

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ESTUDO SOBRE A NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO
DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO NA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA SUL**

LUCAS SOARES REBELO

ORIENTADOR: ARTHUR TAVARES SCHLEICHER

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM
ENGENHARIA CIVIL**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ESTUDO SOBRE A NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO
DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO NA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA SUL**

LUCAS SOARES REBELO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

**ARTHUR TAVARES SCHLEICHER, MSc – UNB
(ORIENTADOR)**

**ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM, D.Sc - UnB
(EXAMINADORA INTERNA)**

**LUCILENE FERREIRA BATISTA, MSc - CAESB
EXAMINADOR EXTERNO,**

DATA: BRASÍLIA/DF, 05 DE JULHO DE 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

REBELO, LUCAS SOARES

Estudo sobre a necessidade de implantação do sistema de equalização na Estação de tratamento de esgotos Brasília sul.

xii, 82 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2019)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. Equalização de fluxos | 2. Regularização de vazões |
| 3. Estudo de caso | 4. ETEB SUL |

I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

REBELO, L.S. (2019). *ESTUDO SOBRE A NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA SUL*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 82 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: LUCAS SOARES REBELO

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: ESTUDO SOBRE A NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA SUL.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

LUCAS SOARES REBELO

Lucasrebelo97@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor da vida e criador de todas as coisas visíveis e invisíveis. Agradeço a Jesus Cristo, verdadeiro Deus e verdadeiro homem pelas graças que abundantemente tem concedido a mim e a minha família. Agradeço a Nossa Senhora, virgem e mãe pela proteção e intercessão que todos os dias me ajudam a caminhar em frente. Agradeço a Santa Igreja Católica Apostólica Romana, “coluna e sustentáculo da Verdade” (1 Tm 3,15) por ser mãe e mestra da minha vida. Agradeço a minha família pelo apoio prestado em todos os momentos e especialmente aos meus pais pela educação que me concederam. Agradeço a Universidade de Brasília pela formação acadêmica e por possibilitar a realização deste trabalho. Agradeço ao meu orientador por sua solicitude em ajudar e orientar de forma clara e produtiva. Agradeço a CAESB pela possibilidade de estagiar na ETEB Sul e por possibilitar o acesso aos dados para a realização deste trabalho. Agradeço a todos os amigos que me apoiaram de alguma forma nesses 5 anos de universidade. A todos meu muito obrigado!

“ In necessariis unitas, in dubiis libertas, in omnibus caritas. ”- Santo Agostinho

RESUMO

ESTUDO SOBRE A NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS BRASÍLIA SUL.

O sistema de equalização de fluxos se apresenta como uma ferramenta cada vez mais utilizada em estações de tratamento de esgoto ao redor do mundo para reduzir os impactos negativos provocados pela flutuação de carga afluente às estações. A otimização que a implantação desse sistema proporciona é amplamente documentada na bibliografia mais recente sobre saneamento, porém algumas desvantagens inerentes ao sistema também são reconhecidas. Dessa forma, é necessário avaliar diversos fatores envolvidos em cada estação de esgoto para avaliar se a implantação do sistema de equalização se justifica com base em dados. O presente estudo focou no caso da Estação de Esgotos Brasília Sul (ETEB Sul) que ainda não apresenta um sistema de equalização implantado. O estudo buscou primeiramente confirmar hipóteses de estudos anteriores que demonstram a capacidade de antigas estruturas da ETEB Sul de atuarem como reservatórios para a equalização. Após a confirmação da hipótese, foi realizada uma análise sobre fatores escolhidos com base na bibliografia analisada para o diagnóstico da situação atual da ETEB Sul e prognóstico de possíveis benefícios que a equalização pode trazer, como forma de avaliar a real necessidade de implantação desse sistema na ETEB Sul. Os fatores analisados foram: qualidade do efluente final, utilização da manobra de by-pass na ETEB Sul, análise de possíveis sobrecargas operacionais nas unidades da estação e consumo de produtos químicos. Os resultados obtidos demonstram que dois dos fatores analisados (utilização do by-pass e sobrecarga operacional) não apresentam necessidade da equalização como solução, enquanto os outros dois fatores (qualidade do efluente final e consumo de produtos químicos) podem ser beneficiados diretamente pela implantação do sistema. O estudo recomendou algumas soluções para mitigar problemas advindos da implantação do sistema de equalização de vazão, além de sugerir uma ampliação do estudo com novos fatores e a aplicação de métodos estatísticos que ajudem a tomar uma decisão definitiva sobre a implantação ou não da equalização na ETEB Sul.

PALAVRAS CHAVE:

Equalização de fluxos, regularização de vazões, tratamento de esgotos, ETEB Sul

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS.....	4
2.1.	OBJETIVO GERAL	4
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1.	SISTEMAS DE COLETA DE ESGOTO	5
3.1.1.	Águas residuárias	5
3.1.2.	Sistema de coleta unitário.....	6
3.1.3.	Sistema de coleta separador	6
3.2.	TRATAMENTO DE ESGOTO.....	7
3.2.1.	Processos de tratamento	7
3.2.2.	Sistemas de tratamento	9
3.2.2.1.	Lagoas de Estabilização	9
3.2.2.2.	Sistemas aeróbios com biofilme	11
3.2.2.3.	Sistemas anaeróbios.....	12
3.2.2.4.	Disposição no solo.....	13
	Lodos Ativados	14
3.2.2.5.....		14
3.3.	VAZÃO DE PROJETO DAS ETES	18
3.3.1.	Quota per capita.....	18
3.3.2.	Cálculo da Vazão	19
3.3.2.1.	Vazão Doméstica	19
3.3.2.2.	Vazão de infiltração.....	21
3.3.2.3.	Vazão industrial	21
3.4.	EQUALIZAÇÃO DE VAZÕES	22
3.4.1.	Objetivos da equalização de fluxos	22
3.4.1.1.	Vantagens da equalização de fluxos	22
3.4.1.2.	Desvantagens da equalização de fluxos.....	23
3.4.1.3.	Outros fatores	23
3.4.2.	Estruturas de equalização de fluxos.....	23
3.4.2.1.	Arranjo em linha.....	24
3.4.2.2.	Arranjo em paralelo	24
3.4.2.3.	Equalização na rede de coleta.....	25
3.4.3.	Modos operacionais da equalização de fluxo	26

3.4.3.1.	Divisão alternada de fluxo.....	26
3.4.3.2.	Divisão intermitente de fluxo.....	27
3.4.3.3.	Fluxo combinado completamente misturado.....	27
3.4.3.4.	Fluxo fixo completamente misturado.....	28
3.5.	DIMENSIONAMENTO DE TANQUES DE EQUALIZAÇÃO.....	28
3.5.1.	Balanço simples de fluxo (Diagrama de massa).....	28
3.5.2.	Balanço simples de concentração.....	32
3.5.3.	Balanço combinado de fluxo e concentração.....	33
4.	METODOLOGIA.....	34
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
4.2.	ETAPAS DO PROJETO.....	38
4.2.1.	Etapa preliminar: Revisão da proposta preliminar de equalização de fluxos na ETEB Sul	38
4.2.2.	Etapa 1: Diagnóstico da ETEB SUL e prognóstico sobre a equalização.....	38
4.2.4.	Etapa 3: Propostas e soluções.....	39
5.	DISCUSSÕES E RESULTADOS.....	40
5.1.	ETAPA PRELIMINAR.....	40
5.1.1.	Avaliação de confiabilidade dos dados para dimensionamento.....	40
5.1.2.	Atualização do diagrama de massa.....	46
5.2.	ETAPA 1: DIAGNÓSTICO DA ETEB SUL E PROGNÓSTICO SOBRE A EQUALIZAÇÃO.....	50
5.2.1.	Qualidade do efluente final da ETEB Sul.....	50
5.2.2.	Utilização do by-pass na ETEB Sul.....	52
5.2.3.	Capacidade operacional das unidades.....	53
5.2.4.	Consumo de produtos químicos.....	57
5.3.	ETAPA 2: AVALIAÇÃO GERAL DOS FATORES.....	62
5.4.	PROPOSTAS E SOLUÇÕES.....	64
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Composição do esgoto.	5
Figura 3.2: Sistema unitário de coleta. (Fonte: Von Sperling, 2014).....	6
Figura 3.3: Sistema separador absoluto. (Fonte: Von Sperling, 2014)	7
Figura 3.4: Fluxograma típico de uma ETE.	7
Figura 3.5: Funcionamento de uma lagoa facultativa. (Fonte: Von Sperling, 2014).	9
Figura 3.6: Sistemas de lagoas de estabilização. (Fonte: Von Sperling, 2014).....	11
Figura 3.7: Biofiltro (Fonte: Von Sperling, 2014).....	12
Figura 3.8: Reator RAFA. (Fonte: Versiani, 2005).....	13
Figura 3.9: Elementos principais do sistema de lodos ativados. (Fonte: Von Sperling, 1997).....	14
Figura 3.10: Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional. (Fonte: Von Sperling, 2014)	15
Figura 3.11: Fluxograma do sistema de lodos ativados aeração prolongada. (Fonte: Von Sperling, 2014)	16
Figura 3.12: Fluxograma do sistema de lodos ativados - fluxo intermitente. (Fonte: Von Sperling, 2014)	16
Figura 3.13: Planta do Reator Biológico da ETEB Sul	17
Figura 3.14: Hidrograma típico de uma ETE. (Fonte: Von Sperling, 2014).....	18
Figura 3.15: Sistema de equalização de fluxo em linha com tanque após sistema preliminar.	24
Figura 3.16: Sistema de equalização de fluxo em paralelo com tanque após sistema preliminar.	24
Figura 3.17: Equalização de fluxo em linha na rede coletora. (Fonte: Nakazato, 2005 adaptado de USEPA, 1999).....	25
Figura 3.18: Equalização de fluxo em paralelo na rede coletora. (Fonte: Nakazato, 2005 adaptado de Force, 1992b).....	26
Figura 3.19: Divisão alternada de fluxo. (Adaptado de: USACE, 2001)	26
Figura 3.20: Divisão intermitente de fluxo. (Adaptado de: USACE, 2001)	27

Figura 3.21: Fluxo combinado completamente misturado. (Adaptado de: USACE, 2001)	27
Figura 3.22: Fluxo fixo completamente misturado. (Adaptado de: USACE, 2001)	28
Figura 3.23: Balanço de massa aplicado ao arranjo em linha. (Fonte: USEPA, 1979)	29
Figura 3.24: Balanço de massa aplicado ao arranjo em paralelo. (Fonte: USEPA, 1979)	30
Figura 3.25: Exemplo de diagrama de massas baseado em um hidrograma típico de ETE.	30
Figura 3.26: Exemplo de aplicação gráfica do método do balanço simples de massa	31
Figura 3.27: Balanço combinado de fluxo e concentração, aplicado ao arranjo em linha. (Adaptado de USEPA, 1979)	34
Figura 3.28: Balanço combinado de fluxo e concentração, aplicado ao arranjo em paralelo. (Adaptado de USEPA, 1979)	34
Figura 4.1: ETEB Sul	35
Figura 4.2- Fluxograma parte líquida da ETEB Sul	36
Figura 4.3: Fluxograma do Lodo da ETEB Sul. (Fonte: CAESB, 2019)	37
Figura 5.1: Hidrograma diário médio da ETEB Sul nos anos de 2011 a 2015. (Fonte: PASSOS, 2016)	40
Figura 5.2: Hidrograma diário médio da ETEB Sul nos anos de 2011 a 2018.	41
Figura 5.3: Comparativo horário e mensal do ano de 2011	42
Figura 5.4: Comparativo horário e mensal do ano de 2012	43
Figura 5.5: Comparativo horário e mensal do ano de 2013	43
Figura 5.6: Comparativo horário e mensal do ano de 2014	44
Figura 5.7: Comparativo horário e mensal do ano de 2015	44
Figura 5.8: Comparativo horário e mensal do ano de 2016	45
Figura 5.9: Comparativo horário e mensal do ano de 2017	45
Figura 5.10: Comparativo horário e mensal do ano de 2018	46
Figura 5.11: Diagrama de massa período completo 2015-2018	48
Figura 5.12: Diagrama de massa período chuvoso 2015-2018.	49

Figura 5.13: Tubulação de dosagem de sulfato de alumínio.	59
Figura 5.14: Reservatório de sulfato de alumínio.	59
Figura 5.15: Histórico do consumo de sulfato de alumínio. (Fonte: CAESB, 2019).....	60
Figura 5.16: Fluxograma do sistema de equalização recomendado.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Índices de coleta de esgoto e abastecimento de água. (Fonte: SNIS, 2016)..	1
Tabela 3.1: Principais mecanismos de remoção de poluentes. (Fonte: Von Sperling, 2014).....	8
Tabela 3.2: Fatores de influência no consumo de água. (Adaptada de: Von Sperling, 2014).....	19
Tabela 5.1: Vazão horária média do período completo de 2015 a 2018. (Fonte: CAESB, 2019).....	47
Tabela 5.2: Vazão horária média do período chuvoso de 2015 a 2018. (Fonte: CAESB, 2019).....	48
Tabela 5.3: Análise de parâmetros do efluente final da ETEB Sul.	50
Tabela 5.4: Análise da eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade do efluente final.....	51
Tabela 5.5: Utilização do by-pass em 2017.....	52
Tabela 5.6: Vazão média do período de 2015 a 2018.	53
Tabela 5.7: Situação dos Decantadores Primários da ETEB Sul	54
Tabela 5.8: Análise de sobrecarga de vazão afluente aos reatores.....	55
Tabela 5.9: Análise de carga insuficiente na vazão afluente aos reatores.....	56
Tabela 5.10: Consumo de produtos químicos na ETEB Sul (Fonte: CAESB, 2019)	58
Tabela 5.11: Resumo dos fatores analisados	63

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA- Agência Nacional de Águas

CAESB- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CTB- Conjunto de Tratamento Biológico

DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO- Demanda Química de Oxigênio

EEE- Estação Elevatória de Esgotos

ETE- Estação de Tratamento de Esgotos

NBR- Norma Brasileira

QPC- Quota Per Capita de consumo de água

RAFA- Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

SIESG- Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal

SNIS- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SS- Sólidos Suspensos

USACE- United States Army Corps of Engineers (Corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos)

USEPA- United States Environmental Protection Agency (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos)

1. INTRODUÇÃO

Saneamento básico é um ponto essencial para o desenvolvimento de uma sociedade. O saneamento é responsável por prevenção de várias doenças e pelo crescimento da qualidade de vida da população. Diversos gastos com saúde poderiam ser evitados com medidas preventivas vindas da universalização do acesso aos serviços de tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem e manejo de águas pluviais e o manejo e disposição de resíduos sólidos. É notável que uma característica comum na grande maioria dos países desenvolvidos é a universalização do acesso dos serviços de saneamento básico.

Segundo os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2016 (Tabela 1.1), o Brasil possui 83,3% da população atendida com água tratada e apenas 51,9% da população tem acesso aos serviços de coleta de esgoto. De todo o esgoto coletado, 74,9% é tratado, porém isso representa apenas 44,9% de todo esgoto gerado no Brasil. A desigualdade regional de acesso aos serviços de saneamento é muito visível, mostrando que existem regiões do Brasil com situações realmente graves de prestação de serviços precários. Esses dados refletem o motivo do Brasil ocupar a 112ª posição em um ranking de 200 países avaliados no quesito saneamento básico, segundo estudo divulgado pelo Instituto Trata Brasil em 2011.

Tabela 1.1: Índices de coleta de esgoto e abastecimento de água. (Fonte: SNIS, 2016)

Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Total
	(IN ₀₅₅)	(IN ₀₂₃)	(IN ₀₅₆)	(IN ₀₂₄)	(IN ₀₄₆)	(IN ₀₁₆)
Norte	55,4	67,7	10,5	13,4	18,3	81,0
Nordeste	73,6	89,3	26,8	34,7	36,2	79,7
Sudeste	91,2	96,1	78,6	83,2	48,8	69,0
Sul	89,4	98,4	42,5	49,0	43,9	92,9
Centro-Oeste	89,7	97,7	51,5	56,7	52,6	92,1
Brasil	83,3	93,0	51,9	59,7	44,9	74,9

O Distrito Federal, naquilo que se refere ao tratamento de esgotos, possui bons números comparados à média nacional. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), o DF possui 83,1% de atendimento à população em relação à coleta e tratamento de esgotos, 8,3% da população possui sistema individual para lidar com os efluentes sanitários e 8,6% da população do DF não possui coleta nem tratamento de esgotos. São números positivos quando se leva em conta o cenário nacional, mas ainda não se chegou à universalização dos serviços.

Além de atender à população com serviços de abastecimento e coleta, é importante também avaliar a qualidade dos serviços prestados, principalmente por serem questões de saúde pública e

ambiental. A qualidade dos efluentes das estações de tratamento de esgoto devem se aproximar cada vez mais de padrões de excelência, a fim de serem preservados os corpos hídricos que tanto são necessários para abastecimento de água. Não se preocupar com a qualidade dos efluentes despejados em rios e lagos pode levar a processos prejudiciais, como a eutrofização, principalmente de lagos, como aconteceu com o lago Paranoá e motivou a ampliação das ETEB Sul e Norte para elevar a capacidade de tratamento dessas unidades, visando à preservação do lago Paranoá. O lago Paranoá, atualmente, além de receber o efluente líquido de duas estações de tratamento de esgoto, também serve como manancial de água para abastecimento, medida adotada recentemente como auxílio às soluções para a recente crise hídrica do Distrito Federal.

O desenvolvimento de soluções inteligentes no campo do saneamento básico é de extrema importância para se otimizar processos e para a redução custos com aumento da qualidade dos serviços. Não se pode reduzir as soluções aos problemas de infraestrutura, em especial os do Brasil, a uma questão de aumento de verbas de investimento. O dinheiro por si só não é capaz de universalizar o acesso aos serviços de saneamento básico, porque se não for acompanhado de um desenvolvimento tecnológico e de planejamento estratégico, corre o risco de ser desperdiçado.

A adoção de tecnologias já existentes, após uma avaliação feita de forma séria e detalhada, pode tornar o sistema de tratamento de esgotos do DF cada vez melhor, atingindo padrões de excelência, reduzindo custos operacionais e aumentando a eficiência na remoção de matéria orgânica e outros poluentes presentes nos esgotos coletados. Dessa forma, com investimentos inteligentes, aumenta-se a quantidade de recursos disponíveis para implantação de melhorias nos sistemas de atendimento à população.

Uma dessas soluções é o sistema de equalização de vazões que consiste na estabilização das flutuações diárias nos níveis de vazões afluentes às ETEs. A equalização funciona com auxílio de reservatórios que acumulam a vazão que excede àquela desejada nos horários de pico e, por meio de um sistema de bombeamento, retorna ao fluxo da ETE nos horários de menor demanda, tornando possível uma vazão com baixas flutuações diárias que permitem diversos benefícios.

A ETEB Sul ainda não possui este sistema de equalização de vazões. Nesta estação o tratamento se dá pelo processo de lodos ativados com remoção de nutrientes. O processo se divide em preliminar e primário, que separam a fase líquida da sólida por processos físicos (gradeamento e decantação), seguido do tratamento biológico, onde as bactérias são responsáveis pelo consumo da matéria orgânica presente no esgoto, e por fim um tratamento químico ou terciário onde se busca eliminar principalmente o fósforo presente no esgoto e remanescente dos processos anteriores. A equalização de vazão visa dar estabilidade a todas essas fases.

Os benefícios da equalização de vazão serão estudados neste projeto final buscando, em casos já existentes e na literatura, referências de parâmetros a serem analisados para justificar a implantação do sistema na ETEB Sul. Entre os benefícios mais comuns de sistemas de equalização de vazão estão o aumento da eficiência energética das estações, melhora nos parâmetros de qualidade dos efluentes, redução de manobras diárias para correção dos processos que dependem da vazão, tais como dosagens de produtos químicos, a desativação de alguns elementos da ETE, como reatores e decantadores, que não são mais necessários devido à redução da vazão máxima. Além de ser possível reduzir e até evitar a manobra conhecida como “*by pass*”, que é o desvio de vazões excedentes à capacidade do sistema diretamente para o corpo receptor, causando assim impactos ambientais.

Desta forma, o estudo das condições atuais da ETEB Sul permitirá dar indícios sobre a necessidade real da implantação do sistema de equalização, com enfoque em questões ambientais, operacionais e econômicas. A questão ambiental será enfocada nos parâmetros do efluente final da ETEB Sul, enquanto os fatores econômicos serão avaliados principalmente em relação ao consumo energético e de produtos químicos. O enfoque operacional visará avaliar o nível de capacidade das unidades da ETE em relação a sua atual exigência.

O presente trabalho se dividirá em introdução, objetivos, revisão bibliográfica, metodologia e cronograma. Este estudo busca ser uma colaboração de valor para o desenvolvimento do saneamento no Distrito Federal, reforçando o vínculo prático entre conhecimento acadêmico e serviços à população, além do vínculo institucional entre UnB e CAESB.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do estudo é avaliar a necessidade de implantação do sistema de equalização na ETEB Sul.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do projeto final são:

- Confirmar a hipótese de capacidade das estruturas antigas da ETEB Sul possuírem volume suficiente para armazenamento das vazões desviadas pelo sistema de equalização.
- Analisar a situação geral da ETEB Sul, buscando justificativas para implementação do sistema de equalização de vazões pela análise de fatores ambientais, operacionais e financeiros.
- Projetar, para cada fator que justifique a implementação do sistema, os benefícios advindos do processo de equalização de vazões e cargas.
- Propor soluções para mitigar os possíveis problemas que possam vir da implementação do sistema.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SISTEMAS DE COLETA DE ESGOTO

3.1.1. Águas residuárias

O crescimento populacional e a urbanização constante resultam em um impacto cada vez maior no ciclo da água por meio da interferência do ser humano. A água, elemento essencial para a vida, é utilizada nas mais diversas funções, desde funções industriais até as mais comuns funções residenciais como o cozimento de alimentos e a higienização das pessoas e locais.

A água que tem suas características naturais alteradas após consumo em alguma atividade humana recebe o nome de *água residuária*, também conhecida como esgoto.

A composição do esgoto é basicamente água (99,99%) e sólidos (0,01%), esta ultimo se divide em matéria orgânica (70%), onde se incluem proteínas, carboidratos e gorduras, e matéria inorgânica (30%), onde se incluem areia e minerais. Tais características são apresentadas na Figura 3.1. Os sólidos, orgânicos ou inorgânicos, podem estar tanto dissolvidos quanto suspensos. Além disso, os esgotos geralmente contêm alta carga de organismos patogênicos e não-patogênicos.

A composição indicada pode variar de acordo com a característica de cada uso da água, uma região industrial apresenta esgoto diferente de uma área residencial. A seleção do tipo de tratamento a ser empregado em determinada estação de tratamento deve levar em conta todos estes fatores.

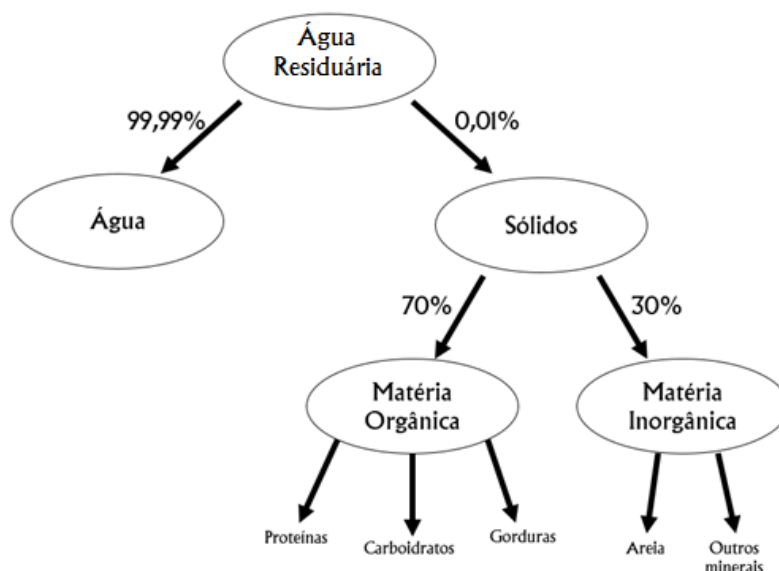


Figura 3.1: Composição do esgoto.

O destino das águas residuárias dependem das características da região, devendo ser preferencialmente coletadas e enviadas para um sistema de tratamento, o que nem sempre ocorre.

3.1.2. Sistema de coleta unitário

A água residuária é transportada das unidades onde a água foi utilizada até as estações de tratamento de esgotos por meio das redes de coleta. O sistema de coleta onde existe mistura de águas pluviais com águas residuárias nas tubulações é chamado sistema de coleta unitário ou misto (Figura 3.2). O dimensionamento deste tipo de sistema deve suportar o escoamento superficial das chuvas, além de captar o esgoto gerado nas unidades de consumo.

As tubulações são projetadas com extravasores, que são utilizados nas chuvas mais intensas durante as quais a tubulação não suporta a quantidade excessiva de águas pluviais. Esse extravasamento é um dos pontos negativos do sistema misto, já que também pode haver esgoto diluído nas águas da chuva podendo ocasionar mau cheiro nos pontos onde o extravasamento ocorre.

Este tipo de coleta tem custos de implantação mais elevados devido ao diâmetro necessário para comportar os dois tipos de efluente ser maior. O sistema unitário é mais utilizado em países de clima temperado, onde a regularidade de chuvas de grande duração e baixa intensidade permitem um funcionamento hidráulico mais regular. A utilização do sistema unitário no Brasil é minoritário.

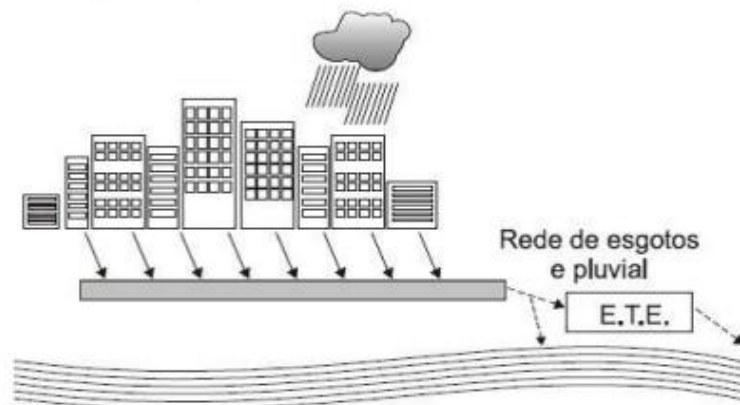


Figura 3.2: Sistema unitário de coleta. (Fonte: Von Sperling, 2014)

3.1.3. Sistema de coleta separador

O sistema de coleta separador absoluto consiste em coletar águas residuárias e águas pluviais em tubulações diferentes (Figura 3.3). Por não conduzir águas pluviais em suas tubulações, este sistema apresenta um menor custo de implantação, já que os diâmetros das tubulações são projetados apenas para as vazões de pico de esgoto, levando em consideração pequenas infiltrações e outros fluxos não esperados.

Este tipo de sistema não necessita de pontos de extravasamento e evita o prejuízo à depuração dos esgotos provocados pelas águas pluviais, sendo estes fatores apresentados como vantagens por Von Sperling (2014).

Porém, conforme explicam Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), a eficiência deste sistema dependeria de um controle eficaz para evitar que efluentes indesejados adentrassem na

tubulação. No Brasil, a experiência com o sistema separador mostra que este controle não é realizado, pois existe grande parcela de infiltrações de águas pluviais nas redes de esgoto, além de ligações clandestinas que prejudicam o sistema.

O sistema coletor utilizado no Distrito Federal é do tipo separador e emprega o sistema de coleta de esgoto do tipo condominial, onde as tubulações da rede passam pelo interior das áreas residenciais permitindo economia de diâmetro de tubulação e menores extensões de redes. No sistema convencional, as tubulações da rede são externas às áreas residenciais e necessitam de ligações individuais.

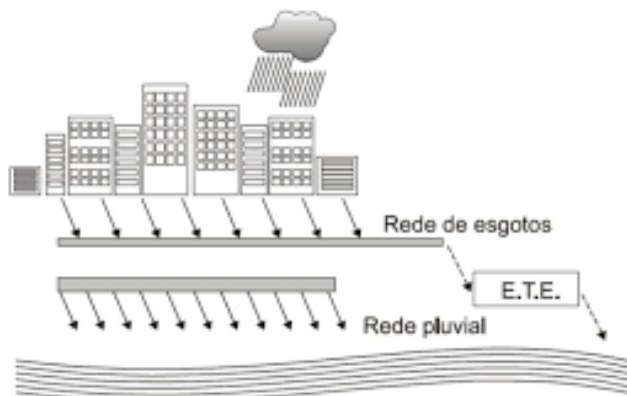


Figura 3.3: Sistema separador absoluto. (Fonte: Von Sperling, 2014)

3.2. TRATAMENTO DE ESGOTO

3.2.1. Processos de tratamento

O tratamento das águas residuárias reduz o impacto de poluição sobre os corpos hídricos receptores desses efluentes tratados, reduzindo os riscos de eutrofização do corpo hídrico e o risco contaminação da população com doenças advindas do esgoto. Infelizmente, o Brasil ainda não universalizou a coleta e o tratamento de esgotos, dessa forma, muitos rios e lagos ainda recebem esgoto bruto sem nenhum tipo de tratamento, o que causa danos ambientais caso a capacidade de autodepuração do corpo receptor não seja suficiente para evitar principalmente o indesejado processo de eutrofização, além de outros prejuízos à saúde pública, como doenças transmitidas pelo esgoto.

Os esgotos coletados são encaminhados, de forma ideal, para as estações de tratamento de esgoto. Existem diversos sistemas de tratamento, cada qual com características próprias que se aplicam dependendo de diversos fatores, entre eles o grau exigido para lançamento no corpo receptor. O fluxograma típico de uma estação de tratamento de esgoto é apresentado pela Figura 3.4:

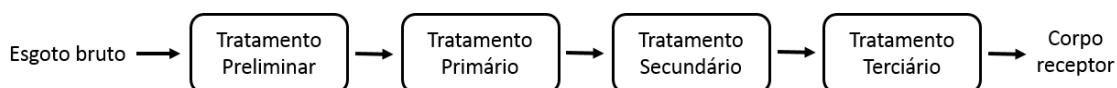


Figura 3.4: Fluxograma típico de uma ETE.

Os sistemas de tratamento são divididos em processos diversificados quanto ao modo de funcionamento, mas os processos podem ser resumidos, segundo Metcalf & Eddy (2016), em três tipos: físicos, biológicos e químicos. Cada sistema de tratamento alterna um ou

mais processos de cada tipo, podendo incluir todos os tipos de processos ou não, baseado no nível de tratamento desejado e na quantidade de recursos disponíveis.

Os processos físicos, chamados de tratamento primário, são aqueles que se utilizam de forças físicas para separação de sólidos da fase líquida. Estes processos são mais eficientes na remoção de sólidos grosseiros e em suspensão. Gradeamento, sedimentação, flotação e filtração são os processos físicos mais comuns nos tratamentos de efluentes.

Os processos biológicos são mais eficazes para a remoção de matéria orgânica dissolvida e funcionam através da ação organismos como bactérias e protozoários, que são estimulados através da criação de condições favoráveis a elas, a consumir os nutrientes indesejados aos corpos hídricos que estão contidos nos esgotos. São exemplos desse tipo de processo a desnitrificação e a remoção de matéria orgânica carbonácea.

Os processos químicos são recomendados para remoção de contaminantes, através da inserção de produtos químicos no processo, para provocar reações que transformem agentes prejudiciais aos corpos hídricos em outros menos danosos. São exemplos de processos químicos a desinfecção e a adsorção. Além disso, produtos químicos podem auxiliar os processos físicos, como no caso da floculação.

É importante ressaltar que os processos biológicos podem se apresentar como nível terciário de tratamento para remoção de nutrientes e contaminantes, não sendo necessariamente o processo terciário apenas formado por processos químicos.

Von Sperling (2014) apresenta um resumo da remoção de cada tipo de poluente na Tabela 3.1:

Tabela 3.1: Principais mecanismos de remoção de poluentes. (Fonte: Von Sperling, 2014)

Poluente	Dimensões	Principais mecanismos de remoção	
Sólidos	Sólidos grosseiros (> ≈ 1cm)	Gradeamento	Retenção de sólidos com dimensões superiores ao espaçamento entre barras.
	Sólidos em suspensão (> ≈ 1μm)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto.
	Sólidos dissolvidos (< ≈ 1μm)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa.
Matéria orgânica	DBO em suspensão (> ≈ 1μm)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto.
		Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa.
		Hidrólise	Conversão da DBO suspensa em DBO solúvel, por meio de enzimas, possibilitando a sua estabilização.
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão a gases, água e outros compostos inertes.
	DBO solúvel (< ≈ 1μm)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa.
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão a gases, água e outros compostos inertes.
Patogênicos	-	Radiação ultravioleta	Radiação do sol ou artificial.
	-	Condições ambientais adversas	Temperatura, pH, falta de alimento, competição com outras espécies.
	-	Desinfecção	Adição de algum agente desinfetante, como o cloro.

3.2.2. Sistemas de tratamento

Conhecidos os processos de tratamento, os sistemas são composições que utilizam os processos de acordo com a necessidade e o nível de tratamento. O sistema é escolhido a partir das características do esgoto, além de outros fatores como condições climáticas e condições dos corpos receptores. A condição econômica local é também fator determinante para o nível tecnológico das soluções de tratamento aplicadas, pois de acordo com a Lei 11445/2007, os serviços de saneamento básico são responsabilidade dos municípios e do Distrito Federal, e esses possuem características econômicas bem diversas uns dos outros.

No Brasil, é comum que as estações de tratamento das grandes cidades sejam de nível secundário, ou seja, envolvam tratamento biológico. O caso específico da ETEB Sul será detalhado posteriormente, na caracterização da área de estudo. Von Sperling (2014) apresenta os principais sistemas de tratamento a nível secundário utilizados no país, dividindo-os em sistemas que utilizam lagoas de estabilização, lodos ativados, sistemas aeróbios com biofilme, sistemas anaeróbios e disposição no solo.

3.2.2.1. Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são a forma mais simples de tratamento de esgoto a nível secundário, pois possuem baixo índice de mecanização, o que torna a operação mais simples e geralmente mais barata. Este sistema é baseado na disposição dos esgotos em lagoas onde a ação de micro-organismos estabiliza a matéria orgânica. Nestas lagoas, são criadas condições favoráveis à decomposição de matéria orgânica, com zonas aeróbias e facultativas, onde a respiração dos organismos e a fotossíntese das algas atuam em conjunto para estabilizar a matéria orgânica. O funcionamento das lagoas facultativas é representado pela Figura 3.5:

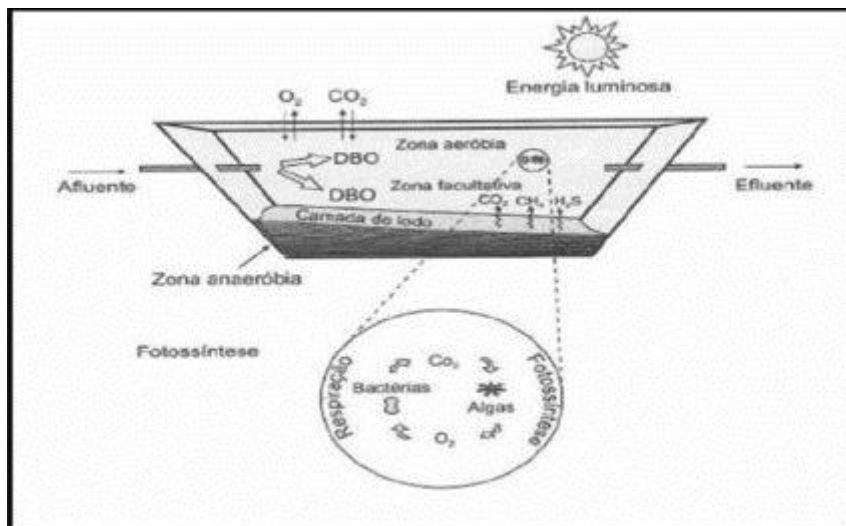


Figura 3.5: Funcionamento de uma lagoa facultativa. (Fonte: Von Sperling, 2014).

Existem diversas variantes deste processo, sendo as principais: lagoa facultativa, lagoa anaeróbia – lagoa facultativa, lagoa aerada facultativa e lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação. A escolha do tipo de sistema se baseia principalmente nas

características dos afluentes, nas condições climáticas como a radiação solar, os ventos e a temperatura, e na disponibilidade de área.

O sistema de lagoas facultativas possui uma grande eficiência, porém seus elevados requisitos de área disponível podem exigir outras soluções.

O sistema de lagoa anaeróbia – lagoa facultativa reduz a área necessária, pois a criação de condições anaeróbias exige uma lagoa funda e de área superficial reduzida. A ação das bactérias anaeróbias é menos eficaz que a ação das aeróbias e facultativas, porém contribuem de maneira significativa para a redução da DBO, variando de 50% a 60% (Von Sperling, 2014), deixando apenas a parcela restante (40% a 50%) para a lagoa facultativa, o que alivia os requisitos de área necessária.

O sistema de lagoa aerada facultativa se diferencia do sistema comum devido a presença de aeradores que têm por função auxiliar a criação de condições aeróbias, não deixando apenas a fotossíntese fazê-lo. Este sistema aumenta a eficiência da decomposição aeróbia e permite a redução de área da lagoa. A aeração, porém, não cria condições para a suspensão de sólidos na fase líquida, devendo a ação de bactérias anaeróbias no fundo da lagoa continuar a decomposição da matéria orgânica sedimentada.

O sistema de lagoa aerada de mistura completa com lagoa de decantação também funciona a partir da presença de aeradores, mas neste caso, os aeradores criam uma turbulência suficiente para manter a matéria orgânica em suspensão. O alto grau de energia por unidade de volume é o que denomina este sistema de “mistura completa”, o que proporciona um elevado contato entre bactérias e matéria orgânica, aumentando a eficiência da decomposição. A suspensão dos sólidos, porém, causa um efeito indesejado, que é o carreamento de biomassa pelo efluente. Para contornar este problema, se coloca uma lagoa de decantação após a lagoa de mistura completa.

A representação de cada um dos sistemas de lagoa facultativa está na Figura 3.6:

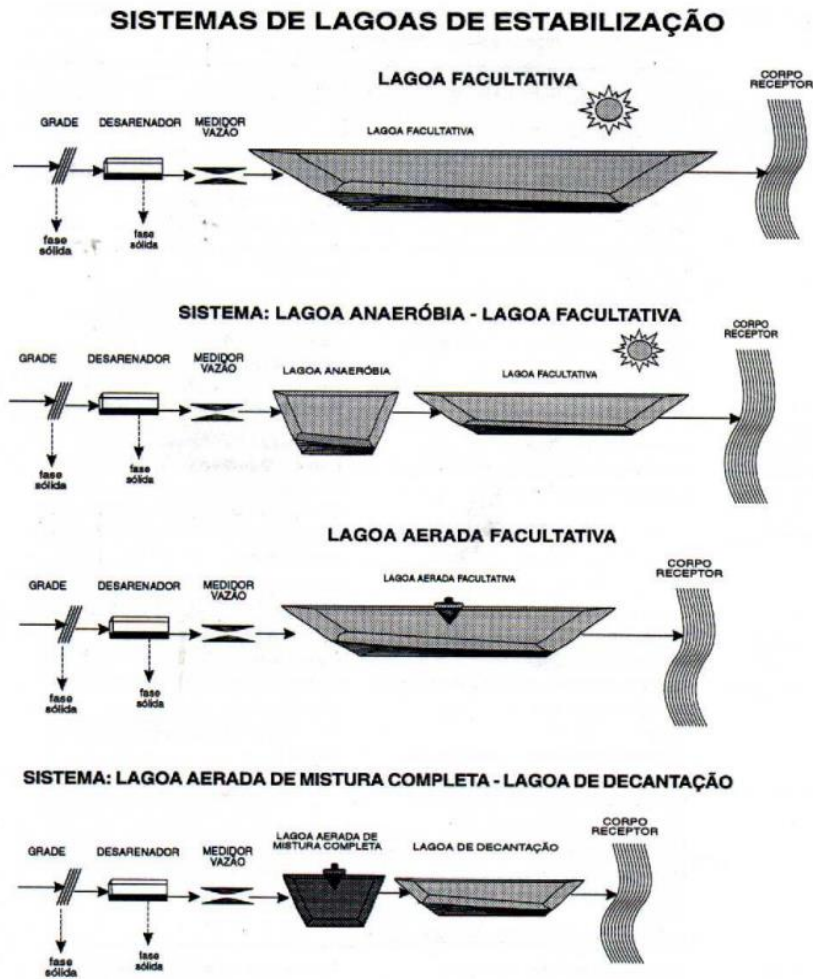


Figura 3.6: Sistemas de lagoas de estabilização. (Fonte: Von Sperling, 2014)

3.2.2.2. Sistemas aeróbios com biofilme

Os sistemas aeróbios com biofilme se diferenciam dos demais tipos de tratamento secundários, pois a biomassa não cresce livremente em uma lagoa, tanque ou reator, e sim aderida a um suporte. Neste tipo de sistema os esgotos são aplicados sobre uma superfície constituída de materiais que formam o filtro que podem ser pedras, ripas ou material plástico.

Após a aplicação, o esgoto vai se encaminhando em direção ao fundo onde se encontram drenos. Este caminho até o fundo permite que o material que compõe o filtro forme uma película através do crescimento bacteriano na superfície do material. O esgoto em contato com esta película bacteriana gera o processo de estabilização da matéria orgânica.

O processo é considerado aeróbio, pois o ar circula nos espaços vazios. É necessário ressaltar que os materiais são dispostos com espaçamentos relativamente grandes, pois não é um processo de peneiramento, e sim um suporte para a ação de micro-organismos. Conforme a matéria orgânica vai aderindo à película, a espessura do biofilme vai aumentando e aumentando a velocidade de percolação do esgoto, o que gera um aumento no cisalhamento na biomassa carregando parte dela para os drenos, dessa forma existe um

controle natural da população bacteriana. O sistema aeróbio com biofilme está representado com um exemplo na Figura 3.7:

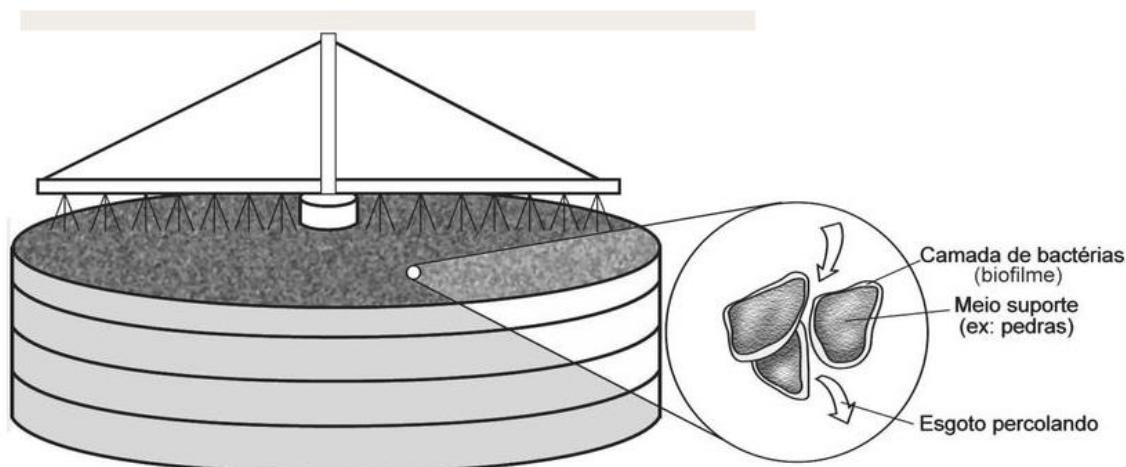


Figura 3.7: Biofiltro (Fonte: Von Sperling, 2014)

3.2.2.3. Sistemas anaeróbios

Os sistemas anaeróbios principais são dois: o sistema de fossa séptica com filtro anaeróbio e o reator anaeróbio com manta de lodo.

No sistema de fossa séptica com filtro anaeróbio, a fossa é responsável pela remoção da maior parte da matéria orgânica em suspensão por meio de decomposição anaeróbia no fundo da fossa após a sedimentação que ocorre.

O processo de filtro anaeróbio é similar ao biofiltro onde a biomassa cresce aderida ao seu suporte, a diferença, porém, está principalmente no fato de que o filtro anaeróbio possui fluxo ascendente, já que trabalha afogado e seus vazios são preenchidos pela fase líquida do esgoto.

Este sistema possui a vantagem de produzir menos lodo, o qual se apresenta com maior qualidade com características de lodo estabilizado. Porém, o sistema possui eficiência menor em comparação ao filtro aeróbio. Por ser um sistema anaeróbio é suscetível à geração de maus odores.

O reator anaeróbio com manta de lodo (Figura 3.8), conhecido como reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA ou UASB), são reatores onde a biomassa cresce de forma dispersa no meio o que diferencia dos filtros biológicos. No UASB a formação da manta de lodo se dá por processos de autoimobilização com a formação de flocos ou grânulos, que são mais densos quando comparados com os micro-organismos em suspensão, e, quando aplicada uma velocidade ascensional não resulta no carreamento significativo de biomassa com o efluente final. O fluxo do líquido é ascendente, onde a atividade anaeróbia estabiliza a matéria orgânica e o gás produzido pelo tratamento anaeróbio é chamado de biogás, cuja composição depende da matéria orgânica inicial.

O separador trifásico, instalado na parte superior do RAFA, tem como função separar as fases sólida (biomassa), líquida (esgoto tratado) e gasosa (biogás). A biomassa é separada da fase líquida por meio da câmara de sedimentação que compõe o separador trifásico. As vantagens deste processo estão no fato de que não é necessário um tratamento primário, o que simplifica o processo. O lodo também sai estabilizado neste processo, podendo ser diretamente disposto em leitos de secagem.

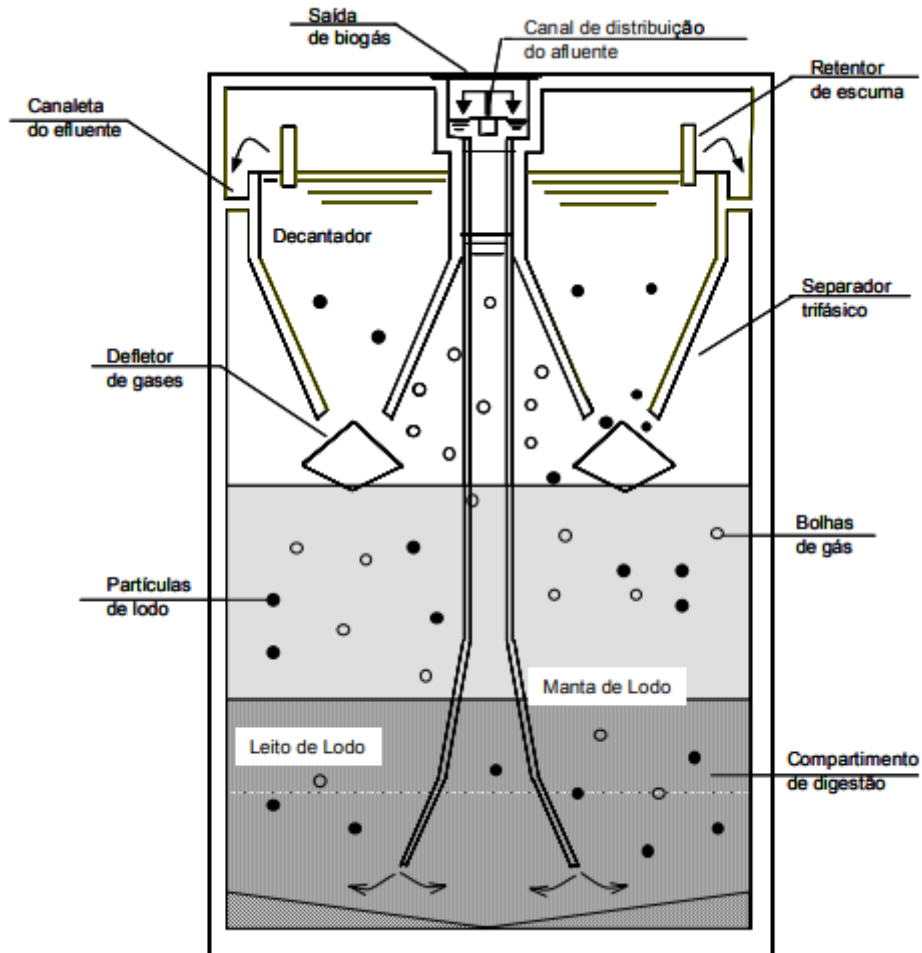


Figura 3.8: Reator RAFA. (Fonte: Versiani, 2005)

3.2.2.4. Disposição no solo

A disposição no solo é um processo comum ao redor do mundo, podendo ser tanto uma disposição final quanto uma forma de tratamento. Existem variações desta disposição, tais como a infiltração lenta ou rápida, infiltração subsuperficial e escoamento superficial. Estas formas divergem quanto à forma de aplicação no solo, mas todas se baseiam na capacidade dos agentes naturais, tais como as plantas, de absorver a matéria orgânica ali disposta.

3.2.2.5. Lodos Ativados

O processo de lodos ativados, segundo Von Sperling (1997), é utilizado em nível mundial de forma ampla para tratar esgotos de origem doméstica e industrial. É este tipo de sistema o utilizado na ETEB Sul, que está delimitada como área de estudo. É interessante, portanto, conhecer o processo e suas particularidades. O sistema de lodos ativados é caracterizado como sistema secundário de tratamento, sempre precedido de tratamentos preliminares.

O sistema de lodos ativados possui alto índice de mecanização em comparação a outros sistemas de tratamento, possuindo uma operação mais sofisticada e com altos consumos de energia elétrica. O sistema é composto de três elementos fundamentais: o tanque de aeração (reator biológico), o tanque de decantação (decantador secundário) e a recirculação de lodo. Estes elementos estão representados na Figura 3.9:

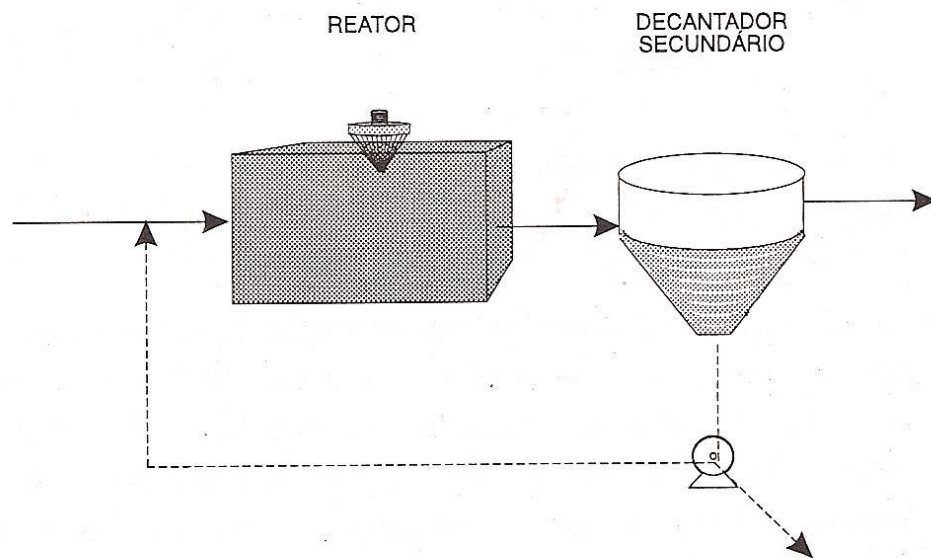


Figura 3.9: Elementos principais do sistema de lodos ativados. (Fonte: Von Sperling, 1997)

Após a remoção de sólidos grosseiros e matéria orgânica mais densa em um tratamento preliminar e primário, o esgoto é encaminhado para o reator cuja função é criar ambiente favorável para o desenvolvimento controlado de microorganismos, desde bactérias até protozoários consumidores de matéria orgânica.

Nos reatores ocorrem as reações bioquímicas para remoção de matéria orgânica. Alguns sistemas de lodos ativados contemplam também a remoção de nutrientes, sendo os principais o nitrogênio e o fósforo, além de outros nutrientes. O nitrogênio é removido pelo processo de desnitrificação enquanto o fósforo é removido pela ação de organismos acumuladores de fósforo.

Após a biomassa se desenvolver utilizando o substrato presente no esgoto, ela é encaminhada para sedimentação no decantador secundário para clarificação do efluente. Entretanto, esta biomassa decantada é rica em bactérias necessárias ao processo e por isso não é descartada e sim recirculada para o reator para aumento da concentração de biomassa, o que eleva a eficiência do sistema. O tempo que a biomassa permanece no processo é limitado pela “idade do lodo”, que é o tempo de detenção da parte sólida no processo. A idade é calculada de forma a preservar a estabilidade do processo, pois caso não houvesse controle da permanência das bactérias no processo, a reprodução delas causaria uma concentração excessiva que prejudicaria a transferência de oxigênio entre as células e dificultaria a decantação da biomassa, prejudicando a qualidade do efluente final.

A principal vantagem dos sistemas por lodos ativados está em sua grande eficiência na remoção de matéria orgânica com baixo tempo de detenção da fase líquida, o que proporciona baixa ocupação de área. As desvantagens estão nos elevados custos de energia elétrica, principalmente devido à operação contínua de sopradores, ou outros tipos de aeradores, que criam as condições necessárias para a ação de bactérias nos reatores, e o elevado índice de mecanização do sistema que torna os procedimentos mais complexos do ponto de vista operacional. O fluxograma comum ao sistema de lodos ativados convencional está representado na Figura 3.10:

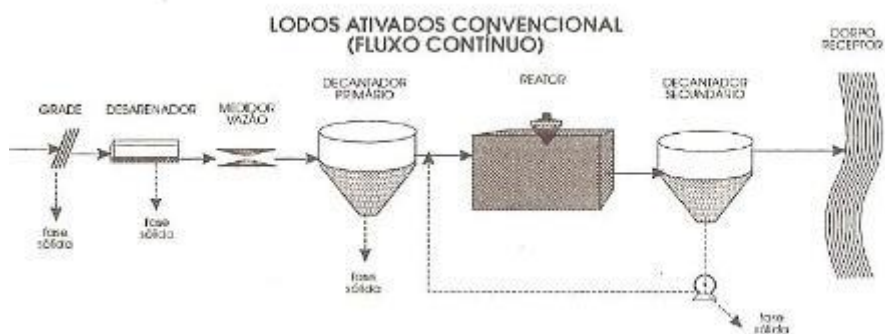


Figura 3.10: Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional. (Fonte: Von Sperling, 2014)

Os sistemas de lodos ativados se dividem em três tipos mais usuais: lodos ativados convencional, que funciona conforme explicado anteriormente, e os sistemas por aeração prolongada e com fluxo intermitente.

O sistema por aeração prolongada se diferencia por possuir reatores maiores e com maior tempo de detenção. Enquanto no sistema convencional a detenção é de 4 a 10 dias, na aeração prolongada o tempo é de 20 a 30 dias. Este grande acréscimo no tempo de aeração faz com que a DBO disponível nos esgotos diminua ao ponto das bactérias consumirem matéria orgânica do próprio material celular para sua manutenção, desta forma o lodo já sai estabilizado. Este sistema também possui a vantagem de não necessitar de decantação primária, para evitar a geração de qualquer tipo de lodo que necessite estabilização. O

fluxograma de um sistema de aeração prolongada (Figura 3.11) é simplificado, devido à ausência de digestores e decantadores primários.

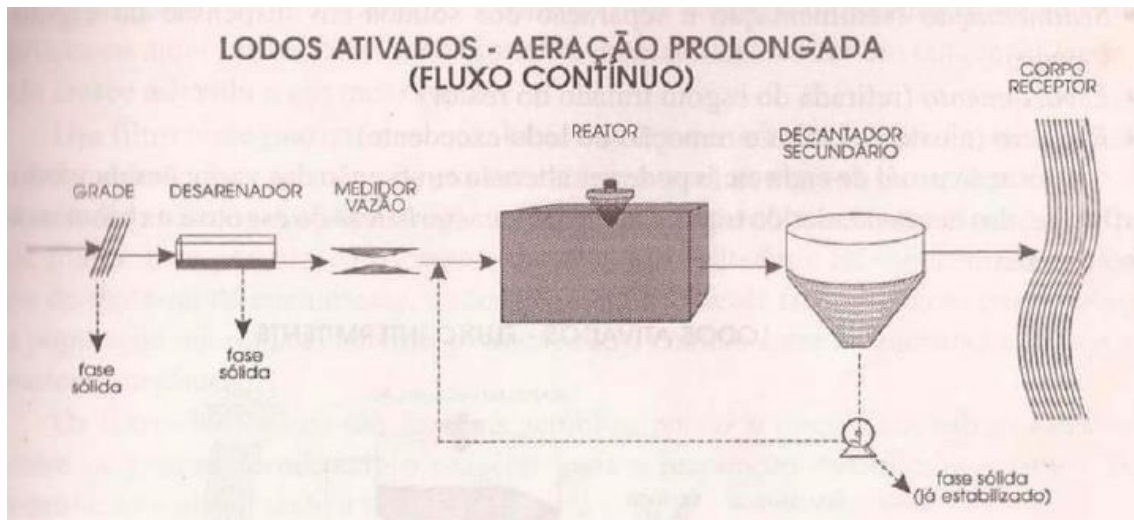


Figura 3.11: Fluxograma do sistema de lodos ativados aeração prolongada. (Fonte: Von Sperling, 2014)

O sistema de fluxo intermitente se diferencia por possuir um tanque de mistura completa onde ocorrem todos os processos de lodos ativados: decantação primária, ação biológica e decantação secundária, regulados através de ciclos. As fases de operação em um sistema intermitente e o fluxograma (Figura 3.12), segundo Von Sperling (2014), são:

- 1) Enchimento: ocorre a entrada do esgoto a ser tratado.
- 2) Reação: ocorre a aeração e mistura da biomassa com a fase líquida.
- 3) Sedimentação: separação da fase líquida da fase sólida.
- 4) Esvaziamento: retirada do esgoto tratado.
- 5) Repouso: utilizado para fazer ajuste de ciclos.

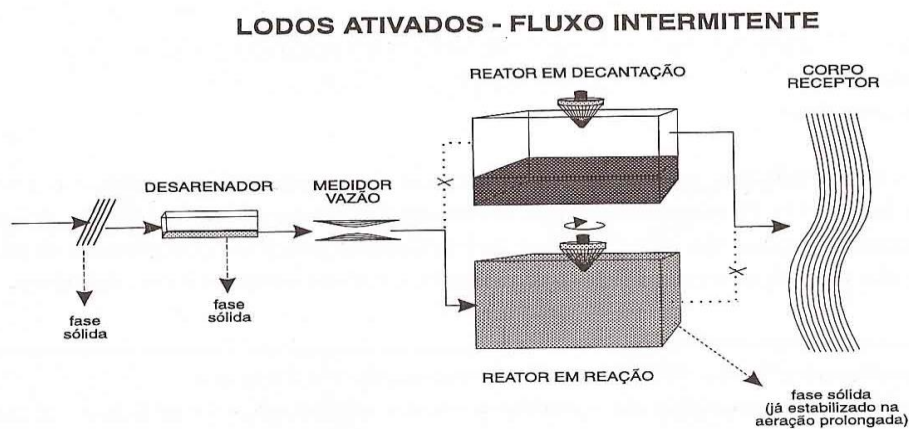


Figura 3.12: Fluxograma do sistema de lodos ativados - fluxo intermitente. (Fonte: Von Sperling, 2014)

3.2.2.6. Lodos ativados com remoção biológica de nutrientes

Além das variantes mais usuais do tratamento de lodos ativados citadas anteriormente, uma variante menos usual é aquela que possui remoção biológica de nutrientes, que é o caso do sistema da ETEB Sul.

A principal função desta variante é remover fósforo e nitrogênio, os quais não são removidos satisfatoriamente nas variantes mais comuns do tratamento de lodos ativados. A opção por sistemas de tratamento que visam a remoção desses nutrientes tem crescido, pois o nitrogênio e o fósforo têm características que aumentam o potencial prejudicial do efluente final sobre o corpo receptor.

Na variante de lodos ativados com RBN (Remoção biológica de nutrientes), devem ser criadas condições para bactérias específicas atuarem na remoção de fósforo e nitrogênio. No caso da ETEB Sul, o reator biológico é dividido em três zonas: anaeróbia, anóxica e aeróbia (Figura 3.13).

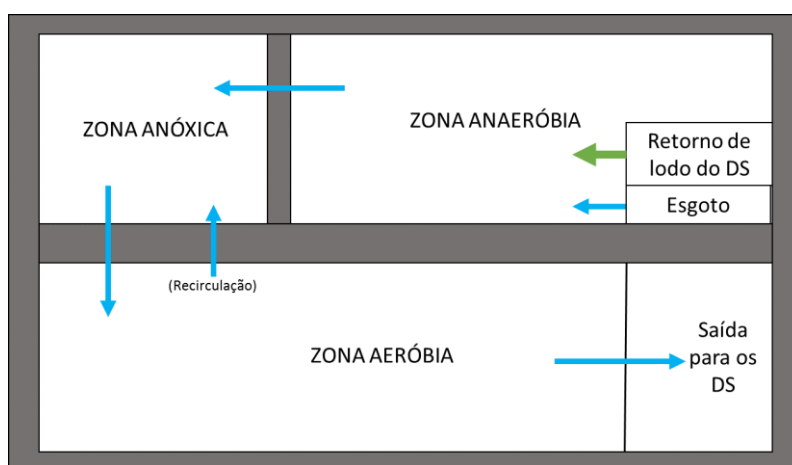


Figura 3.13: Planta do Reator Biológico da ETEB Sul

A remoção de fósforo ocorre na zona anaeróbia (sem oxigênio), através da ação de bactérias facultativas, ou seja, que sobrevivem na presença e ausência de oxigênio. Para remoção de fósforo, é utilizada a bactéria facultativa denominada Poli-P, que armazena fósforo em suas células em condições aeróbias. Através da passagem das bactérias pela zona anaeróbia, cria-se condições para que sobrevivam apenas as bactérias facultativas, eliminando a competição por nutrientes na zona aeróbia, onde o fósforo é removido.

Já a remoção de nitrogênio se dá pela alternância dos processos de nitrificação e desnitrificação que ocorre pela ação de bactérias que alternam entre as zonas anóxicas (sem oxigênio livre) e aeróbias (zonas com oxigênio abundante, diretamente aeradas por sopradores). Através dos processos descritos, obtém-se uma remoção eficiente dos nutrientes diluídos no esgoto afluente ao reator, preservando o corpo receptor do processo de eutrofização.

Os diversos sistemas de tratamento aqui mencionados se apresentam como solução para as variadas necessidades, vazões e tipos de efluente. Outro fator importante a escolha da tecnologia a ser utilizada é a disponibilidade de recursos.

3.3. VAZÃO DE PROJETO DAS ETES

Os afluentes que chegam a uma ETE são em sua maior parte provenientes do consumo doméstico e comercial da população atendida por uma estação. Por este motivo as vazões em uma ETE variam ao longo do dia alternando horários de pico e de baixas vazões, conforme o hidrograma típico de uma ETE, apresentado na Figura 3.14:

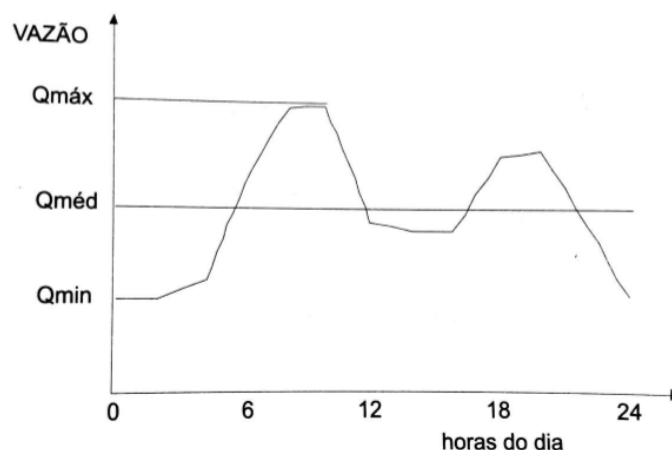


Figura 3.14: Hidrograma típico de uma ETE. (Fonte: Von Sperling, 2014)

Observa-se na Figura 3.14 que as maiores vazões se encontram geralmente na parte final da manhã e no início da noite, enquanto as menores vazões se dão durante a madrugada. Além do consumo humano de água, outros dois fatores influenciam as vazões afluentes a uma ETE: a infiltração de águas subterrâneas e as falhas no sistema separador absoluto que permite, eventualmente, a entrada de águas pluviais na rede de coleta de esgoto.

O cálculo da vazão afluyente às estações tem como principais fatores o número de habitantes atendidos pela estação e a QPC (Quota per capita) que é o consumo médio de água por habitante/dia da população atendida.

3.3.1. Quota per capita

A quota per capita de consumo de água (QPC) é medida em litros consumidos por um habitante ao dia (*l.hab/dia*) e tem seu valor estimado a partir das características da região e da população atendida. Segundo Von Sperling (2014), são oito os principais fatores que influenciam no consumo de água, listados e explicados na Tabela 3.2:

Tabela 3.2: Fatores de influência no consumo de água. (Adaptada de: Von Sperling, 2014)

Fator de influência	Como influencia
Clima	Climas quentes e secos induzem a um maior consumo de água.
Porte da comunidade	Quanto maior a cidade, maior costuma ser o consumo médio.
Condições econômicas	Maiores rendas estão associadas a maiores consumos de água.
Industrialização	Regiões industrializadas apresentam maior consumo.
Medição de consumo	A presença de medidores de consumo inibe um maior consumo.
Custo da água	Elevados custos da água reduzem o consumo da população.
Pressão da água	Uma pressão maior induz a um maior consumo.
Perdas no sistema	Quanto mais perdas no sistema, mais água é consumida no total.

Os fatores apresentados não influem igualmente no valor da QPC, pois uns são mais importantes que outros. O fator econômico é comumente apontado por diversos autores como o fator mais relevante na quantidade de consumo de água. Von Sperling (2014) desenvolveu a Equação 3.1 que relaciona a QPC com a renda familiar:

$$QPC = \frac{Renda}{0,021 + 0,003 \times Renda} \quad \text{Equação 3.1}$$

QPC = Quota per capita de água consumida (*l.hab/dia*).

Renda = Renda familiar média mensal (número de salários mínimos).

A Equação 3.1 foi desenvolvida considerando dados específicos da cidade brasileira de Belo Horizonte, portanto deve ser utilizada com cautela, pois reflete características regionais de consumo que outras regiões podem não possuir de forma semelhante. A realização de estudos específicos para cada região é recomendada, pois as particularidades de cada local podem levar à inaplicabilidade de valores e equações gerais apresentados nas bibliografias mais conhecidas.

3.3.2. Cálculo da Vazão

3.3.2.1. Vazão Doméstica

Conhecido o valor da QPC, o valor da vazão doméstica média de determinada rede de esgoto depende de outros dois fatores: a população atendida e o coeficiente de retorno.

A multiplicação da QPC pelo número de habitantes, nos fornece o consumo de água da região analisada, que teoricamente corresponde à produção de esgoto. Porém, segundo Von Sperling (2014), existem fatores que atuam de forma a não permitir a correspondência exata de valores, são eles: as ligações clandestinas entre rede de esgotos e rede pluvial; falhas no sistema separador absoluto, com conexões indesejadas entre redes; e a infiltração.

O coeficiente de retorno (R) é um valor em porcentagem que relaciona o consumo de água à efetiva produção de esgotos. O valor do coeficiente costuma variar entre 60% a 100%, sendo maior à medida que os fatores que causam perdas são minimizados. O valor médio de 80% costuma ser o mais utilizado em projetos de vazão de esgoto. A Equação 3.2 relaciona a população, a QPC e o coeficiente de retorno, nos retornando a vazão média de esgotos:

$$Q_{dméd} = \frac{Pop. QPC. R}{86400} \quad \text{Equação 3.2}$$

$Q_{dméd}$ = vazão doméstica de esgotos (L/s)

Pop = população da região analisada (*habitantes*).

QPC = Quota per capita de consumo de água (L/hab.dia).

R = Coeficiente de retorno (%).

Para o dimensionamento das estruturas de uma ETE não basta o valor de vazão média, sendo necessário estimar a vazão máxima e a mínima. Conforme mostrado na Figura 3.14, as vazões afluentes a uma ETE não são uniformes durante o dia.

A NBR 9649/1986, que trata do projeto de redes de esgotos, indica que os valores de vazão máxima e mínima são obtidos com auxílio dos seguintes coeficientes:

-k1 (coeficiente de máxima vazão diária), de valor 1,2.

-k2 (coeficiente de máxima vazão horária), de valor 1,5.

-k3 (coeficiente de mínima vazão horária), de valor 0,5.

Os valores indicados pela norma devem ser utilizados apenas na ausência de valores mais precisos, pois conforme a população atendida aumenta, cresce também a extensão das redes, o que proporciona maior amortecimento das ondas de cheia minimizando os impactos de variação de vazão. Por este motivo, os autores Qasim (1985) e Fair *et al.* (1973) citam as equações de Harmon (Equação 3.3) e Giff (Equação 3.4 e 3.5), respectivamente, obtidas de forma estatística para prever o impacto do número de habitantes na relação entre vazão máxima e vazão média (3.3 e 3.4), e vazão mínima com a média (3.5):

$$\frac{Q_{máx}}{Q_{méd}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad \text{Equação 3.3}$$

$$\frac{Q_{máx}}{Q_{méd}} = 5. P^{-0,16} \quad \text{Equação 3.4}$$

$$\frac{Q_{mín}}{Q_{méd}} = 0,2. P^{0,16} \quad \text{Equação 3.5}$$

P = População em milhares de habitantes.

Estas equações podem fornecer valores mais precisos aos coeficientes k_1 , k_2 e k_3 , mas suas aplicabilidades devem sempre ser verificadas caso a caso. O valor das vazões máxima e mínima de uma ETE são fornecidos pelas Equações 3.6 e 3.7, respectivamente:

$$Q_{dm\acute{a}x} = Q_{dm\acute{e}d} \times k_1 \times k_2 \quad \text{Equação 3.6}$$

$$Q_{dm\acute{i}n} = Q_{dm\acute{e}d} \times k_3 \quad \text{Equação 3.7}$$

3.3.2.2. Vazão de infiltração

A vazão de infiltração ocorre principalmente através de falhas nos tubos das redes, juntas e falhas em poços de visita. Segundo Metcalf e Eddy (2016), os principais fatores que influenciam nos valores da vazão de infiltração são: a extensão da rede coletora, área servida, tipo de solo, profundidade do lençol freático, topografia e densidade populacional (número de conexões por unidade de área).

O cálculo da vazão de infiltração é feito a partir de um valor de vazão por extensão de rede ($l/s.km$) com valores que variam na ordem de 0,3 a 0,5. Para o dimensionamento da vazão mínima, a infiltração pode ser desconsiderada, já que assim a projeção atua a favor da segurança, obtendo-se o menor valor possível.

3.3.2.3. Vazão industrial

Regiões industriais devem levar em consideração a produção de esgotos deste tipo no dimensionamento das suas redes coletoras e estações de tratamento. A produção de águas residuárias varia de acordo com a atividade exercida pela indústria e, apesar de existirem valores médios de consumo de água pelas indústrias tabelados de acordo com a atividade, recomenda-se (Von Sperling, 2014) que as avaliações das vazões industriais sejam feitas caso a caso, obtendo das indústrias, pelo menos das maiores, as seguintes informações sobre o consumo de água:

- Volume de água consumido nas diversas etapas do processamento.
- Recirculações internas.
- Origem da água (abastecimento público ou poços, por exemplo).
- Eventuais sistemas de tratamento da água internos.

E as seguintes informações sobre a produção de águas residuárias:

- Número de pontos de lançamento.
- Regime de lançamento (contínuo ou intermitente; duração e frequência de cada ponto de lançamento).
- Ponto(s) de lançamento (rede coletora, curso d'água).
- Eventual mistura dos despejos com esgotos domésticos e águas pluviais.

Com estas informações, o dimensionamento das redes de coleta e tratamento podem ser feitos de maneira mais precisa. É importante ressaltar que o comportamento das vazões máximas e mínimas das indústrias não são iguais ao comportamento doméstico, tendo hidrogramas que variam de acordo com a atividade exercida.

3.4. EQUALIZAÇÃO DE VAZÕES

3.4.1. Objetivos da equalização de fluxos

Conforme observado no tópico anterior, o comportamento diário da vazão em uma estação de tratamento possui uma oscilação de amplitude significativa. Esta oscilação não é desejável operacionalmente, pois a instabilidade da vazão pode afetar a relação entre alimentos e micro-organismos, comprometendo a biomassa do tratamento secundário. Além disso, o consumo de produtos químicos e a quantidade de manobras operacionais também são fatores afetados pela variação de vazões.

A variação de vazões pode ser corrigida através do procedimento conhecido como equalização de vazões ou de fluxo, que consiste em armazenar as vazões de pico em alguma estrutura própria para isso, e liberá-la nos momentos de vazões mínimas, mantendo o fluxo nas estruturas de tratamento sempre a uma vazão constante.

3.4.1.1. Vantagens da equalização de fluxos

Metcalf e Eddy (2016), Nakazato (2005), Force (1992a) e Ulf *et al.* (1996) apontam como principais vantagens do sistema de equalização de fluxos:

- Os processos biológicos são otimizados, pois as cargas de choque são minimizadas ou até mesmo eliminadas, com possível diluição de substâncias inibidoras, tendo o pH estabilizado.
- Melhora na qualidade do efluente e no processo de espessamento dos tanques de decantação secundários, pois a equalização de vazões proporciona constância na concentração de sólidos do processo.
- A constância de carga de sólidos proporciona maior eficiência aos tratamentos químicos, já que a dosagem dos produtos necessários é mais facilmente controlada, aumentando a confiabilidade do processo.
- Redução da necessidade de utilização do *by-pass*, que é a manobra de desvio das vazões excedentes à capacidade da estação diretamente ao corpo receptor. Além disso, o sistema de armazenamento das vazões excedentes pode ser projetado como um decantador primário, o que reduz o impacto no corpo receptor quando o *by-pass* for necessário.
- Minimização dos “curto-circuitos” em pontos específicos das unidades de tratamento.
- Simplificação operacional, pois a equalização de fluxo tende a proporcionar mais vantagens conforme mais complexa for a estação.
- Economia de gastos com energia elétrica e possibilidade de reduzir quantidade de equipamentos em operação, a depender da capacidade da ETE e da vazão equalizada.

- A pré-aeração em tanques de equalização para combate a desvantagem do odor pode aumentar a eficiência do tratamento primário em até 15%, reduzindo a carga enviada ao tratamento secundário.

- Vazões constantes minimizam forças de arraste causadas por vazões excessivas, o que reduz o fenômeno conhecido como “perda de sólidos” nos decantadores secundários.

3.4.1.2. Desvantagens da equalização de fluxos

Além das vantagens, Metcalf e Eddy (2016), Nakazato (2005) e Ludovice *et al.* (1997), apresentam desvantagens quanto à implementação do sistema de equalização de fluxos:

- É necessária uma grande área disponível para a implementação de estruturas com volume para armazenar a vazão desviada, além do alto custo de implantação do sistema. Essas desvantagens, porém, podem ser mitigadas quando a estação já possuir estruturas capazes de suportar esse armazenamento.

- A produção de odor das vazões desviadas necessitam controle e tratamento caso afetem áreas residenciais próximas. Este problema pode ser contornado com aeração devida dos afluentes, atuando em conjunto com produtos químicos inibidores.

- Apesar de simplificar os procedimentos já existentes, a equalização de fluxos pode demandar acréscimos operacionais e de procedimentos de manutenção.

3.4.1.3. Outros fatores

Existem ainda fatores que podem se demonstrar neutros, vantajosos ou desvantajosos, a depender do caso específico.

O consumo de produtos químicos, apesar de melhorar do ponto de vista do controle de dosagem em uma vazão estabilizada, não necessariamente apresenta uma redução de custos globais, pois podem ser necessários acréscimos de produtos químicos para inibir o odor e realizar pré-tratamento dos volumes armazenados na equalização.

Do ponto de vista econômico, Halls (2002) verifica que a equalização de fluxos não é economicamente viável em plantas novas que atendam a sistemas do tipo coletor combinado, mas pode ser visto como uma solução nos casos em que instalações já existentes onde o sistema de coleta a montante não amortece, de forma eficaz, picos hidráulicos.

A WQP (1998) apresenta como estações mais beneficiáveis pela equalização de vazão, aquelas que possuem um tratamento avançado com filtração ou clarificação química após o tratamento biológico, pois esses processos são afetados de forma mais severa pela variação de vazão diária em uma ETE.

3.4.2. Estruturas de equalização de fluxos

Metcalf e Eddy (2016) apresentam como principais estruturas de equalização em fluxo os arranjos *in-line* (em linha) e *off-line* (em paralelo). Independente do arranjo escolhido, a recomendação da USEPA (1979) é que as estruturas se localizem após a remoção de sólidos grosseiros e de areia, e que os tanques de equalização possuam condições de aeração e mistura que evitem a deposição de sólidos e realizem a homogeneização dos afluentes da estação.

3.4.2.1. Arranjo em linha

O tanque de equalização do arranjo em linha é localizado de forma que a totalidade da vazão afluyente à estação passe pelo tanque de equalização (Figura 3.15), antes de ser encaminhada de forma regularizada ao restante do tratamento.

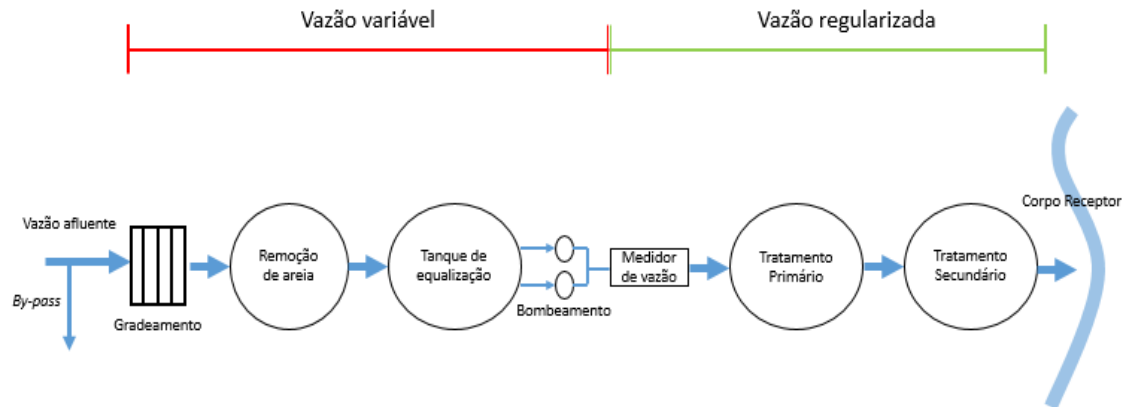


Figura 3.15: Sistema de equalização de fluxo em linha com tanque após sistema preliminar.

Este tipo de arranjo regulariza a vazão através de bombeamento constante, geralmente necessitando acréscimo de instalações elevatórias, o que exige coordenação com as outras unidades operacionais que envolvam bombeamento para evitar duplicação de custos (USEPA, 1979).

O arranjo *in-line* deve ser projetado de forma a evitar curto-circuitos hidráulicos, além de se precaver quanto ao fluxo pistão que pode ser gerado por tanques de equalização muito longos, o que prejudicaria o amortecimento das vazões de pico.

3.4.2.2. Arranjo em paralelo

O arranjo em paralelo (Figura 3.16) se diferencia do arranjo em linha pelo fato de que nesse tipo de arranjo, apenas as vazões excedentes à vazão média são desviadas para o tanque de equalização, que está localizado fora da linha do fluxo principal.

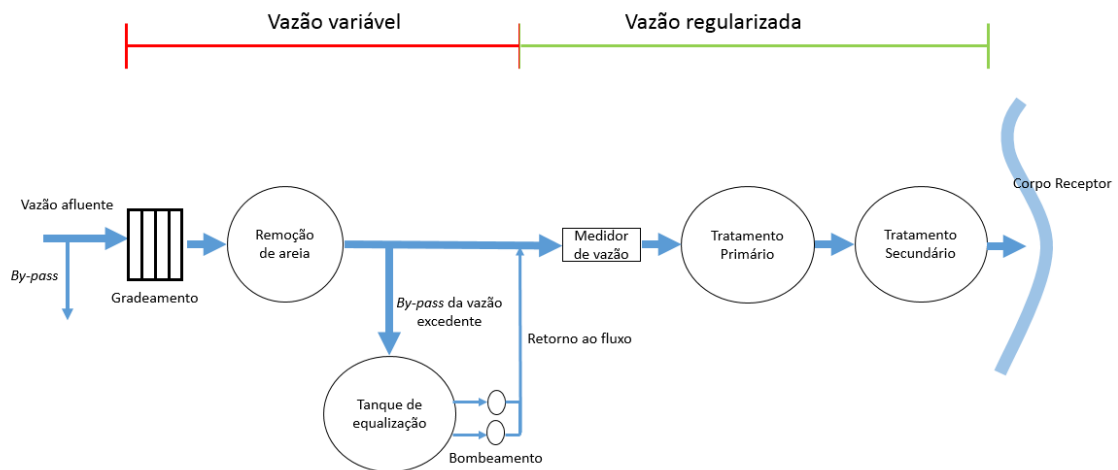


Figura 3.16: Sistema de equalização de fluxo em paralelo com tanque após sistema preliminar.

Dependendo das unidades existentes para armazenamento das vazões excedentes, esse tipo de arranjo proporciona a vantagem de possibilitar menor necessidade de bombeamento, o que reduziria custos. Outra vantagem em relação ao sistema *in-line* é a possibilidade de eliminar agentes prejudiciais aos processos em jusante, antes de retornar as vazões desviadas ao fluxo principal. A principal desvantagem do sistema *off-line* é a reduzida capacidade de amortecimento, quando comparado ao sistema *in-line*.

3.4.2.3. Equalização na rede de coleta

Os arranjos em linha (Figura 3.17) e paralelo (Figura 3.18) de equalização de fluxos podem ser aplicados já na rede coletora. Funcionam da mesma forma: armazenam o fluxo que está acima da vazão média estabelecida e o retornam para a rede assim que as vazões se apresentam baixas.

A equalização na rede coletora é mais utilizada em sistemas unitários ou mistos, por apresentarem elevados diâmetros de tubulação. A principal desvantagem do sistema implementado já na rede está na possibilidade da decantação excessiva de sólidos, que pode obstruir as tubulações e gerar problemas nas redes.

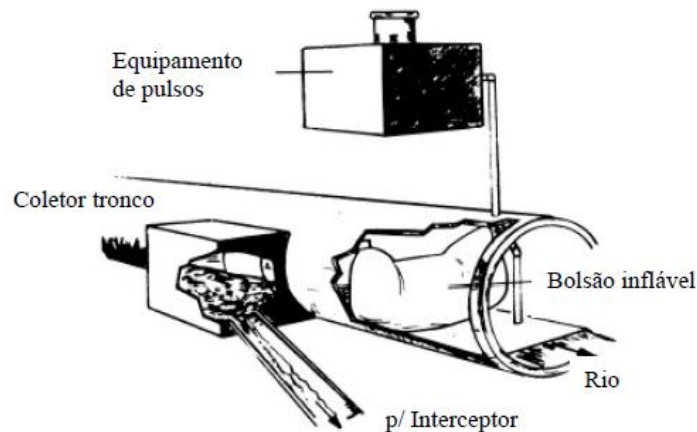


Figura 3.17: Equalização de fluxo em linha na rede coletora. (Fonte: Nakazato, 2005 adaptado de USEPA, 1999).

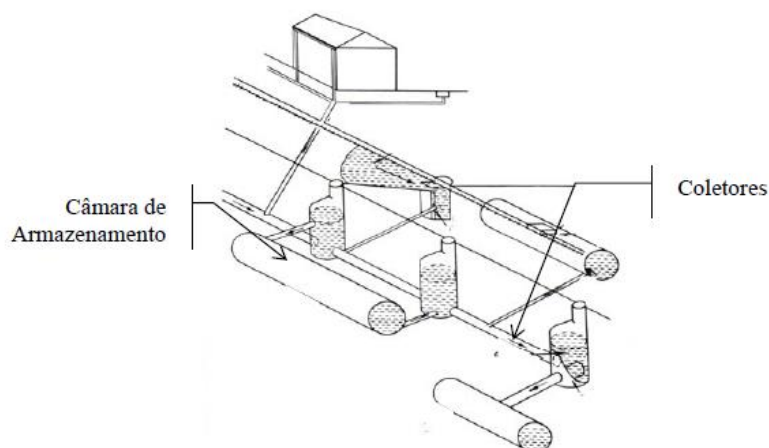


Figura 3.18: Equalização de fluxo em paralelo na rede coletora. (Fonte: Nakazato, 2005 adaptado de Force, 1992b).

3.4.3. Modos operacionais da equalização de fluxo

Além das diversas formas de se implantarem estruturas de equalização de vazões, existem diversas formas de se operar o sistema. A USACE (2001) cita quatro métodos: divisão alternada de fluxo, divisão intermitente de fluxo, fluxo combinado completamente misturado e fluxo fixo completamente misturado.

3.4.3.1. Divisão alternada de fluxo

A divisão alternada de fluxo (Figura 3.19) se caracteriza pela presença de dois tanques de equalização. Um dos tanques recebe a totalidade das vazões afluentes à ETE e o outro, já na sua capacidade máxima, descarrega a vazão equalizada. O processo ocorre de maneira alternada entre os tanques, revezando o tanque que recebe a vazão e o que descarrega.

As vantagens desse modo operacional, segundo a Water Environment Federation (1994), são: seu elevado grau de eficiência de equalização e a facilidade de manutenção, já que possui dois tanques, um deles pode ser desativado para a manutenção sem grandes prejuízos ao tratamento. A principal desvantagem está associada ao elevado custo de implantação.

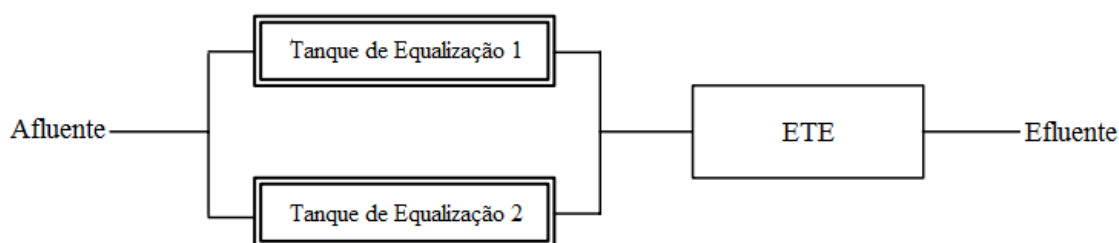


Figura 3.19: Divisão alternada de fluxo. (Adaptado de: USACE, 2001)

3.4.3.2. Divisão intermitente de fluxo

A divisão intermitente de fluxo (Figura 3.20) opera com arranjo em paralelo, com desvio das vazões excedentes para tanque que o armazena por determinado período de tempo. Os fluxos são controlados através da medição de vazão nos canais de entrada da ETE, desviando o fluxo quando este for superior à vazão média, e retornando quando a vazão estiver inferior à vazão média.

Este sistema possui a desvantagem de possuir baixa eficiência de equalização, mas apresenta as vantagens de apresentar menor custo construtivo e operacional, além da possibilidade de isolar componentes específicos do restante do tratamento, através de intervenção no tanque de armazenamento (Nakazato, 2005).

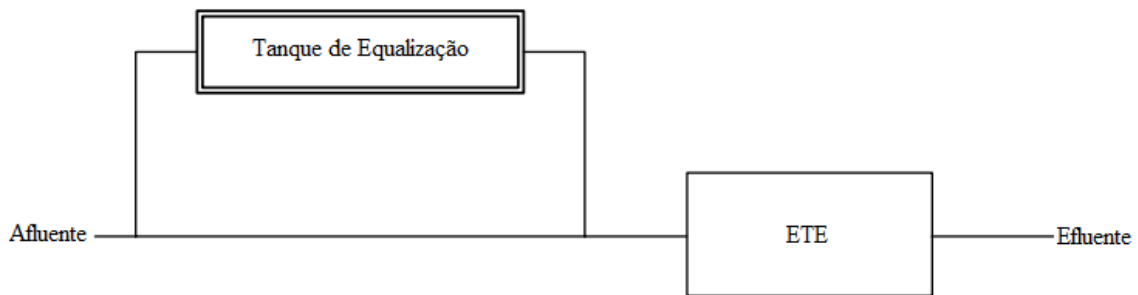


Figura 3.20: Divisão intermitente de fluxo. (Adaptado de: USACE, 2001)

3.4.3.3. Fluxo combinado completamente misturado

O sistema de fluxo combinado completamente misturado (Figura 3.21) é projetado para homogeneização de diversos fluxos diferentes que sejam afluentes a uma mesma estação de tratamento.

É vantajoso por permitir um elevado grau de equalização, mesmo recebendo diversas vazões simultâneas, além de padronizar o afluente à ETE. Sua desvantagem se encontra na obrigatoriedade, para não se gerar problemas adicionais, de os afluentes serem compatíveis para mistura (USACE, 2001), além do maior risco de não-identificação de substâncias nocivas.

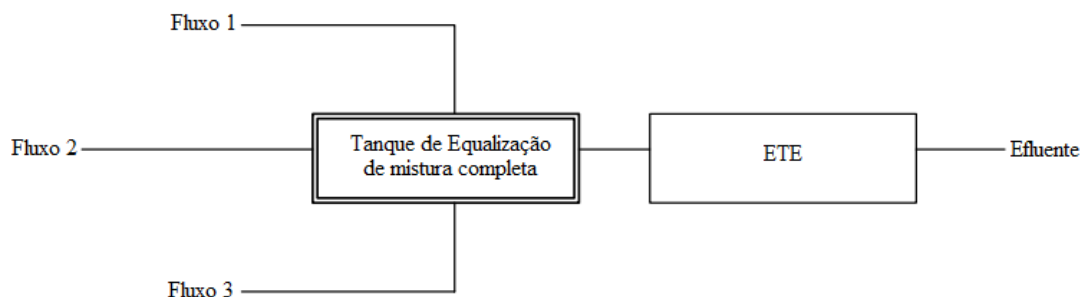


Figura 3.21: Fluxo combinado completamente misturado. (Adaptado de: USACE, 2001)

3.4.3.4. Fluxo fixo completamente misturado

O fluxo fixo completamente misturado (Figura 3.22) opera de forma semelhante ao modo anterior, porém a mistura de fluxos se dá anteriormente ao tanque de equalização, o que reduz a necessidade de monitoramento de vários fluxos afluentes, se apresentando como vantagem adicional ao sistema anterior. As desvantagens adicionais se encontram na dificuldade de manutenção sem prejuízo do tratamento e por não permitir entrada de fluxos simultâneos (Nakazato, 2005).

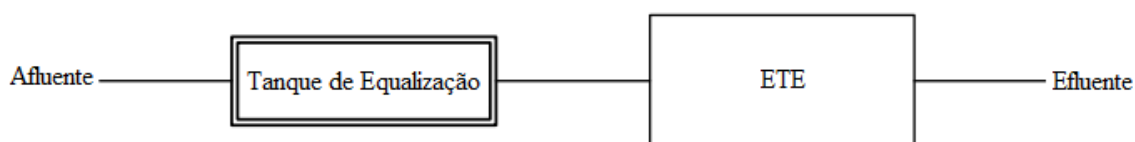


Figura 3.22: Fluxo fixo completamente misturado. (Adaptado de: USACE, 2001)

3.5. DIMENSIONAMENTO DE TANQUES DE EQUALIZAÇÃO

O modo de operação e disposição dos tanques de equalização são escolhidos a partir da combinação de diversos fatores, com análises financeiras, operacionais e ambientais. Independentemente do método de operação escolhido, os tanques de equalização devem ser dimensionados de forma a armazenar, com segurança, os volumes necessários ao processo de regularização pelo tempo necessário.

A USEPA (1979) apresenta sete métodos de dimensionamento das estruturas de regularização, que variam de acordo com os parâmetros necessários para o cálculo dos volumes das estruturas, os métodos são:

- 1) Balanço simples de fluxo (Diagrama de massa).
- 2) Balanço simples de concentração.
- 3) Balanço combinado de fluxo e concentração.
- 4) Método da onda senoidal.
- 5) Método da onda retangular.
- 6) *Batch dumping* (Método do despejo em lote).
- 7) Método da concentração aleatória.

O método 1 e 2 se apresentam como os mais aplicáveis à maioria dos casos (USEPA, 1979) e o método 3 como uma junção dos métodos anteriores. Devido às suas maiores aplicabilidades, apenas os métodos 1 e 2 serão detalhados a seguir, seguidos de pequeno resumo do método 3.

3.5.1. Balanço simples de fluxo (Diagrama de massa)

O balanço simples de massa, devido à sua simplicidade e aplicabilidade, é um dos métodos de dimensionamento de estruturas de regularização mais utilizados. O método

pode ser aplicado tanto aritmeticamente quanto graficamente (USEPA, 1979), sendo a segunda forma a mais utilizada.

Os valores de entrada necessários para a aplicação deste método são basicamente as vazões afluentes ao sistema em função do tempo. Essas informações permitem a representação gráfica dos volumes acumulados no tempo, conhecido como diagrama de Rippl e a partir dele se calcula o volume necessário ao tanque de equalização. Dois fatores devem ainda ser considerados antes da aplicação do método: não existir nenhuma informação sobre concentrações ou fluxo de massa (produto entre a vazão e a concentração); e assumir que os dados são precisos e não apenas estatísticos (USEPA, 1979).

A USEPA (1979) cita ainda as medidas que devem ser tomadas como forma de precaução antes da aplicação do método. Deve se atentar ao fato de que as ETEs são usualmente projetadas para suportar efluentes domésticos, industriais e comerciais, devendo os tanques de regularização suportar tais vazões. O projetista comumente adiciona uma folga nas unidades para suportar vazões de infiltração e outros fluxos inesperados, entretanto, esses fluxos são usualmente calculados baseados em chuvas moderadamente intensas, com isso é necessário avaliar os danos que chuvas mais intensas e raras podem ocasionar ao sistema, já que a ausência de amortecimento dessas cargas hidráulicas pode gerar grandes impactos nos sistemas que não as suportem.

A Equação 3.6 representa a formulação básica para dimensionamento pelo balanço simples de massa:

$$Q_{entrada} \times \Delta t = \Delta V + Q_{saída} \times \Delta t \quad \text{Equação 3.6}$$

$Q_{entrada}$ = Vazão média de entrada durante o intervalo Δt (L^3T^{-1})

Δt = intervalo de tempo, em segundos (T)

ΔV = Variação do volume armazenado durante o tempo Δt (L^3)

$Q_{saída}$ = Vazão média efluente que sai do sistema, no intervalo Δt (L^3T^{-1})

O balanço de massa pode ser utilizado tanto com o arranjo dos tanques de equalização em linha quanto em paralelo, conforme ilustrado pelas Figuras 3.23 e 3.24, que demonstram a relação física das variáveis da Equação 3.6:

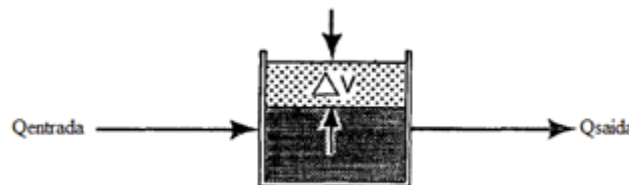


Figura 3.23: Balanço de massa aplicado ao arranjo em linha. (Fonte: USEPA, 1979).

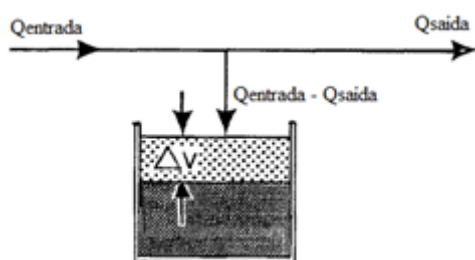


Figura 3.24: Balanço de massa aplicado ao arranjo em paralelo. (Fonte: USEPA, 1979).

Os dados da equação permitem a representação gráfica do acúmulo de vazões no tempo, e é a forma mais recomendada de realizar o dimensionamento por balanço simples de fluxo, através do chamado diagrama de massas ou de Rippl, representado na Figura 3.25. O volume acumulado é calculado a partir da soma das vazões afluentes de cada intervalo de tempo.

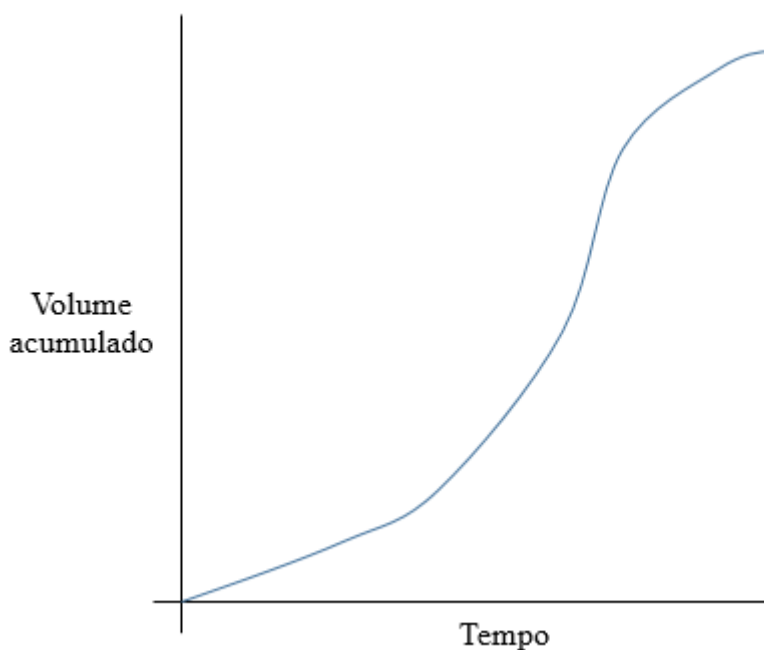


Figura 3.25: Exemplo de diagrama de massas baseado em um hidrograma típico de ETE.

Após o diagrama de massas da vazão correspondente ao hidrograma real da ETE ser traçado, a próxima etapa é traçar o diagrama de massas correspondente à vazão média. Caso a vazão afluente fosse uniforme durante todo o período do dia, o diagrama de Rippl correspondente cresceria de maneira uniforme, apresentando comportamento linear. O diagrama da vazão média é obtido de maneira simples, unindo o volume inicial com o volume acumulado final através de uma reta.

Após essa etapa, é necessário identificar no diagrama o ponto de tanque de equalização vazio e o ponto em que ele estará cheio. Esses pontos correspondem aos pontos cuja reta tangente mais distam verticalmente da reta do diagrama de massas gerado pela vazão

média. Realizando as etapas descritas no exemplo de diagrama de massas da Figura 3.25, obtemos a Figura 3.26:

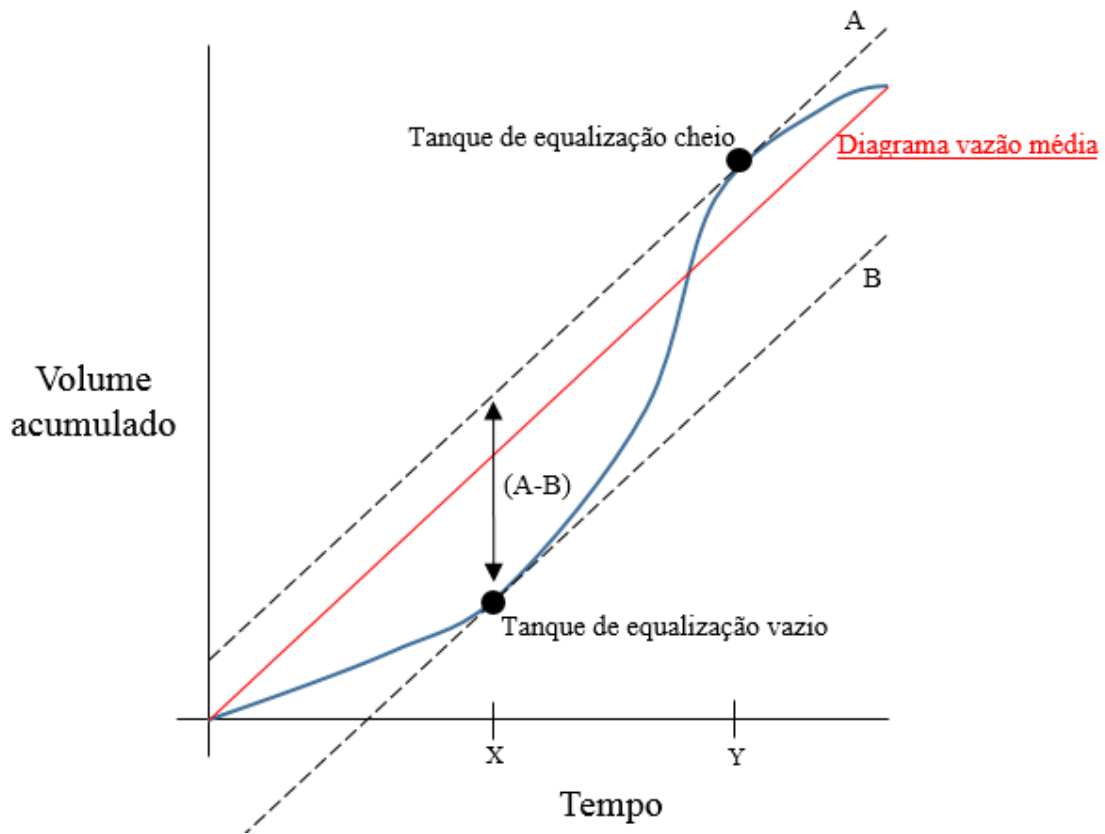


Figura 3.26: Exemplo de aplicação gráfica do método do balanço simples de massa.

Fisicamente, o gráfico da Figura 3.24 representa os seguintes eventos:

- 1) Da origem do gráfico até o tempo X, o diagrama de massas do sistema aponta um crescimento com inclinação inferior à inclinação do diagrama correspondente à vazão média, o que indica que nesse período o sistema está operando com vazões inferiores à média. Portanto, da origem até o tempo X, o tanque de equalização está fornecendo vazão adicional para o fluxo principal.
- 2) No momento X, a inclinação da tangente ao diagrama de massas indica que a vazão média foi atingida, desse modo, o tanque de equalização pode parar de fornecer vazão ao fluxo principal. É o momento X que representa o instante em que o tanque de regularização está vazio.
- 3) Do tempo X até Y, a inclinação da reta tangente ao diagrama de massas indica que o sistema está operando com vazões acima da média, portanto os tanques de equalização estão recebendo a vazão excedente.
- 4) No momento Y, a inclinação da reta tangente retorna à inclinação da vazão média, o que indica que o tanque de equalização não receberá mais vazões excedentes. Nesse momento, o tanque está cheio e começa a fornecer vazão ao sistema, assim que a vazão afluyente ficar inferior à média.

Concluimos que o volume de regularização corresponde à distância gráfica “A-B”, pois é ela que indica a diferença de volume entre o tanque vazio e cheio.

A USEPA (1979) recomenda ainda que, ao volume encontrado pelo método do balanço simples de fluxo, seja acrescentado um volume adicional, para se prever as distâncias de borda livre, capacidade para armazenamento de vazões decorrentes de chuvas mais intensas, além de profundidade para equipamentos de aeração e mistura. Metcalf e Eddy (2016) recomendam acréscimo de 10% a 20% do volume encontrado pela aplicação do método.

3.5.2. Balanço simples de concentração

O balanço simples de concentração é um método aplicável apenas aos arranjos em linha e para casos em que o volume de equalização e a vazão são constantes (USEPA, 1979). O método baseia-se na Equação 3.7:

$$\Delta c = \frac{Q}{V} \Delta t. (c_a - c), \text{ onde } \frac{Q}{V} = \frac{1}{\theta_h} \quad (\text{Equação 3.7})$$

Δc = variação da concentração no tempo Δt

V = Volume do tanque de equalização (Constante)

Δt = intervalo de tempo

c_a = concentração afluenta, concentração média no intervalo Δt

c = concentração no tanque de equalização, no início de Δt

θ_h = tempo de detenção

O método apresenta a vantagem de poder se aplicar um coeficiente de decomposição ou decaimento “ k ”, aplicado à concentração “ c ”, desta forma, a Equação 3.7 pode ser adaptada à Equação 3.8:

$$\Delta c = \frac{Q}{V} \Delta t. (c_a - c) - ck\Delta t \quad (\text{Equação 3.8})$$

As unidades de Q e V devem ser consistentes entre si, porém as unidades de concentração, apesar de consistentes entre si, podem ser inconsistentes com Q e V , pois o produto $\frac{Q}{V} \Delta t$ é adimensional.

As Equações 3.7 e 3.8 se aplicam a tanques completamente misturados e para materiais que não sofram variações ao longo do tempo. A utilização do método para tanques sem mistura completa é possível, mas aumenta a complexidade e diminui a aplicabilidade do método (USEPA, 1979).

Para a aplicação das equações anteriores, o valor inicial de “ c ” deve ser assumido, tornando-se insignificante após algum tempo de detenção. Com as variáveis Q , V e c_a dadas em função do tempo, se obtém uma equação que relaciona “ c ” em função do tempo. O intervalo de tempo Δt deve ser consideravelmente inferior ao tempo de detenção e também inferior à escala temporal de variação de c_a . (USEPA, 1979)

A quantidade de passos necessários pode ser reduzida, no caso da equação 3.8, com a seguinte Equação 3.9:

$$\Delta c = (1 - e^{\left(\frac{-Q\Delta t}{V}\right)}) \times (c_a - c) \quad (\text{Equação 3.9})$$

O método do balanço simples de concentração é determinístico, não estatístico. Desta forma, assume-se que a concentração é exatamente conhecida para cada intervalo de tempo (Δt).

As equações 3.7 a 3.9 têm como requisito que Δc seja bem inferior a c , o que acarreta em Δt ser pequeno em relação a $\frac{Q}{V}$ e $\frac{1}{K}$, dessa forma, muitos passos serão necessários até se atingir o resultado final. Desejando-se reduzir os passos necessários através da escolha de um intervalo grande de Δt , o valor de “ c ” será diferente das concentrações médias no intervalo de tempo escolhido. Pode se melhorar a aproximação da concentração média realizando a operação $c + \frac{\Delta c}{2}$. A Equação 3.10 representa um rearranjo das anteriores, partindo das modificações citadas:

$$\Delta c = \frac{\frac{Q\Delta t}{V}(c_a - c) - ck\Delta t}{1 + \frac{\Delta t}{2} \times \left(\frac{Q}{V} + k\right)} \quad (\text{Equação 3.10})$$

Sendo a Equação 3.10 preferível às anteriores no caso de aplicação para maiores valores de Δt .

3.5.3. Balanço combinado de fluxo e concentração

O método do balanço combinado de fluxo e concentração é uma combinação dos dois métodos apresentados anteriormente. Sua aplicação é recomendada quando se quer uma aproximação mais exata da realidade, onde padrões de concentração e fluxos precisos devem ser utilizados (USEPA, 1979).

A maior complexidade do método se apresenta como uma desvantagem, já que os métodos anteriores chegam a resultados com alto índice de aplicabilidade do ponto de vista de engenharia.

As equações de aplicação deste método variam de acordo com os dados que se possui e a aplicação que se necessita, de forma geral, o método pode ser resumido à Equação 3.11, que relaciona variações de vazão e de fluxo. O método pode ser representado fisicamente de acordo com as Figuras 3.27 e 3.28:

$$Q_{entrada} \cdot c_a \cdot \Delta t = Q_{saída} \cdot c \cdot \Delta t + (V + \Delta V) \cdot (c + \Delta c) - Vc \quad (\text{Equação 3.11})$$

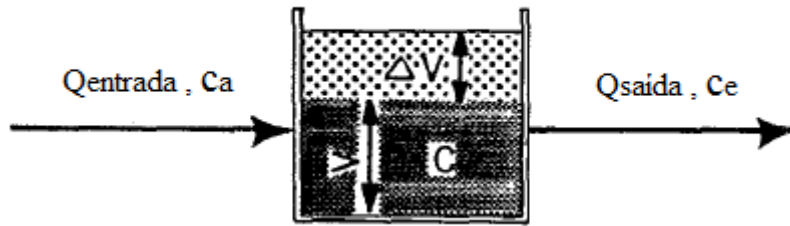


Figura 3.27: Balanço combinado de fluxo e concentração, aplicado ao arranjo em linha. (Adaptado de USEPA, 1979)

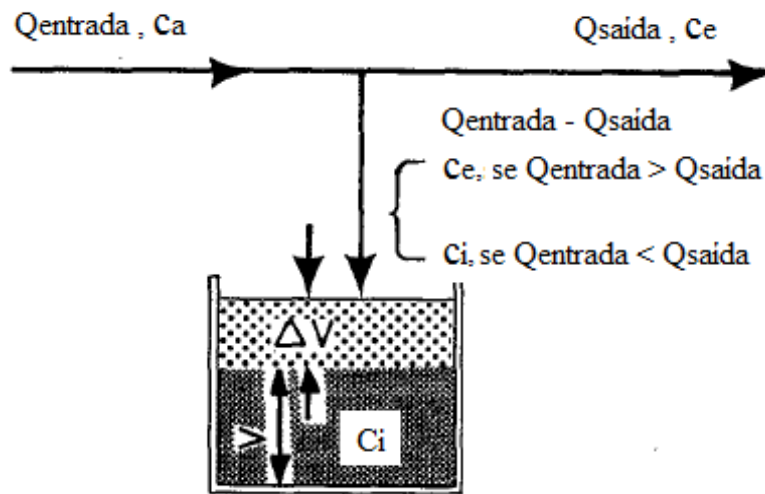


Figura 3.28: Balanço combinado de fluxo e concentração, aplicado ao arranjo em paralelo. (Adaptado de USEPA, 1979)

c_i = Concentração inicial no tanque de equalização ao início do intervalo de tempo Δt .

c_e = Concentração média de saída do tanque de equalização, no intervalo de tempo Δt .

c_a = Concentração média de entrada no tanque de equalização, no intervalo de tempo Δt .

4. METODOLOGIA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi direcionado para o caso específico da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul, conhecida como ETEB Sul, que é administrada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, a CAESB, ~~que é~~ uma empresa pública do Distrito Federal.

A ETEB Sul (Figura 4.1) foi inaugurada em 1962 para o atendimento de 150.000 habitantes de maneira inicial. O crescimento populacional do Distrito Federal acabou

causando a necessidade de ampliação da estação, visando à preservação do Lago Paranoá e ao melhor tratamento dos esgotos afluentes. A ampliação ocorreu em 1993 e a ETEB Sul aumentou seu atendimento populacional para 460.000 habitantes (SIESG, 2014).



Figura 4.1: ETEB Sul

A estação pertence à bacia do lago Paranoá e as regiões atendidas pela ETEB Sul atualmente são: Asa Sul, Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Cruzeiro, parte de Águas Claras, parte do Lago Sul, parte do Riacho Fundo I, Guará, S.I.A, S.C.I.A e Sudoeste.

A vazão média de projeto da estação é de 1500 L/s, atualmente operando na faixa de 1200 L/s (CAESB, 2018). O tratamento dado aos afluentes é de nível terciário, com remoção de fósforo e nitrogênio, o que ajuda a proteger o lago Paranoá do processo de eutrofização.

Os esgotos são encaminhados à estação por gravidade e por bombeamento, através de estações elevatórias de esgoto (EEEs). Os afluentes primeiramente passam pelo tratamento preliminar, onde há remoção de sólidos grosseiros e de areia, através dos desarenadores.

Após o tratamento preliminar, a fase líquida é separada da fase sólida através dos decantadores primários. A fase sólida é encaminhada para adensamento e digestão, onde bactérias específicas estabilizam esse lodo. A fase líquida segue para o tratamento secundário.

O tratamento biológico se dá através do processo de lodos ativados. A fase líquida, que ainda contém matéria orgânica, é submetida à ação de microorganismos aeróbios, anaeróbios e facultativos nos reatores, onde se inicia também a remoção de nitrogênio e de fósforo. O lodo gerado é separado da fase líquida nos decantadores secundários, e este lodo, por ser rico em organismos benéficos ao processo, é recirculado para os reatores. O

descarte do lodo se dá pelo fundo do decantador e o tempo de detenção do lodo no processo é denominado “idade do lodo”. Após descarte, o lodo é encaminhado para adensamento e digestão.

A fase líquida continua em direção ao tratamento terciário ou polimento final, onde os sólidos e o fósforo residual são removidos por ação química de floculadores e coagulantes que separam a fase sólida e os nutrientes remanescentes após o tratamento biológico. O lodo gerado é encaminhado para adensamento e digestão.

O lodo gerado em todas as etapas é digerido, desidratado e encaminhado para sua destinação final de armazenamento ou utilizado para recuperação de área degradadas. A ETEB Sul possui sistema de tratamento de gás, onde os gases coletados através de tubulações que isolam os canais de entrada são tratados com auxílio de produtos químicos para minimização dos odores gerados pelos processos. Os fluxogramas da ETEB Sul podem ser visto nas figura 4.2 e 4.3, onde a Figura 4.2 apresenta o caminho a parte líquida do afluente e a figura 4.3 representa o fluxograma do lodo:

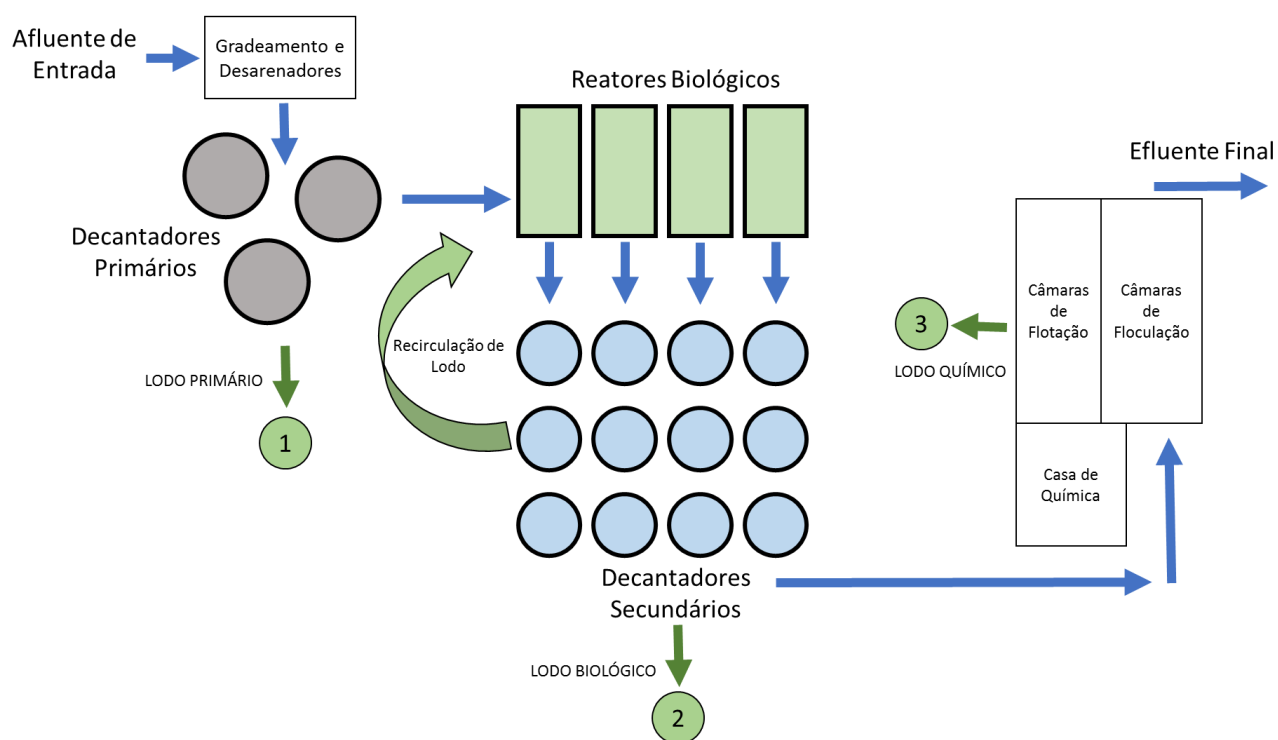


Figura 4.2- Fluxograma parte líquida da ETEB Sul.

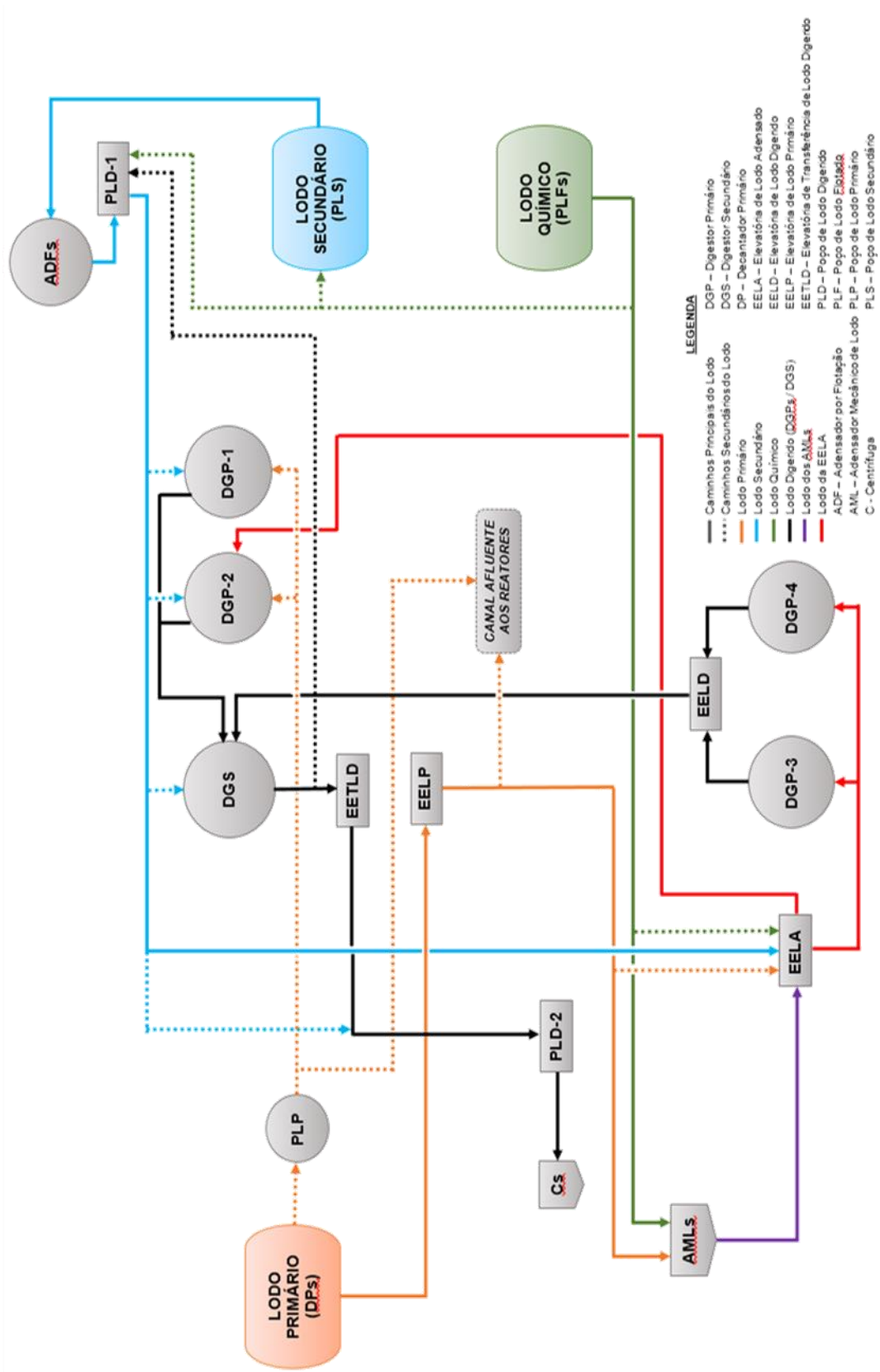


Figura 4.3: Fluxograma do Lodo da ETEB Sul. (Fonte: CAESB, 2019)

4.2. ETAPAS DO PROJETO

O projeto, que visou aprofundar o estudo sobre a implementação da equalização de fluxos na ETEB Sul, se dividiu em uma etapa preliminar e três etapas de projeto.

4.2.1. Etapa preliminar: Revisão da proposta preliminar de equalização de fluxos na ETEB Sul

A etapa preliminar teve como objetivo validar para o presente ano, o estudo realizado por PASSOS (2016), que concluiu que as antigas estruturas, que pertenciam à ETEB Sul antes da reforma de 1993 e que ainda estão presentes na estação, têm capacidade para suportar os volumes necessários para a implementação da equalização de vazões na estação, sem necessidade de construção de novos tanques.

A metodologia da etapa preliminar foi verificar se existiram alterações significativas de operação e de vazões afluentes à ETEB Sul, desde a realização da proposta preliminar. A ferramenta utilizada para a verificação foi a formatação condicional do Excel, que com o auxílio de escalas de cores foi capaz de demonstrar a existência de anomalias no comportamento esperado para os hidrogramas e identificando o momento onde a medição da vazão se altera. Constatando-se que não existiram alterações significativas, a conclusão da proposta preliminar foi considerada válida para o presente momento.

4.2.2. Etapa 1: Diagnóstico da ETEB SUL e prognóstico sobre a equalização

O diagnóstico da ETEB Sul buscou justificar a implementação do sistema de equalização de vazões na estação, através da análise de fatores ambientais, operacionais e financeiros. A análise foi baseada nos benefícios listados pela bibliografia existente sobre o assunto, contextualizando ao caso específico da estação, averiguando se tais benefícios seriam necessários para a ETEB Sul. O período de análise dos dados foi de até 5 anos.

A análise se dividiu em quatro pontos principais, sendo dois fatores ambientais, um econômico e um operacional. Os fatores analisados foram:

- 1) Análise da qualidade do efluente final da ETEB Sul, suas variações e sua relação com a variação de vazão diária, analisando principalmente os valores de sólidos suspensos (SS), DQO e Fósforo Total no efluente final (Fator ambiental).
- 2) Análise da quantidade de vezes que a manobra do *by-pass* foi necessária no período analisado (Fator ambiental).
- 3) Análise dos impactos da variação de vazão na dosagem de produtos químicos, (sulfato de alumínio, polianiônico e policatiônico) nos processos da ETEB Sul (Fator econômico).
- 4) Análise da capacidade operacional das unidades que compõem a ETEB Sul, verificando se existem unidades sobrecarregadas, analisando também manobras operacionais necessárias por causa da variação de vazão (Fator operacional).

Para cada um dos fatores listados, o estudo procurou responder se o fator específico ajudaria a justificar a implementação do processo de regularização de fluxos na ETEB Sul. A resposta para cada fator foi produzida através da análise dos dados operacionais disponíveis.

Após a identificação dos dados que poderiam justificar a implementação da equalização de vazões, foram projetados para cada um os benefícios que o processo pode trazer. O

estudo buscou responder aos seguintes questionamentos, para o caso em que o fator se apresentou positivamente como justificativa para implementar o sistema:

- Fator 1: Analisar se o processo de regularização pode resolver possíveis problemas relacionados à qualidade do efluente final da ETEB Sul.
- Fator 2: Analisar se o processo de regularização pode eliminar ou reduzir a necessidade de realização da manobra de *by-pass*, reduzindo assim os impactos ambientais que a manobra gera.
- Fator 3: Analisar se o processo de regularização ajudaria a eliminar variações em utilização de produtos químicos e se o processo trará economia com gastos deste tipo.
- Fator 4: Analisar se o processo de regularização aliviaria unidades que estejam sobre uma eventual sobrecarga operacional.

Caso algum fator se apresentasse como satisfatório nas condições atuais, sem a regularização de vazões, os benefícios sobre ele foram tratados de maneira menos profunda. O estudo focou nos fatores que se apresentaram como justificativas para a implementação do sistema.

4.2.3. Etapa 2: Avaliação geral dos fatores

Após analisar cada fator individualmente, um quadro-resumo foi apresentado para facilitar o discernimento de quais fatores se apresentam como potenciais beneficiários da implantação do sistema de equalização de fluxos.

Nesta etapa, os benefícios isolados apresentados nos prognósticos da Etapa 1 foram integrados em vista da aplicabilidade geral dos benefícios.

4.2.4. Etapa 3: Propostas e soluções

A bibliografia existente sobre o assunto também aponta algumas desvantagens inerentes ao processo de equalização. Nesta etapa, o estudo procurou propor soluções no formato de implantação do sistema para mitigar possíveis desvantagens advindas do desvio e armazenamento dos volumes excedentes.

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

5.1. ETAPA PRELIMINAR

5.1.1. Avaliação de confiabilidade dos dados para dimensionamento

Conforme o tópico 4.2.1 explicou anteriormente, o objetivo da etapa preliminar foi verificar a validade dos resultados obtidos por PASSOS (2016) a respeito da capacidade da ETEB Sul de utilizar as estruturas antigas, desativadas desde a ampliação ocorrida em 1993, para armazenamento do volume de fluxo a ser equalizado.

A conclusão de PASSOS (2016) apresentou que as estruturas da ETEB Sul possuíam 21.600 m³ disponíveis para equalização enquanto o volume necessário era de 15.600 m³. Os dados utilizados por PASSOS (2016) no cálculo do volume necessário foram do período de 2011 até 2015. Os hidrogramas médios do período utilizado estão representados na Figura 5.1 abaixo:

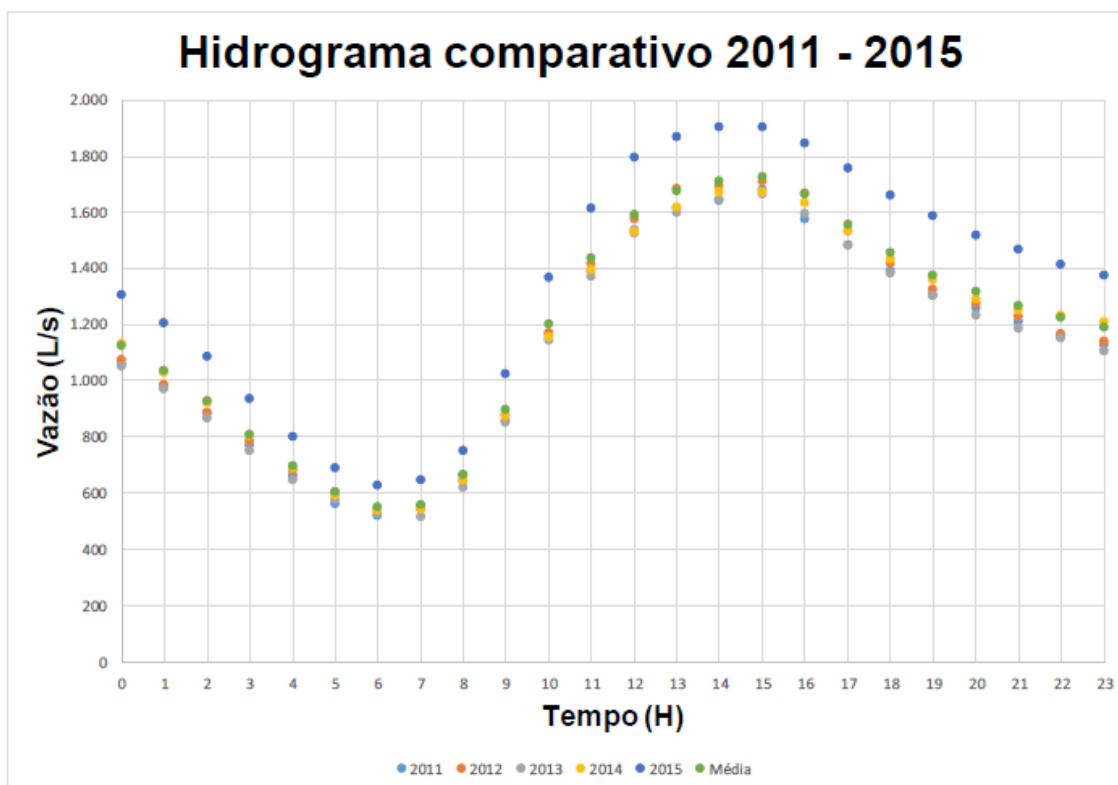


Figura 5.1: Hidrograma diário médio da ETEB Sul nos anos de 2011 a 2015. (Fonte: PASSOS, 2016)

Ao gráfico representado na Figura 5.1, foram acrescentados os dados mais recentes, até o ano de 2018, na Figura 5.2:

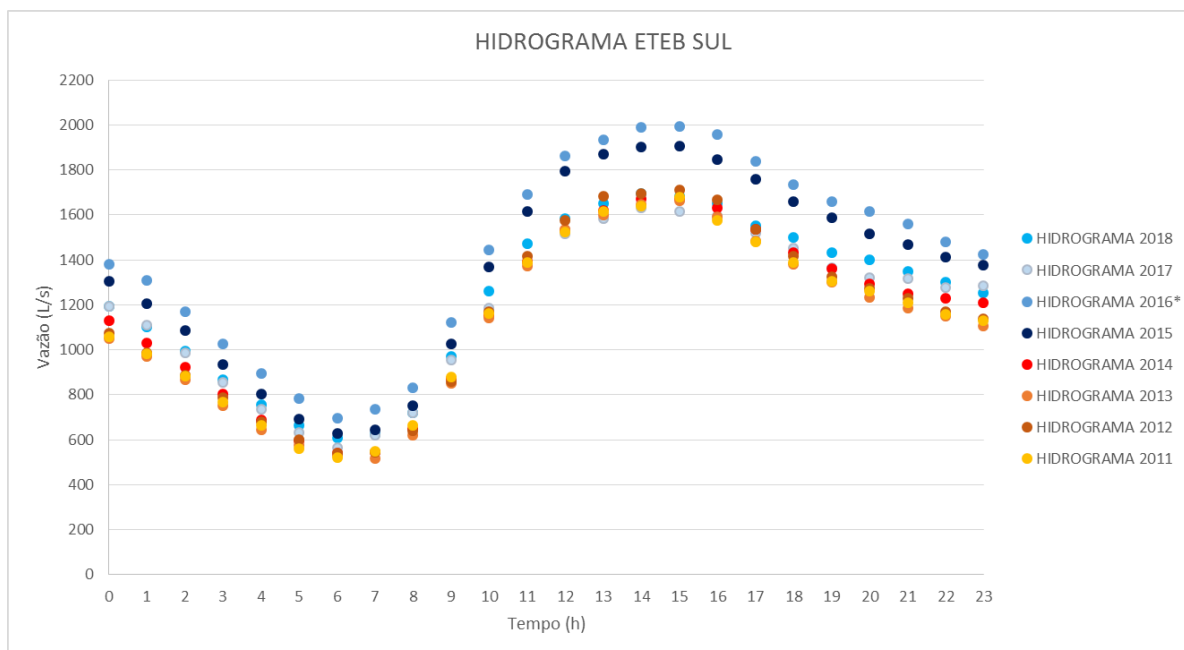


Figura 5.2: Hidrograma diário médio da ETEB Sul nos anos de 2011 a 2018.

Os valores anteriores à 2015 foram colocados em cores quentes, enquanto os valores de 2015 em diante em cores frias. Dessa forma percebe-se que existe uma tendência nos dados pós-2015 de superioridade numérica em relação aos dados anteriores. É preciso considerar que houve racionamento de água no Distrito Federal no período de 16/01/17 até 15/06/18, diminuindo consideravelmente as vazões afluentes à ETEB Sul, além de uma greve em 2016, que durou de Maio até Agosto de 2016, período que ficou sem coleta de dados de vazão e enviesando a média anual por considerar apenas dados do período chuvoso.

Analisando os hidrogramas, nota-se que os valores pré-2015 ficam majoritariamente abaixo dos anos pós-2015 mesmo nos casos de 2017 e 2018, onde houve racionamento. Esta elevação de valores é explicada por PASSOS (2016), afirmando que “um dos fatores que reconhecidamente levou a esse aumento de vazão foi a construção de uma nova curva para a calha Palmer Bowlus (medidor de vazão de esgotos) no ano de 2015.”

É necessário avaliar esta hipótese a fim de determinar se os dados pré-2015 são confiáveis para o dimensionamento dos tanques de equalização através do diagrama de massas.

Sabendo que a mudança no sistema de medição de vazão ocorreu no mês de Abril de 2015, para analisar a validade da hipótese levantada, se analisarão os dados do período de 2011 até 2018 nos seguintes termos:

- 1) Cada ano terá uma tabela preenchida, com as colunas representando os horários de 0h até 23h, e as linhas representando os meses de Janeiro até Dezembro.
- 2) Cada célula será preenchida com o valor médio de vazão afluente no horário especificado para o mês especificado.
- 3) Para cada tabela, será realizado um comparativo de valores horários e mensais através da ferramenta de formatação condicional do Excel, desta forma será possível analisar para cada mês quais são os horários de maior vazão e para cada horário quais são os meses de maior vazão.

Para confirmar a hipótese de impacto da mudança do sistema de medição, uma anomalia no comparativo mensal deverá acontecer no ano de 2015, enquanto o comparativo horário permanecerá com comportamento padrão em todos os anos, pois se todas as vazões se elevam proporcionalmente, a configuração do hidrograma dentro de um dia permanece igual. Os comportamentos das vazões médias horárias estão nas Figuras de 5.3 até 5.10:

ANO:		2011																						
COMPARATIVO HORÁRIO																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1113	1046	954	859	782	706	639	650	716	897	1127	1359	1501	1573	1615	1625	1584	1475	1383	1328	1276	1236	1201	1156
FEVEREIRO	1183	1072	963	828	723	628	576	599	939	947	1269	1583	1664	1723	1705	1696	1620	1499	1469	1428	1391	1290	1248	1381
MARÇO	1239	1144	1079	916	796	681	684	724	815	1077	1307	1561	1651	1745	1794	1802	1708	1597	1513	1470	1488	1431	1350	1287
ABRIL	1033	966	881	739	634	569	539	575	657	919	1213	1408	1569	1678	1655	1659	1595	1512	1348	1286	1255	1218	1142	1074
MAIO	938	883	803	672	591	501	456	505	660	917	1174	1347	1452	1554	1590	1592	1475	1389	1296	1213	1191	1118	1070	1043
JUNHO	897	824	728	658	540	421	383	438	542	788	1077	1257	1437	1515	1524	1512	1431	1372	1291	1168	1126	1092	1030	963
JULHO	859	790	708	603	502	410	379	395	486	667	945	1210	1373	1453	1503	1447	1427	1292	1224	1155	1073	1027	1003	930
AGOSTO	901	807	726	631	513	408	385	421	520	806	1126	1379	1520	1686	1659	1625	1506	1376	1290	1221	1197	1090	1009	982
SETEMBRO	900	840	744	635	520	412	374	417	524	784	1117	1342	1457	1536	1558	1953	1458	1370	1287	1182	1141	1077	1014	995
OUTUBRO	1072	1039	921	805	693	562	505	538	606	808	1134	1312	1454	1564	1671	1703	1523	1472	1392	1296	1247	1215	1185	1148
NOVEMBRO	1222	1108	988	873	762	644	570	606	689	920	1192	1422	1556	1600	1638	1700	1636	1552	1488	1392	1344	1282	1232	1227
DEZEMBRO	1340	1247	1101	981	882	771	716	722	831	1021	1272	1495	1657	1750	1761	1826	1937	1843	1690	1488	1406	1431	1396	1342

COMPARATIVO MENSAL																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1113	1046	954	859	782	706	639	650	716	897	1127	1359	1501	1573	1615	1625	1584	1475	1383	1328	1276	1236	1201	1156
FEVEREIRO	1183	1072	963	828	723	628	576	599	939	947	1269	1583	1664	1723	1705	1696	1620	1499	1469	1428	1391	1290	1248	1381
MARÇO	1239	1144	1079	916	796	681	684	724	815	1077	1307	1561	1651	1745	1794	1802	1708	1597	1513	1470	1488	1431	1350	1287
ABRIL	1033	966	881	739	634	569	539	575	657	919	1213	1408	1569	1678	1655	1659	1595	1512	1348	1286	1255	1218	1142	1074
MAIO	938	883	803	672	591	501	456	505	660	917	1174	1347	1452	1554	1590	1592	1475	1389	1296	1213	1191	1118	1070	1043
JUNHO	897	824	728	658	540	421	383	438	542	788	1077	1257	1437	1515	1524	1512	1431	1372	1291	1168	1126	1092	1030	963
JULHO	859	790	708	603	502	410	379	395	486	667	945	1210	1373	1453	1503	1447	1427	1292	1224	1155	1073	1027	1003	930
AGOSTO	901	807	726	631	513	408	385	421	520	806	1126	1379	1520	1686	1659	1625	1506	1376	1290	1221	1197	1090	1009	982
SETEMBRO	900	840	744	635	520	412	374	417	524	784	1117	1342	1457	1536	1558	1953	1458	1370	1287	1182	1141	1077	1014	995
OUTUBRO	1072	1039	921	805	693	562	505	538	606	808	1134	1312	1454	1564	1671	1703	1523	1472	1392	1296	1247	1215	1185	1148
NOVEMBRO	1222	1108	988	873	762	644	570	606	689	920	1192	1422	1556	1600	1638	1700	1636	1552	1488	1392	1344	1282	1232	1227
DEZEMBRO	1340	1247	1101	981	882	771	716	722	831	1021	1272	1495	1657	1750	1761	1826	1937	1843	1690	1488	1406	1431	1396	1342

Figura 5.3: Comparativo horário e mensal do ano de 2011.

		ANO: 2012																						
		COMPARATIVO HORÁRIO																						
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1184	1093	996	888	786	720	685	683	714	935	1178	1470	1620	1790	1728	1729	1662	1707	1548	1428	1399	1374	1276	1232
FEVEREIRO	1136	1030	929	813	702	615	571	581	656	890	1225	1431	1645	1721	1796	1821	1688	1573	1484	1311	1281	1252	1145	1171
MARÇO	1214	1099	991	866	724	655	579	641	747	991	1322	1516	1642	1757	1689	1742	1702	1697	1644	1460	1416	1330	1267	1303
ABRIL	1108	1045	943	813	739	600	528	551	652	884	1220	1431	1588	1714	1750	1730	1626	1507	1384	1350	1271	1242	1218	1158
MAIO																								
JUNHO	946	827	775	639	510	488	389	385	561	743	1021	1314	1451	1585	1601	1591	1545	1420	1259	1191	1151	1093	1048	979
JULHO	872	764	687	589	496	429	357	350	456	649	926	1179	1381	1498	1479	1490	1470	1387	1263	1147	1058	1041	980	950
AGOSTO	903	906	706	631	541	443	344	372	491	725	1075	1293	1447	1580	1635	1594	1524	1422	1284	1227	1188	1071	1017	998
SETEMBRO	985	912	808	700	583	483	416	414	541	774	1117	1377	1497	1595	1573	1605	1492	1430	1305	1242	1179	1143	1107	1058
OUTUBRO	1028	934	898	837	707	615	518	503	615	844	1198	1438	1555	1632	1649	1685	1593	1482	1378	1267	1250	1204	1120	1082
NOVEMBRO	1357	1250	1126	1092	989	953	924	832	922	1070	1372	1557	1774	1912	1906	1965	1873	1675	1516	1522	1524	1469	1432	1415
DEZEMBRO	1103	979	888	819	731	656	605	620	647	852	1149	1465	1581	1704	1697	1760	1738	1577	1479	1410	1292	1262	1161	1156

		COMPARATIVO MENSAL																						
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1184	1093	996	888	786	720	685	683	714	935	1178	1470	1620	1790	1728	1729	1662	1707	1548	1428	1399	1374	1276	1232
FEVEREIRO	1136	1030	929	813	702	615	571	581	656	890	1225	1431	1645	1721	1796	1821	1688	1573	1484	1311	1281	1252	1145	1171
MARÇO	1214	1099	991	866	724	655	579	641	747	991	1322	1516	1642	1757	1689	1742	1702	1697	1644	1460	1416	1330	1267	1303
ABRIL	1108	1045	943	813	739	600	528	551	652	884	1220	1431	1588	1714	1750	1730	1626	1507	1384	1350	1271	1242	1218	1158
MAIO																								
JUNHO	946	827	775	639	510	488	389	385	561	743	1021	1314	1451	1585	1601	1591	1545	1420	1259	1191	1151	1093	1048	979
JULHO	872	764	687	589	496	429	357	350	456	649	926	1179	1381	1498	1479	1490	1470	1387	1263	1147	1058	1041	980	950
AGOSTO	903	906	706	631	541	443	344	372	491	725	1075	1293	1447	1580	1635	1594	1524	1422	1284	1227	1188	1071	1017	998
SETEMBRO	985	912	808	700	583	483	416	414	541	774	1117	1377	1497	1595	1573	1605	1492	1430	1305	1242	1179	1143	1107	1058
OUTUBRO	1028	934	898	837	707	615	518	503	615	844	1198	1438	1555	1632	1649	1685	1593	1482	1378	1267	1250	1204	1120	1082
NOVEMBRO	1357	1250	1126	1092	989	953	924	832	922	1070	1372	1557	1774	1912	1906	1965	1873	1675	1516	1522	1524	1469	1432	1415
DEZEMBRO	1103	979	888	819	731	656	605	620	647	852	1149	1465	1581	1704	1697	1760	1738	1577	1479	1410	1292	1262	1161	1156

Figura 5.4: Comparativo horário e mensal do ano de 2012.

		ANO: 2013																						
		COMPARATIVO HORÁRIO																						
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1294	1174	1058	972	913	805	741	748	798	1008	1204	1491	1610	1648	1789	1801	1760	1626	1533	1441	1358	1330	1286	1318
FEVEREIRO	1116	1049	960	839	773	718	675	621	708	909	1225	1412	1597	1716	1704	1743	1701	1641	1525	1486	1367	1318	1269	1203
MARÇO	1171	1197	1016	897	765	669	627	626	720	979	1253	1485	1713	1809	1813	1824	1778	1625	1499	1386	1347	1315	1274	1211
ABRIL	1136	1034	927	796	719	624	552	556	667	923	1277	1537	1717	1838	1837	1888	1759	1570	1530	1413	1372	1283	1235	1175
MAIO	972	891	776	692	556	488	432	463	592	813	1097	1315	1460	1543	1576	1598	1496	1381	1290	1189	1179	1092	1082	997
JUNHO	943	876	761	653	566	474	432	408	507	755	1035	1286	1415	1524	1525	1560	1469	1344	1218	1175	1111	1076	1039	997
JULHO	852	784	703	600	478	406	332	337	440	603	894	1137	1325	1391	1441	1468	1423	1321	1204	1119	1054	1003	966	913
AGOSTO	916	793	723	589	501	393	340	355	464	696	1036	1243	1396	1463	1519	1523	1479	1352	1280	1173	1084	1036	1008	964
SETEMBRO	964	826	753	632	522	453	407	417	542	741	1056	1251	1430	1471	1551	1561	1481	1390	1261	1197	1108	1080	1044	983
OUTUBRO	975	902	825	706	585	499	412	428	545	762	1016	1239	1387	1503	1508	1462	1384	1334	1213	1204	1127	1118	1095	1078
NOVEMBRO	1100	1016	897	747	612	666	651	584	658	986	1223	1434	1571	1543	1678	1699	1609	1518	1422	1274	1267	1206	1252	1179
DEZEMBRO	1164	1091	992	882	739	688	560	610	784	1035	1357	1564	1725	1730	1776	1712	1650	1565	1535	1493	1336	1307	1238	1232

		COMPARATIVO MENSAL																						
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1294	1174	1058	972	913	805	741	748	798	1008	1204	1491	1610	1648	1789	1801	1760	1626	1533	1441	1358	1330	1286	1318
FEVEREIRO	1116	1049	960	839	773	718	675	621	708	909	1225	1412	1597	1716	1704	1743	1701	1641	1525	1486	1367	1318	1269	1203
MARÇO	1171	1197	1016	897	765	669	627	626	720	979	1253	1485	1713	1809	1813	1824	1778	1625	1499	1386	1347	1315	1274	1211
ABRIL	1136	1034	927	796	719	624	552	556	667	923	1277	1537	1717	1838	1837	1888	1759	1570	1530	1413	1372	1283	1235	1175
MAIO	972	891	776	692	556	488	432	463	592	813	1097	1315	1460	1543	1576	1598	1496	1381	1290	1189	1179	1092	1082	997
JUNHO	943	876	761	653	566	474	432	408	507	755	1035	1286	1415	1524	1525	1560	1469	1344	1218	1175	1111	1076	1039	997
JULHO	852	784	703	600	478	406	332	337	440	603	894	1137	1325	1391	1441	1468	1423	1321	1204	1119	1054	1003	966	913
AGOSTO	916	793	723	589	501	393	340	355	464	696	1036	1243	1396	1463	1519	1523	1479	1352	1280	1173	1084	1036	1008	964
SETEMBRO	964	826	753	632	522	453	407	417	542	741	1056	1251	1430	1471	1551	1561	1481	1390	1261	1197	1108	1080	1044	983
OUTUBRO	975	902	825	706	585	499	412	428	545	762	1016	1239	1387	1503	1508	1462	1384	1334	1213	1204	1127	1118	1095	1078
NOVEMBRO	1100	1016	897	747	612	666	651	584	658	986	1223	1434	1571	1543	1678	1699	1609	1518	1422	1274	1267	1206	1252	1179
DEZEMBRO	1164	1091	992	882	739	688	560	610	784	1035	1357	1564	1725	1730	1776	1712	1650	1565	1535	1493	1336	1307	1238	1232

Figura 5.5: Comparativo horário e mensal do ano de 2013.

ANO:		2014																						
COMPARATIVO HORÁRIO																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1141	1058	943	827	698	597	541	538	621	837	1090	1293	1445	1486	1572	1633	1554	1535	1333	1294	1167	1204	1124	1194
FEVEREIRO	1182	1073	923	798	666	577	510	562	662	906	1206	1414	1568	1625	1804	1688	1649	1584	1425	1337	1277	1258	1250	1238
MARÇO	1193	1097	966	890	855	782	772	786	857	1058	1331	1541	1720	1822	1836	1857	1900	1769	1620	1509	1426	1333	1381	1335
ABRIL	1235	1155	1054	924	851	731	692	704	816	1056	1348	1642	1765	1872	1921	1909	1865	1752	1770	1670	1519	1445	1392	1362
MAIO	1062	969	850	761	631	566	474	509	612	882	1168	1380	1503	1635	1673	1668	1629	1433	1348	1288	1216	1180	1153	1116
JUNHO																								
JULHO	913	863	761	650	556	455	406	386	466	669	980	1208	1369	1437	1479	1461	1421	1323	1231	1155	1101	1051	1017	985
AGOSTO	981	861	755	668	532	444	396	397	493	737	1048	1278	1395	1519	1544	1549	1470	1385	1296	1195	1195	1122	1095	1022
SETEMBRO	1024	894	812	689	553	475	422	429	589	823	1152	1341	1497	1555	1567	1521	1484	1369	1307	1207	1164	1127	1092	1029
OUTUBRO	1125	987	901	768	630	528	440	483	584	803	1085	1353	1457	1488	1517	1631	1575	1397	1346	1274	1230	1249	1302	1279
NOVEMBRO	1143	1076	967	850	698	576	497	514	662	888	1177	1386	1495	1608	1702	1679	1647	1455	1412	1526	1461	1377	1355	1309
DEZEMBRO	1342	1217	1145	981	846	754	622	645	732	904	1079	1425	1606	1748	1756	1760	1733	1812	1631	1479	1381	1343	1306	1348

COMPARATIVO MENSAL																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1141	1058	943	827	698	597	541	538	621	837	1090	1293	1445	1486	1572	1633	1554	1535	1333	1294	1167	1204	1124	1194
FEVEREIRO	1182	1073	923	798	666	577	510	562	662	906	1206	1414	1568	1625	1804	1688	1649	1584	1425	1337	1277	1258	1250	1238
MARÇO	1193	1097	966	890	855	782	772	786	857	1058	1331	1541	1720	1822	1836	1857	1900	1769	1620	1509	1426	1333	1381	1335
ABRIL	1235	1155	1054	924	851	731	692	704	816	1056	1348	1642	1765	1872	1921	1909	1865	1752	1770	1670	1519	1445	1392	1362
MAIO	1062	969	850	761	631	566	474	509	612	882	1168	1380	1503	1635	1673	1668	1629	1433	1348	1288	1216	1180	1153	1116
JUNHO																								
JULHO	913	863	761	650	556	455	406	386	466	669	980	1208	1369	1437	1479	1461	1421	1323	1231	1155	1101	1051	1017	985
AGOSTO	981	861	755	668	532	444	396	397	493	737	1048	1278	1395	1519	1544	1549	1470	1385	1296	1195	1195	1122	1095	1022
SETEMBRO	1024	894	812	689	553	475	422	429	589	823	1152	1341	1497	1555	1567	1521	1484	1369	1307	1207	1164	1127	1092	1029
OUTUBRO	1125	987	901	768	630	528	440	483	584	803	1085	1353	1457	1488	1517	1631	1575	1397	1346	1274	1230	1249	1302	1279
NOVEMBRO	1143	1076	967	850	698	576	497	514	662	888	1177	1386	1495	1608	1702	1679	1647	1455	1412	1526	1461	1377	1355	1309
DEZEMBRO	1342	1217	1145	981	846	754	622	645	732	904	1079	1425	1606	1748	1756	1760	1733	1812	1631	1479	1381	1343	1306	1348

Figura 5.6: Comparativo horário e mensal do ano de 2014.

ANO:		2015																						
COMPARATIVO HORÁRIO																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1049	985	855	742	642	563	503	502	542	730	980	1266	1481	1469	1539	1485	1513	1372	1298	1215	1175	1112	1085	1072
FEVEREIRO	1028	982	898	784	666	585	507	529	612	813	1081	1265	1406	1425	1489	1475	1433	1386	1296	1225	1200	1229	1131	1040
MARÇO	1134	1038	1023	818	693	606	536	557	695	920	1240	1465	1604	1661	1653	1731	1648	1713	1530	1652	1446	1337	1238	1239
ABRIL	1283	1196	1086	978	808	695	642	666	783	1019	1306	1561	1717	1825	1851	1846	1733	1687	1646	1527	1437	1420	1384	1395
MAIO	1429	1344	1197	1024	929	755	712	711	841	1200	1553	1859	2020	2084	2108	2194	2035	1926	1814	1739	1665	1624	1578	1494
JUNHO	1329	1211	1080	889	796	647	611	639	719	1026	1432	1641	1882	1953	1984	2008	1929	1816	1720	1616	1567	1503	1476	1422
JULHO	1279	1137	999	869	742	628	586	584	683	922	1259	1602	1821	1905	1945	1915	1875	1793	1673	1602	1493	1421	1380	1367
AGOSTO	1292	1164	1003	858	740	615	564	573	715	1012	1448	1662	1854	1961	2006	1967	1906	1776	1665	1574	1536	1477	1410	1365
SETEMBRO	1352	1222	1062	893	738	662	588	672	792	1151	1577	1768	1959	1987	2023	2009	1927	1827	1710	1627	1583	1537	1505	1449
OUTUBRO	1442	1357	1198	1039	873	731	661	705	840	1200	1567	1767	1940	2041	2056	2069	1995	1845	1712	1685	1625	1588	1547	1501
NOVEMBRO	1504	1395	1296	1151	968	870	780	780	901	1170	1535	1812	1980	2134	2131	2102	2090	2016	1967	1860	1786	1729	1639	1584
DEZEMBRO	1517	1419	1309	1156	1002	905	819	829	893	1122	1445	1684	1852	1980	2014	2026	2029	1906	1809	1687	1662	1628	1577	1561

COMPARATIVO MENSAL																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1049	985	855	742	642	563	503	502	542	730	980	1266	1481	1469	1539	1485	1513	1372	1298	1215	1175	1112	1085	1072
FEVEREIRO	1028	982	898	784	666	585	507	529	612	813	1081	1265	1406	1425	1489	1475	1433	1386	1296	1225	1200	1229	1131	1040
MARÇO	1134	1038	1023	818	693	606	536	557	695	920	1240	1465	1604	1661	1653	1731	1648	1713	1530	1652	1446	1337	1238	1239
ABRIL	1283	1196	1086	978	808	695	642	666	783	1019	1306	1561	1717	1825	1851	1846	1733	1687	1646	1527	1437	1420	1384	1395
MAIO	1429	1344	1197	1024	929	755	712	711	841	1200	1553	1859	2020	2084	2108	2194	2035	1926	1814	1739	1665	1624	1578	1494
JUNHO	1329	1211	1080	889	796	647	611	639	719	1026	1432	1641	1882	1953	1984	2008	1929	1816	1720	1616	1567	1503	1476	1422
JULHO	1279	1137	999	869	742	628	586	584	683	922	1259	1602	1821	1905	1945	1915	1875	1793	1673	1602	1493	1421	1380	1367
AGOSTO	1292	1164	1003	858	740	615	564	573	715	1012	1448	1662	1854	1961	2006	1967	1906	1776	1665	1574	1536	1477	1410	1365
SETEMBRO	1352	1222	1062	893	738	662	588	672	792	1151	1577	1768	1959	1987	2023	2009	1927	1827	1710	1627	1583	1537	1505	1449
OUTUBRO	1442	1357	1198	1039	873	731	661	705	840	1200	1567	1767	1940	2041	2056	2069	1995	1845	1712	1685	1625	1588	1547	1501
NOVEMBRO	1504	1395	1296	1151	968	870	780	780	901	1170	1535	1812	1980	2134	2131	2102	2090	2016	1967	1860	1786	1729	1639	1584
DEZEMBRO	1517	1419	1309	1156	1002	905	819	829	893	1122	1445	1684	1852	1980	2014	2026	2029	1906	1809	1687	1662	1628	1577	1561

Figura 5.7: Comparativo horário e mensal do ano de 2015.

ANO: 2016																								
COMPARATIVO HORÁRIO																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1706	1603	1461	1380	1274	1135	1092	996	1050	1248	1476	1739	1965	2043	2113	2125	2343	2225	2065	1892	1912	1797	1717	1692
FEVEREIRO	1546	1452	1322	1163	1030	924	836	885	970	1244	1567	1786	2018	2066	2133	2212	2202	1991	1941	1801	1729	1692	1653	1614
MARÇO	1627	1538	1389	1251	1133	1015	911	960	1063	1365	1708	2013	2256	2345	2361	2371	2270	2097	1959	1998	1967	1874	1755	1696
ABRIL	1256	1158	1052	921	786	632	559	616	753	1102	1486	1709	1860	1929	1939	1909	1815	1752	1627	1547	1478	1438	1363	1313
MAIO	1169	1081	940	823	745	608	507	576	688	990	1395	1608	1714	1688	1893	1908	1785	1652	1587	1470	1464	1358	1284	1264
JUNHO																								
JULHO																								
AGOSTO	1116	1048	911	791	666	559	455	540	626	957	1309	1561	1710	1775	1813	1757	1717	1638	1539	1410	1389	1372	1309	1190
SETEMBRO	1189	1076	962	806	682	568	488	540	656	1013	1393	1582	1735	1817	1876	1859	1774	1667	1599	1491	1443	1397	1317	1249
OUTUBRO	1250	1202	1019	862	731	621	544	616	719	1004	1342	1634	1769	1838	1851	1848	1816	1696	1598	1506	1457	1420	1366	1304
NOVEMBRO	1419	1332	1216	995	843	789	685	701	811	1069	1329	1576	1731	1810	1867	1890	1864	1731	1664	1662	1652	1585	1477	1389
DEZEMBRO	1306	1314	1194	1041	882	753	680	728	817	1062	1365	1596	1744	1820	1914	1866	1815	1736	1646	1586	1509	1459	1394	1322

COMPARATIVO MENSAL																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1706	1603	1461	1380	1274	1135	1092	996	1050	1248	1476	1739	1965	2043	2113	2125	2343	2225	2065	1892	1912	1797	1717	1692
FEVEREIRO	1546	1452	1322	1163	1030	924	836	885	970	1244	1567	1786	2018	2066	2133	2212	2202	1991	1941	1801	1729	1692	1653	1614
MARÇO	1627	1538	1389	1251	1133	1015	911	960	1063	1365	1708	2013	2256	2345	2361	2371	2270	2097	1959	1998	1967	1874	1755	1696
ABRIL	1256	1158	1052	921	786	632	559	616	753	1102	1486	1709	1860	1929	1939	1909	1815	1752	1627	1547	1478	1438	1363	1313
MAIO	1169	1081	940	823	745	608	507	576	688	990	1395	1608	1714	1688	1893	1908	1785	1652	1587	1470	1464	1358	1284	1264
JUNHO																								
JULHO																								
AGOSTO	1116	1048	911	791	666	559	455	540	626	957	1309	1561	1710	1775	1813	1757	1717	1638	1539	1410	1389	1372	1309	1190
SETEMBRO	1189	1076	962	806	682	568	488	540	656	1013	1393	1582	1735	1817	1876	1859	1774	1667	1599	1491	1443	1397	1317	1249
OUTUBRO	1250	1202	1019	862	731	621	544	616	719	1004	1342	1634	1769	1838	1851	1848	1816	1696	1598	1506	1457	1420	1366	1304
NOVEMBRO	1419	1332	1216	995	843	789	685	701	811	1069	1329	1576	1731	1810	1867	1890	1864	1731	1664	1662	1652	1585	1477	1389
DEZEMBRO	1306	1314	1194	1041	882	753	680	728	817	1062	1365	1596	1744	1820	1914	1866	1815	1736	1646	1586	1509	1459	1394	1322

Figura 5.8: Comparativo horário e mensal do ano de 2016.

ANO: 2017																								
COMPARATIVO HORÁRIO																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1261	1166	1035	917	786	660	605	599	691	908	1157	1440	1584	1693	1833	1839	1905	1734	1670	1474	1410	1338	1346	1307
FEVEREIRO	1334	1261	1114	944	813	680	631	690	798	1014	1304	1552	1667	1780	1803	1842	1772	1730	1612	1466	1462	1431	1402	1398
MARÇO	1351	1247	1059	916	776	662	587	668	810	1027	1353	1589	1700	1762	1810	1804	1767	1775	1595	1509	1454	1400	1422	1510
ABRIL	1253	1159	1056	918	802	712	625	691	802	1039	1323	1479	1536	1619	1581	1603	1562	1437	1410	1348	1336	1321	1306	1280
MAIO	1194	1112	994	857	729	681	564	600	712	988	1219	1395	1464	1489	1562	1545	1499	1444	1352	1370	1326	1318	1277	1272
JUNHO	1073	964	854	761	656	571	513	539	617	910	1100	1264	1359	1436	1487	1453	1404	1335	1306	1240	1203	1164	1153	1363
JULHO	945	885	776	660	586	509	441	472	538	728	911	1092	1251	1330	1367	1365	1310	1245	1207	1096	1074	1048	1027	1006
AGOSTO	1125	1038	918	775	667	565	466	558	665	970	1119	1324	1464	1506	1533	1505	1484	1429	1400	1333	1261	1255	1223	1205
SETEMBRO	1106	1023	902	784	654	531	466	554	658	935	1136	1281	1392	1445	1466	1444	1399	1377	1335	1270	1235	1498	1228	1216
OUTUBRO	1147	1044	943	818	692	572	504	582	660	867	1135	1346	1492	1569	1632	1607	1547	1499	1420	1331	1294	1245	1216	1199
NOVEMBRO	1224	1199	1089	935	811	669	623	716	821	1052	1278	1499	1615	1629	1688	1658	1797	1585	1549	1442	1388	1405	1363	1290
DEZEMBRO	1315	1235	1106	992	875	796	754	769	849	1004	1218	1428	1661	1751	1808	1745	1730	1653	1562	1501	1434	1376	1372	1373

COMPARATIVO MENSAL																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1261	1166	1035	917	786	660	605	599	691	908	1157	1440	1584	1693	1833	1839	1905	1734	1670	1474	1410	1338	1346	1307
FEVEREIRO	1334	1261	1114	944	813	680	631	690	798	1014	1304	1552	1667	1780	1803	1842	1772	1730	1612	1466	1462	1431	1402	1398
MARÇO	1351	1247	1059	916	776	662	587	668	810	1027	1353	1589	1700	1762	1810	1804	1767	1775	1595	1509	1454	1400	1422	1510
ABRIL	1253	1159	1056	918	802	712	625	691	802	1039	1323	1479	1536	1619	1581	1603	1562	1437	1410	1348	1336	1321	1306	1280
MAIO	1194	1112	994	857	729	681	564	600	712	988	1219	1395	1464	1489	1562	1545	1499	1444	1352	1370	1326	1318	1277	1272
JUNHO	1073	964	854	761	656	571	513	539	617	910	1100	1264	1359	1436	1487	1453	1404	1335	1306	1240	1203	1164	1153	1363
JULHO	945	885	776	660	586	509	441	472	538	728	911	1092	1251	1330	1367	1365	1310	1245	1207	1096	1074	1048	1027	1006
AGOSTO	1125	1038	918	775	667	565	466	558	665	970	1119	1324	1464	1506	1533	1505	1484	1429	1400	1333	1261	1255	1223	1205
SETEMBRO	1106	1023	902	784	654	531	466	554	658	935	1136	1281	1392	1445	1466	1444	1399	1377	1335	1270	1235	1498	1228	1216
OUTUBRO	1147	1044	943	818	692	572	504	582	660	867	1135	1346	1492	1569	1632	1607	1547	1499	1420	1331	1294	1245	1216	1199
NOVEMBRO	1224	1199	1089	935	811	669	623	716	821	1052	1278	1499	1615	1629	1688	1658	1797	1585	1549	1442	1388	1405	1363	1290
DEZEMBRO	1315	1235	1106	992	875	796	754	769	849	1004	1218	1428	1661	1751	1808	1745	1730	1653	1562	1501	1434	1376	1372	1373

Figura 5.9: Comparativo horário e mensal do ano de 2017.

ANO: 2018																								
COMPARATIVO HORÁRIO																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1221	1173	1078	932	790	732	649	599	682	913	1124	1360	1529	1656	1771	1756	1716	1611	1572	1467	1408	1347	1304	1285
FEVEREIRO	1322	1231	1091	951	840	776	719	736	826	1043	1311	1502	1605	1667	1708	1714	1698	1641	1667	1515	1515	1476	1419	1399
MARÇO	1410	1307	1169	1013	868	779	697	791	908	1189	1516	1684	1815	1856	1885	1851	1869	1721	1683	1594	1582	1536	1515	1440
ABRIL	1264	1153	1050	922	787	718	674	704	830	1080	1355	1601	1708	1820	1837	1784	1874	1697	1524	1473	1462	1433	1364	1305
MAIO	1183	1072	962	814	696	586	546	599	687	923	1254	1421	1487	1539	1594	1600	1536	1440	1382	1340	1322	1268	1241	1209
JUNHO	1046	976	873	754	682	576	541	521	586	808	1132	1385	1467	1484	1553	1525	1459	1383	1318	1287	1255	1200	1162	1092
JULHO	947	873	798	715	639	584	553	514	590	777	1029	1237	1306	1412	1442	1473	1379	1320	1311	1235	1201	1138	1061	1050
AGOSTO	1130	1023	919	829	792	657	592	563	635	907	1246	1428	1531	1564	1596	1577	1548	1460	1394	1394	1332	1262	1232	1175
SETEMBRO	1118	1019	892	748	641	524	457	487	597	908	1191	1438	1605	1650	1687	1671	1597	1505	1451	1370	1349	1330	1279	1220
OUTUBRO	1244	1116	1007	889	759	650	597	669	788	1065	1385	1583	1689	1770	1742	1766	1697	1663	1606	1561	1499	1446	1361	1297
NOVEMBRO	1276	1220	1123	988	870	773	716	717	813	1100	1322	1562	1708	1777	1843	1852	1833	1688	1656	1558	1508	1437	1407	1365
DEZEMBRO	1349	1246	1155	996	874	775	682	680	759	939	1202	1474	1640	1707	1758	1790	1818	1706	1622	1649	1590	1450	1420	1388

COMPARATIVO MENSAL																								
MÊS/HORÁRIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JANEIRO	1221	1173	1078	932	790	732	649	599	682	913	1124	1360	1529	1656	1771	1756	1716	1611	1572	1467	1408	1347	1304	1285
FEVEREIRO	1322	1231	1091	951	840	776	719	736	826	1043	1311	1502	1605	1667	1708	1714	1698	1641	1667	1515	1515	1476	1419	1399
MARÇO	1410	1307	1169	1013	868	779	697	791	908	1189	1516	1684	1815	1856	1885	1851	1869	1721	1683	1594	1582	1536	1515	1440
ABRIL	1264	1153	1050	922	787	718	674	704	830	1080	1355	1601	1708	1820	1837	1784	1874	1697	1524	1473	1462	1433	1364	1305
MAIO	1183	1072	962	814	696	586	546	599	687	923	1254	1421	1487	1539	1594	1600	1536	1440	1382	1340	1322	1268	1241	1209
JUNHO	1046	976	873	754	682	576	541	521	586	808	1132	1385	1467	1484	1553	1525	1459	1383	1318	1287	1255	1200	1162	1092
JULHO	947	873	798	715	639	584	553	514	590	777	1029	1237	1306	1412	1442	1473	1379	1320	1311	1235	1201	1138	1061	1050
AGOSTO	1130	1023	919	829	792	657	592	563	635	907	1246	1428	1531	1564	1596	1577	1548	1460	1394	1394	1332	1262	1232	1175
SETEMBRO	1118	1019	892	748	641	524	457	487	597	908	1191	1438	1605	1650	1687	1671	1597	1505	1451	1370	1349	1330	1279	1220
OUTUBRO	1244	1116	1007	889	759	650	597	669	788	1065	1385	1583	1689	1770	1742	1766	1697	1663	1606	1561	1499	1446	1361	1297
NOVEMBRO	1276	1220	1123	988	870	773	716	717	813	1100	1322	1562	1708	1777	1843	1852	1833	1688	1656	1558	1508	1437	1407	1365
DEZEMBRO	1349	1246	1155	996	874	775	682	680	759	939	1202	1474	1640	1707	1758	1790	1818	1706	1622	1649	1590	1450	1420	1388

Figura 5.10: Comparativo horário e mensal do ano de 2018.

Os meses grifados em vermelho representam meses de ausência total de dados, enquanto os meses grifados em amarelo representam ausência parcial de dados. O comportamento padrão horário se manteve em todo período analisado, isto é, vazões baixas durante a madrugada e altas durante a tarde.

O comportamento padrão mensal, que possui os valores mais altos concentrados em meses chuvosos (outubro até abril), modifica-se em 2015, apresentando a anomalia de ser o único ano com os meses iniciais da seca superando os valores de vazão do período chuvoso do início do ano.

A hipótese de que a mudança no sistema de medição aumentou os valores medidos se sustenta e indica que valores prévios à 2015 podem subestimar o volume de equalização necessário para regularizar a vazão da ETEB Sul.

5.1.2. Atualização do diagrama de massa

Considerando que os dados anteriores a 2015 estão subestimados, convém atualizar a estimativa de volume necessário para equalização a partir de dados mais recentes e confiáveis.

O método do balanço de concentração seria mais recomendável, uma vez que a flutuação diária de concentração de afluente impacta nos problemas operacionais observados. Porém, a ausência de dados de concentração de carga horária afluente impede a utilização do método determinístico, que necessita do conhecimento exato dos valores de concentração durante o período de tempo.

Os dados utilizados para a construção do novo diagrama de massas foram os dados de vazão afluente à ETE no período de 2015 até 2018. Foram construídos dois diagramas,

um relativo à média anual (Tabela 5.1) e outro relativo apenas ao período chuvoso de cada ano (Tabela 5.2).

Tabela 5.1: Vazão horária média do período completo de 2015 a 2018. (Fonte: CAESB, 2019)

VAZÃO HORÁRIA MÉDIA (PERÍODO COMPLETO 2015-2018)		
Horário	Vazão média (m ³ /s)	Volume Acumulado (m ³)
0	1,268	4563,96
1	1,181	8816,71
2	1,058	12626,21
3	0,921	15940,57
4	0,798	18812,34
5	0,693	21307,59
6	0,624	23554,99
7	0,656	25916,54
8	0,756	28636,80
9	1,018	32300,03
10	1,315	37032,42
11	1,541	42581,61
12	1,689	48662,00
13	1,760	54996,50
14	1,803	61488,08
15	1,799	67964,12
16	1,763	74309,87
17	1,667	80311,15
18	1,587	86022,92
19	1,511	91461,61
20	1,463	96729,72
21	1,423	101852,01
22	1,368	106777,03
23	1,335	111581,71

Tabela 5.2: Vazão horária média do período chuvoso de 2015 a 2018. (Fonte: CAESB, 2019)

VAZÃO HORÁRIA MÉDIA (PERÍODO CHUVOSO 2015-2018)		
Horário	Vazão média (m ³ /s)	Volume Acumulado (m ³)
0	1,335	4804,45
1	1,243	9280,49
2	1,112	13282,55
3	0,966	16759,46
4	0,839	19779,77
5	0,729	22405,56
6	0,666	24803,06
7	0,699	27321,03
8	0,804	30216,12
9	1,067	34058,60
10	1,377	39015,91
11	1,613	44823,59
12	1,774	51210,56
13	1,850	57871,35
14	1,893	64686,82
15	1,891	71493,56
16	1,864	78205,44
17	1,754	84519,79
18	1,665	90513,58
19	1,578	96193,91
20	1,533	101711,55
21	1,481	107043,73
22	1,435	112210,19
23	1,394	117229,19

A partir dos dados das Tabelas 5.1 e 5.2, foram desenvolvidos os diagramas de massa das Figuras 5.11 e 5.12, respectivamente. O método de obtenção do valor do volume necessário está explicado no item 3.5.1.

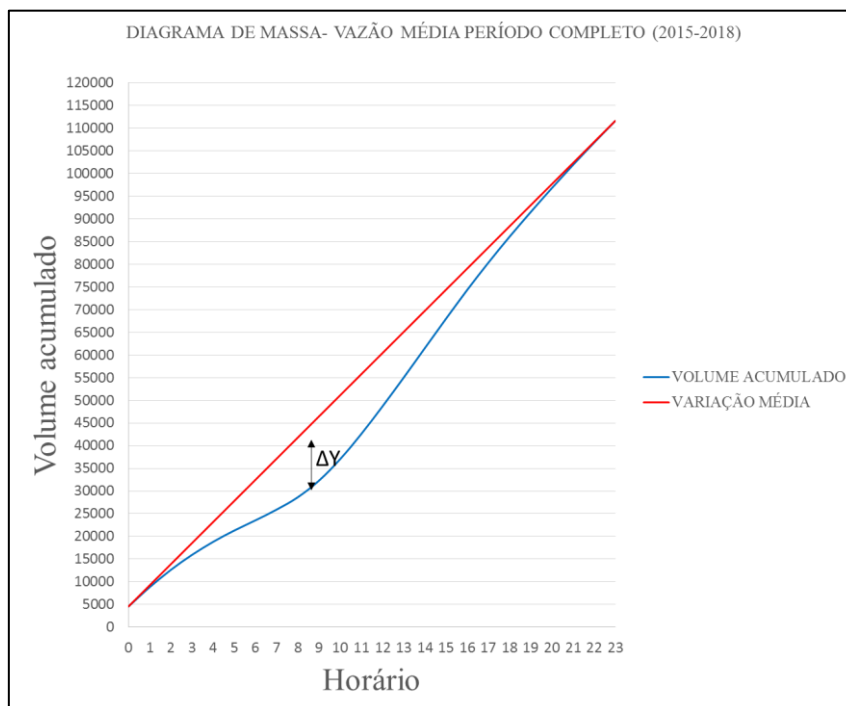


Figura 5.11: Diagrama de massa período completo 2015-2018.

O valor máximo de ΔY corresponde ao volume teórico necessário para equalização. A partir da análise dos dados do gráfico, ΔY máximo foi obtido com o valor de 14.192 m³. Metcalf e Eddy (2016) recomendam um acréscimo de 10% a 20% do valor teórico obtido, como margem de segurança operacional. Sendo assim, o volume necessário de equalização a partir dos dados analisados, com acréscimo de 20%, é de 17.031m³ para o período completo.

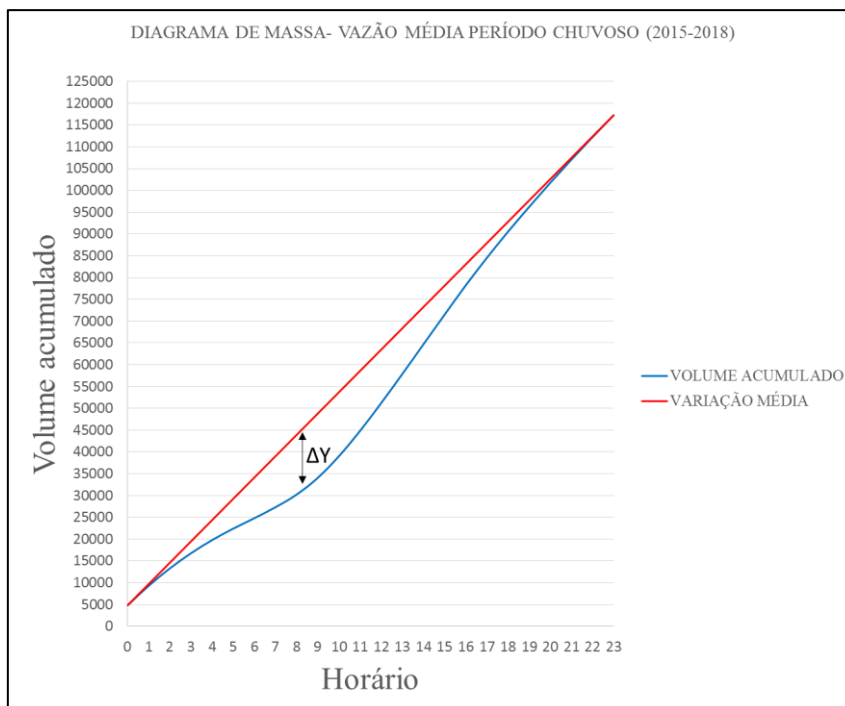


Figura 5.12: Diagrama de massa período chuvoso 2015-2018.

O período chuvoso apresenta valores de vazão mais altos que a média geral, com isso o valor de ΔY máximo aumenta para 14.787m³, totalizando 17.745m³ com o acréscimo de 20% estipulado. O valor obtido é 4,2% maior que a média do período completo.

A atualização dos dados demonstrou que o volume necessário para equalização de fluxo na ETEB Sul para o período completo e chuvoso é de 17.031m³ e 17.745m³, respectivamente, sendo maiores que os 15.600m³ e 16.800m³ obtidos por PASSOS (2016). Para atuar em prol da segurança, seria recomendado basear o volume necessário com base no período chuvoso, pois a capacidade das estruturas antigas permite fazê-lo sem custos adicionais de expansão.

A conclusão de que a ETEB Sul possui volume disponível nas suas estruturas antigas para a equalização permanece válida, pois nenhum dos volumes encontrados na atualização dos dados supera os 21.476m³ disponíveis na ETEB Sul.

5.2. ETAPA 1: DIAGNÓSTICO DA ETEB SUL E PROGNÓSTICO SOBRE A EQUALIZAÇÃO

5.2.1. Qualidade do efluente final da ETEB Sul

5.2.1.1. Análise de dados

A análise da qualidade do efluente final da ETEB Sul permite avaliar se o desempenho atual é satisfatório em relação aos parâmetros de qualidade estabelecidos. Os principais parâmetros do efluente final analisados foram o fósforo total (PT), a demanda química de oxigênio (DQO) e os sólidos suspensos (SS), todos medidos em mg/L.

Não existem dados horários dos principais parâmetros físico-químicos, o que impossibilita relacionar a flutuação de vazão e carga afluente com os parâmetros de saída no efluente, sendo assim a análise se limitará ao desempenho das análises disponíveis, sendo o prognóstico sobre equalização mais geral e subjetivo.

Foram analisados os dados de qualidade do efluente final de 2015 até 2018, os valores absolutos de referência são parâmetros de projeto para a ETEB Sul e seus valores estão na Tabela 5.3, junto às análises dos dados do efluente final:

Tabela 5.3: Análise de parâmetros do efluente final da ETEB Sul.

Ano:	Fósforo Total			DQO			Sólidos Suspensos		
	Limite superior: 0,3 mg/L			Limite superior: 45 mg/L			Limite superior: 10 mg/L		
	Amostras	Amostras abaixo do limite superior		Amostras	Amostras abaixo do limite superior		Amostras	Amostras abaixo do limite superior	
2015	124	84	67,74%	128	81	63,28%	124	77	62,10%
2016	85	46	54,12%	97	52	53,61%	104	67	64,42%
2017	138	93	67,39%	140	114	81,43%	142	124	87,32%
2018	125	82	65,60%	131	86	65,65%	130	116	89,23%
Média:	118	76	63,71%	124	83	65,99%	125	96	75,77%

Para auxiliar na interpretação dos dados de qualidade do efluente é preciso analisar os dados de remoção relativa, ou seja, a diferença entre os valores dos parâmetros medidos no afluente e efluente, a partir destes dados analisa-se a eficiência de remoção.

Segundo o SIESG (2016), a ETEB Sul foi classificada pelo PRODES/ANA (Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas da Agência Nacional de Águas) como uma ETE de classe H, portanto a eficiência de remoção desejada é de 85% para fósforo total (PT) e DQO e 90% para sólidos suspensos (SS). A Tabela 5.4 mostra uma análise a partir desses indicadores:

Tabela 5.4: Análise da eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade do efluente final.

Ano:	Fósforo Total				DQO				Sólidos Suspensos			
	Remoção ideal: >85%				Remoção ideal: >85%				Remoção ideal: >90%			
	Amostras	Remoção média	Amostras com remoção ideal		Amostras	Remoção média	Amostras com remoção ideal		Amostras	Remoção média	Amostras com remoção ideal	
2015	124	96%	120	96,77%	128	96%	126	98,44%	124	92%	119	95,97%
2016	85	94%	82	96,47%	97	96%	95	97,94%	104	92%	100	96,15%
2017	138	96%	136	98,55%	140	94%	140	100,00%	142	97%	139	97,89%
2018	125	97%	125	100,00%	131	94%	130	99,24%	130	97%	127	97,69%
Média:	118	96%	116	97,95%	124	95%	123	98,90%	125	95%	121	96,93%

Os dados mostram uma diferença de resultados dependendo da perspectiva de análise. Por um lado, a ETEB Sul tem uma eficiência de remoção elevadíssima, em torno de 95% nos três parâmetros analisados, bem acima da remoção ideal de padrão H estabelecido para a ETEB Sul no PRODES/ANA.

Por outro lado, em termos de valores absolutos, a eficiência não é tão elevada. Considerando o somatório das amostras dos três dados analisados, a ETEB Sul possui 70% de amostras em conformidade com os limites estabelecidos em pelo menos um dos parâmetros. Se considerarmos as amostras que possuem os três parâmetros em conformidade, o valor cai para 48% das amostras no período de 2015 até 2018.

5.2.1.2. Prognóstico sobre os efeitos da equalização de fluxo

A partir dos dados analisados, vemos que a ETEB Sul tem uma alta eficiência de remoção relativa, mas a qualidade do efluente em termos absolutos fica fora dos parâmetros estabelecidos em 30% das amostras.

Para discorrer sobre os efeitos da equalização de fluxos na qualidade do efluente, seria necessário investigar as hipóteses que podem ser levantadas a partir dos dados analisados. As hipóteses que se apresentam mais prováveis são:

- 1) A conformidade das amostras de efluente final não acompanham a excelência dos dados sobre remoção relativa porque a ETEB Sul apresenta valores de carga no afluente muito elevados, ou seja, mesmo removendo em média 95% da carga nos três parâmetros analisados, os 5% não removidos ainda representam um valor alto, quando examinados em números absolutos. Nesta hipótese, os valores de remoção aceitáveis para o PRODES/ANA (85% para DQO e PT e 90% para SS) estão subestimados.
- 2) Os valores absolutos de referência para o efluente da ETEB Sul estão superestimados ou contém uma margem de erro grande, neste caso o desempenho da ETEB Sul pode ser classificado como satisfatório a partir dos dados de remoção relativa.

O presente estudo não tem condições de afirmar qual das duas hipóteses é a mais provável, mas saber qual das duas hipóteses se confirma (através de estudos posteriores) influencia diretamente na avaliação sobre a necessidade de implementação da equalização de fluxos na ETEB Sul.

Confirmando-se a hipótese 1, a equalização apresentaria um alto potencial para auxiliar a ETEB Sul a atingir valores absolutos abaixo dos parâmetros estabelecidos, pois a equalização de carga poderia manter em níveis regulares as cargas afluentes de DQO, PT e SS, sendo possível dessa forma regular os processos para atingir as remoções absolutas desejadas com maior previsibilidade, pois com valores de carga afluente estáveis os valores de remoção relativa indicariam também qual a correspondente remoção absoluta.

Confirmando-se, porém, a hipótese 2, a necessidade de equalizar os fluxos na ETEB Sul por causa desse fator específico (qualidade do efluente final) reduziria, pois a operação atual já estaria alcançando resultados satisfatórios para a preservação do corpo receptor (lago Paranoá). Sendo assim, um investimento para melhorar os resultados de lançamento absoluto poderia se mostrar um exagero.

5.2.2. Utilização do by-pass na ETEB Sul

5.2.2.1. Análise de dados

A manobra conhecida como “by-pass” é um desvio diretamente ao corpo receptor da vazão que excede a capacidade operacional da ETE. A manobra é prejudicial ao corpo receptor e deve ser evitada, pois a carga afluente chega ao corpo receptor (lago Paranoá) com pouco ou nenhum tratamento.

O by-pass geralmente é utilizado em caso de vazões extraordinárias, o que se dá principalmente durante grandes chuvas, o que mitiga parcialmente o impacto ambiental pela diluição da carga poluente nas águas pluviais. Mesmo assim, os efeitos do by-pass ainda são prejudiciais e devem ser evitados.

A ETEB Sul não possui dados precisos da utilização do by-pass em anos anteriores a 2017. Em 2017, o by-pass foi utilizado conforme indicado na Tabela 5.5:

Tabela 5.5: Utilização do by-pass em 2017. (Fonte: CAESB, 2019)

DIA	HORÁRIO		VAZÃO (L/s)	
	INÍCIO	FINAL	INÍCIO	FINAL
17/fev	06:50	07:12	588	604
25/fev	15:00	16:00	-	-
28/mar	16:30	17:45	3810	2577
	23:00	23:50	3794	2642
30/mar	00:00	00:30	3440	2690
31/mar	22:45	23:00	3230	2320
28/jul	08:45	08:52	-	717
	09:20	11:00	-	1167

É importante ressaltar que não há registros de como o by-pass foi utilizado, uma vez que a ETEB Sul possui diversas possibilidades da manobra, sendo possível desviar apenas de uma ou outra etapa do processo, ou desviar diretamente ao Lago. Sem o registro desses dados é impossível fazer qualquer juízo de valor sobre o impacto de cada desvio.

No dia 17 de fevereiro de 2017, o by-pass foi acionado devido à uma manutenção na ETEB Sul e no dia 28 de julho foi acionado devido à uma falha no fornecimento de energia elétrica. Os outros dias apresentaram vazões extraordinárias, bem acima dos 1500

L/s da vazão de projeto, sendo o by-pass necessário quando a vazão afluyente supera os 3200 L/s, aproximadamente.

A partir de 2018, uma manobra operacional foi adotada para minimizar a necessidade do by-pass. A ETEB Sul passou a desviar as vazões excedentes para o reator biológico desativado, já que atualmente a ETEB Sul opera com 3 reatores apenas, com o 4º reator desativado. A medida eliminou as ocorrências de necessidade do by-pass em 2018.

5.2.2.2. Prognóstico sobre os efeitos da equalização de fluxo

A utilização do by-pass diretamente ao lago Paranoá não é mais um evento recorrente na ETEB Sul, foi contornado com desvios internos nos fluxos excedentes favorecidos pela não utilização de um reator. A manobra que permitiu cessar com o by-pass diretamente para o lago confirma o benefício da equalização de vazões para este fator, já que a manobra consiste justamente no armazenamento de vazões excedentes em um dos reatores vazios.

A ETEB Sul opera com três dos quatro reatores biológicos disponíveis e pode utilizar o reator vazio de duas formas: para armazenar vazões de chuvas intensas ou para armazenar esgoto suficiente para manter a vazão dos outros três reatores em valores que não afetem a eficiência do tratamento durante a madrugada, como será explicado no tópico 5.2.3.3.

A implementação da equalização de fluxos utilizando reservatórios externos ao sistema principal da ETEB Sul permitiria manter os dois efeitos desejados pelas manobras já executadas atualmente, sem risco de transbordamento quando houvesse sobreposição de efeitos, ou seja, esgoto armazenado durante o dia e chuvas intensas de madrugada.

5.2.3. Capacidade operacional das unidades

5.2.3.1. Análise de dados: Capacidade média da ETEB Sul

A ETEB Sul foi ampliada em 1993 para operar a uma vazão média de 1500 L/s. Em 2018 a vazão média de operação na ETE foi de 1232 L/s, o que representa 82,1% da vazão de projeto. Apenas 14 dias em 2018 apresentaram vazões médias acima de 1500 L/s.

O comportamento das vazões médias no período de 2015 a 2018 (Tabela 5.6) demonstram uma tendência de estabilidade, sem sequência de aumento ou diminuição identificável.

Tabela 5.6: Vazão média do período de 2015 a 2018.

Ano	Vazão Média (L/s)	V.média/V.projeto
2015	1339	89%
2016*	1280*	85%
2017	1184	79%
2018	1232	82%

Os dados de 2016 sofreram defasagem por conta da greve ocorrida nesse ano, por isso alguns dados foram obtidos por estimativas. A ETEB Sul vem trabalhando abaixo da vazão de projeto nos últimos anos, sem perspectivas próximas de aumento de vazão afluyente, devido à estabilidade de crescimento das áreas que a ETE atende, já que se tratam de áreas mais consolidadas no Distrito Federal, como o Lago Sul e o Plano Piloto.

Analisada a capacidade operacional da ETEB Sul de forma geral, completa-se a análise pelo diagnóstico da situação das unidades específicas. Foram analisadas a situação de duas unidades com papel importante na ETEB Sul, a saber: decantador primário e reator biológico. As outras unidades operacionais carecem de informações de parâmetros analisáveis e serão abordados de forma mais subjetiva em tópicos posteriores.

5.2.3.2. Análise de dados: Decantadores Primários

A ETEB Sul possui 3 decantadores primários (DP) com 32m de diâmetro e 3,5m de profundidade útil. O volume útil de cada DP é de 3110 m³. O parâmetro guia para a intervenção no funcionamento dos DPs é a concentração do lodo. Quando ele se apresenta muito concentrado, aumenta-se o descarte de fundo e quando a concentração está abaixo do ideal para a manutenção do processo, aumenta-se o tempo até o descarte.

A NBR 12209/2011 estipula que o tempo de detenção de decantadores primários operando na vazão média deve ser de no máximo 3h, e de 1h na vazão máxima. Além disso, estipula que a taxa de escoamento superficial deve ser inferior a 90 m³/m².d quando o decantador primário precede tratamento de lodos ativados.

Com os dados descritos, avaliou-se o desempenho operacional da unidade, apresentado na Tabela 5.7:

Tabela 5.7: Situação dos Decantadores Primários da ETEB Sul

Vazão (L/s)	Taxa de escoamento superficial (m ³ /m ² .d)		Tempo de detenção	
	2 Decantadores	3 Decantadores	2 Decantadores	3 Decantadores
1000	54	36	1,73	2,59
1100	59	39	1,57	2,36
1200	64	43	1,44	2,16
1300	70	47	1,33	1,99
1400	75	50	1,23	1,85
1500	81	54	1,15	1,73
1600	86	57	1,08	1,62
1700	91	61	1,02	1,52
1800	97	64	0,96	1,44
1900	102	68	0,91	1,36
2000	107	72	0,86	1,30

Os dados da Tabela 5.7 mostram que, para a vazão média atual de aproximadamente 1200 L/s, os decantadores primários atuam dentro das faixas estabelecidas por norma para ambos os parâmetros, mesmo com um dos decantadores fora de operação. Somente a partir de vazões superiores a 1700 L/s é que a operação com apenas 2 decantadores passa a desprezar os valores de norma para escoamento superficial e tempos de detenção abaixo do limite para a vazão máxima.

5.2.3.3. Análise de dados: Reatores Biológicos

A ETEB Sul possui quatro reatores biológicos com capacidade de 8245 m³. O tratamento biológico é o mais impactado por flutuações de vazões afluentes, pois os microrganismos têm sua eficiência dependente da relação entre alimento disponível e população de bactérias.

Vazões muito baixas podem matar os organismos do tratamento por falta de alimento disponível, enquanto vazões altas sobrecarregam os reatores. Segundo os manuais operacionais da ETEB Sul, cada reator tem capacidade para tratar de forma eficiente até 600 L/s de vazão afluente. Vazões inferiores a 200 L/s mostram-se inadequadas para manutenção da eficiência do processo.

A ETEB Sul operou com apenas 3 reatores durante todo o ano de 2018 e prossegue desta forma em 2019. Isto se justifica pelo fato de se tentar manter os reatores ativos operando na faixa de melhor eficiência. As Tabelas 5.8 (Análise de sobrecarga de reatores) e 5.9 (Análise de carga insuficiente nos reatores) mostram uma análise feita a partir do hidrograma horário da ETEB Sul:

Tabela 5.8: Análise de sobrecarga de vazão afluente aos reatores.

VAZÃO AFLUENTE 2018							
Mês	Amostras	>1800 L/s		>2000 L/s		>2400 L/s	
		N°	%	N°	%	N°	%
Janeiro	744	54	7,3%	11	1,48%	3	0,40%
Fevereiro	672	69	10,3%	23	3,42%	4	0,60%
Março	744	145	19,5%	65	8,74%	6	0,81%
Abril	720	110	15,3%	27	3,75%	3	0,42%
Maio	744	20	2,7%	2	0,27%	1	0,13%
Junho	720	7	1,0%	0	0,00%	0	0,00%
Julho	744	3	0,4%	0	0,00%	0	0,00%
Agosto	744	7	0,9%	0	0,00%	0	0,00%
Setembro	720	57	7,9%	2	0,28%	0	0,00%
Outubro	744	90	12,1%	20	2,69%	1	0,13%
Novembro	720	115	16,0%	32	4,44%	3	0,42%
Dezembro	744	108	14,5%	16	2,15%	4	0,54%
Total:	8760	785	8,96%	198	2,26%	25	0,29%

Tabela 5.9: Análise de carga insuficiente na vazão afluyente aos reatores.

VAZÃO AFLUENTE 2018					
Mês	Amostras	< 800 L/s		< 600 L/s	
		N°	%	N°	%
Janeiro	744	139	18,68%	45	6,05%
Fevereiro	672	103	15,33%	19	2,83%
Março	744	88	11,83%	9	1,21%
Abril	720	127	17,64%	39	5,42%
Mai	744	168	22,58%	73	9,81%
Junho	720	191	26,53%	94	13,06%
Julho	744	227	30,51%	93	12,50%
Agosto	744	161	21,64%	66	8,87%
Setembro	720	197	27,36%	110	15,28%
Outubro	744	149	20,03%	50	6,72%
Novembro	720	100	13,89%	16	2,22%
Dezembro	744	119	15,99%	22	2,96%
Total:	8760	1769	20%	636	7,26%

Para operação com 3 reatores, a vazão máxima para operação eficiente é de 1800 L/s, enquanto a operação com 4 reatores tem limite operacional de 2400 L/s. Os limites inferiores teóricos são de 600 L/s para 3 reatores e 800 L/s para 4 reatores.

A partir dos dados de vazão afluyente em 2018 é possível perceber que a operação com somente 3 dos 4 reatores é a melhor opção para as vazões atuais, pois com 3 reatores a vazão se encontra na faixa ideal em 83,78% do tempo, sendo sobrecarregada apenas 8,96% do tempo e carregada de forma insuficiente em 7,26% do tempo.

Vale notar que com o acréscimo de 10% de tolerância para cada reator, teríamos uma operação aceitável com 3 reatores até um valor de vazão afluyente de 1980 L/s. (aproximado para 2000 L/s na Tabela 5.8) Nesse caso, a operação com 3 reatores seria satisfatória em 90,48% do tempo.

A operação com 4 reatores encontraria vazão ideal de funcionamento em 79,71% do tempo, sendo sobrecarregada apenas 0,29% do tempo, porém trabalharia com vazão muito baixa em 20% do tempo.

Os gastos com um reator adicional provavelmente não se justificam pela necessidade, visto que a operação com 3 reatores tem desempenho satisfatório e por vezes até superior. Outro fator que motiva a operação com 3 reatores é o fato de 1 reator estar sempre disponível para manutenção, além de funcionar como reservatório de equalização.

A manobra de desvio de vazões excedentes de chuva para o reator desativado já é realizada na ETEB Sul. Recentemente também se experimentou o acúmulo de vazões de esgoto para liberação para os outros 3 reatores em momentos de menor vazão (madrugada e início da manhã), o que apresentou um aumento significativo de eficiência dos reatores. A manobra foi suspensa, porém, por causa da necessidade de armazenamento de volumes em caso de chuvas intensas, podendo o reator transbordar em caso de sobreposição de

efeitos, ou seja, o volume de chuvas na madrugada ser armazenado no reator que já tinha armazenado volumes de esgoto durante o dia.

5.2.3.4. Prognóstico sobre os efeitos da equalização de fluxo

Os dados analisados mostram que as unidades analisadas operam com certa folga em relação aos limites de capacidade. A vazão de projeto de 1500 L/s não é atingida pela vazão média da ETEB Sul, apresentando atualmente valores médios de 80% da vazão média de projeto.

As unidades analisadas, decantadores primários e reatores biológicos, demonstram que a ETEB Sul possui capacidade de operar satisfatoriamente mesmo sem utilizar uma das unidades de cada sistema, ou seja, é possível operar com 2 decantadores primários e 3 reatores biológicos.

A ETEB Sul não apresenta perspectivas próximas de grandes acréscimos à vazão média, que, conforme a Tabela 5.6, apresenta-se estável na faixa de 1200 L/s. De acordo com os dados analisados, vazões médias a partir de 1700 L/s já fazem a ETEB Sul não poder operar com apenas 2 DPs e 3 reatores, colocando a ETE em situação de limite operacional.

Apesar de os valores médios apontarem para uma operação com certa folga nas unidades da ETEB Sul, a equalização pode amortecer os picos de vazão e permitir a manutenção dos níveis de eficiência do tratamento com a utilização de 2 DPs e 3 reatores na totalidade do tempo, através da redução das vazões máximas para valores inferiores a 1700 L/s.

A ampliação de parâmetros analisados, além dos valores normativos usados para análise dos DPs e dos valores estimados para os reatores biológicos, contribuirá para o conhecimento da extensão dos benefícios que a equalização de fluxos pode trazer para o presente fator analisado. Outras unidades também devem ser incluídas em estudos posteriores para a ampliação das hipóteses e resultados.

5.2.4. Consumo de produtos químicos

5.2.4.1. Análise de dados

A análise de consumo de produtos químicos na ETEB Sul teve o seu enfoque no aspecto econômico, por isso não foram analisados todos os produtos químicos utilizados na ETEB Sul, apenas os de maior participação financeira no tratamento.

Os consumos dos seguintes produtos químicos foram pré-selecionados para análise: sulfato de alumínio, polieletrólito catiônico, polieletrólito aniônico e cal hidratada. Foram utilizados dados de 2016 até 2018 fornecidos pela CAESB via ETEB Sul. A Tabela 5.10 mostra o impacto econômico dos produtos pré-selecionados:

Tabela 5.10: Consumo de produtos químicos na ETEB Sul (Fonte: CAESB, 2019)

PRODUTO		2016*	2017	2018
Sulfato de Alumínio	Custo Unitário (R\$/L)	0,79	1	1
	Consumo total (L)	3179867	3544575	3562140
	Custo total (R\$)	R\$ 2.512.094,67	R\$ 3.544.575,00	R\$ 3.562.140,00
Polieletrólito aniônico	Custo Unitário (R\$/kg)	7,89	7,89	7,89
	Consumo total (kg)	36300	42275	41073
	Custo total (R\$)	R\$ 286.407,00	R\$ 333.549,75	R\$ 324.063,82
Polieletrólito catiônico	Custo Unitário (R\$/kg)	7,76	7,76	7,76
	Consumo total (kg)	104411	85103	106478
	Custo total (R\$)	R\$ 810.228,71	R\$ 660.396,86	R\$ 826.270,69
Cal hidratada	Custo Unitário (R\$/kg)	0,59	0,59	0,59
	Consumo total (kg)	36000	19000	22020
	Custo total (R\$)	R\$ 21.240,00	R\$ 11.210,00	R\$ 12.991,80

Os dados de 2016 podem possuir certa imprecisão devido à greve ocorrida de Maio até Agosto do referido ano, sendo os dados do período obtidos por estimativas. Analisando os dados da Tabela 5.10, é perceptível que o produto químico de maior impacto econômico no tratamento de esgotos é o sulfato de alumínio. Portanto, o presente estudo optou por dar um enfoque maior à análise de consumo de sulfato de alumínio.

5.2.4.2. Análise de dados: Consumo de sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio é utilizado principalmente para decantação de partículas sólidas e estabilização de pH. Na ETEB Sul, a aplicação de sulfato de alumínio ocorre antes do tratamento terciário do polimento final. A dosagem é feita de forma manual, onde o operador deve acompanhar os valores medidos de ortofosfato e pH na saída do efluente final e decidir por aumentar ou diminuir a dosagem dependendo dos parâmetros aferidos. A medição da dosagem é feita através da medição do volume de produto precipitado num intervalo de 15 segundos, medidos com auxílio de um béquer.

A precipitação de sulfato no canal é feita, portanto, de forma manual e medida unicamente através da abertura da válvula. A figura 5.13 mostra o local de dosagem do sulfato de alumínio:



Figura 5.13: Tubulação de dosagem de sulfato de alumínio.

Sobre o consumo de sulfato de alumínio, a ETEB Sul possui um relatório investigativo no qual aponta as possíveis causas de consumos elevados na estação. No relatório, baseado em dados de 2018, foram analisados todos os dias de consumo de sulfato de alumínio acima da média, sendo a média de consumo diário de sulfato 9.753 L/dia. Os gastos acima da média representaram 162 casos no ano de 2018.

Devido à imprecisão de medição de consumo de sulfato, que é feita através da leitura de um nível externo nos reservatórios de sulfato (Figura 5.14), foi adotada uma margem de erro de dosagem sendo tolerados gastos de até 10500 L/dia, reduzindo em 53 casos o número a ser analisado, sobrando dessa forma 109 casos de consumo acima da média para análise.



Figura 5.14: Reservatório de sulfato de alumínio.

De acordo com o relatório da CAESB (2019), as principais causas de consumo elevado de sulfato apontadas são:

- 1) Problemas nos tratamentos secundário e terciário, tais como sopradores fora de operação e câmaras de polimento final em manutenção.
- 2) Dificuldades inerentes à dosagem manual e tomada de decisão sobre quando interferir na dosagem, submetendo a critérios subjetivos de percepção dos operadores.

3) Aumento de carga e vazão afluente.

A Figura 5.15 mostra graficamente o histórico do consumo de sulfato por metro cúbico de esgoto tratado:

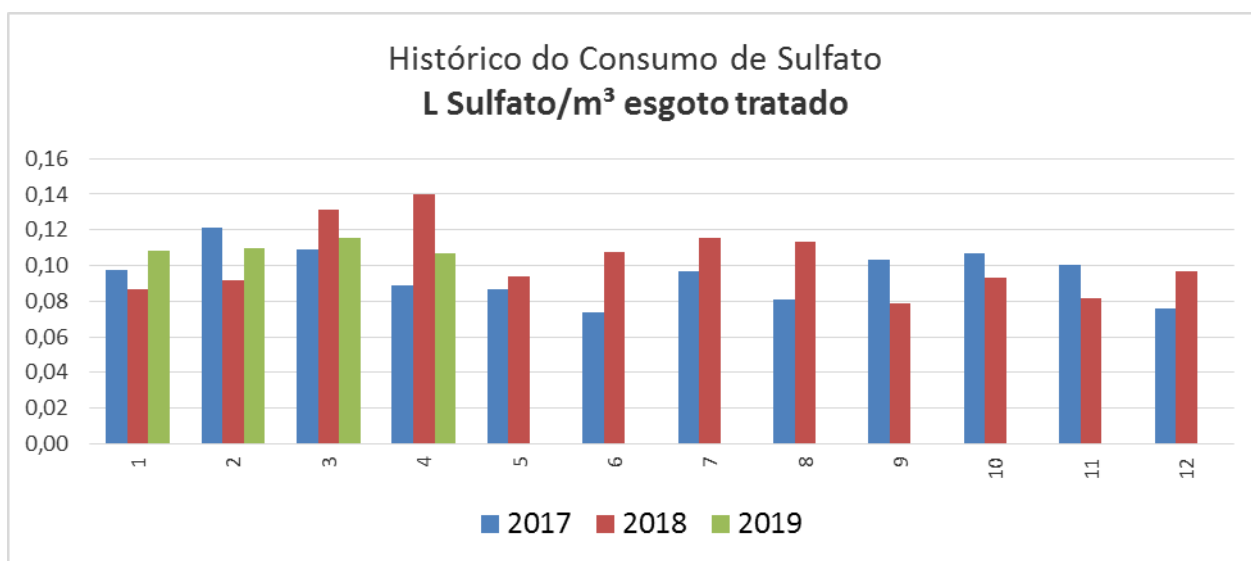


Figura 5.15: Histórico do consumo de sulfato de alumínio. (Fonte: CAESB, 2019)

Os valores de consumo nos primeiros meses de 2019 se demonstram mais estáveis, porém não apresenta tendência de queda no consumo, mostrando a necessidade de se buscar soluções para diminuir o impacto econômico deste produto, sem abrir mão da qualidade do efluente final. A possível atuação da equalização de fluxos como medida mitigadora ao consumo de sulfato será discutida no tópico 5.2.4.4.

5.2.4.3. Análise de dados: Consumo de outros produtos químicos

O polímero aniônico é utilizado no polimento final como floculador, aglutinando as partículas que vêm do tratamento secundário. A dosagem desse polímero é feita de modo automático, sendo a concentração da solução o parâmetro de entrada no equipamento dosador. A dosagem deste polímero é praticamente uniforme desde a implantação da máquina de dosagem automática, aumentando só em caso de cargas afluentes muito elevadas.

O polímero catiônico é utilizado no tratamento do lodo gerado pela ETE para estabilização. A dosagem também é feita por equipamento de dosagem automática, porém a dosagem deste polímero não é tão uniforme quanto a do aniônico, uma vez que depende diretamente do volume de lodo gerado no tratamento, o qual tem variações significativas.

A cal hidratada é utilizada também no tratamento do lodo, no auxílio a sua estabilização e em outras áreas para combate ao mau cheiro. O seu consumo também se relaciona de forma direta com a produção de lodo, porém é o produto químico de menor impacto econômico entre os principais produtos analisados.

5.2.4.4. Prognóstico sobre os efeitos da equalização de fluxo

Os dados analisados demonstram que, do ponto de vista de impacto financeiro, o produto químico de maior relevância de redução de consumo é o sulfato de alumínio, enquanto os polímeros aniônicos, catiônicos e a cal hidratada representam somados, em média, menos da metade do impacto financeiro do sulfato.

Os fatores analisados indicam estabilidade no consumo de polímero aniônico, com uma dosagem automática quase uniforme, variando apenas em cargas afluentes atípicas. O consumo de polímero catiônico e cal hidratada variam de acordo com a produção de lodo, dessa forma, a equalização se mostraria útil para a redução de consumo desses produtos caso fosse capaz de atuar como fator redutor de produção de lodo. As variáveis envolvidas na produção de lodo são amplas e necessitam de estudo específico.

O sulfato de alumínio se configura como o grande impacto financeiro da ETEB Sul em termos de produtos químicos, por essa razão um estudo específico sobre o consumo de sulfato de alumínio foi encomendado na ETEB Sul. O estudo apontou três causas principais através da comparação de dados de consumo com outros fatores e relatórios operacionais. Os três fatores, já expostos no tópico 5.2.4.2 são:

- 1) Problemas nos tratamentos secundário e terciário, tais como sopradores fora de operação e câmaras de polimento final em manutenção.
- 2) Dificuldades inerentes à dosagem manual e tomada de decisão sobre quando interferir na dosagem, submetendo a critérios subjetivos de percepção dos operadores.
- 3) Aumento de carga e vazão afluyente.

Os dois primeiros fatores demonstraram uma correlação mais fortemente observável, uma vez que os 5 dias de consumo mais elevado se localizam em períodos de falha nos sopradores da ETEB Sul, os valores de consumo acima da média intermediários geralmente correspondiam a atrasos na correção da dosagem manual, principalmente nos períodos da madrugada. A implantação da equalização não teria influência direta nesses dois fatores.

A equalização poderia atuar como mitigadora da causa número 3. De acordo com os dados de consumo fornecidos pela CAESB, em 55% das vezes que um consumo acima de 10500 L/dia aconteceu, houve um aumento de vazão e/ou carga associado, o que representa 90 casos dos 163 consumos acima da média. Os mesmos dados mostram, porém, que em 89 casos onde a vazão diária ficou acima da média, o consumo de sulfato permaneceu abaixo da média, indicando que o aumento de vazão e carga podem ser fatores que potencializam outras causas que levam a um consumo maior de produtos químicos, mas que provavelmente não são os fatores principais causadores do aumento.

O potencial de auxílio da equalização para redução do consumo de sulfato seria mais verificável após a correção dos dois fatores de maior potencial apresentados, uma vez que provavelmente a média geral de consumo baixaria e poderíamos verificar com mais precisão a influência da variação de vazão e carga no consumo do produto, principalmente com equipamentos de dosagem automática.

Outra projeção que deve ser feita nesse caso é o acréscimo de consumo de produtos químicos que o reservatório de armazenamento dos volumes desviados necessitaria para

a mitigação de problemas como mau cheiro e sedimentação excessiva. A economia de produtos químicos que a estabilização da carga afluyente da ETE gera deve superar os gastos com tratamento do volume desviado para que esse fator econômico se demonstre favorável à implementação do sistema de equalização.

5.3. ETAPA 2: AVALIAÇÃO GERAL DOS FATORES

A equalização de fluxos, conforme a bibliografia estudada no tópico 3.4, apresenta o potencial de introduzir várias vantagens às estações de tratamento de esgoto. No entanto, a implementação desse sistema é também um investimento e como tal deve ser avaliada a real necessidade dele.

Apesar de benefícios, a implementação do sistema também traz as desvantagens explicadas no mesmo tópico já citado, como por exemplo os gastos adicionais com tratamento das vazões desviadas para mitigação do mau-cheiro. Dessa forma, a implementação deve ser precedida de diversos estudos, dos quais este se apresenta como passo inicial.

A necessidade pode ser avaliada através dos fatores problemáticos da ETEB Sul aos quais a equalização se apresentaria como uma solução, aumento a eficiência do tratamento tanto melhorando a qualidade como reduzindo custos.

O presente estudo escolheu alguns fatores da operação da ETEB Sul cuja a equalização de fluxos pode apresentar benefícios diretos. A Tabela 5.11 apresenta um resumo dos fatores analisados:

Tabela 5.11: Resumo dos fatores analisados

FATOR	DIAGNÓSTICO	PROGNÓSTICO SOBRE EQUALIZAÇÃO
QUALIDADE DO EFLUENTE FINAL	Valores de remoção relativa satisfatórios, porém valores absolutos dos parâmetros de efluente final apresentam-se com frequência acima do limite máximo estipulado.	A equalização de carga pode ajudar a evitar picos de carga que resultam em valores elevados dos parâmetros de efluente final, ainda que a remoção relativa seja alta.
UTILIZAÇÃO DO BY-PASS	A manobra de by-pass foi praticamente eliminada com manobras operacionais de desvio de vazões de chuva para unidades internas da ETE.	Atualmente, duas manobras são feitas no reator biológico reserva da ETEB Sul: armazenamento de vazões de chuva e armazenamento de esgoto para manutenção da vazão mínima nos reatores ativos nos horários de baixa vazão. Atualmente as duas manobras não podem ser simultâneas. A equalização de vazões permitiria a obtenção dos dois resultados
SOBRECARGA DAS UNIDADES OPERACIONAIS	A ETEB Sul está operando abaixo da vazão de projeto, com folga média de 20%. Os decantadores primários e reatores biológicos têm capacidade de operar revezando as unidades, com uma sempre desativada.	A equalização não apresenta grande potencial de melhorar este fator, já que as unidades não se encontram sobrecarregadas atualmente. Porém a equalização pode auxiliar a amortecer picos de vazão anormais.
CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS	O consumo de produtos químicos na ETEB Sul se demonstra com grandes variações e gastos elevados.	A equalização de carga e vazão pode tornar os parâmetros de dosagem, tais como o ortofosfato, mais estáveis. Com maior estabilidade nos parâmetros de dosagem, o consumo de produtos químicos também pode ser estabilizado e provavelmente reduzido. Outras soluções, porém, devem preceder à equalização, principalmente a automação das dosagens.

Com base nas informações obtidas através da análise de dados e resumidas na Tabela 5.11, nota-se que entre os fatores analisados aqueles que mais apontam para a necessidade de implementar a equalização na ETEB Sul são a qualidade do efluente final e o consumo de produtos químicos. A utilização de by-pass e a sobrecarga das unidades operacionais não se mostram fatores preocupantes atualmente na ETEB Sul.

É de grande importância a investigação a respeito das hipóteses apresentadas no tópico 5.2.1.2 sobre as causas do desempenho dos valores absolutos dos parâmetros do efluente final não apresentarem índices elevados de conformidade, pois baseando-se no desempenho de remoção relativa a ETEB Sul não necessita de melhoras urgentes. Em caso de os parâmetros de lançamento não se mostrarem subestimados, o problema pode ser resolvido pela estabilização da carga afluente da ETE, o que é possível através da equalização de cargas. Para melhor prever os impactos da equalização sobre esse fator, fazem-se necessárias análises horárias dos parâmetros físico-químicos para correlacionar a qualidade do efluente final e a variação de vazão e carga afluente.

A redução de consumo de produtos químicos, pode se dar por meio da redução da produção de lodo, nos casos de consumo de poli catiônico e cal hidratada, sendo necessária a investigação sobre o impacto da equalização de carga na produção de lodo. O consumo de poli aniônico na ETEB Sul é o mais estável dentre os produtos analisados, por possuir dosagem automática que é alterada somente em caso de cargas excepcionais.

O consumo de sulfato de alumínio possui o maior impacto financeiro, fazendo a redução de seu consumo a mais urgente dentre os produtos analisados. O relatório sobre consumo de sulfato aponta por certa urgência de automação de dosagem como um dos principais fatores com potencial para reduzir os gastos de sulfato. A equalização pode atuar como estabilizador de carga afluente, o que dá mais constância para os parâmetros de dosagem de sulfato, podendo assim, reduzir o seu consumo.

5.4. PROPOSTAS E SOLUÇÕES

A formulação de uma proposta de equalização de fluxos para a ETEB Sul deve ser baseada nos seguintes fatos:

- A ETEB Sul possui estruturas com volume disponível para o armazenamento de fluxos excedentes, conforme demonstrado por PASSOS (2016) e confirmado no tópico 5.1 previamente exposto.
- As unidades operacionais da ETEB Sul não estão atualmente sobrecarregadas operacionalmente, conforme demonstrado no tópico 5.2.3.
- A equalização deve visar o melhoramento da qualidade do efluente final conforme apresentado no tópico 5.2.1 e a melhor eficiência econômica da ETEB Sul, reduzindo se possível o consumo de produtos químicos (Tópico 5.2.4) e melhorando a eficiência energética (tópico não visto no presente estudo, mas recomendado para estudos posteriores).

Levando em consideração a disponibilidade e o posicionamento das estruturas antigas da ETEB Sul, é provável que o arranjo em paralelo seja o mais recomendável para o sistema de equalização na ETEB Sul. Considerando que a dosagem química leva em conta parâmetros de carga, é importante que a ETEB Sul conte com uma equalização de carga,

e não apenas de volumes. Podem ser utilizados métodos de dimensionamento de balanço de carga, ou métodos que utilizem carga e massa.

Soluções devem ser procuradas para mitigar as desvantagens inerentes à implementação do sistema de equalização de vazões. Visto que a ETEB Sul já possui as instalações necessárias para implantação do sistema, a desvantagem do custo de implantação já é grandemente mitigada, restando mitigar os custos adicionais com a manutenção e tratamento do afluente desviado, tratamento necessário para prevenção do mau-cheiro das vazões desviadas, apontado como uma das principais desvantagens do sistema de equalização.

Uma proposta aparentemente viável para ETEB Sul é o desvio das vazões excedentes após o tratamento primário, pois conforme demonstrado no tópico 5.2.3, o tratamento primário não se encontra atualmente sobrecarregado e desviando as vazões excedentes após a primeira etapa do tratamento, a qualidade do volume armazenado é superior e necessita de menos gastos adicionais para prevenção do mau-cheiro e da sedimentação indesejada, reduzindo custos com aparelhos de mistura e produtos químicos que evitam o mau-cheiro e a decantação excessiva, além de ser um volume de menor concentração e de mais fácil bombeamento de retorno ao processo. A Figura 5.16 representa o croqui da ETEB Sul com o sistema recomendado:

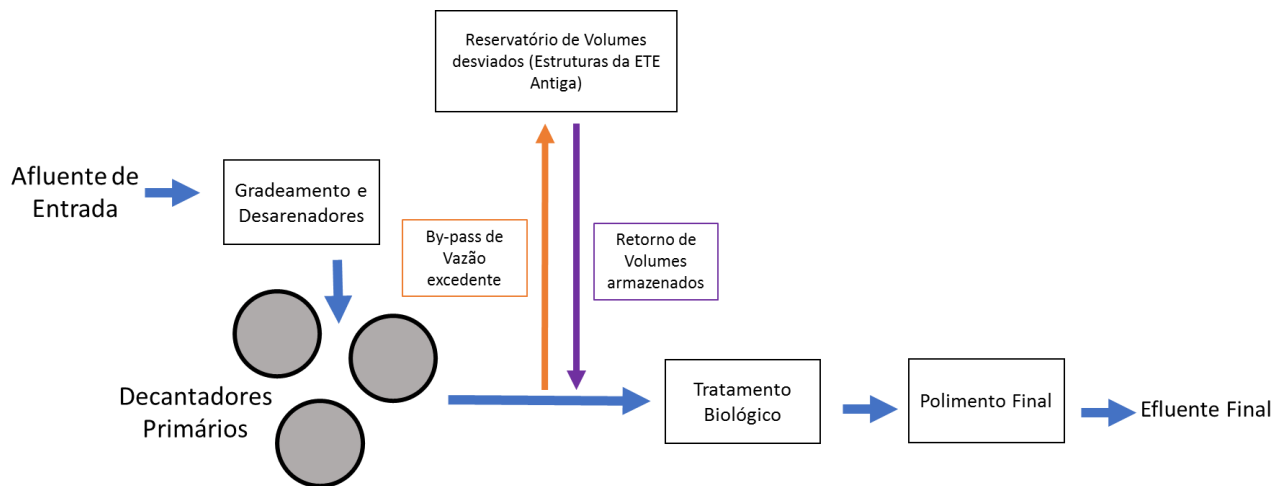


Figura 5.16: Fluxograma do sistema de equalização recomendado.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo buscou ampliar a visão sobre a implementação do sistema de equalização na ETEB Sul. O estudo realizado por PASSOS (2016) apontava para a possibilidade de utilização das estruturas antigas da ETEB Sul como reservatório de volumes desviados, a partir de cálculos com balanço de massa.

Os dados utilizados por PASSOS (2016) foram submetidos a uma análise crítica de aplicabilidade para o presente ano (2019). Depois de organizados os dados aplicáveis, um novo balanço de massa foi realizado, confirmando a hipótese de que as estruturas antigas da ETEB Sul comportam os volumes desviados. A atualização dos dados demonstrou que o volume necessário para equalização na ETEB Sul para o período completo e chuvoso é de 17.031 m^3 e 17.745 m^3 , respectivamente. O volume disponível nas estruturas antigas da ETEB Sul é de 21.746 m^3 .

A revisão bibliográfica do tema possibilitou identificar potenciais fatores que podem ser melhorados no desempenho da ETEB Sul. Foram escolhidos 4 fatores: qualidade do efluente final, utilização do by-pass na ETEB Sul, sobrecarga operacional das unidades da ETE e consumo de produtos químicos.

A ETEB Sul conseguiu eliminar a utilização do by-pass a partir de 2018 diretamente para o lago Paranoá através de manobras internas, mostrando assim que este não é um fator em que a equalização teria alguma influência necessária. As unidades analisadas, que foram os decantadores primários e os reatores biológicos, além da média geral da ETE demonstraram que não há sobrecarga e a ETEB Sul opera com margem de segurança, aproximadamente 20% abaixo da vazão média de projeto.

O fator da qualidade do efluente final se mostrou um potencial beneficiado da equalização de vazão e carga, ainda que a remoção relativa se apresente na faixa média de 95% de remoção nos três parâmetros analisados (DQO, Fósforo Total e Sólidos Suspensos), os parâmetros de lançamento absoluto apresentam resultados bem inferiores, superando os limites máximos em 36% das amostras de fósforo total, 34% das amostras de DQO e 24% das amostras de sólidos suspensos. Quando se leva em conta as amostras de efluente que tenham aceitação simultânea nos 3 parâmetros, apenas 48% delas ficam em conformidade com os limites estabelecidos.

A equalização poderia atuar eficazmente na qualidade do efluente final através da redução da carga média afluente da ETE. Mantendo-se o alto nível de remoção relativa com uma menor carga afluente, a ETEB Sul provavelmente obteria melhores resultados para o efluente final. NAKAZATO (2005) já apontava para o fato da equalização ajudar na melhora dos parâmetros de lançamento principalmente em ETES com tratamento químico, como é o caso da ETEB Sul.

O consumo de produtos químicos também se mostrou outro fator propício aos efeitos da equalização, uma vez que o consumo de produtos químicos se demonstra irregular e sem tendências claras de diminuição. O estudo de impacto econômico apontou para o sulfato de alumínio como produto que gera os maiores gastos na ETEB Sul. A equalização pode atuar como redutor de carga afluente, reduzindo o consumo de produtos químicos que dependem principalmente dos parâmetros de carga. Os produtos químicos que dependem da quantidade de lodo gerado na ETE também podem ter seu consumo reduzido, mas

nesse caso um estudo detalhado sobre impacto da equalização na produção de lodo deve ser realizado.

Outras medidas, porém, devem anteceder à equalização na redução do consumo de produtos químicos, principalmente de sulfato, sendo a principal delas a automação da dosagem, conforme relatório produzido pela CAESB sobre o consumo de sulfato na ETEB Sul.

A análise geral dos fatores aponta para a possibilidade de melhora dos dois fatores apresentados de forma conjunta, com potencial de solucionar problemas econômicos e de qualidade de efluente final. A não sobrecarga das unidades, especialmente dos decantadores primários, permite à ETEB Sul estudar diversas variações do sistema de equalização. O presente estudo recomenda o desvio de vazão excedente após o tratamento primário, reduzindo assim os impactos inerentes ao armazenamento de volumes de esgoto, reduzindo custos com mistura, aeração e produtos químicos.

A ampliação do estudo é necessária para uma resposta mais precisa sobre a equalização de fluxos na ETEB Sul. O presente estudo focou em uma análise mais subjetiva, como um diagnóstico da situação atual da ETEB Sul. É preciso avançar na análise de fatores numéricos, tais como economia financeira, expectativa de melhora dos parâmetros operacionais e outros.

Para posteriores estudos mais detalhados, os dois fatores apontados como indicativos da necessidade de equalização de fluxos na ETEB Sul (Consumo de produtos químicos e qualidade do efluente final), podem ser ampliados com as seguintes medidas:

- Encomendar análises de qualidade horária de efluente por algum período determinado, a fim de captar o real impacto da flutuação diária na qualidade do efluente final.
- Comparativo de gastos de produtos químicos por metro cúbico tratado com outras ETES similares.

O presente estudo, por causa de limitações de prazo de conclusão, não abrangeu todos os fatores que se relacionam de alguma forma com a equalização de fluxos. Dessa forma, recomenda-se a ampliação do estudo, analisando a situação atual da ETEB Sul e o prognóstico dos efeitos da equalização sobre outros fatores, dos quais se indicam os seguintes:

- Consumo de energia elétrica, principalmente através de comparativos com estações similares que possuem sistema de equalização em funcionamento.
- Produção de lodo, avaliando se a equalização pode reduzir a produção diária de lodo e/ou aumentar a qualidade dele.
- Estudo sobre acréscimo ou redução de manobras operacionais, comparando as manobras atuais com as que seriam necessárias na nova planta.

Para possibilitar uma melhor análise dos fatores, também se recomenda que estudos posteriores adotem métodos de análise multivariada, para adoção de critérios mais objetivos na comparação da importância de cada fator analisado. Neste sentido, o trabalho desenvolvido por de PAULA, R. L. (2013) é de grande valor e pode servir de modelo para uma aplicação similar ao presente caso.

De PAULA, R. L. (2013), em sua dissertação de mestrado “Metodologia para avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos, utilizando métodos multiobjetivos e indicadores”, demonstra a aplicação de métodos estatísticos para analisar o desempenho de ETEs, ajudando a transformar análises subjetivas em ferramentas mais propícias para tomada de decisão. Os pesos de cada fator foram atribuídos com o auxílio de especialistas na área de saneamento, o que pode ser reproduzido no caso do prognóstico sobre equalização.

Com a ampliação dos fatores analisados e a aplicação de um método de análise a partir de métodos multiobjetivos, é possível se aproximar cada vez mais de uma decisão segura sobre os reais benefícios da equalização de fluxos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional De Águas- ANA. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em 17 de novembro de 2018.

Alem Sobrinho, P. e Tsutiya, M. T. (2000). “Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário.” 2ª edição, Dehse USP, São Paulo-SP, 547p.

Associação Brasileira De Normas Técnicas- ABNT. NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, p7. 1986.

Brasil. Lei de diretrizes nacionais do saneamento básico- Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em 17 de novembro de 2018.

CAESB (2014). “SIESG – Sistema de esgotos”, Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal, Diretoria do Sistema de Esgotos, CAESB, Brasília – DF, Brasil.

Fair, G. M.; Geyer, J. C.; Okun, D. A. (1973). “Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales (Water and wastewater engineering)”. Trad. Salvador Ayanegui j. México, Editorial Limusa, **Vol.2**, 764 p.

Force, J. T. (1992a). “Factors Critical to Process Design”, WEF Manual of Practice n°8 e ASCE Manual and Report on Engineering Practice n° 76. *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*, **Vol. I**, 74-95.

Force, J. T. (1992b). “Flow Equalization”, WEF Manual of Practice n°8 e ASCE Manual and Report On Engineering Practice n° 76. *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*, **Vol. I**, 439-445.

Halls, S. (2002). “International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management”, *UNEP – United Nations Environment Program*, Division of Technology Industry and Economics, International Environmental Technology Centre, Osaka, Japan.

Luduvic, M. L., Pinto, M. A. T. e Neder, K. D. (1997). “Controle de Odores em Estações de Tratamento de Esgotos”, *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Foz do Iguaçu-PR, Brasil.

Metcalf e Eddy (2016). “Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos”. McGraw-Hill.-5ª edição, revisada por George Tchobanoglous, Franklin Burton, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi Mohammad Abu-Orf Gregory Bowden William Pfrang. Porto Alegre, AMGH.

Nakazato, C. D. (2005). “Efeitos da Equalização de Fluxos Sobre o Desempenho da Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília Norte - ETEB Norte” Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM – 90/05. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 170p.

Passos, G. A. (2016). “Proposta Preliminar de Equalização de Fluxos na Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul – ETEB Sul” Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 84p.

Quasim, S. R. (1985) “Wastewater treatment plants: planning, design, and operation”, CBS College. Publishing, Estados Unidos.

Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento- SNIS: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.: il.

Ulf, N., Andersson, B., Aspergen, H. (1996). “Real Time Control Minimizing Effluent Concentrations During Storm Water Events”, *Water Science & Technology*, 34(3-4). 127-134, Malmo-Sweden.

USACE (2001). “Pre-treatment Requirements”, Engineering Manuals chapter 11, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, USA

USEPA (1979). “Evaluation of Flow Equalization in Municipal Wastewater Treatment”, United States Environmental Protection Agency – USEPA, Washington, Seattle, USA, 252p.

USEPA (1999). “Combined Sewer Overflow Technology Fact Sheet - Retention Basins”, Municipal technology branch, United States Environment Protection Agency – USEPA, Washington, D.C., USA, 11p

Versiani, B. M. (2005). “Desempenho de um Reator UASB Submetido a diferentes Condições Operacionais Tratando Esgotos Sanitários do Campus da UFRJ” [Rio de Janeiro]. X, 78p, 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2005)

Von Sperling, M. (1997). “Introdução à Qualidade das Águas e ao tratamento de Esgotos”, *Lodos Ativados- Vol. 4 / 2ª edição*, Belo Horizonte, Brasil, 428p.

Von Sperling, M. (2014). “Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos”, *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 1 / 4ª edição*, UFMG Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte - MG, Brasil, 470p.

Water Environment Federation (1994). “Pretreatment of Industrial Wastes”. *Manual of Practice FD-3*.

WQP (1998). “Water Quality Program – T1 Preliminary Treatment/Septage and Other Liquid Hauled Wastes”, *Criteria for sewage works design*, Publication 98(37), Washington State Department of Ecology, Washington- USA.