estimates for the implementation of sanitary sewage systems, aiming to provide subsidies for decision making in the sector. The program was developed in Visual Studio, using the Visual Basic programming language. Initially, a broad bibliographic review was carried out about the major units that compose a sanitary sewage systems (collecting system, interceptors, pumping stations, outfalls, treatment stations, and sewage sludge treatment). Next, the program's interface was developed, as well as the entire logical sequence of instructions, with subsequent testing to verify that the results obtained and the automations were being correctly performed. Finally, a program was developed that allows the estimation of implementation costs for all units of a sanitary sewage systems, updated for the desired date, through the providing some data by the user, a propitious tool to accelerate the process of evaluation of project alternatives in this sector, and, furthermore, its functionality was demonstrated through the application in a real situation for the city of Bom Jesus - PB.

Keywords: Cost estimates. Program. Sanitation. Sanitary sewage systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índices de atendimento e tratamento de esgoto no Brasil.....	20
Figura 2 - Índice de atendimento total de esgoto.	21
Figura 3 - Tratamento preliminar.	26
Figura 4 - Sistemas de lagoas de estabilização.....	27
Figura 5 - Sistemas de lodos ativados.	29
Figura 6 - Sistemas aeróbios com biofilme.	30
Figura 7 - Sistemas anaeróbios.....	31
Figura 8 - Sistemas de disposição no solo.....	33
Figura 9 - Interface do programa.....	61
Figura 10 - ComboBox população de saturação da sub-bacia.	62
Figura 11 - ComboBox nível de declividade do terreno.	62
Figura 12 - ComboBox situação da área de implantação.	63
Figura 13 - ComboBox uso do solo.....	63
Figura 14 - ComboBox tipo de material da linha de recalque.....	64
Figura 15 - ComboBox tipo do processo de tratamento do esgoto.	65
Figura 16 - Desabilitação do GroupBox tratamento do lodo de esgoto com base no tipo de processo de tratamento de esgoto selecionado.	65
Figura 17 - ComboBox processo de secagem do lodo.	66
Figura 18 - ComboBox mês para atualização financeira.....	67
Figura 19 - ComboBox ano para atualização financeira.	67
Figura 20 - Aviso de referência inicial válida para atualização financeira.	68
Figura 21 - Aviso de referência final válida para atualização financeira.	68
Figura 22 - Aba de apresentação dos resultados.	69
Figura 23 - Mapa de localização da cidade de Bom Jesus-PB.....	73
Figura 24 - Dados na interface para estimativa de custos da rede coletora e interceptores, da EE1 e do EMR-1.	75
Figura 25 - Estimativa dos custos da rede coletora e interceptores, da EE1 e do EMR-1.....	76
Figura 26 - Dados na interface para estimativa de custos da EE2 e do ERM-2.....	76
Figura 27 - Estimativa dos custos da EE2 e do EMR-2.	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes dos dados dos custos de SES utilizados por Pacheco em sua tese de mestrado.	38
Quadro 2 - Custo da RCE para solo favorável e baixa urbanização.	42
Quadro 3 - Custo da RCE para solo desfavorável e baixa urbanização.	42
Quadro 4 - Custo da RCE para solo favorável e alta urbanização.	42
Quadro 5 - Custo da RCE para solo desfavorável e alta urbanização.	43
Quadro 6 - Diâmetros comerciais em PRFV.	50
Quadro 7 - Diâmetros comerciais em RPVC.	51
Quadro 8 - Índice Nacional da Construção Civil – INCC.	58
Quadro 9 - Quadro resumo comparativo dos custos de implantação.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da composição diametral da rede de transporte de esgoto para cada faixa de população.	41
Tabela 2 - Densidades demográficas e extensões médias de arruamentos por hectare.	45
Tabela 3 - Diâmetros comerciais em FoFo.	49
Tabela 4 - Diâmetros comerciais em PEAD.	49
Tabela 5 - Diâmetros comerciais em PVC deFoFo.	50
Tabela 6 - Características das estações elevatórias projetadas.	74
Tabela 7 - Características dos emissários de recalque.	74
Tabela 8 - Investimentos previstos no estudo de concepção.	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Caixa de passagem

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

EEE – Estação elevatória de esgoto

ETE – Estação de tratamento de esgoto

FGV – Fundação Getúlio Vargas

IBRE – Instituto Brasileiro de Economia

INCC – Índice Nacional de Custo da Construção

LR – Linha de Recalque

OMS – Organização Mundial da Saúde

PAC – Programa de Aceleração de Crescimento

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PV – Poço de visita

SES – Sistema de esgotamento sanitário

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TIL – Tubos de inspeção e limpeza

TL – Terminal de limpeza

VB – Visual Basic

VS – Visual Studio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 METODOLOGIA	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	19
2.2 CONCEITOS IMPORTANTES	21
2.2.1 Esgoto sanitário	21
2.2.2 Sistemas de esgotamento sanitário	22
2.2.3 Rede coletora de esgotos e Interceptores	23
2.2.4 Estações elevatórias de esgoto	24
2.2.5 Emissários	24
2.2.6 Estações de tratamento de esgoto	24
2.2.7 Tratamento do lodo do esgoto	34
2.2.8 Custos de implantação de SES	36
2.2.9 Atualização financeira	37
3. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA	38
3.1 REDES COLETORAS DE ESGOTO E INTERCEPTORES	39
3.2 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO.....	46
3.3 EMISSÁRIOS.....	48
3.4 TRATAMENTO DE ESGOTO	53
3.5 TRATAMENTO DE LODO DE ESGOTO	56
3.6 ATUALIZAÇÃO FINANCEIRA.....	58
4. MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA	61
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A	73

1. INTRODUÇÃO

A evidência de hábitos sanitários é histórica. Há cerca de 4000 anos, uma grande civilização ao norte da Índia já apresentava visão de saneamento através da existência de banheiros e esgotos nas construções, além de drenagem nas ruas (Rosen, 1994 *apud.* Heller, 1997). Esse fato, aliado às práticas e relatos de outros povos, evidencia que desde as antigas culturas já se havia o reconhecimento da relação saneamento e saúde.

De fato, a ausência de saneamento traz diversos impactos negativos socioambientais. A ingestão de água contaminada e o contato com solo infectado por falta de um sistema de esgotamento sanitário aumentam o risco de doenças parasitárias e infecciosas (diarreia aguda, febre tifoide, amebíase, dentre outras). Só em 2019, foram registrados 2.734 óbitos e mais de 273 mil internações em razão de doenças por veiculação hídrica (DATASUS, 2019 *apud.* Instituto Trata Brasil).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) aponta que cada US\$1.0 investido em saneamento gera uma economia de US\$4.3 em saúde. De acordo com o Instituto Trata Brasil, o valor da economia total com a melhoria das condições de saúde da população brasileira entre 2004 e 2016 foi de R\$ 1,7 bilhão, que resultou num ganho anual de R\$ 134 milhões.

Apesar da forte evidência de benefícios para a saúde pública, o processo de urbanização deu origem a áreas com elevadas concentrações populacionais em um curto espaço de tempo, o que dificultou o desenvolvimento de planos de infraestrutura sanitária adequados para as cidades. A preocupação inicial era somente afastar os esgotos sanitários, fazendo com que, muitas vezes, houvesse o lançamento *in natura* nos corpos d'água mais próximos sem tratamento algum, ou apenas com a remoção de sólidos grosseiros (Pacheco, 2011).

Ao longo dos anos, com o aumento significativo da quantidade de água necessária para consumo e para os inúmeros processos de produção, foi se tornando cada vez mais recorrente o investimento em saneamento e no tratamento do esgoto sanitário, com destaque para as décadas de 1970 e 1980 (Leoneti, Prado e Oliveira, 2011). Ainda assim, atualmente é visível o déficit de acesso a esses serviços básicos no Brasil, sobretudo no que diz respeito ao esgotamento sanitário, foco deste trabalho.

Nesse contexto, é visível a necessidade imediata de um planejamento voltado para o atendimento com rede de esgoto, tratamento e destinação correta dos sólidos resultantes das estações de tratamento (lodo de esgoto). Para isso, a fase de estudos preliminares para

concepção do sistema engloba, dentre outras avaliações, a análise técnico-econômica dos inúmeros processos e sistemas de tratamento disponíveis (Moreto, Rosso e Salvestro, 2017). A estimativa dos custos para implantação dos sistemas de esgotamento sanitário aparece, portanto, como uma etapa primordial e essencial, apesar da carência de informações financeiras de obras de saneamento no Brasil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral a automatização do cálculo das estimativas de custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário (SES), em forma de programa, uma ferramenta propícia para facilitar o desenvolvimento de estudos de concepção nessa área de saneamento.

1.1.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos desse trabalho:

- a) Desenvolver um programa de computador em Visual Basic que, apenas com a entrada de alguns dados pelo usuário e um *click* no botão, seja capaz de estimar os custos de implantação de um sistema de esgotamento sanitário nas condições impostas;
- b) Elaborar uma etapa de atualização financeira com base no mês e ano em que o usuário deseja calcular os custos;
- c) Fornecer os custos de implantação do sistema de forma individualizada por componente e o custo total, englobando todas as etapas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Conceber um SES é uma tarefa que requer cautela e criteriosos estudos técnico-econômicos, sobretudo, para determinar qual alternativa se configura como a mais viável economicamente, para os diversos componentes do sistema - rede coletora, interceptores, estações elevatórias, emissários, estações de tratamento do esgoto e disposição final (Netto, 1973 *apud*. Moreto, Rosso e Salvestro, 2017).

A escolha do tema deste trabalho se deu tendo em vista a possibilidade de oferecer subsídios à tomada de decisões no setor de saneamento, mais especificamente no que toca os serviços básicos de esgotamento sanitário, tão importantes, mas ainda tão precários no Brasil. Foi vista na ideia do programa uma oportunidade de acelerar o processo de avaliação de alternativas para o sistema, pois através da entrada de alguns dados da região de análise e de um simples *click* no botão, ter-se-ia de forma imediata uma estimativa de custos para a alternativa estudada.

A linguagem de programação utilizada neste trabalho foi o *Visual Basic* (VB), integrante do *Visual Studio* (VS), que é o ambiente para desenvolvimento de aplicativos da *Microsoft*. Além da potencialidade para o alcance dos objetivos, essa escolha se deu devido já haver, por parte da autora, uma base de conhecimentos da ferramenta, uma vez que o seu funcionamento já havia sido abordado durante a graduação, na disciplina de Programação Aplicada à Engenharia Ambiental, ministrada pelo Prof. Dr. Francisco Jácome Sarmiento, orientador deste trabalho.

De forma geral, diante do déficit brasileiro em SESs e da conseqüente recorrência de estudos, planejamento e investimentos para sanar tal falta, o que demanda uma análise técnico-econômica criteriosa na fase de concepção de projeto, optou-se por escrever uma seqüência lógica de instruções na linguagem VB para obtenção desses resultados de forma imediata e segura, oferecendo subsídios para a tomada de decisões na área.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho busca descrever as etapas executadas para a criação de um programa computacional de estimativas de custos de implantação de SESs, sendo elas:

- a) Realização de estudos preliminares;
- b) Definição da linguagem de programação a ser utilizada para elaboração do programa;
- c) Escrita e depuração do programa;
- d) Manual de utilização e aplicação em caso real;
- e) Conclusões.

A etapa de realização de estudos preliminares consistiu em uma ampla revisão bibliográfica (em artigos, trabalhos de conclusão de curso e dissertações de mestrado) acerca

de SES. Inicialmente, foi destacada a situação do saneamento básico no Brasil e, logo após, foram apresentados alguns conceitos teóricos que serão importantes para o entendimento desse trabalho, dentre os quais: esgoto sanitário, SES, rede coletora de esgotos e interceptores, estações elevatórias de esgoto, emissários, estações de tratamento de esgoto, tratamento do lodo do esgoto, custos de implantação de SES, e atualização financeira.

A segunda etapa consistiu em definir uma linguagem de programação para que se procedesse a automatização das estimativas de custos de implantação de SES, objetivo principal deste trabalho. Diante da eficiência em problemas que envolvem repetição e automação, a linguagem escolhida o *Visual Basic* (VB), integrante do *Visual Studio* (VS), conforme colocado no item 1.2 deste trabalho.

A próxima etapa consistiu em desenvolver a interface, escrever o código, e depurar o programa, de forma a proporcionar resultados rápidos e confiáveis e atingir o objetivo principal com excelência.

Executado o programa, foram realizados alguns testes para fim de conferência, de forma que foram calculadas, manualmente, algumas alternativas de implantação de SESs (o que demandou bastante tempo) e, logo após, as mesmas condições eram inseridas no programa para verificar a coerência numérica dos resultados (obtenção dos valores de forma imediata). Em todos os testes postos em prática, os resultados coincidiram. A importância desses testes consistiu em se ter assegurado que os resultados obtidos por meio do programa estavam corretos. Ainda na quarta etapa, foi produzido um manual de utilização, de forma a facilitar o entendimento da entrada de dados e obtenção dos resultados.

Ao final deste trabalho, no apêndice A, foi demonstrada a funcionalidade da ferramenta desenvolvida, com a utilização de uma situação real.

Para a criação deste programa, foi utilizado como base o trabalho desenvolvido por Pacheco (2011) em sua dissertação de mestrado. Nela, o autor colheu uma gama de informações acerca dos custos de diversos elementos de SES implantados, sobretudo, nas regiões Sul e Sudeste. Aquele autor detém o mérito pela coleta de dados, tendo em vista a carência e dificuldade para obtenção de informações relacionadas aos custos de obras de infraestrutura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

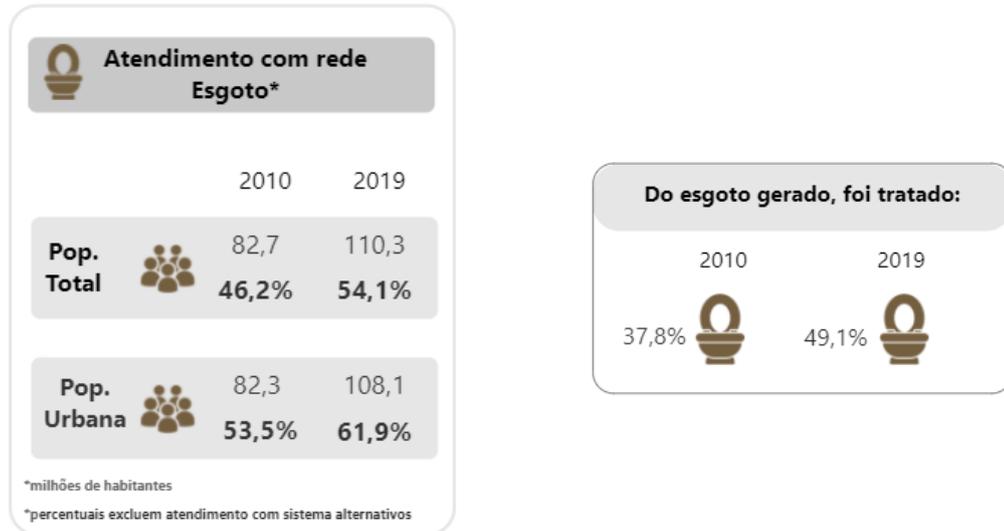
2.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

A Lei Federal nº 14.026/2021 reconhece o serviço de saneamento básico como uma política nacional, considerando-o como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável, constituído pelas atividades, pela disponibilização, pela manutenção, pela infraestrutura e pelas instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e os seus instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário, constituído pelas atividades, pela disponibilização e pela manutenção de infraestrutura e das instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até a sua destinação final para a produção de água de reuso ou o seu lançamento final no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbanas; e
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes. (Lei Federal 14.026, 2020)

A Lei Federal nº 11.445/2007, conhecida como Lei Nacional de Saneamento Básico, previu o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e assumiu a universalização desse serviço como um compromisso de toda a sociedade brasileira (Costa, 2013). Ainda em 2007, o governo criou um plano estratégico de resgate do planejamento e de retomada dos investimentos em setores estruturantes do país, incluindo a área de saneamento, que ficou conhecido como Programa de Aceleração de Crescimento (PAC).

Apesar das iniciativas colocadas, a situação do Brasil com relação à universalização desses serviços está longe do ideal. De acordo com o painel do setor de saneamento, publicado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2019, o esgotamento sanitário é o serviço básico com menor presença nos municípios brasileiros. A Figura 1 retrata os índices de atendimento com rede de esgoto e o quanto desse esgoto gerado é tratado no Brasil.

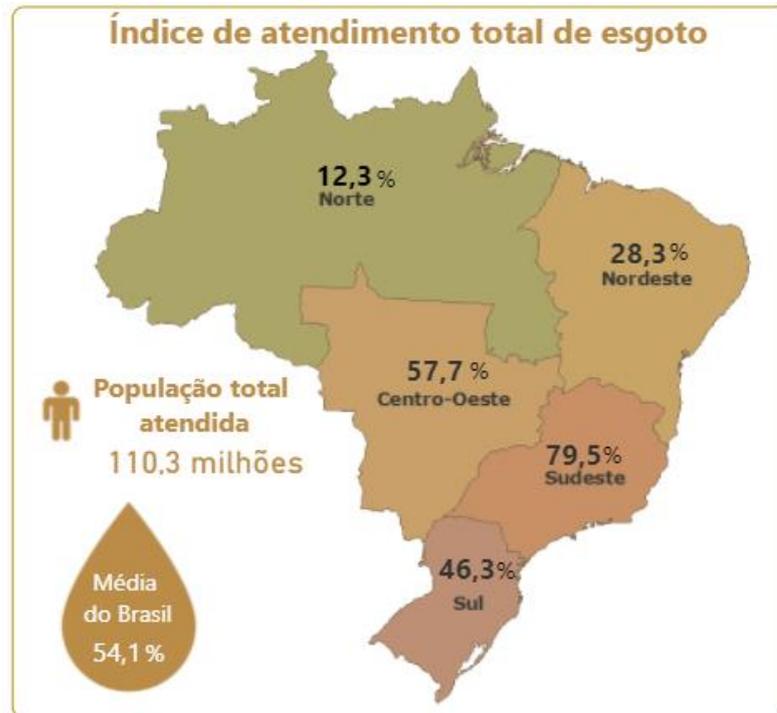
Figura 1 - Índices de atendimento e tratamento de esgoto no Brasil.

Fonte: SNIS (2019).

Conforme os dados da Figura 1, cerca de 46% da população total ainda não tem acesso às redes de esgotamento sanitário. Além disso, a maior parte (50,9%) do esgoto gerado não é tratado, sendo disposto de forma inadequada em corpos d'água, e podendo causar inconvenientes como: matérias orgânicas solúveis – inclusive produzindo gosto e odores; matérias tóxicas e íons de metais pesados; cor e turbidez; elementos nutritivos; ácidos e álcalis; materiais refratários; dentre outros perigos para os mananciais que servem como fonte de abastecimento para a população (Jordão e Pessoa, 2011 *apud*. Moreto, Rosso e Salvestro, 2017).

Esse déficit de acesso se distribui de forma desigual pelo país, sendo mais expressivo nas regiões Norte e Nordeste, conforme pode ser observado na Figura 2. Além disso, o atendimento é maior nos grandes centros do que nas periferias e no interior (BNDES, 1998). Com relação aos fatores sociais, Mejia (2003) aponta ainda que os mais pobres, comparados ao restante da população, têm menor probabilidade de obter acesso a níveis adequados de serviços.

Figura 2 - Índice de atendimento total de esgoto.



Fonte: SNIS (2019).

A ausência do serviço básico de esgotamento sanitário traz prejuízo ao desenvolvimento socioeconômico da região, prejudica o funcionamento do sistema de saúde, degrada o meio ambiente através da contaminação do solo e da água, e ainda colabora para a perda de produtividade, afetando o desenvolvimento econômico da região.

2.2 CONCEITOS IMPORTANTES

2.2.1 Esgoto sanitário

De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986, p. 1), esgoto sanitário é definido como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. O primeiro é resultado do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas proveniente de edificações residenciais, comerciais e de serviços, e dos processos industriais. A água de infiltração, por sua vez, é toda aquela proveniente do subsolo que penetra nas canalizações através das juntas, paredes, estruturas dos poços de visita, tubos de inserção e demais acessórios. Por fim, a contribuição pluvial parasitária corresponde à parcela do escoamento superficial da água das chuvas que é absorvida pela rede coletora de esgoto.

Qualitativamente, o esgoto é composto pela mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%,) (Tsutiya e Sobrinho, 1999). Os sólidos são compostos por matéria orgânica, inorgânica, nutrientes e patógenos, e por isso o esgoto deve ser coletado e tratado antes de ser destinado a um corpo d'água receptor.

2.2.2 Sistemas de esgotamento sanitário

No item 2.1, foi destacada a importância de se dar um destino adequado ao esgoto gerado pela utilização da água fornecida pelos sistemas de abastecimento. Para isso, se fazem necessárias atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final.

Conforme colocado por Tsutiya e Sobrinho (1999), os SES podem ser divididos em três tipos:

1. Sistema unitário ou combinado: os esgotos domésticos e industriais, as águas de infiltração e as águas pluviais são coletados, transportados e dispostos adequadamente por um único sistema de tubulações e unidades operacionais, ou seja, um único sistema gerencia o esgoto sanitário e as águas pluviais.
2. Sistema separador absoluto: os esgotos domésticos e industriais, e as águas de infiltração são coletados, transportados e tratados pelo SES, ao passo que as águas pluviais são coletadas, transportadas e dispostas adequadamente pelo sistema de drenagem pluvial. Em suma, existem dois sistemas independentes: um para a gestão e gerenciamento do esgoto sanitário e o outro para as águas pluviais.
3. Sistema separador parcial: é permitido que uma parcela da água pluvial coletada nas edificações seja lançada juntamente com os esgotos no SES. As águas pluviais que caem sobre as vias públicas, por sua vez, devem ser coletadas, transportadas e dispostas adequadamente pelo sistema de drenagem superficial.

Os SESs são constituídos por unidades e instalações operacionais como: redes coletoras de esgoto, interceptores, emissários, estações elevatórias de esgoto (EEEs), sifões invertidos, estações de tratamento de esgoto (ETEs) e emissários submarinos. Isso não significa que um sistema deve conter, necessariamente, todas as unidades e instalações, mas as redes coletoras e as ETEs, basicamente. A presença das demais depende da topografia da área estudada.

2.2.3 Rede coletora de esgotos e Interceptores

Conforme disposto na NBR 9649 (ABNT, 1986), a rede coletora corresponde ao conjunto constituído por ligações prediais, coletores de esgoto, e seus órgãos acessórios, onde:

- Ligação predial: trecho do coletor predial compreendido entre o limite do terreno e o coletor de esgoto.
- Coletor de esgoto: tubulação da rede coletora que recebe contribuição de esgoto dos coletores prediais em qualquer ponto ao longo de seu comprimento.
- Coletor principal ou primário: coletor que conduz o esgoto ao exutório de uma bacia de esgotamento, sendo, normalmente, o de maior extensão.
- Coletor tronco: tubulação da rede coletora que recebe apenas contribuição de esgoto de outros coletores, transportando-os a um determinado ponto (interceptor, emissário, EEE ou ETE).
- Órgãos acessórios: dispositivos fixos desprovidos de equipamentos mecânicos, podendo ser:
 - Poço de visita (PV): câmara visitável através de abertura existente em sua parte superior (na mesma cota do pavimento), que permite a inspeção de pessoas para realizar a manutenção da rede coletora.
 - Tubo de inspeção e limpeza (TIL): dispositivo não visitável que permite inspeção e introdução de equipamentos de limpeza.
 - Terminal de limpeza (TL): dispositivo que permite introdução de equipamentos de limpeza, localizado na cabeceira de qualquer coletor.
 - Caixa de passagem (CP): câmara sem acesso localizada em pontos singulares por necessidade construtiva.

A NBR 9649 (ABNT, 1986) limita o diâmetro mínimo das redes coletoras a DN 100. Apesar disso, algumas companhias de esgoto exigem, por motivos operacionais, um diâmetro mínimo DN 150 (Pacheco, 2011).

O interceptor, por sua vez, corresponde a canalização que recebe coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas (Tsutiya e Sobrinho, 1999). Geralmente são tubulações de grandes diâmetros e extensões, podendo cruzar diversas bacias.

2.2.4 Estações elevatórias de esgoto

As EEEs são instalações destinadas a elevar a cota do esgoto, ou seja, são responsáveis por fazer o bombeamento dos esgotos de uma cota mais baixa (em geral, os pontos mais baixos de uma bacia ou proximidades de rios, córregos ou represas) para uma outra mais alta (Tsutiya e Sobrinho, 1999). Conforme notas de aula da disciplina de Sistema de Esgotamento Sanitário, ministrada pelo professor Leonardo Vieira na Universidade Federal da Paraíba, as EEEs podem ser usados basicamente em três casos:

1. Nas ligações domiciliares, coleta e transporte: quando a última caixa de inspeção domiciliar se encontra em uma cota inferior à cota do coletor de esgoto pertencente à rede coletora de esgoto; em casos de transposição entre bacias de esgotamento (várias sub-bacias em uma mesma área); ou quando se deseja diminuir a profundidade da rede coletora em áreas com terrenos planos.
2. No tratamento, uma vez que é comum que emissários/coletores cheguem com cotas diferentes na ETE, sendo, portanto, necessário instalar à montante das unidades operacionais do tratamento uma EEE, que recebe o esgoto e eleva-o para uma cota superior a das instalações operacionais, possibilitando o trabalho em escoamento livre.
3. Na disposição final, para que a tubulação com o efluente final (tratado) chegue com uma cota superior à máxima prevista do corpo d'água receptor (tendo em vista cheias, marés, etc).

2.2.5 Emissários

O emissário, também denominado por linha de recalque, é a canalização que conduz os esgotos a um destino conveniente sem receber contribuições em marcha (Tsutiya e Sobrinho, 1999), ou seja, é a tubulação que recebe o esgoto em um ponto A (extremidade montante) e o encaminha até um ponto B (estação de tratamento e/ou lançamento), sem receber nenhuma contribuição a mais ao longo de sua extensão (teoricamente: $Q_a = Q_b$).

2.2.6 Estações de tratamento de esgoto

A estação de tratamento pode ser definida como o conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, ou seja, à exclusão de materiais e substâncias indesejáveis, antes de seu lançamento no corpo d'água receptor (Tsutiya e Sobrinho, 1999). O objetivo fundamental nesta

etapa é evitar a proliferação de doenças de veiculação hídrica, promovendo a saúde pública, e remover os poluentes que possam prejudicar as características dos ecossistemas aquáticos e do solo.

Com relação aos métodos de tratamento, Metcalf e Eddy (1991, *apud*. Sperling, 1996) adotam as seguintes definições:

- Operações físicas unitárias: consistem em métodos de tratamento onde predomina a aplicação de forças físicas. É o caso, por exemplo, do gradeamento para retirada de sólidos grosseiros, da floculação, sedimentação, flotação, etc.
- Processos químicos unitários: são os métodos nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre através da adição de produtos químicos, ou devido a reações químicas. É o caso da precipitação, adsorção e desinfecção.
- Processos biológicos unitários: a remoção de contaminantes neste método de tratamento ocorre por meio de atividade biológica. Como exemplo, pode ser citada a remoção da matéria orgânica carbonácea e a desnitrificação.

De acordo com Oliveira (2014), são quatro os níveis de classificação para o tratamento de esgoto:

1. Preliminar, que objetiva a remoção dos sólidos grosseiros e minerais (principalmente areia) para que não prejudiquem as etapas posteriores, através de mecanismos de ordem física.
2. Primário, que visa a remoção parcial de sólidos em suspensão sedimentáveis e de sólidos flutuantes (como óleos e graxas, por exemplo), por meio de mecanismos de ordem física. Essa etapa promove uma redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção é mais custosa (Sperling, 1996).
3. Secundário, que consiste no conjunto de operações e processos que visam a remoção de matéria orgânica (NBR 12.209/2011 *apud*. Oliveira, 2014), com a inclusão de uma parte biológica no tratamento do esgoto.
4. Terciário, que objetiva remover organismos patogênicos, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e outros poluentes específicos. Este tratamento não é tão comum no Brasil.

O tratamento preliminar é constituído geralmente por uma grade de barras para remoção de sólidos grosseiros, por um desarenador, para remoção de areia prévia, e por uma calha de dimensões padronizadas para medição da vazão (calha Parshall, por exemplo). Nas ETEs,

antecede o poço de sucção, e nas ETEs antecede as demais unidades de tratamento. Pode-se visualizar melhor o tratamento preliminar através da Figura 3.

Figura 3 - Tratamento preliminar.



Fonte: Santos (2012) apud. Oliveira (2014, p. 12).

No tratamento primário, as principais tecnologias utilizadas são: decantador primário convencional, que utiliza a unidade de decantação com uma velocidade que permite a sedimentação dos sólidos suspensos no fundo (lodo primário), ficando na superfície líquida os materiais flutuantes que formam a espuma; decantador primário quimicamente assistido, opção que consiste na adição de reagentes químicos no esgoto, visando a coagulação química e a floculação, e acelerar a sedimentação nos decantadores (comparado ao decantador primário convencional, promove economia nas dimensões e no número de decantadores, mas gera uma maior quantidade de lodo, elevando os custos de operação); e reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que são reatores anaeróbios de manta de lodo (Oliveira, 2014).

A nível secundário, Sperling (1996) traz como principais sistemas de tratamento:

1. Lagoas de estabilização

- Lagoa facultativa: simula o ambiente natural de uma lagoa, não necessitando de nenhum equipamento. A DBO solúvel e particulada é estabilizada aerobicamente por bactérias no meio líquido, que têm oxigênio fornecido pelas algas, através da fotossíntese. Por outro lado, a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobicamente por bactérias no fundo da lagoa.
- Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa: sistema onde cerca de 50% da DBO é estabilizada na lagoa anaeróbia, enquanto a DBO restante é removida na lagoa facultativa. A existência de uma etapa anaeróbia em uma unidade aberta é sempre causa de preocupação, frente à possibilidade da liberação de maus

odores, o que faz com que esse sistema seja normalmente localizado afastado das residências.

- Lagoa aerada facultativa: o oxigênio requerido pelas bactérias aeróbicas é fornecido por aeradores mecânicos (geralmente, unidades de eixo vertical). Como também é facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta para ser decomposta anaerobicamente no fundo da lagoa.
- Lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação: a energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência na remoção da DBO. Por outro lado, o efluente possui elevados teores de bactérias que precisam ser removidas na lagoa de decantação à jusante.

A Figura 4 apresenta de forma esquematizada os sistemas de lagoas de estabilização.

Figura 4 - Sistemas de lagoas de estabilização.



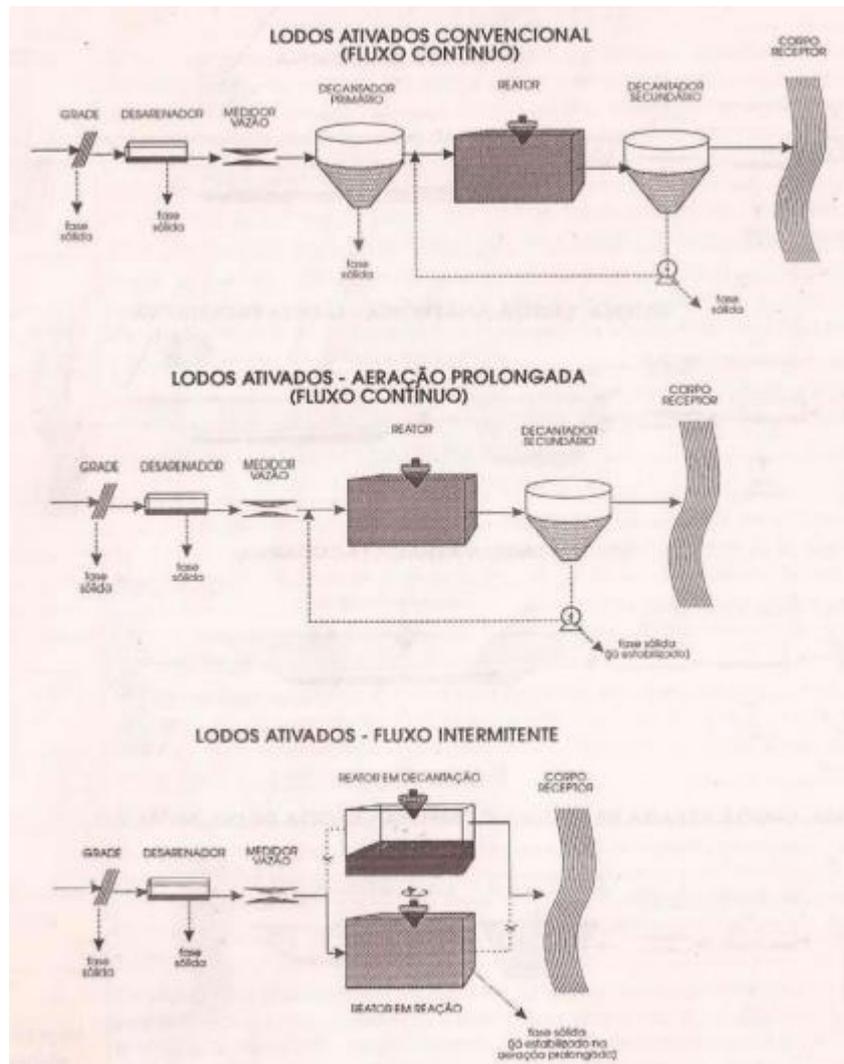
Fonte: Sperling (1996, p. 177).

2. Lodos ativados:

- Lodos ativados convencional: a biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, fato que garante elevada eficiência na remoção da DBO. Existe a necessidade de remoção de uma quantidade de lodo equivalente a que é produzida, que, por sua vez, precisa ser estabilizado na etapa de tratamento do lodo. Aqui, o oxigênio necessário é fornecido por aeradores mecânicos ou por ar difuso.
- Lodos ativados por aeração prolongada: a diferença com relação aos lodos ativados convencional é a maior permanência da biomassa no sistema, fazendo com que sejam necessários maiores tanques de aeração. Assim, com menos DBO disponível, as bactérias se utilizam da matéria orgânica do próprio material celular para sua manutenção e, como consequência, o lodo já sai estabilizado.
- Lodos ativados de fluxo intermitente: conforme o próprio nome coloca, a operação do sistema é intermitente. Isso significa que no mesmo tanque ocorrem as etapas de reação (aeradores ligados) e sedimentação (aeradores desligados). Com os aeradores desligados, os sólidos se sedimentam e é retirado o efluente (sobrenadante). Ao ligar os aeradores, os sólidos antes sedimentados retornam à massa líquida, dispensando as elevatórias de recirculação. Pode ocorrer na modalidade convencional ou na aeração prolongada.

A Figura 5 apresenta de forma esquematizada os sistemas de lodos ativados.

Figura 5 - Sistemas de lodos ativados.



Fonte: Sperling (1996, p. 178).

3. Sistemas aeróbios com biofilmes:

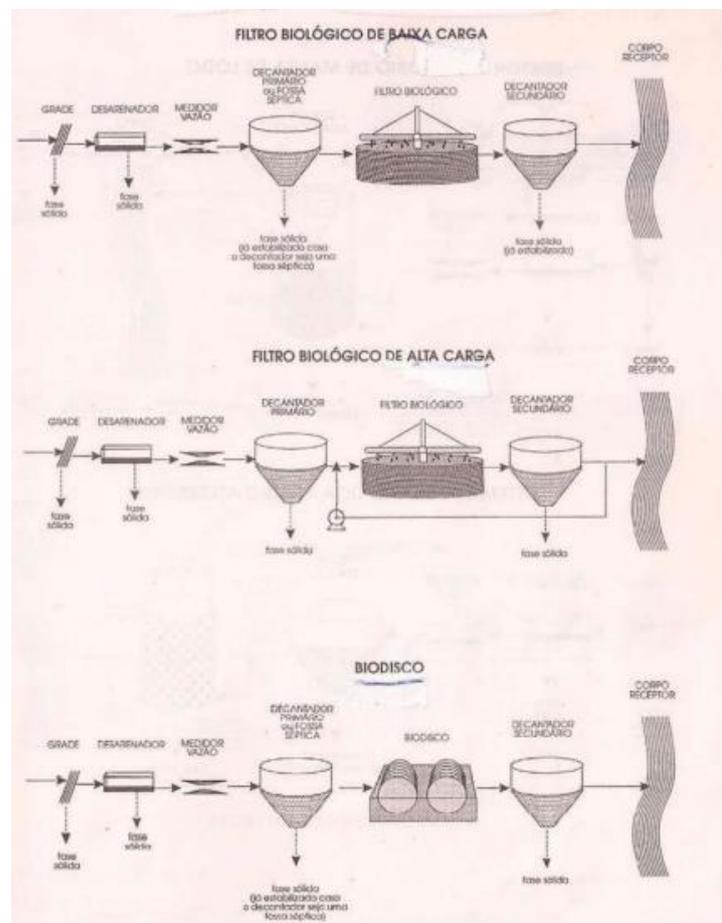
- Filtro de baixa carga: sistema onde a DBO é estabilizada aerobicamente por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte, que geralmente são pedras. Aqui, o esgoto é aplicado na superfície do tanque através de distribuidores rotativos, saindo o líquido pelo fundo, enquanto a matéria orgânica fica retida pelas bactérias. A pouca disponibilidade de DBO faz com que as bactérias sofram autodigestão, saindo já estabilizadas do sistema. As placas de bactérias que se despregam do meio suporte são removidas no decantador secundário, valendo salientar que esse sistema necessita de decantação primária.
- Filtro de alta carga: a diferença com relação ao filtro de baixa carga consiste no fato de a carga de DBO aplicada ser maior. Nesse caso, as bactérias necessitam

de estabilização no tratamento do lodo e o efluente do decantador secundário é recirculado para o filtro com o objetivo de diluir o afluente, garantindo uma carga hidráulica homogênea.

- Biodisco: esse sistema não se trata de filtro biológico, mas apresenta como característica o fato de a biomassa crescer aderida a um meio suporte, que, por sua vez, é aparelhado por discos que giram e expõem a superfície ora ao líquido, ora ao ar.

A Figura 6 apresenta de forma esquematizada os sistemas aeróbios com biofilmes.

Figura 6 - Sistemas aeróbios com biofilme.



Fonte: Sperling (1996, p. 179).

4. Sistemas anaeróbios:

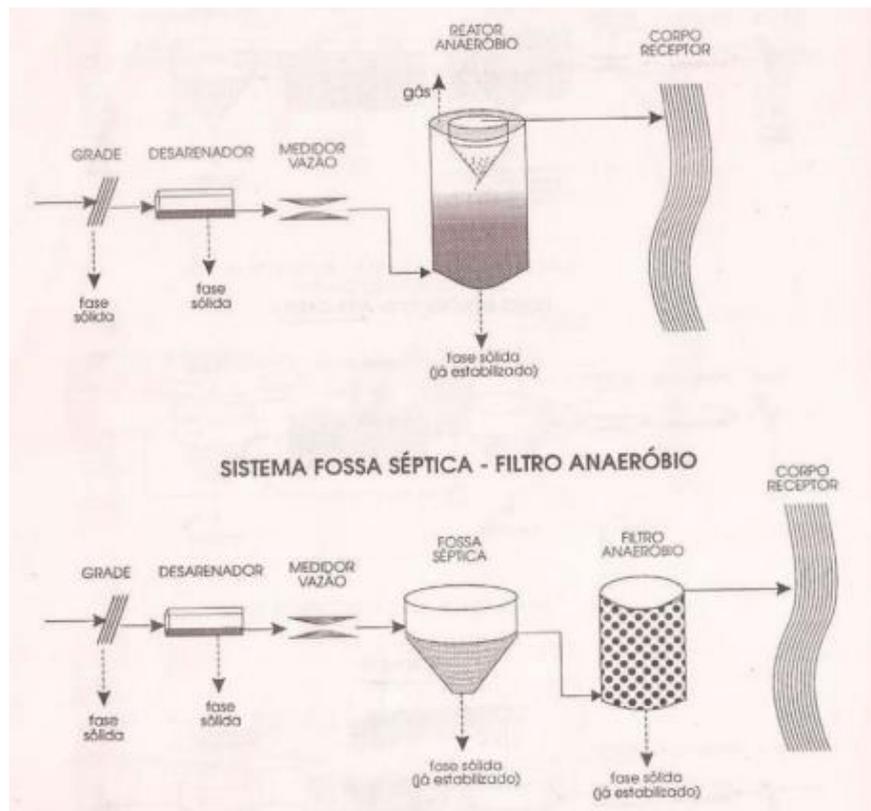
- Reator anaeróbio de manta de lodo – Reator UASB: neste sistema, a DBO é convertida anaerobiamente por bactérias presentes no manto de lodo do reator. O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior do reator é dividida em duas zonas para que haja a separação de fases: a zona de sedimentação, que permite

a saída do efluente clarificado e o retorno dos sólidos ao sistema, e a zona de coleta de gás, que, por sua vez, é recolhido por tubulações específicas para serem queimados ou para aproveitamento energético, visto que dentre esses gases se encontra o metano, que tem seu percentual de energia térmica. O sistema dispensa decantação primária e a produção de lodo é baixa, já saindo estabilizado.

- Filtro anaeróbio: a DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias aderidas a um meio suporte, que geralmente são pedras. O fluxo do líquido também é ascendente. O sistema necessita de decantação primária e a produção de lodo é baixa, já saindo estabilizado.

A Figura 7 apresenta de forma esquematizada os sistemas anaeróbios.

Figura 7 - Sistemas anaeróbios.



Fonte: Sperling (1996, p. 180).

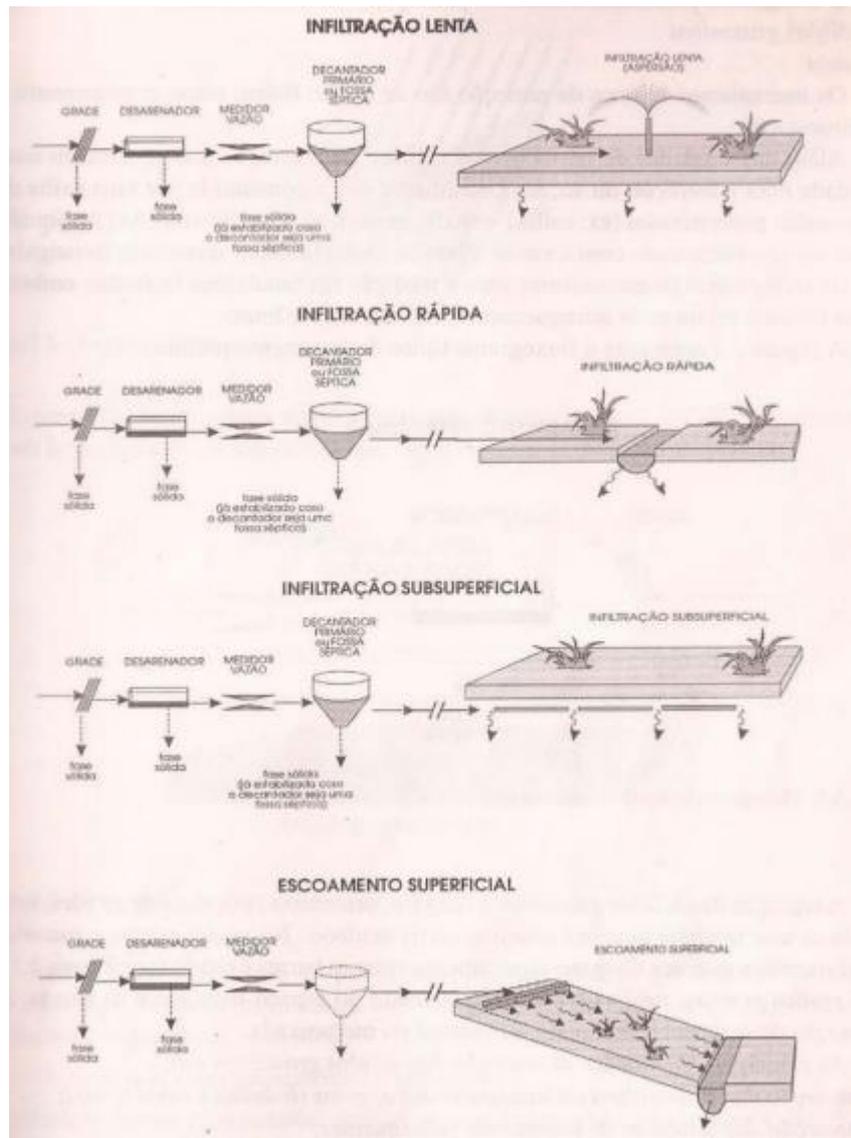
Pacheco (2011) traz ainda, como um desenvolvimento da tecnologia dos reatores tipo UASB, o reator tipo RALF que apresenta, nas versões mais recentes, um distribuidor de vazão circular para as etapas que conduzem o efluente ao fundo do reator, e um decantador interno em seu topo.

5. Disposição no solo: é um misto de tratamento e disposição final, onde o esgoto rico em nutrientes (sobretudo, nitrogênio e fósforo) aumenta a produtividade do solo. As principais formas são:

- Infiltração lenta: os esgotos são aplicados no solo, fornecendo água e nutrientes para o crescimento das plantas. Parte do líquido é evaporada, parte percola no solo, e outra parte é absorvida pelas plantas.
- Infiltração rápida: os esgotos aqui são dispostos em bacias rasas, onde o líquido passa pelo fundo poroso e percola pelo solo. Os tipos mais comuns são: percolação para a água subterrânea, recuperação por drenagem sub-superficial e recuperação por poços freáticos.
- Infiltração sub-superficial: o esgoto pré-decantado é aplicado abaixo do nível do solo e os locais de infiltração são preenchidos com um meio poroso, no qual ocorre o tratamento. As valas de infiltração e os sumidouros são os tipos mais comuns.
- escoamento superficial: os esgotos são distribuídos na parte superior do terreno, com uma determinada declividade, por onde escoam até serem coletados por valas na parte mais baixa. Os tipos de aplicação são: aspersores de alta e baixa pressão, e tubulações ou canais de distribuição com aberturas intervaladas.

A Figura 8 apresenta de forma esquematizada os sistemas de disposição no solo.

Figura 8 - Sistemas de disposição no solo.



Fonte: Sperling (1996, p. 181).

Pacheco (2011) coloca as lagoas de estabilização, os lodos ativados e os sistemas anaeróbios como os processos a nível secundário mais utilizados no Brasil, sendo fatores predominantes para a escolha do processo de tratamento do esgoto: clima, disponibilidade de área, disponibilidade de energia elétrica, ventos, proximidade com áreas urbanas, corpo receptor, licença ambiental, grau da qualificação da mão de obra da operação e fornecedores de materiais e insumos.

2.2.7 Tratamento do lodo do esgoto

Conforme observado no item 2.2.6, as unidades de tratamento de esgoto geram subprodutos sólidos que necessitam, em alguns casos, de tratamento. De forma geral, têm-se material gradeado, areia, espuma, lodo primário e lodo secundário como subprodutos do tratamento biológico, dentre os quais, o mais importante em termos de volume é representado pelo lodo (Sperling, 1996).

O lodo primário é constituído por sólidos removidos por sedimentação nos decantadores primários, possuindo coloração acinzentada e apresentando forte odor, podendo ainda ter origem em tanque séptico, onde permanece um tempo elevado para proporcionar uma digestão anaeróbia (Pacheco, 2011).

O lodo secundário, por sua vez, compreende a biomassa gerada na etapa biológica, podendo se encontrar: **já estabilizado**, não necessitando de uma etapa de digestão posterior (lodo biológico aeróbio estabilizado, com origem nos processos de tratamento de lodos ativados – aeração prolongada e reatores anaeróbios com biofilmes – baixa carga; e lodo biológico anaeróbio estabilizado, com origem nos processos de tratamento de lagoas de estabilização e reatores anaeróbios); ou **não estabilizado**, requerendo uma etapa separadora, posterior de digestão (lodo biológico aeróbio não estabilizado, com origem nos processos de tratamento de lodos ativados convencionais e reatores aeróbios com biofilmes de alta carga) (Pacheco, 2011).

As principais etapas do tratamento do lodo de esgoto, conforme destaca Sperling (1996), são: **adensamento**, para a remoção da umidade e consequente redução de volume; **estabilização**, para remoção da matéria orgânica e consequente redução de sólidos voláteis; **condicionamento**, que constitui uma preparação, principalmente mecânica, para a próxima etapa; **desidratação**, que também constitui uma etapa de remoção de umidade; e **disposição final**, que trata da destinação final dos subprodutos.

Para o adensamento, as opções mais usuais são por gravidade e flotação. A primeira alternativa consiste em um tanque, em estrutura de concreto armado ou metálica, onde o lodo sedimentado e adensado é removido através de raspadores, e o líquido sobrenadante volta ao processo de tratamento primário da ETE. Já no adensamento por flotação, a separação líquido-sólido ocorre por intermédio de ar difuso, promovido pela injeção de bolhas de ar que, por sua vez, aderem às partículas sólidas diminuindo a densidade necessária para promover o arraste até a superfície da massa líquida, onde serão removidas por raspadores (Jordão e Pessoa, 1995 *apud*. Pacheco, 2011).

De acordo com Andreoli *et al.* (1999), os sistemas de secagem podem ser naturais ou mecânicos, sendo o primeiro mais indicado para pequenos sistemas, onde as produções de lodo são menores, e para regiões quentes, uma vez que são dependentes do clima.

Os leitos de secagem, sistema natural mais comum, consistem em caixas com sistema de drenagem, sobre o qual é colocada uma camada de brita, seguida por camadas de areia, sobre a qual são assentados tijolos perfurados capazes de manter a estabilidade mecânica do sistema e permitir a passagem do excesso de água, secando o lodo através da percolação do excesso da água e da evaporação natural. Para seu uso, exige que o lodo seja bem estabilizado, pois, do contrário, será difícil a drenagem e surgirão problemas relacionados aos odores. Um outro sistema de secagem natural são as lagoas de lodo, utilizadas para armazenar o lodo digerido, enquanto ocorre a secagem do mesmo por evaporação, não apresentando sistema de drenagem de fundo (eventualmente, podem apresentar sistema de drenagem lateral) (Andreoli *et al.*, 1999).

Já nos sistemas mecânicos, o lodo precisa passar por um processo de adensamento após ser extraído do sistema de tratamento ou digestão, e, em seguida, por um condicionamento químico que provoca aglomeração de partículas sob a forma de redes tridimensionais, mais fáceis de serem desidratadas. Aqui, podem ser citadas a centrifugação, a prensa desaguadora contínua, o filtro prensa, e a secagem térmica de lodos, sendo a centrífuga uma das alternativas mais adequadas para a desidratação devido à sua facilidade de operação, que tem como base a sedimentação de sólidos incrementada pelo aumento da força centrípeta resultante do alto movimento de rotação, e à boa consistência do lodo desidratado, apresentando de 20 a 30% de sólidos (Andreoli *et al.*, 1999).

A escolha do processo de secagem do lodo depende de diversos fatores, como clima, disponibilidade de área, disponibilidade de energia elétrica, grau da qualificação da mão de obra da operação, fornecedores de materiais e insumos e local de disposição do resíduo (Pacheco, 2011).

Com relação à disposição final do lodo de esgoto, a alternativa mais comum envolve a digestão anaeróbia que pode ser seguida pela destinação final em aterros sanitários exclusivos, podendo serem citadas, ainda, outras alternativas como as lagoas de armazenagem, a incineração, a reciclagem agrícola, ou o *landfarming* (Andreoli *et al.*, 1999).

2.2.8 Custos de implantação de SES

Custo pode ser definido como o gasto com um determinado bem ou serviço na produção de outros bens (Brudeki e Aisse, 2009 *apud*. Pacheco, 2011). Associados à finalidade de oferecer um serviço básico de saneamento, o de esgotamento sanitário, existem custos de investimento e de operação. Basicamente, os gastos iniciais relacionados à etapa de implantação são custeados pelo poder público, com recursos disponíveis antes da existência do sistema, enquanto os custos operacionais (coleta, transporte e tratamento) podem ser financiados pelo próprio sistema, através da cobrança de tarifa (Pacheco, 2011).

Na concepção de um SES, cerca de 75% do custo total corresponde às redes e ligações (Tsutiya e Sobrinho, 1999). Essa significativa participação se justifica pela extensão das redes, pela quantidade de poços de visita – que são dispositivos caros -, pela quantidade de ligações domiciliares, e por profundidades excessivas, que exigem maior escavação e, conseqüentemente, elevam os custos relacionados ao escoramento de valas, podendo ainda fazer necessário o rebaixamento do lençol freático (notas de aula da disciplina de Sistema de Esgotamento Sanitário do Professor Leonardo Vieira).

Em seguida, Tsutiya e Sobrinho (1999) apontam os coletores tronco, interceptores e emissários como responsáveis por cerca de 10% dos custos. Vale salientar que esse valor pode variar dependendo do material utilizado nas tubulações (tubo de concreto, ferro fundido ou aço).

Com relação às EEEs, a participação nos custos é de cerca de 1% (Tsutiya e Sobrinho, 1999). De fato, o custo de implantação é relativamente baixo se comparado ao das demais unidades. Entretanto, as estações elevatórias possuem alto custo de operação e manutenção, devido, sobretudo, ao consumo de energia elétrica.

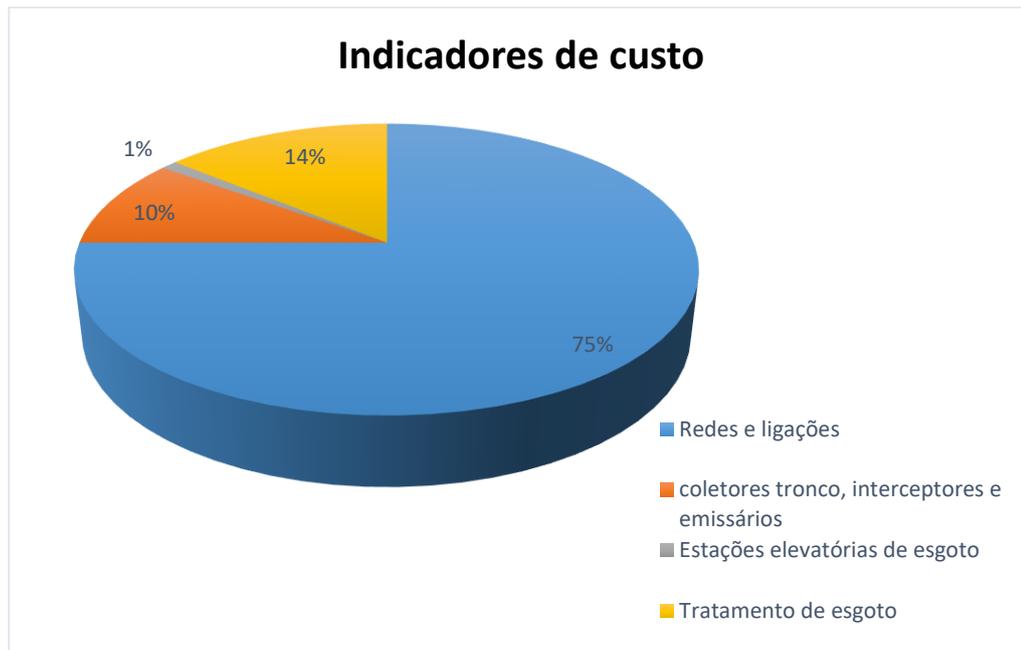
Os custos dos elementos de transporte de esgoto citados estão diretamente relacionados com as condições topológicas da região analisada. Isso significa que áreas com topografia muito plana apresentarão custos maiores do que as regiões que possuem declividade favorável, tendo em vista que o escoamento se processa segundo o caimento do terreno (Pacheco, 2011).

Por fim, Tsutiya e Sobrinho (1999) trazem a etapa de tratamento do esgoto representando 14% dos custos de implantação. O elevado custo, tanto de instalação quanto de manutenção, é um dos principais fatores que dificulta a instalação dessas unidades. Além disso, a preocupação mais recorrente da população quando se fala em SES é a de tirar o esgoto da

porta de casa, sendo, portanto, a rede coletora mais solicitada e o tratamento deixado em segundo plano (AISSE, 2000 *apud.* PACHECO, 2011).

O Gráfico 1 apresenta a participação nos custos de concepção de um SES, apontados por Tsutiya e Sobrinho (1999).

Gráfico 1 - Representação dos custos de implantação por unidade em um SES.



Fonte: autora, baseado em dados apresentados por Tsutiya e Sobrinho (1999).

2.2.9 Atualização financeira

Tendo em vista que o programa computacional desenvolvido neste trabalho utiliza como base um estudo realizado no ano de 2011, torna-se fundamental a existência de uma etapa de atualização financeira, uma vez que o valor de materiais, serviços e mão-de-obra varia com o tempo.

Para a devida correção dos valores, serão utilizados os índices mensais fornecidos pelo Índice Nacional de Custo da Construção – Mercado (INCC-M), do Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) pertencente à Fundação Getúlio Vargas (FGV). De acordo com o IBRE, o INCC possibilita o pleno acompanhamento da evolução de preços relevantes para a construção civil, tendo sido o primeiro índice desenvolvido para monitorar essa variação, em 1950, e permanecendo, mais de 70 anos depois, como um dos mais importantes indicadores de preço no segmento.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Para alcançar o objetivo principal do trabalho, foi utilizada como base a dissertação de mestrado de Pacheco (2011), intitulada “Custos para Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário”. Conforme colocado no item 1.3, existe um grande problema relacionado à disponibilidade de dados de custos de obra de infraestrutura. Como forma de resolver a escassez desses dados, Pacheco utilizou-se de custos de projetos, além de pré-dimensionamentos e orçamentos. O Quadro 1 apresenta as fontes dos dados utilizados pelo autor para chegar ao método por ele proposto, valendo salientar que não é objetivo deste trabalho detalhar a base de dados e, portanto, essa não será aprofundada.

Quadro 1 - Fontes dos dados dos custos de SES utilizados por Pacheco em sua tese de mestrado.

Empresa responsável pela elaboração dos projetos	Tipologia	Quantidade de projetos
Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos	Coletor	40
Gouvea da Costa Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda	Coletor	05
Consórcio Hagaplan-Cobrape	Coletor	10
Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos	EEE	105
Consórcio Hagaplan-Cobrape	EEE	23
José da Silva Lima Neto & Cia Ltda – Analista de Custo	EEE	10
Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos	LR	129
Gouvea da Costa Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda	LR	10
Consórcio Hagaplan-Cobrape	LR	24
José da Silva Lima Neto & Cia Ltda – Analista de Custo	LR	10
Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos	ETE	21
Consórcio Cobrape-Engecorps-Geoambiente	ETE	16
Gouvea da Costa Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda	ETE	04
Consórcio Hagaplan-Cobrape	ETE	02
José da Silva Lima Neto & Cia Ltda – Analista de Custo	ETE	21
Nunes et al., 2005 (curvas e equações)	ETE	24

Fonte: Pacheco (2011).

O programa foi desenvolvido levando em consideração: 05 (cinco) grupos de controle de programação, correspondentes às etapas de um SES, a saber, redes coletoras de esgoto e interceptores, EEEs, emissários, tratamento de esgoto, e tratamento do lodo de esgoto; e ainda

01 (uma) etapa relacionada à atualização financeira para a data (mês e ano) na qual se deseja estimar os custos. Nos subitens a seguir, serão explicados os procedimentos utilizados para a realização das estimativas de custos em cada um dos grupos descritos.

Vale aqui salientar que, no que diz respeito à alteração de contratos e preços, o Art. 125 da Lei de Licitações e contratos administrativos (Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021) autoriza, com as devidas justificativas, aditivos ou supressões de até 25% (vinte e cinco por cento) do valor inicial atualizado do contrato que se fizerem nas obras, serviços, ou nas compras.

3.1 REDES COLETORAS DE ESGOTO E INTERCEPTORES

Conforme abordado no item 2.2.8, um dos fatores preponderantes para os custos de transporte de esgoto são as condições topológicas da área estudada. Regiões muito planas requerem um aprofundamento maior das escavações, de forma que possam ser atendidas as condições mínimas de tensão trativa para garantir a autolimpeza do tubo através do arraste dos sólidos, o que acaba encarecendo a implantação, tendo em vista o escoramento necessário para a execução. Nesse sentido, a **profundidade** da rede se apresenta como um fator importante nos custos de implantação.

Pacheco (2011) explica que não foi possível separar os custos por níveis de profundidade em seu trabalho, em razão da complexidade, particularidade e metodologia de cada orçamento por ele estudado. Foi necessário, então, classificar as redes em relação ao tipo de escoramento, uma vez que as profundidades dos tubos estão diretamente correlacionadas à **declividade do terreno**, dado de entrada do programa. Foram adotados cinco níveis para classificação crescente das sub-bacias da média aritmética dos escoramentos, sendo:

- Nível 1: 0 - 10% de escoramento;
- Nível 2: 10 - 30% de escoramento;
- Nível 3: 30 - 60% de escoramento;
- Nível 4: 60 - 90% de escoramento;
- Nível 5: 90 - 100% de escoramento.

Onde o nível 1 representa o terreno com maior declividade, o que configura uma situação favorável para implantação da rede, uma vez que a profundidade de escavação é menor; e o nível 5 representa terrenos mais planos, como é o caso de cidades litorâneas, por exemplo, que resultam no aprofundamento da rede.

Um outro fator com influência direta sobre os custos da rede é o **grau de urbanização**. Quanto mais urbanizada a sub-bacia, maior é a chance de se deparar com interferências, como redes de distribuição de água, redes de drenagem, redes elétrica e telefônica, dentre outras (Pacheco, 2011). Nesse sentido, o usuário irá informar se a região é de:

- Baixa urbanização, que considera percentualmente menos presença de calçada e asfalto para recomposição, além de poucas interferências na rede; ou
- Alta urbanização, que considera percentualmente maior presença de calçada e asfalto para recomposição, além de mais interferências na rede.

O **tipo de solo** também aparece como fator determinante nos custos. Diferentes tipos de solo requerem diferentes tecnologias de execução (Pacheco, 2011). Aqui, o usuário apontará a condição do solo, que, de forma geral, pode ser resumida a:

- Rede coletora com solo favorável, que considera um grau de escavação menos manual, um tipo de solo com menos presença de rochas, e uma pequena distância para bota-fora do material escavado; ou
- Rede coletora com solo desfavorável, que considera um grau de escavação mais manual, maior presença de rochas, e grandes distâncias para bota-fora.

O grau de urbanização e o tipo de solo constituem o dado de entrada **situação da área de implantação**, que consiste na combinação das opções apresentadas nos dois fatores. Diante disso, o usuário se depara com 04 (quatro) situações, devendo escolher a que melhor representa a área de implantação:

- Rede coletora com solo favorável e alta urbanização;
- Rede coletora com solo favorável e baixa urbanização;
- Rede coletora com solo desfavorável e alta urbanização;
- Rede coletora com solo desfavorável e baixa urbanização.

Um outro fator de influência na obtenção dos custos de implantação da rede coletora é o **material** das tubulações. Existem diversos tipos no mercado, podendo serem citados como exemplos os tubos cerâmicos, de policloreto de vinila (PVC), de plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), de ferro fundido (FoFo), dentre outros. Pacheco (2011) considerou apenas o tubo PVC para as redes coletoras, estudando mais profundamente os **diâmetros das tubulações**, uma vez que existe uma relação financeira entre o material e o diâmetro do tubo.

Nesse sentido, Cobrape *et al.* (2009) *apud.* Pacheco (2011) apresentaram a relação entre a população da sub-bacia e a distribuição diametral da rede de transportes de efluentes, obedecendo o limite de vazão da tubulação descrita para uma inclinação de 0,04%. Isso significa que, de posse da população final, informação passível de conhecimento, é possível estimar a composição diametral para coletores, interceptores e emissários. A Tabela 1 apresenta essa relação, e foi inserida na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa de custos das unidades de transporte de efluentes, sendo a **faixa populacional** da área estudada o dado de entrada.

Tabela 1 - Distribuição da composição diametral da rede de transporte de esgoto para cada faixa de população.

População	Diâmetros Nominais (mm)						
	150	200	250	350	500	800	1000
1 - 5.000	100%						
5.001 - 10.000	80,00%	20,00%					
10.001 - 20.000	72,73%	18,18%	9,09%				
20.001 - 50.000	69,57%	17,39%	8,70%	4,35%			
50.001 - 100.000	68,09%	17,02%	8,51%	4,26%	2,13%		
100.001 - 200.000	67,37%	16,84%	8,42%	4,21%	2,11%	1,05%	
200.001 - 500.000	67,02%	16,75%	8,38%	4,19%	2,09%	1,05%	0,52%

Fonte: COBRAPE-ENGECORPS-GEOAMBIENTE (2008) *apud.* Pacheco (2011).

De posse da distribuição diametral, nível de declividade do terreno e situação da área de implantação, Pacheco (2011) expõe os resultados dos custos das redes coletoras de esgoto por metro de extensão – fator que será explicado posteriormente neste subitem. O autor apresenta os custos para os diâmetros (mm): DN 150, DN 200, DN 250, DN 300 e DN 350.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, a distribuição da composição diametral da rede de efluentes engloba diâmetros nominais de até 1000 mm. Diante disso, procedeu-se uma análise de regressão e correlação a fim de encontrar os resultados dos custos para os demais diâmetros. Após as devidas análises, foi constatado que a linha de tendência que melhor representou os custos foi a do tipo polinomial ($y = a.x^2 + b.x + c$), com coeficientes de determinação (r^2) na ordem de 0,99, sendo, portanto, o grau de ajuste dessa função aos pontos tido como muito bom. Os Quadros 2, 3, 4 e 5 apresentam os resultados dos custos das redes coletoras de esgoto – Crc – para cada situação da área de implantação, e foram também inseridos

na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa de custos dessas unidades.

Quadro 2- Custo da RCE para solo favorável e baixa urbanização.

CUSTOS PARA SOLO FAVORÁVEL E BAIXA URBANIZAÇÃO (R\$/m)								
Nível	Diâmetro nominal (mm)							
	150	200	250	300	350	500	800	1000
1	105,08	124,08	156,71	197,34	228,68	367,89	771,12	1129,94
2	124,04	143,4	176,37	217,36	249,04	389,37	794,76	1155,02
3	137,97	157,72	191,09	232,47	264,55	406,03	813,76	1175,58
4	150,97	171,35	205,36	247,37	280,08	423,51	835,08	1199,46
5	196,28	218,7	254,74	298,79	333,53	483,15	906,99	1279,55

Fonte: Adaptado de Pacheco (2011).

Quadro 3 - Custo da RCE para solo desfavorável e baixa urbanização.

CUSTOS PARA SOLO DESFAVORÁVEL E BAIXA URBANIZAÇÃO (R\$/m)								
Nível	Diâmetro nominal (mm)							
	150	200	250	300	350	500	800	1000
1	129,68	150,75	185,44	228,15	261,56	406,86	822,42	1189,46
2	152,17	173,77	209,01	252,26	286,22	432,96	851,64	1220,76
3	170,53	192,77	228,65	272,54	307,14	455,80	878,32	1250,00
4	190,97	214,24	251,13	296,04	331,66	483,42	912,09	1287,87
5	256,89	283,08	322,9	370,73	409,28	569,78	1015,97	1403,43

Fonte: Adaptado de Pacheco (2011).

Quadro 4 - Custo da RCE para solo favorável e alta urbanização.

CUSTOS PARA SOLO FAVORÁVEL E ALTA URBANIZAÇÃO (R\$/m)								
Nível	Diâmetro nominal (mm)							
	150	200	250	300	350	500	800	1000
1	134,85	155,69	190,17	232,67	265,91	409,88	823,67	1189,53
2	154,76	175,96	210,8	253,66	287,25	432,43	848,47	1215,83
3	169,77	191,37	226,61	269,88	303,87	450,20	868,61	1237,55
4	184,04	206,28	242,17	286,08	320,71	469,02	891,33	1262,87
5	232,95	257,25	295,2	341,18	377,88	532,23	966,81	1346,53

Fonte: Adaptado de Pacheco (2011).

Quadro 5 - Custo da RCE para solo desfavorável e alta urbanização.

CUSTOS PARA SOLO DESFAVORÁVEL E ALTA URBANIZAÇÃO (R\$/m)								
Nível	Diâmetro nominal (mm)							
	150	200	250	300	350	500	800	1000
1	166,67	190,45	227,94	273,53	309,91	485,33	954,35	1367,03
2	190,68	215,05	253,13	299,31	336,29	513,39	985,89	1400,89
3	210,87	235,94	274,72	321,6	359,28	538,48	1015,18	1432,98
4	233,9	260,1	300,01	348,01	386,81	569,54	1053,11	1475,49
5	307,03	336,39	379,47	430,65	472,62	664,70	1167,17	1602,15

Fonte: Adaptado de Pacheco (2011).

Já para coletores e interceptores, Pacheco (2011) apresentou os resultados dos custos por faixa de diâmetro nominal (vide Tabela 1), não os filtrando de acordo com os diferentes graus de urbanização e tipos diferentes de solos, devendo, quando ocorrerem, ser tratados como particularidades locais da obra:

- Para coletores e interceptores com DN entre 200 e 400 mm, a equação que descreve os custos, em R\$/m, é dada pela função potência:

$$Cci = 0,0014x^{2,3} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

x representa o diâmetro, em mm; e,

Cci corresponde ao custo dos coletores e interceptores, em R\$/m.

- Para coletores e interceptores com DN entre 400 e 800 mm, a equação que descreve os custos, em R\$/m, é dada pela função potência:

$$Cci = 0,0017x^{2,1} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

x representa o diâmetro, em mm; e,

Cci corresponde ao custo dos coletores e interceptores, em R\$/m.

Para fins da elaboração do programa, embora a equação 2 não tenha abrangido coletores e interceptores com DN 1000, optou-se por estendê-la como forma de considerar todos os diâmetros apresentados na Tabela 1. Realizado esse ajuste, as equações 1 e 2 foram

devidamente inseridas na área de código do programa, como parte fundamental no processo de estimativa de custos de coletores e interceptores.

Calculados os custos por metro da rede coletora e dos coletores e interceptores, torna-se imprescindível estimar a **extensão** dessas unidades, fator também relevante para os custos de implantação. Para estimá-la, faz-se necessário conhecer a área da sub-bacia e o uso do solo, dados de entrada do programa. Foram fornecidas 07 (sete) características urbanas para uso do solo, de forma que os usuários possam escolher a que mais se adequa ao local de estudo:

- Bairros residenciais de luxo, com lote padrão de 800 m²;
- Bairros residenciais médios, com lote padrão de 450 m²;
- Bairros residenciais populares, com lote padrão de 250 m²;
- Bairros comerciais da zona central com predominância de edifícios de escritórios;
- Bairros mistos residencial-comercial da zona central, com predominância de prédios de 3 e 4 pavimentos;
- Bairros residenciais da zona central, com predominância de edifícios de apartamentos com 10 e 12 pavimentos;
- Bairros mistos residencial-comercial –industrial da zona urbana, com predominância de comércio e indústrias artesanais e leves.

A Tabela 2 apresenta a relação entre o uso do solo e a extensão média de arruamento por hectare estimada para a região metropolitana de São Paulo (Tsutiya e Sobrinho, 1999), tendo sido inserida na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa de extensão da rede coletora e interceptores.

Tabela 2 - Densidades demográficas e extensões médias de arruamentos por hectare.

Características urbanas dos bairros	Densidade demográfica de saturação (hab/ha)	Extensão média de arruamentos/ha (m)
I Bairros residenciais de luxo com lote padrão de 800 m ² .	100	150
II Bairros residenciais médios com lote padrão de 450 m ² .	120	180
III Bairros residenciais populares com lote padrão de 250 m ² .	150	200
IV Bairros mistos residencial - comercial da zona central, com predominância de prédios de 3 e 4 pavimentos	300	150
V Bairros residenciais da zona central com predominância de edifícios de apartamentos com 10 e 12 pavimentos.	450	150
VI Bairros mistos residencial-comercial - industrial da zona urbana com predominância de comércio e indústrias artesanais e leves.	600	150
VII Bairros comerciais da zona central com predominância de edifícios de escritórios.	1 000	200

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (1999).

Com isso, a extensão da rede coletora e interceptores pode ser estimada pelo produto entre a área da sub-bacia (ha) e a extensão média de arruamentos (m/ha):

$$EXTrci = A * EXTma \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

A é a área da sub-bacia, em ha, fornecida pelo usuário; e,

EXTma é a extensão média de arruamento, em m/ha, obtida através da Tabela 2 a partir de informações sobre o uso do solo fornecidas pelo usuário.

Os custos totais para rede coletora e interceptores são, portanto, dados pelo produto entre o custo/m e a extensão, conforme colocado nas equações 4 e 5, respectivamente:

$$CTrc = Crc * EXTrci \quad (\text{Equação 4})$$

$$CTci = Cci * EXTrci \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

CTrc é o custo total para a rede coletora, em R\$;

CTci é o custo total para os coletores e interceptores, em R\$;

Crc é o custo/m da rede coletora, obtido através dos Quadros 3, 4, 5 e 6;

Cci é o custo/m dos coletores e interceptores, obtido através das equações 1 e 2; e,

EXT_{rci} é a extensão estimada da rede coletora e dos interceptores, obtida através da equação 3.

As equações 3, 4 e 5 também foram inseridas na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa de custos de implantação de redes coletoras e interceptores.

3.2 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO

Para obtenção dos custos de elevatórias de esgoto, Pacheco (2011) observou, em sua base de dados, que uma mesma vazão de recalque poderia apresentar diferentes custos, por influência dos fatores: altura manométrica da linha de recalque, tipo do conjunto motor-bomba utilizado, e padrão construtivo da estrutura civil da EEE. Dentre eles, o mais ponderável e disponível para análise foi a **altura manométrica**, não tendo sido os outros dois verificados pelo autor em sua tese. Foi proposta, então, uma classificação para as alturas manométricas em 4 grupos:

- Altura manométrica de até 15 metros de coluna d'água (mca): baixa;
- Altura manométrica de 15 a 30 mca: média baixa;
- Altura manométrica de 30 a 45 mca: média alta;
- Altura manométrica maior que 45 mca: alta.

Um outro dado de entrada imprescindível para as estimativas de custos dessas unidades é a **vazão média** da EEE, parâmetro importante para o dimensionamento do conjunto motor-bomba.

De posse dessas duas informações, é possível estimar os custos para as EEEs, da seguinte forma:

- Para EEE com h_{man} de até 15 mca:

Pacheco (2011) observou que a linha de tendência que melhor representou os custos foi a logarítmica, uma vez que, mesmo se tratando de elevatórias pequenas, ainda é necessária uma estrutura civil mínima, sendo o custo diluído com o ganho em escala à medida que ocorre o acréscimo de vazão. O resultado por ele apresentado está descrito na equação 6.

$$CT_{eee} = 98.000 * \ln(Q_{méd}) + 250.000 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

CT_{eee} é o custo total das unidades, em R\$; e,

$Q_{méd}$ é a vazão média fornecida pelo usuário, em L/s.

- Para EEE com h_{man} entre 15 e 30 mca:

Pacheco (2011) observou que a linha de tendência que melhor representou os custos também foi a logarítmica, com o acréscimo de vazão fazendo o custo inicial ser diluído com o ganho em escala. O resultado por ele apresentado está descrito na equação 7.

$$CT_{eee} = 191.000 * \ln(Q_{méd}) - 50.000 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

CT_{eee} é o custo total das unidades, em R\$; e,

$Q_{méd}$ é a vazão média fornecida pelo usuário, em L/s.

- Para EEE com h_{man} entre 30 e 45 mca:

Pacheco (2011) observou que a linha de tendência que melhor representou os custos também foi a logarítmica. O resultado por ele apresentado está descrito na equação 8.

$$CT_{eee} = 290.000 * \ln(Q_{méd}) - 140.000 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

CT_{eee} é o custo total das unidades, em R\$; e,

$Q_{méd}$ é a vazão média fornecida pelo usuário, em L/s.

- Para EEE com h_{man} maior que 45 mca:

Pacheco (2011) observou que a linha de tendência que melhor representou os custos também foi a logarítmica. O resultado por ele apresentado está descrito na equação 9.

$$CT_{eee} = 775.000 * \ln(Q_{méd}) - 1.200.000 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

CT_{eee} é o custo total das unidades, em R\$; e,

$Q_{méd}$ é a vazão média fornecida pelo usuário, em L/s.

As equações 6, 7, 8 e 9 foram inseridas na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa de custos de implantação de EEEs.

3.3 EMISSÁRIOS

Para as linhas de recalque, o primeiro fator preponderante nos custos de implantação é o **diâmetro nominal** do tubo, que pôde ser determinado, dentro do programa, com base na vazão média fornecida pelo usuário para as EEEs, de acordo com a equação de Bresse adaptada em função da velocidade de escoamento do tubo (equação 10):

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

D é o diâmetro nominal do tubo, em m;

Q é a vazão média fornecida pelo usuário, em m³/s; e,

V é a velocidade no tubo, em m/s.

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (1999), a velocidade econômica tem se situado, de um modo geral, entre 1 m/s e 1,5 m/s. Da equação 10, tem-se que a velocidade no tubo é inversamente proporcional ao diâmetro do mesmo, ou seja, à medida que V aumenta, D diminui. Tendo em vista a situação mais economicamente desfavorável (quanto maior o diâmetro do tubo, maior o custo), foi adotado no programa uma velocidade fixa de 1 m/s.

O diâmetro nominal deve ainda ser arredondado para cima, a favor da segurança, de modo a obter o diâmetro comercial. Dessa forma, recorreu-se à *internet* para obtenção dos catálogos dos materiais abrangidos pelo programa – explicados posteriormente neste subitem, de forma que os diâmetros comerciais inseridos na área de código para realização das estimativas de custos dos emissários estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5 e Quadros 6 e 7.

Um outro fator influente nos custos de implantação de emissários observado por Pacheco (2011) foi o **material** das tubulações, tendo sido verificada uma grande dispersão dos valores dos materiais para um mesmo diâmetro. No programa, foram abrangidos os seguintes materiais: ferro fundido (FoFo), polietileno de alta densidade (PEAD), plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), PVC reforçado com Fibra de Vidro (RPVC), e PVC modificado (PVC deFoFo), devendo o usuário selecionar uma opção para análise.

Tabela 3 - Diâmetros comerciais em FoFo.

Diâmetro Nominal DN	Compr. Útil Médio L	CORPO		BOLSA			MASSAS MÉDIAS	
		e (ferro)	DE	DI	P	B	Tubo	Por metro
		m	mm	mm	mm	mm	mm	Kg
Classe K - 9								
50	3	6,0	66	69	75,0	118	29,4	9,8
75	6	6,0	92	95	82,0	154	81,0	13,5
80	6	6,0	98	101	92,5	168	87,0	14,5
100	6	6,1	118	121	94,5	189	107,4	17,9
150	6	6,3	170	173	100,5	243	163,2	27,2
200	6	6,4	222	225	106,5	296	219,0	36,5
250	6	6,8	274	277	105,5	353	286,8	47,8
300	6	7,2	326	329	107,5	410	361,2	60,2
350	6	7,7	378	381	110,5	465	477,0	79,5
400	6	8,1	429	432	112,5	517	566,4	94,4
450	6	8,6	480	483	115,5	575	672,0	112,0
500	6	9,0	532	535	117,5	630	773,6	128,9
600	6	9,9	635	638	122,5	739	1008,5	168,1
700	7	10,8	738	741	147,5	863	1501,5	214,5
800	7	11,7	842	845	147,5	974	1843,1	263,3
900	7	12,6	945	948	147,5	1082	2214,8	316,4
1000	7	13,5	1048	1051	157,5	1191	2618,0	374,0
1200	7	15,3	1255	1258	167,5	1412	3528,7	504,1
Classe K - 7								
150	6	5,2	170	173	100,5	243	139,4	23,2
200	6	5,4	222	225	106,5	296	187,8	31,3
250	6	5,5	274	277	105,5	353	240,6	40,1
300	6	5,7	326	329	107,5	410	297,6	49,6
350	6	5,9	378	381	110,5	465	388,2	64,7
400	6	6,3	429	432	112,5	517	465,6	77,6
450	6	6,7	480	483	115,5	575	552,0	92,0
500	6	7,0	532	535	117,5	630	634,2	105,7
600	6	7,7	635	638	122,5	739	824,4	137,4
700	7	8,4	738	741	147,5	863	1231,3	175,9
800	7	9,1	842	845	147,5	974	1508,5	215,5
900	7	9,8	945	948	147,5	1082	1810,2	258,6
1000	7	10,5	1048	1051	157,5	1191	2137,1	305,3
1200	7	11,9	1255	1258	167,5	1412	2874,6	410,7

Fonte: HIDRAMACO (p. 06).

Tabela 4 - Diâmetros comerciais em PEAD.

	SDR 32,25		SDR 26		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR 9		SDR 7,4	
PE 80	PN 4		PN 5		PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20	
PE 100	PN 5		PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20		PN 25	
DE	e (min)	e (max)	e (min)	e (max)	e (min)	e (max)	e (min)	e (max)	e (min)	e (max)	e (min)	e (max)	e (min)	e (max)	e (min)	e (max)
63							3,8	4,3	4,7	5,3	5,8	6,5	7,1	8,0	8,6	9,6
90							5,4	6,1	6,7	7,5	8,2	9,2	10,1	11,3	12,3	13,7
110							6,6	7,4	8,1	9,1	10,0	11,1	12,3	13,7	15,1	16,8
160					7,7	8,6	9,5	10,6	11,8	13,1	14,6	16,2	17,9	19,8	21,9	24,2
180					8,6	9,6	10,7	11,9	13,3	14,8	16,4	18,2	20,1	22,3	24,6	27,2
200					9,6	10,7	11,9	13,2	14,7	16,3	18,2	20,2	22,4	24,8	27,4	30,3
225					10,8	12,0	13,4	14,9	16,6	18,4	20,5	22,7	25,2	27,9	30,8	34,0
250					11,9	13,2	14,8	16,4	18,4	20,4	22,7	25,1	27,9	30,8	34,2	37,8
280					13,4	14,9	16,6	18,4	20,6	22,8	25,4	28,1	31,3	34,6	38,3	42,3
315					15,0	16,6	18,7	20,7	23,2	25,7	28,6	31,6	35,2	38,9	43,1	47,6
355			13,6	15,1	16,9	18,7	21,1	23,4	26,1	28,9	32,2	35,6	39,7	43,8	48,5	53,5
400			15,3	17,0	19,1	21,2	23,7	26,2	29,4	32,5	36,3	40,1	44,7	49,3	54,7	60,3
450			17,2	19,1	21,5	23,8	26,7	29,5	33,1	36,6	40,9	45,1	50,3	55,5	61,5	67,8
500	15,3	17,0	19,1	21,2	23,9	26,4	29,7	32,8	36,8	40,6	45,4	50,1	55,8	61,5		
560	17,2	19,1	21,4	23,7	26,7	29,5	33,2	36,7	41,2	45,5	50,8	56,0	62,5	68,9		
630	19,3	21,4	24,1	26,7	30,0	33,1	37,4	41,3	46,3	51,1	57,2	63,1	70,3	77,5		
710	21,8	24,1	27,2	30,1	33,9	37,4	42,1	46,5	52,2	57,6	64,5	71,1	79,3	87,4		
800	24,5	27,1	30,6	33,8	38,1	42,1	47,4	52,3	58,8	64,8	72,6	80,0	89,3	98,4		
*900	27,6	30,5	34,4	38,3	42,9	47,3	53,3	58,8	66,2	73,0	81,7	90,0				
*1000	30,6	33,5	38,2	42,2	47,7	52,6	59,3	65,4	72,5	79,9	90,2	99,4				
*1200	36,7	40,5	45,9	50,6	57,2	63,1	69,7	74,8	88,2	97,2						

Fonte: POLIERG (p. 02).

Tabela 5 - Diâmetros comerciais em PVC deFoFo.

BITOLA	B	DE	L	E
100	122,8	118	6000	4,8
150	150,1	170	6000	6,8
200	177,8	222	6000	8,9
250	187,8	274	6000	11
300	207,1	326	6000	13,1
350	223	378	6000	15,2
400	248,6	429	6000	17,2
500	268,5	532	6000	21,3

Fonte: TIGRE.

Quadro 6 - Diâmetros comerciais em PRFV.

Diâmetro Nominal DN	Diâmetro Externo DE	L – Comprimento	
mm		m	
100	118 (+1,0 -2,8)	6,0	
150	170 (+1,0 -2,9)		
200	222 (+1,0 -3,0)		
250	274 (+1,0 -3,1)		
300	326 (+1,0 -3,3)		
350	378 (+1,0 -3,4)		
400	429 (+1,0 -3,5)		
450	480 (+1,0 -3,6)		9,0
500	532 (+1,0 -3,8)		12,0
600	635 (+1,0 -4,0)		
700	738 (+1,0 -4,3)		
800	842 (+1,0 -4,5)		
900	945 (+1,0 -4,8)		
1000	1048 (+1,0 -5,0)		
1200	1255 (+1,0 -5,5)		

Fonte: JOPLAS (p. 23).

Quadro 7 - Diâmetros comerciais em RPVC.

DN Referência Interfibra		Espessura do PVC	Espessura do Reforço (mm)							
mm	in		Classes de pressão (Kgf/cm ²)							
		mm	2	4	6	8	10	12	14	16
25	1	1,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
40	1.1/2	1,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
50	2	1,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8
63	2.1/2	1,7	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	0,8	0,8	0,9
75	3	1,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,9	0,9	0,9	0,9
100	4	1,8	0,4	0,4	0,5	0,9	0,9	1,1	1,5	1,5
150	6	2,1	0,5	0,5	0,8	0,9	1,5	1,5	1,8	1,8
200	8	2,1	0,9	0,9	0,9	1,5	1,8	2,3	2,6	2,7
250	10	2,5	0,9	0,9	1,4	1,8	1,8	2,6	2,7	3,2
300	12	3,0	0,9	0,9	1,5	1,8	2,3	3,2	3,2	3,6
350	14	3,5	1,5	1,5	1,8	2,6	2,7	3,6	3,6	4,5
400	16	3,5	1,5	1,5	2,3	2,7	3,2	4,5	4,5	4,5
450	18	3,5	1,5	1,5	2,3	2,7	3,6	4,5	4,5	6,3
500	20	4,5	1,8	1,8	2,6	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2
600	24	4,5	2,3	2,3	3,2	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1
700	28	4,5	2,3	2,3	3,6	4,5	6,3	7,2	8,1	9,9

Fonte: Consórcio Interfibra JOPLAS (p. 04).

Vale destacar que Tsutyia e Sobrinho (1999) apontam um diâmetro mínimo de 100 mm para emissários, sendo, portanto, inseridos no programa apenas os diâmetros a partir desse valor.

Além do diâmetro e do material das tubulações, um outro fator relevante é a **extensão** da linha de recalque, um dado de entrada que pode ser obtido através do estudo de concepção ou da alternativa a ser avaliada.

Pacheco (2011) cita ainda alguns outros dados de entrada que podem influenciar no custo, mas que aqui serão tratados como particularidades regionais e locais, como é o caso da profundidade da linha de recalque. Além disso, os dispositivos de proteção da linha de recalque também podem influenciar, sendo maior o custo à medida que se aumentam as quantidades de dispositivos.

Os resultados obtidos por Pacheco (2011) e inseridos na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa de custos/m de implantação dessas unidades estão apresentados nas equações 11, 12, 13 e 14.

- FoFo:

Para emissários de FoFo, foi observado um decréscimo proporcional ao valor por metro conforme o diâmetro aumenta, sendo mais interessante o uso desse material para diâmetros a partir de 300 mm (Pacheco, 2011). A linha de tendência que melhor representou os custos para

essa categoria, segundo o autor, foi a logarítmica, uma vez observada uma leve acentuação dos custos à medida que o DN aumentava. O resultado pode ser representado pela equação 11.

$$C_e = 170 * \ln(De) - 470 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

C_e é o custo/m linear do emissário, em R\$/m; e,

De é o diâmetro nominal do tubo, em mm, obtido pela equação 10.

- PEAD:

Para emissários de PEAD, foi observado um acréscimo proporcional no valor por metro conforme o diâmetro aumenta (Pacheco, 2011). A linha de tendência que melhor representou os custos para essa categoria foi a potencial. O resultado pode ser representado pela equação 12.

$$C_e = 4,3 * De^{0,8} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

C_e é o custo/m linear do emissário, em R\$/m; e,

De é o diâmetro nominal do tubo, em mm, obtido pela equação 10.

- PRFV / RPVC:

Para emissários de PRFV e RPVC, foi observada uma proporcionalidade entre os valores por metro por diâmetro. A linha de tendência que melhor representou os custos para essas categorias, segundo o autor, foi a linear. O resultado pode ser representado pela equação 13.

$$C_e = 0,7 * x + 78 \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

C_e é o custo/m linear do emissário, em R\$/m; e,

De é o diâmetro nominal do tubo, em mm, obtido pela equação 10.

- PVC deFoFo

Para emissários de PVC deFoFo, foi observado por Pacheco (2011) um acréscimo proporcional no valor R\$/m à medida que o diâmetro aumentava, se mostrando mais econômico

em relação aos emissários em PEAD para diâmetros de até 300 mm (aqui, no entanto, é importante que sejam observados os transientes hidráulicos na linha de recalque, pois o material deve suportar as pressões positivas e negativas da linha). A linha de tendência que melhor representou os custos para essa categoria, segundo o autor, foi a potencial. O resultado pode ser representado pela equação 14.

$$C_e = 2,6 * D_e^{0,8} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

C_e é o custo/m linear do emissário, em R\$/m; e,

D_e é o diâmetro nominal do tubo, em mm, obtido pela equação 10.

O custo total para os emissários pode ser dado pelo produto entre o custo/m e a extensão, conforme colocado na equação 15.

$$C_{Te} = C_e * EXTe \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

C_{Te} é o custo total do emissário, em R\$;

C_e é o custo/m linear do emissário, em R\$/m, obtido pelas equações 11, 12, 13 e 14; e,

$EXTe$ é a extensão do emissário, dado fornecido pelo usuário.

3.4 TRATAMENTO DE ESGOTO

Para o tratamento de esgoto, o primeiro fator importante na estimativa dos custos a ser citado é a **vazão** nessas unidades, que tem relação direta com a população e é determinada pelo consumo per capita de água, taxa de retorno e coeficientes k_1 , k_2 e k_3 . Esse fator constitui um dado de entrada do programa.

O **processo de tratamento** também é um fator preponderante nos custos do tratamento de esgoto. Aqui, é necessária cautela na escolha do sistema mais apropriado para tratamento, devendo o custo não ser o único critério de escolha, uma vez que quem dita a melhor tecnologia é o corpo receptor, que vai demandar uma determinada eficiência na remoção de carga orgânica (Pacheco, 2011). Deve ser observada, por exemplo, a capacidade de autodepuração do corpo d'água, isto é, a capacidade de os compostos orgânicos serem convertidos em compostos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico, além de outros fatores como o objetivo e nível do tratamento (Sperling, 1996).

Além disso, é importante considerar também os custos de compra de terreno e de operação na escolha do processo de tratamento a ser adotado, subsídios além dos custos de implantação estudados neste trabalho, mas que apresentam forte influência nos custos gerais das estações de tratamento.

Pacheco (2011) classificou os processos mais encontrados em sua base de dados: (i) lagoa Facultativa + maturação; (ii) reatores aeróbios – lodos ativados (lodos ativados convencional, por aeração prolongada e de fluxo intermitente); (iii) reatores anaeróbios do tipo RALF com filtro anaeróbio; (iv) reatores anaeróbios do tipo RALF com lagoa facultativa; (v) reatores anaeróbios do tipo UASB com filtro biológico e decantadores. As 05 (cinco) opções acima colocadas foram inseridas na interface do programa como dado de entrada, devendo o usuário selecionar uma para análise.

Os resultados encontrados por Pacheco (2011) para as ETE estão apresentados nas equações 16 a 20, que foram inseridas na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa dos custos dessas unidades.

- Lagoa Facultativa associada com Lagoa de Maturação:

Para esse processo de tratamento, foi observado pelo autor um decréscimo proporcional ao custo *per capita* conforme o aumento da vazão, o que justifica a escolha da linha de tendência logarítmica para representação dos custos. O resultado pode ser representado pela equação 16.

$$CTete = 670.000 * \ln(Qete) + 600.000 \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

$CTete$ é o custo total da ETE, em R\$; e,

$Qete$ é a vazão nominal de entrada da ETE, em L/s, fornecida pelo usuário.

- Reatores Aeróbios – Lodos Ativados:

Para os reatores aeróbios do tipo lodos ativados, o autor observou uma taxa de custo por população constante com o acréscimo da vazão. A linha de tendência que melhor se adequou a esse processo foi a potencial. O resultado pode ser representado pela equação 17.

$$CTete = 122.000 * Qete^{1,02} \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

$CTete$ é o custo total da ETE, em R\$; e,

$Qete$ é a vazão nominal de entrada da ETE, em L/s, fornecida pelo usuário.

- Reatores Anaeróbios do tipo RALF com Filtro Anaeróbio:

Para os reatores anaeróbios do tipo RALF com filtros anaeróbios, o autor também observou, assim como no processo lagoa facultativa + maturação, um decréscimo proporcional ao custo *per capita* conforme o aumento da vazão. A linha de tendência que melhor se adequou a esse processo foi a logarítmica. O resultado pode ser representado pela equação 18.

$$CTete = 700.000 * \ln(Qete) - 150.000 \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

$CTete$ é o custo total da ETE, em R\$; e,

$Qete$ é a vazão nominal de entrada da ETE, em L/s, fornecida pelo usuário;

- Reatores Anaeróbios do tipo RALF com Lagoa Facultativa:

Para os reatores anaeróbios do tipo RALF com lagoa facultativa, a linha de tendência que melhor se adequou foi a linear (Pacheco, 2011). O resultado pode ser representado pela equação 19.

$$CTete = 75.000 + 125.000 \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

$CTete$ é o custo total da ETE, em R\$; e,

$Qete$ é a vazão nominal de entrada da ETE, em L/s, fornecida pelo usuário.

- Reatores Anaeróbios do tipo UASB com Filtro Biológico e Decantadores:

Para os reatores anaeróbios do tipo UASB com filtros biológicos percoladores mais decantadores secundários, o autor observou uma taxa de custo por população constante com o acréscimo da vazão, assim como ocorreu para os reatores aeróbios do tipo lodos ativados. A linha de tendência que melhor se adequou para esse processo também foi a potencial. O resultado pode ser representado pela equação 20.

$$CTete = 76.000 * Qete^{1,12} \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

$CTete$ é o custo total da ETE, em R\$; e,

$Qete$ é a vazão nominal de entrada da ETE, em L/s, fornecida pelo usuário.

3.5 TRATAMENTO DE LODO DE ESGOTO

Um fator importante para determinação dos custos do tratamento do lodo é o **processo de tratamento** a ser utilizado. Pacheco (2011) considerou produções de ETE do tipo UASB e UASB + LA (lodos ativados), e, para efeitos de comparação, pré-dimensionou dois processos de tratamento de lodo, com base em valores usuais de projetos: leitos de secagem e secagem mecanizada por centrífugas, explicados no item 2.2.7. Os pré-dimensionamentos atenderam as etapas de adensamento, condicionamento, desaguamento e higienização para disposição final do lodo já estabilizado.

Dessa forma, apenas será possível calcular o custo para o tratamento do lodo se o processo de tratamento de esgoto escolhido na etapa de ETE (vide subitem 3.4) tiver sido “reatores aeróbios – lodos ativados” ou “reatores anaeróbios do tipo UASB com filtro biológico e decantador”. Ademais, o processo de tratamento do lodo se configura como um dado de entrada, onde o usuário irá escolher o processo de acordo com a classificação colocada - leitos de secagem ou secagem mecanizada por centrífugas.

Um outro fator importante para a determinação deste custo é a **vazão nominal de entrada da ETE**, dado de entrada já comentado no subitem 3.4, não sendo, portanto, necessário que o usuário insira novamente nesta etapa.

Os resultados encontrados por Pacheco (2011) para o tratamento do lodo, agrupados de acordo com o processo de tratamento de esgoto selecionado, estão apresentados nas equações 21 a 24, que foram inseridas na área de código do programa como parte fundamental no processo de estimativa dos custos para esta etapa.

- Para ETE tipo lodos ativados:

As equações 21 e 22 apresentam os custos do tratamento do lodo proveniente do processo de tratamento de lodos ativados para leitos de secagem e sistema mecanizado, respectivamente, estando incluídos os custos de implantação da secagem e calagem.

$$CTtl = 21.000 * Qete \quad (\text{Equação 21})$$

$$CTtl = 12.000 * Qete + 336.000 \quad (\text{Equação 22})$$

Onde:

$CTtl$ é o custo total para o tratamento do lodo de acordo com o processo escolhido, em R\$; e,

$Qete$ é a vazão nominal de entrada da ETE, em L/s, já fornecida pelo usuário para obtenção dos custos de implantação dessa unidade.

Pacheco (2011), ao interceptar as curvas dadas pelas equações 21 e 22, constatou ser mais vantajosa financeiramente a implantação de sistemas mecanizados (apenas implantação) para vazões maiores que 35 L/s em ETEs tipo lodos ativados. Essa vazão equivale a uma população de aproximadamente 25 mil habitantes para uma contribuição per capita de esgoto de 120 L/pessoa.dia (valor estimado tendo como base o consumo médio de água no ano de 2019, de acordo com o SNIS, e um coeficiente de retorno de 0,8, conforme recomenda a NBR 9649 da ABNT).

- Para ETE tipo UASB:

As equações 23 e 24 apresentam os custos do tratamento do lodo proveniente do processo de tratamento UASB para leitos de secagem e sistema mecanizado, respectivamente, estando incluídos os custos de implantação da secagem e calagem.

$$CTtl = 12.000 * Qete + 30.000 \quad (\text{Equação 23})$$

$$CTtl = 7.000 * Qete + 225.000 \quad (\text{Equação 24})$$

Onde:

$CTtl$ é o custo total para o tratamento do lodo de acordo com o processo escolhido, em R\$; e,

$Qete$ é a vazão nominal de entrada da ETE, em L/s, já fornecida pelo usuário para obtenção dos custos de implantação dessas unidades.

Ao interceptar as curvas dadas pelas equações 23 e 24, foi constatada como mais vantajosa financeiramente a implantação de sistemas mecanizados (apenas implantação) para vazões superiores a 40 L/s em ETEs tipo UASB. Essa vazão equivale a uma população de aproximadamente 29 mil habitantes para uma contribuição per capita de esgoto de 120 L/pessoa.dia .

3.6 ATUALIZAÇÃO FINANCEIRA

Tendo em vista que as equações 1 a 24 foram desenvolvidas utilizando uma base de dados atualizada para o mês de maio de 2011, torna-se imprescindível que haja uma etapa de atualização para os períodos posteriores. Dessa forma, foram oferecidas ao usuário do programa, em 02 (duas) *combobox* distintas (controles visíveis na interface), as opções mês (janeiro a dezembro) e ano (2011 a 2021) referência para atualização financeira, sendo:

- Referência inicial válida = maio/2011, quando foram desenvolvidas as equações que representam os custos; e,
- Referência final válida = outubro/2021, último INCC disponibilizado pelo IBRE durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Portanto, caso o usuário selecione como referência o ano de 2011 e o mês seja anterior a maio, aparecerá uma mensagem informando-o que a referência inicial válida é maio daquele ano. Da mesma forma, caso selecione como referência o ano de 2021 e o mês seja posterior a outubro, será informado de que a referência final válida é outubro daquele ano.

Conforme especificado no item 2.2.9, foram utilizados os índices mensais fornecidos pelo INCC – Mercado (INCC-M), do IBRE, pertencente à FGV. O Quadro 8 apresenta os índices inseridos na área de código do programa para que pudesse ser realizada a etapa de atualização.

Quadro 8 - Índice Nacional da Construção Civil – INCC.

INCC-M - Fechamento mensal (%)												
Ano	Mês											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2011	-	-	-	-	2,03	1,43	0,59	0,16	0,14	0,20	0,50	0,35
2012	0,67	0,42	0,37	0,83	1,30	1,31	0,85	0,32	0,21	0,24	0,23	0,29
2013	0,39	0,80	0,28	0,84	1,24	1,96	0,73	0,31	0,43	0,33	0,27	0,22
2014	0,70	0,44	0,22	0,67	1,37	1,25	0,80	0,19	0,16	0,20	0,30	0,25
2015	0,70	0,50	0,36	0,65	0,45	1,87	0,66	0,80	0,22	0,27	0,40	0,12
2016	0,32	0,52	0,79	0,41	0,19	1,52	1,09	0,26	0,37	0,17	0,17	0,36
2017	0,29	0,53	0,36	-0,08	0,13	1,36	0,22	0,40	0,14	0,19	0,28	0,14
2018	0,28	0,14	0,23	0,28	0,30	0,76	0,72	0,30	0,17	0,33	0,26	0,13
2019	0,40	0,19	0,19	0,49	0,09	0,44	0,91	0,34	0,60	0,12	0,15	0,14
2020	0,26	0,35	0,38	0,18	0,21	0,32	0,84	0,82	1,15	1,69	1,29	0,88
2021	0,93	1,07	2,00	0,95	1,80	2,30	1,24	0,56	0,56	0,80	-	-

Fonte: IBRE – FGV.

De posse dos índices colocados no Quadro 8, foram calculados os fatores multiplicadores, que têm extrema importância para a atualização dos custos de implantação das unidades de esgotamento sanitário abordadas neste trabalho, conforme a equação 25.

$$FM = (1 + INCC_{mb}) * (1 + INCC_{mb+1}) * \dots * (1 + INCC_{mb+n}) \quad (\text{Equação 25})$$

Onde:

FM é o fator multiplicador do mês a calcular;

mb é o mês base quando as equações foram desenvolvidas (nesse caso, mai/2011); e,

$mb + n$ é o mês para o qual se deseja realizar a atualização financeira, fornecido pelo usuário.

A conversão do INCC no fator multiplicador é fundamental nesse processo, uma vez que, realizada a multiplicação direta desse FM com os custos obtidos pelas equações 1 a 24, obtemos a atualização financeira para a data desejada. Dessa forma, o custo a ser apresentado pelo programa ao usuário é calculado de acordo com as equações 26 a 31.

- Rede coletora de esgoto:

$$CTrc_{atualizado} = CTrc * FM \quad (\text{Equação 26})$$

Onde:

$CTrc_{atualizado}$ é o custo total da rede coletora de esgoto atualizado para a data desejada;

$CTrc$ é o custo total da rede coletora, dado pela equação 4; e,

FM é o fator multiplicador para a data desejada, dado pela equação 25.

- Coletores e interceptores:

$$CTci_{atualizado} = CTci * FM \quad (\text{Equação 27})$$

Onde:

$CTci_{atualizado}$ é o custo total dos coletores e interceptores atualizado para a data desejada;

$CTci$ é o custo total dos coletores e interceptores, dado pela equação 5; e,

FM é o fator multiplicador para a data desejada, obtido pela equação 25.

- Estação elevatória de esgoto:

$$CTeee_{atualizado} = CTeee * FM \quad (\text{Equação 28})$$

Onde:

$CT_{eee\text{atualizado}}$ é o custo total da EEE atualizado para a data desejada;

CT_{eee} é o custo total da EEE, dado pelas equações 6, 7, 8 e 9; e,

FM é o fator multiplicador para a data desejada, obtido pela equação 25.

- Emissários:

$$CT_{e\text{atualizado}} = CT_e * FM \quad (\text{Equação 29})$$

Onde:

$CT_{e\text{atualizado}}$ é o custo total dos emissários atualizado para a data desejada;

CT_e é o custo total dos emissários, dado pela equação 15; e,

FM é o fator multiplicador para a data desejada, obtido pela equação 25.

- Tratamento de esgoto:

$$CT_{ete\text{atualizado}} = CT_{ete} * FM \quad (\text{Equação 30})$$

Onde:

$CT_{ete\text{atualizado}}$ é o custo total da ETE atualizado para a data desejada;

CT_{ete} é o custo total da ETE, dado pelas equações 16 a 20; e,

FM é o fator multiplicador para a data desejada, obtido pela equação 25.

- Tratamento do lodo de esgoto:

$$CT_{tl\text{atualizado}} = CT_{tl} * FM \quad (\text{Equação 31})$$

Onde:

$CT_{tl\text{atualizado}}$ é o custo total do tratamento do lodo atualizado para a data desejada;

CT_{tl} é o custo total do tratamento do lodo, dado pelas equações 21 a 24; e,

FM é o fator multiplicador para a data desejada, obtido pela equação 25.

4. MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

Ao acessar o programa, o usuário irá se deparar com a interface apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Interface do programa.

Fonte: autora.

Nessa janela, são solicitados os dados de entrada, que estão separados em 05 (cinco) grupos de controle de programação, correspondentes às unidades de esgotamento sanitário, e ainda em 01 (uma) etapa para atualização financeira, correspondente à escolha do mês e ano de referência.

Para as redes coletoras de esgoto e interceptores, o usuário deve entrar com os seguintes dados acerca da sub-bacia em análise: área, em ha; população de saturação, em número de habitantes, de acordo com as faixas disponibilizadas na *combobox* relacionada a esse dado (Figura 10); nível de declividade do terreno, de acordo com as opções que constam na *combobox* relacionada a essa informação (Figura 11); situação da área de implantação, de acordo com as opções apresentadas na *combobox* relacionada a esse dado (Figura 12); e uso do solo, também selecionando a opção da *combobox* relacionada a esse dado que melhor representa a região estudada (Figura 13).

Ao selecionar a população da sub-bacia, será automaticamente apresentada na *RichTextBox* a composição diametral estimada para a rede de transporte de efluentes, conforme pode ser visto na Figura 10 (área destacada em azul).

Figura 10 - *ComboBox* população de saturação da sub-bacia.

Fonte: autora.

Figura 11 - *ComboBox* nível de declividade do terreno.

Fonte: autora.

Figura 12 - *ComboBox* situação da área de implantação.

Fonte: autora.

Figura 13 - *ComboBox* uso do solo.

Fonte: autora.

Para as estações elevatórias de esgoto, o usuário deve fornecer os seguintes dados: altura manométrica da linha de recalque, em mca; e vazão média, em L/s.

Para os emissários, o usuário deverá entrar com os dados: tipo de material da linha de recalque, de acordo com as opções que constam na *combobox* relacionada a esse dado (Figura 14); e extensão da linha de recalque, em metros.

Figura 14 - *ComboBox* tipo de material da linha de recalque.

Fonte: autora.

Para o tratamento de esgoto, o usuário deve entrar com os seguintes dados: vazão nominal de entrada da estação de tratamento, em L/s; e tipo de processo de tratamento, de acordo com as opções que constam na *combobox* relacionada a esse dado (Figura 15).

Caso seja selecionado como tipo de processo de tratamento de esgoto “lagoa facultativa + maturação”, “reatores anaeróbios do tipo RALF com filtro anaeróbio” ou “reatores anaeróbios do tipo RALF com lagoa facultativa”, o *groupbox* relacionado ao tratamento do lodo de esgoto será desabilitado (Figura 16), uma vez que as estimativas de custos para essa etapa foram realizadas apenas para lodos ativados e reatores tipo UASB.

Figura 15 - *ComboBox* tipo do processo de tratamento do esgoto.

Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário

Dados de Entrada | Resultados

Redes Coletoras de Esgoto e Interceptores

Área da Sub-bacia (ha)

População de Saturação da Sub-bacia (hab)

Nível de Declividade do Terreno

Situação da Área de Implantação

Uso do Solo

Composição Diametral Estimada da Rede de Transporte de Efluentes

Estações Elevatórias de Esgoto

Altura Manométrica da Linha de Recalque (m.c.a.)

Vazão Média (l/s)

Tratamento do Lodo de Esgoto

Processo de Secagem do Lodo

Emissários

Tipo de Material da Linha de Recalque

Extensão da Linha de Recalque (m)

Seleção mês e ano de referência para atualização financeira:

Mês

Ano

Tratamento de Esgoto

Vazão Nominal de Entrada da ETE (L/s)

Tipo do Processo de Tratamento

Calcular Custos

Lagoa Facultativa + Maturação
 Reatores Aeróbios - Lodos Ativados
 Reatores Anaeróbios do tipo RALF com filtro anaeróbio
 Reatores Anaeróbios do tipo RALF com lagoa facultativa
 Reatores Anaeróbios do tipo UASB com filtro biológico e decantadores

Fonte: autora.

Figura 16 - Desabilitação do *GroupBox* tratamento do lodo de esgoto com base no tipo de processo de tratamento de esgoto selecionado.

Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário

Dados de Entrada | Resultados

Redes Coletoras de Esgoto e Interceptores

Área da Sub-bacia (ha)

População de Saturação da Sub-bacia (hab)

Nível de Declividade do Terreno

Situação da Área de Implantação

Uso do Solo

Composição Diametral Estimada da Rede de Transporte de Efluentes

Estações Elevatórias de Esgoto

Altura Manométrica da Linha de Recalque (m.c.a.)

Vazão Média (l/s)

Tratamento do Lodo de Esgoto

Processo de Secagem do Lodo

Emissários

Tipo de Material da Linha de Recalque

Extensão da Linha de Recalque (m)

Seleção mês e ano de referência para atualização financeira:

Mês

Ano

Tratamento de Esgoto

Vazão Nominal de Entrada da ETE (L/s)

Tipo do Processo de Tratamento

Calcular Custos

Lagoa Facultativa + Maturação

Fonte: autora.

Para o tratamento do lodo de esgoto, quando selecionado o tipo de processo de tratamento de esgoto “reatores anaeróbios – lodos ativados” ou “reatores anaeróbios do tipo UASB com filtro biológico e decantadores”, o usuário deve entrar com o processo de secagem do tratamento, de acordo com as opções que constam na *comboBox* relacionada a esse dado (Figura 17).

Figura 17 - *ComboBox* processo de secagem do lodo.

The screenshot shows a software window titled "Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário". The interface is divided into several sections:

- Dados de Entrada**: Includes fields for "Redes Coletoras de Esgoto e Interceptores" (Área da Sub-bacia, População de Saturação, Nível de Declividade, Situação da Área de Implantação, Uso do Solo) and "Composição Diametral Estimada da Rede de Transporte de Efluentes".
- Estações Elevatórias de Esgoto**: Includes "Altura Manométrica da Linha de Recalque (m.c.a.)" and "Vazão Média (l/s)".
- Emissários**: Includes "Tipo de Material da Linha de Recalque" and "Extensão da Linha de Recalque (m)".
- Tratamento de Esgoto**: Includes "Vazão Nominal de Entrada da ETE (L/s)" and "Tipo do Processo de Tratamento".
- Tratamento do Lodo de Esgoto**: Includes a dropdown menu for "Processo de Secagem do Lodo" (highlighted with a red circle, showing options "Leitos de secagem" and "Secagem mecanizada") and "Seleção mês e ano de referência para atualização financeira" (Mês and Ano dropdowns).
- Buttons**: A "Calcular Custos" button is located at the bottom right.

Fonte: autora.

A última etapa de inserção de dados consiste na seleção do mês e do ano de referência para a devida atualização financeira (figuras 18 e 19). Caso o usuário escolha um período anterior a maio de 2011, ou posterior a outubro de 2021, aparecerá para ele um aviso de referência inválida, ao clicar no botão “calcular custos”, conforme as figuras 20 e 21, respectivamente.

Figura 18 - ComboBox mês para atualização financeira.

Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário

Dados de Entrada | Resultados

Redes Coletoras de Esgoto e Interceptores

Área da Sub-bacia (ha)

População de Saturação da Sub-bacia (hab)

Nível de Declividade do Terreno

Situação da Área de Implantação

Uso do Solo

Composição Diametral Estimada da Rede de Transporte de Efluentes

Estações Elevatórias de Esgoto

Altura Manométrica da Linha de Recalque (m.c.a.)

Vazão Média (l/s)

Tratamento do Lodo de Esgoto

Processo de Secagem do Lodo

Emissários

Tipo de Material da Linha de Recalque

Extensão da Linha de Recalque (m)

Seleção mês e ano de referência para atualização financeira:

Mês

Ano

Jan
Fev
Mar
Abr
Mai
Jun
Jul
Ago

Calcular Custos

Fonte: autora.

Figura 19 - ComboBox ano para atualização financeira.

Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário

Dados de Entrada | Resultados

Redes Coletoras de Esgoto e Interceptores

Área da Sub-bacia (ha)

População de Saturação da Sub-bacia (hab)

Nível de Declividade do Terreno

Situação da Área de Implantação

Uso do Solo

Composição Diametral Estimada da Rede de Transporte de Efluentes

Estações Elevatórias de Esgoto

Altura Manométrica da Linha de Recalque (m.c.a.)

Vazão Média (l/s)

Tratamento do Lodo de Esgoto

Processo de Secagem do Lodo

Emissários

Tipo de Material da Linha de Recalque

Extensão da Linha de Recalque (m)

Seleção mês e ano de referência para atualização financeira:

Mês

Ano

2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018

Custos

Fonte: autora.

Figura 20 - Aviso de referência inicial válida para atualização financeira.

The screenshot shows the 'Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário' application. A modal dialog box is open, displaying an information icon and the text 'A referência inicial válida: mai/2011'. The background window is divided into several sections: 'Redes Coletoras de Esgoto e Interceptores' with fields for area, population, slope, and land use; 'Estações Elevatórias de Esgoto' with fields for manometric height and flow rate; and 'Emissários' with fields for material type, extension, and treatment process. A 'Calcular Custos' button is located at the bottom right of the main window.

Fonte: autora.

Figura 21 - Aviso de referência final válida para atualização financeira.

This screenshot is similar to Figure 20, showing the same software interface. The modal dialog box now displays 'A referência final válida: out/2021'. In the background window, the 'Mês' dropdown menu is set to 'Nov' and the 'Ano' dropdown menu is set to '2021'. The 'Calcular Custos' button remains at the bottom right.

Fonte: autora.

Após inserir os dados de entrada e dar um simples clique no botão “Calcular Custos”, o usuário será automaticamente direcionado para a aba dos resultados (Figura 22), onde serão

apresentados os custos estimados para todas as unidades, e o custo total, que consiste na soma de todos os anteriores.

Figura 22 - Aba de apresentação dos resultados.

A imagem mostra a interface de usuário de um software, especificamente a aba 'Resultados'. O título da janela é 'Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário'. No topo, há duas abas: 'Dados de Entrada' e 'Resultados', com 'Resultados' selecionada. O conteúdo principal é dividido em duas seções:

- Custos detalhados:** Uma caixa contendo seis linhas, cada uma com um rótulo de custo e um campo de entrada de texto.
 - Custo da Rede Coletora (R\$)
 - Custo dos Coletores e Interceptores (R\$)
 - Custo da Estação Elevatória de Esgoto (R\$)
 - Custo dos Emissários (R\$)
 - Custo do Tratamento de Esgoto (R\$)
 - Custo do Tratamento do Lodo de Esgoto (R\$)
- Custo Total do Sistema de Esgotamento Sanitário:** Uma caixa contendo um único campo de entrada de texto rotulado 'Custo Final (R\$)'.

Fonte: autora.

De forma a demonstrar a funcionalidade do programa, o apêndice A traz sua aplicação em uma situação real de implantação de um sistema de esgotamento sanitário, na cidade de Bom Jesus – PB, com posterior comparação entre a estimativa de custos de investimento feita pela ferramenta desenvolvida neste trabalho e os custos apontados pela empresa responsável pela elaboração de estudos de concepção e projeto básico e executivo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário foi desenvolvido visando oferecer subsídios à tomada de decisões no setor de saneamento, de forma a acelerar o processo de avaliação de alternativas no que tange ao serviço básico de esgotamento sanitário.

Com a elaboração do programa, foi possível o aprofundamento em temas como esgoto sanitário, rede coletora, interceptores, estações elevatórias de esgoto, emissários, estações de tratamento de esgoto, tratamento de lodo de esgoto, custos de implantação dessas unidades, conceitos relacionados à atualização financeira e sua importância em estudos como este, e ainda programação em VB.

A versão final do programa permite a estimativa de custos de implantação de todas as unidades de um SES, atualizada para a data desejada, mediante o fornecimento de alguns dados por parte do usuário. Portanto, a conclusão do trabalho é que o objetivo geral foi atingido com excelência, tendo sido automatizados, em forma de programa, os cálculos para estimativas de custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário, conforme pretendido inicialmente.

Apesar de constantes revisões durante o desenvolvimento do programa, e testes para comprovar a eficiência dos resultados obtidos, é possível que ao longo de sua utilização erros sejam descobertos. Destaca-se que essa ferramenta está em constante desenvolvimento e que críticas e sugestões serão de grande importância para seu aprimoramento.

O presente trabalho abre caminho para que órgãos públicos e empresas do ramo do saneamento possam introduzir uma ferramenta de análise de alternativas capaz de acelerar a etapa de estudos técnico-econômicos na concepção de um sistema de esgotamento sanitário. Por fim, fica como sugestão para trabalhos futuros o aperfeiçoamento do programa através da inserção de custos de outras etapas além da de implantação aqui abordada, como é o caso, por exemplo, dos custos de operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V.; LARA, A.; ILHENFELD, R.; **Uso e Manejo do Lodo de Esgotos na Agricultura. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.** ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** ABNT, Rio de Janeiro, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.** ABNT, Rio de Janeiro, 1986.

BORSOI, Z; LANARI, N; GOMES, S. **SANEAMENTO: O OBJETIVO É A EFICIÊNCIA.** BNDES. 1998. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/infra/g7423.pdf>. Acesso em outubro de 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel do Setor de Saneamento.** 2019. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>>. Acesso em outubro de 2021.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 14.026.** 15 de Julho de 2020.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 14.133.** 1 de Abril de 2021.

COSTA, Beatriz Veras. **SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO – ESTUDO DE CASO: TREVISO/SC.** Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 98. 2013.

FGV – IBRE. **Séries institucionais FGV – Índice Nacional de Custo da Construção – INCC.** Disponível em: < <https://extra-ibre.fgv.br/IBRE/sitefgvdados/consulta.aspx>>. Acesso em outubro de 2021.

HELLER, Léo. **Saneamento e saúde.** Brasília: OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. 1997. 104 p.

Hidramaco. **Catálogo de produtos – SOLUÇÕES DE QUALIDADE EM FERRO FUNDIDO.** São Paulo – SP. 2010. Disponível em: <https://www.hidramaco.com.br/Catalogo_Hidramaco.pdf>. Acesso em julho de 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Principais estatísticas de Saneamento no Brasil.** 2021. Disponível em: <<https://www.tratabrasil.org.br/pt/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/dados-regionais>>. Acesso em outubro de 2021.

Joplas. **TUBOS DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO – PRFV.** Marechal Deodoro – AL. 2014. Disponível em: <<https://www.joplas.com.br/wp-content/uploads/2014/07/Cat%C3%A1logo-Joplas.pdf>>. Acesso em julho de 2021.

Joplas. **TUBOS E CONEXÕES RPVC.** Marechal Deodoro – AL. 2014. Disponível em: <https://www.joplas.com.br/wp-content/uploads/2014/07/catalogo_rpv.pdf>. Acesso em julho de 2021.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI**. Revista de Administração Pública, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011.

MEJIA, Abel *et al.* **Água, redução de pobreza e desenvolvimento sustentável**. 1ª Edição – Brasília: Banco Mundial. 2003. 52 p.

MORETO, M.; ROSSO, V.; SALVESTRO, A. **Análise de custo de implantação do sistema de esgotamento sanitário no distrito de balneário Porto Camargo – Pr**. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Campus Umuarama – Universidade Paranaense. Umuarama, p. 28. 2017.

OLIVEIRA, Cristiane. **APLICABILIDADE DE SISTEMAS SIMPLIFICADOS PARA ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE CIDADES DE PEQUENO PORTE**. Monografia (Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 80. 2014.

PACHECO, Rodrigo Pinheiro. **Custos para implantação de sistemas de esgotamento sanitário**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 149. 2011.

Polierg Indústria e Comércio Ltda. **Catálogo de produtos**. São Paulo - SP. 2016. Disponível em: <http://www.polierg.com.br/catalogo_2016.pdf>. Acesso em julho de 2021.

TIGRE. **TUBO DEFOFO MPVC**. Disponível em: <<https://www.tigre.com.br/tubo-defofo-mpvc>>. Acesso em novembro de 2021.

TSUTIYA, M.; ALÉM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 1ª Edição – São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1999. 548 p.

VON SPERLING, M.; **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. vol. 1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA UFMG. Belo Horizonte, 1996.

APÊNDICE A

Para demonstrar a funcionalidade do programa, será utilizado como base o estudo de concepção do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Bom Jesus, localizada no extremo oeste do estado da Paraíba, limitando-se a sudoeste com Cachoeira dos Índios, a sudeste e a leste com Cajazeiras, a norte com Santa Helena e a oeste com Ipaumirim, no Ceará. O estudo de concepção, bem como os projetos básico e executivo e os orçamentos foram disponibilizados pelo engenheiro da Prefeitura Municipal de Bom Jesus.

Figura 23 - Mapa de localização da cidade de Bom Jesus-PB.



Fonte: retirado do memorial descritivo do projeto básico de esg. sanitário da cidade de Bom Jesus-PB.

A região objeto do projeto em análise possui uma área estimada em 58,39 ha e engloba toda a cidade de Bom Jesus. A população, de acordo com o último censo do IBGE (2010), era de 2.400 pessoas. Uma análise de regressão realizada pela empresa responsável pelos projetos do SES, em agosto de 2011 (data que será utilizada para atualização financeira, tendo em vista que os custos foram calculados nessa época), apontou uma população de 2795 habitantes em 2030 (horizonte de projeto de 20 anos).

Com respeito aos solos, nos patamares compridos e baixas vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; nos topos e altas vertentes, os solos brunos não cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; nos topos e altas vertentes do relevo ondulado ocorrem os podzólicos, drenados e fertilidade natural

média e as elevações residuais com os solos litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média. Basicamente, o uso do solo na região é habitacional, com bairros residenciais populares.

Já com relação ao relevo, o município encontra-se incluso na denominada “Planície Sertaneja”, a qual constitui um extenso pediplano arrasado, onde localmente se destacam elevações residuais alongadas.

Na alternativa técnica de concepção, foi colocada a necessidade de implantação de 02 (duas) estações elevatórias equipadas com bombas submersíveis com as características indicadas na Tabela 6. Conseqüentemente, foi necessária também a implantação de 02 (dois) emissários de recalque, cujas características estão colocadas na Tabela 7.

Tabela 6 - Características das estações elevatórias projetadas.

Bom Jesus		
Estação Elevatória	EE1	EE2
Nº Total de Conjuntos	2, sendo 1 de reserva	2, sendo 1 de reserva
Nº de Conjuntos Reserva	1	1
Rotação (rpm)	1750	1750
Vazão por bomba (l/s)	21,00	6,77
Altura Manométrica (m)	26,31	15,12
Potência (Cv)	15,00	5,00
Transformador (KVA)	15	15
Grupo Gerador (KVA)	45	20
Cota do Nível Máximo (m)	312,459	305,134
Cota do Nível Mínimo	311,459	304,134
Cota do Fundo da Elevatória	310,459	303,134

Fonte: Memória descritiva do projeto básico de esg. sanitário da cidade de Bom Jesus-PB.

Tabela 7 - Características dos emissários de recalque.

Bom Jesus		
Emissário	EMR-1	EMR-2
Extensão (m)	1.536	240,00
Diâmetro (mm)	150	100
Vazão (l/s)	21,00	6,77
Velocidade (m/s)	1,09	0,73
Material	PVC DEFOFO, 1MPa	PVC DEFOFO, 1MPa

Fonte: Memória descritiva do projeto básico de esg. sanitário da cidade de Bom Jesus-PB.

Na alternativa proposta, os esgotos coletados pela rede coletora de Bom Jesus serão recalcados através do emissário 1 (EMR-1) da estação elevatória 1 (EEE1) até a estação de tratamento de esgoto, constituída por 01 (uma) lagoa anaeróbia, 01 (uma) lagoa facultativa e 01 (uma) lagoa de maturação. Entretanto, dentre as opções para escolha do processo de tratamento de esgoto no programa desenvolvido, não existe uma que corresponda ao processo adotado na

alternativa em análise, ficando inviável, dessa forma, a comparação dos custos do tratamento do esgoto. Diante disso, não será realizada a estimativa de custos para essa etapa, de forma a não comprometer o comparativo do custo total entre as outras etapas a serem analisadas.

Foi necessário rodar o programa duas vezes: a primeira, estimando os custos de implantação para rede coletora e interceptores, EE1 e EMR-1 (as Figuras 24 e 25 trazem os dados de entrada inseridos na interface do programa e os resultados, respectivamente); e uma segunda vez para estimar os custos da EE2 e do EMR-2 (Figuras 26 e 27). Depois, basta somar os valores obtidos para chegar à estimativa final dos custos.

Figura 24 - Dados na interface para estimativa de custos da rede coletora e interceptores, da EE1 e do EMR-1.

Fonte: autora.

Figura 25 – Estimativa dos custos da rede coletora e interceptores, da EE1 e do EMR-1.

The screenshot shows a software window titled "Estimativa de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário". It has two tabs: "Dados de Entrada" and "Resultados". The "Resultados" tab is active, displaying a table of detailed costs:

Custos detalhados	
Custo da Rede Coletora (R\$)	2263804,00
Custo dos Coletores e Interceptores (R\$)	1678848,00
Custo da Estação Elevatória de Esgoto (R\$)	543152,68
Custo dos Emissários (R\$)	282881,30
Custo do Tratamento de Esgoto (R\$)	0,00
Custo do Tratamento do Lodo de Esgoto (R\$)	0,00
Custo Total do Sistema de Esgotamento Sanitário	
Custo Final (R\$)	4768686,00

Fonte: autora.

Figura 26 - Dados na interface para estimativa de custos da EE2 e do ERM-2.

The screenshot shows the same software window, but with the "Dados de Entrada" tab active. It contains several input fields and dropdown menus for configuring the system parameters:

- Redes Coletoras de Esgoto e Interceptores:**
 - Área da Sub-bacia (ha): [Empty text box]
 - População de Saturação da Sub-bacia (hab): [Empty dropdown]
 - Nível de Declividade do Terreno: [Empty dropdown]
 - Situação da Área de Implantação: [Empty dropdown]
 - Uso do Solo: [Empty dropdown]
- Estações Elevatórias de Esgoto:**
 - Altura Manométrica da Linha de Recalque (m.c.a.): 15,12
 - Vazão Média (l/s): 6,77
- Emissários:**
 - Tipo de Material da Linha de Recalque: PVC deFoFo
 - Extensão da Linha de Recalque (m): 240
- Tratamento de Esgoto:**
 - Vazão Nominal de Entrada da ETE (L/s): [Empty text box]
 - Tipo do Processo de Tratamento: [Empty dropdown]
- Tratamento do Lodo de Esgoto:**
 - Processo de Secagem do Lodo: [Empty dropdown]
- Composição Diametral Estimada da Rede de Transporte de Efluentes:** [Empty text box]
- Seleção de referência financeira:**
 - Mês: Ago
 - Ano: 2011
- Botão:** "Calcular Custos"

Fonte: autora.

Figura 27 - Estimativa dos custos da EE2 e do EMR-2.

Fonte: autora.

A Tabela 8 traz os investimentos previstos no estudo de concepção do SES da cidade de Bom Jesus, nos interessando apenas os custos de investimento para redes coletoras, coletores e interceptores, estações elevatórias e emissários.

Tabela 8 - Investimentos previstos no estudo de concepção.

Item	Investimento	TOTAL	2011	2012/ 2020	2021 /2030
1	Terreno (EE + ETE)	45.000	45.000	0	0
2	Ligações Domiciliares (501 unidades)	493.399	332.162	80.618	80.618
3	Redes Coletoras (Total de 13351,14 m)	3.413.753	2.844.794	284.479	284.479
4	Coletores Tronco	0	0	0	0
5	Interceptores	0	0	0	0
6	Estações Elevatórias (2 unidades)	577.491	577.491	-	0
7	Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	601.993	601.993		0
8	Emissários	324.077	324.077	-	0
9	Serviços Preliminares, Adm. e Custos Amb.	807.913	807.913	0	0
Total das Obras		6.218.626	5.488.431	365.098	365.098
Total dos Custos de Investimento		6.263.626	5.533.431	365.098	365.098

Fonte: Memória descritiva do projeto básico de esg. sanitário da cidade de Bom Jesus-PB.

O Quadro 9 traz, de forma resumida, a comparação dos custos estimados pelo programa e os previstos em projeto, bem como a diferença percentual entre eles.

Quadro 9 - Quadro resumo comparativo dos custos de implantação.

UNIDADE	INVESTIMENTOS PREVISTOS EM PROJETO (R\$)	ESTIMATIVA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO FEITA PELO PROGRAMA (R\$)	Diferença percentual (%)
REDE COLETORA, COLETORES E INTERCEPTORES	R\$3.907.152,00	R\$3.942.652,00	0,90
ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS	R\$577.491,00	R\$841.783,42	31,40
EMISSÁRIOS DE RECALQUE	R\$324.077,00	R\$308.267,65	4,88
TOTAL	R\$4.808.720,00	R\$5.092.703,07	5,58

Fonte: autora.

O custo total das unidades em análise estimado pelo programa está muito próximo daquele previsto em projeto, com uma diferença de aproximadamente 5,58% para mais, valor bem abaixo dos 25% autorizados na Lei de Licitações para aditivos ou supressões no valor do objeto, o que reforça a eficiência do programa. Além disso, percebe-se que o programa realiza os cálculos somente a partir de alguns parâmetros contidos em uma única tela – inseridos pelo usuário, ao passo que o projetista tem de fazer todo o projeto para chegar nesses custos.

Aqui, vale destacar que a divergência nos custos das estações elevatórias pode ter ocorrido devido ao padrão construtivo, uma vez que, no programa, não foi verificado tal, tampouco classificado o tipo de conjunto de bombas, fatores que podem influenciar no custo dessas unidades.